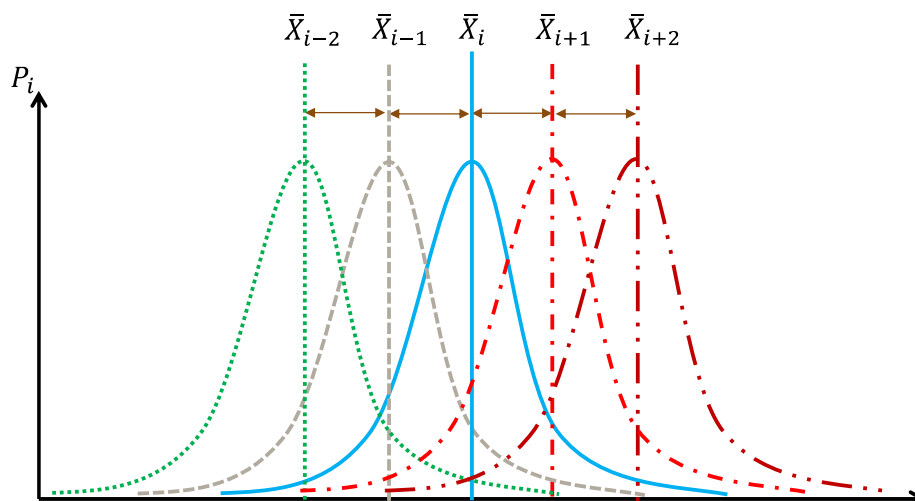


BERÄKNINGSMETOD FÖR SANNOLIK ENERGIANVÄNDNING I FLERBOSTADSHUS



Stephen Burke, Pär Carling, Henrik Davidsson,
Tomas Ekström, Lars-Erik Harderup, Samer
Hassanie, Johnny Kronvall, Toivo Säwén, Rikard
Sundling, Magnus Wiktorsson

2022-01-18

FÖRORD

Detta projekt om probabilistiska energiberäkningar började 2014 när Johnny Kronvall på StruSoft hade en liten projekttid som han var intresserad att hitta samfinansiering för. Vi (Christina Claesson-Jonsson) och jag tittade på ansökan och tyckte att den idén var mycket intressant, men projektet var för litet. Då började vi med att utöka projektet och bjöd in flera personer och organisationer, såsom EQUA och flera på Lunds universitet, i arbets- och referensgruppen. Nu, 8 år senare ser vi att detta projekt har fått uppmärksamhet både nationellt och internationellt. Det första projektet har lett till åtminstone 4 projekt till (detta projekt, ett doktorandprojekt om riskanalyser - SBUF 13573, kartläggning av VVC projekt – SBUF 13631, samt Fönster prestanda under lång tid förstudie - LÅGAN) och det finns mycket kvar att göra.

Detta projekt är en andra del som tittar på probabilistiska energiberäkningsmetoder och har drivits parallellt med SBUF projekt 13573 - Probabilistiska energiberäkningar och risk. Projektet överlappar varandra en del men denna del har fokuserat på beräkningsmetod och 13573 har fokuserat på både indata och riskbedömning. Det är rekommenderat att läsa även avhandlingen samt de publicerade artiklar som nämns i Introduktionen för att få ett helhetsperspektiv och mer detaljerad information inom området.

Arbetsgruppen som har deltagit i projektet har varit:

- Stephen Burke och Tomas Ekström, NCC Sverige AB
- Johnny Kronvall, Toivo Säwén och Kristin Davidsson, StruSoft AB
- Per Sahlin, Pär Carling och Samer Hassani, EQUA simulation AB
- Magnus Wiktorsson, Matematisk Statistik, Lunds universitet
- Lars-Erik Harderup och Jesper Arfvidsson, Byggnadsfysik Lunds universitet
- Rikard Sundling, Byggproduktion Lunds universitet
- Henrik Davidsson, Energi och Byggnadsdesign, Lunds universitet

Vi vill också tacka alla som är inte nämnda i arbetsgruppen men som har bidragit till projektet med insamling av data (både indata och mätdata), programmering, support, mm.

Vi vill tacka finansörerna av projektet, SBUF och E2B2 för deras stöd.

Till slut vill vi också tacka alla som var med i referensgruppen som har bidragit till projektet med sin tid, idéer, data och synpunkter:

- Helena Bülow-Hübe, FOJAB arkitekter AB
- Kaisa Nordh och Josefine Holmgren, Skanska Sverige AB
- Lin Liljefors och Mikael Näslund, Boverket
- Johan Svensson, PEAB
- Eva-Lotta Kurkinen, RISE
- Adnan Ploskic, KTH/Bravida

Stephen Burke

2022-01-18

SAMMANFATTNING

Energiberäkningar som används som underlag för verifiering av krav samt underlag till energigarantier är idag baserade på deterministiska beräkningsmetoder. Denna metod är lämplig när man bara ska redovisa att en byggnadsdesign uppfyller en viss energiprestanda vid en viss användning. När man ska beräkna byggnadens energiprestanda som underlag för den verkliga energiprestandan kommer problemet att beräknade och uppmätt energiprestanda sällan stämmer överens. Den skillnad i energianvändningen är välkänd som "The Energy Performance Gap", eller energiprestandagap. Denna skillnad gör att deterministiska energiberäkningar blir en osäkerhet och för att kompensera för detta gap läggs det på säkerhetsmarginaler genom ett slutligt påslag eller på indata.

Dessa påslag påverkar kostnaden för huset då energiberäkningar med flera påslag måste projekteras med en lägre energianvändning. En strategi under anbud är att försöker balansera dessa påslag mot husets kostnad vilket innebär ett högre risk att energiprestandan i verkligt blir sämre än beräknat. I alla beräkningsfall, är det ett gemensamt problem att man inte kan utvärdera risken kopplat till energiberäkningen.

Detta projekt vidareutvecklar en probabilistisk energiberäkningsmetod som kan redovisarisker kopplade till en viss byggnad. Riskanalysmetoden redovisades i en doktorsavhandling av Tomas Ekström, 2021. Denna rapport redovisar hur man ska hantera indata och faktorinventering inför en energiberäkning och redovisar hur projektgruppen har arbetat med ett typhus från NCC som är flerbostadshus byggda runt om Sverige. För att få återkoppling på indata och beräkningsresultat, har beräkningsresultatet jämförts med energimätningar i 28 identiska objekt. Projektet har även tagit fram två scenarier indata för att se hur generiska indata, S1, inverkar jämfört med mer anpassade indata, S2.

Resultatet visar att S2, med ett par anpassade spridningar, profiler och indata, stämde bättre med den uppmätta energianvändningen än S1, d.v.s. den beräknade fördelningskurva visade en lägre energianvändning. Beräkningsresultatet från S1 visade en högre sannolik energianvändning och predikterade inte flera av de lågenergibygnaderna. Samtidigt missade även S2 de lägsta objekt som tyder på att flera parameter behöver modelleras bättre .

Slutsatsen från projektet är att beräkningsmetoden fungerade bra i detta fall med 52 zoner. Mycket mer arbete behövs inom indata och faktorinventering som kan leda till att beräkningsmetoden kan ge realistiska energiprestanda som, beroende på indata, ger ett bra underlag för en riskbedömning eller en riskanalys när man ska bygga enstaka hus. Man kan dessutom bedöma deterministiska energiberäkningar genom att jämföra ett sådant resultatet med fördelningskurvan från ett probabilistiska energiberäkning.

INNEHÅLL

INTRODUKTION.....	6
BAKGRUND	6
<i>Deterministiska vs probabilistiska energiberäkningar – vad är skillnaden?</i>	6
<i>Deterministiska vs probabilistiska energiberäkningar – Vilken metod ska jag välja och varför?</i> ..	7
Design och dimensioneringsverktyg	7
Riskanalys.....	8
SYFTE	8
AVGRÄNSNINGAR.....	8
HUR SKA MAN GENOMFÖRA EN PROBABILISTISK ENERGIBERÄKNING?	9
SAMMANFATTNING AV METODEN.....	9
BERÄKNINGSPROGRAM.....	9
BESTÄM SYFTET MED ENERGIBERÄKNINGEN.....	9
INDATA OCH FAKTORINVENTERING	10
<i>Faktorinventering</i>	10
Okänd design	10
Känd design	11
Beräkningsobjekt med Scenario 1 och Scenario 2.....	12
Indata nivå – global eller lokal?.....	13
Schema och profil.....	15
Fördelningskurvans form och redovisning av indata	15
<i>Faktorinventering – flerbostadshusexempel</i>	17
Fönster	17
Lambdavärdet av isolering.....	18
A _{temp}	19
Köldbryggor.....	19
Lufttäthet.....	20
Fukt.....	20
SFP.....	21
Värmeåtervinning (FTX).....	21
Till- och frånluftslöde	21
Inomhustemperatur.....	22
Tappvarmvatten	23
VVC	23
Hushållsel	24
Köksfläkt.....	25
Vädringsförluster.....	25
Personbelastning	26
SOLENERGIPRODUKTION	26
FAKTORINVENTERING SOLENERGIPRODUKTION.....	26
RESULTAT AV SOLENERGIPRODUKTIONSBERÄKNINGAR	27
BERÄKNAD VS UPPMÄTT ENERGIANVÄNDNING I ETT FLERBOSTADSTYPHUS	31
BERÄKNINGSTID	31
BYGGNADENS ENERGIANVÄNDNING	31
UPPVÄRMNINGSENERGI/FJÄRRVÄRME.....	33
TAPPVARMVATTEN.....	34
FASTIGHETSENERGI	36
OTILLGÄNGLIGA MÄTNINGAR OCH VAD DET BETYDER FÖR BERÄKNINGSRESULTATEN	37

FÖRUTSÄGA ENERGIPRESTANDAGAP OCH BEDÖMA RISK	38
SLUTSATSER.....	38
FRAMTIDA ARBETE.....	39
REFERENSER	41
BILAGA 1 – SAMMANFATTNING AV INDATA FÖR S1 OCH S2	44

INTRODUKTION

Detta SBUF/E2B2 projekt har genomförts tillsammans med SBUF projektet #13573 ”Probabilistiska energiberäkningar och risk”. Publikationerna i projekt #13573 gjordes tillsammans med föreliggande projekt och presenterar mycket detaljerad information om teorier, riskanalyser, påverkan av indata på beräkningarna, samt jämförelser mellan beräknade och uppmätt energianvändning. Följande publikationer ingår i resultat av samarbetet:

1. Ekström, T. (2021). Predicting the Energy Performance of Buildings: A Method using Probabilistic Risk Analysis for Data-driven Decision-support. Department of Building and Environmental Technology, PhD dissertation, Lund University.
2. Ekström, T. *et al.* (2021) ‘Evaluating the impact of data quality on the accuracy of the predicted energy performance for a fixed building design using probabilistic energy performance simulations and uncertainty analysis’, *Energy and Buildings*, 249. doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111205.
3. Ekström, T. *et al.* (2021) ‘Probabilistic risk analysis and building performance simulations – Building design optimisation and quantifying stakeholder consequences’, *Energy and Buildings*, 252. doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111434.
4. Ekström, T. *et al.* (2020) ‘Proposed method for probabilistic risk analysis using building performance simulations and stochastic parameters’, in *E3S Web of Conferences*. Tallinn, Estonia: 12th Nordic Symposium on Building Physics. doi: 10.1051/e3sconf/202017225005.
5. Burke, S. *et al.* (2020) ‘Proposed Method for Probabilistic Energy Simulations for Multi-Family Dwellings’, in *E3S Web of Conferences*. doi: 10.1051/e3sconf/202017225011.
6. Ekström, T. *et al.* (2019) ‘Possibilities with probabilistic methods for dynamic building energy simulations using stochastic input data – initial analysis’, *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings*.

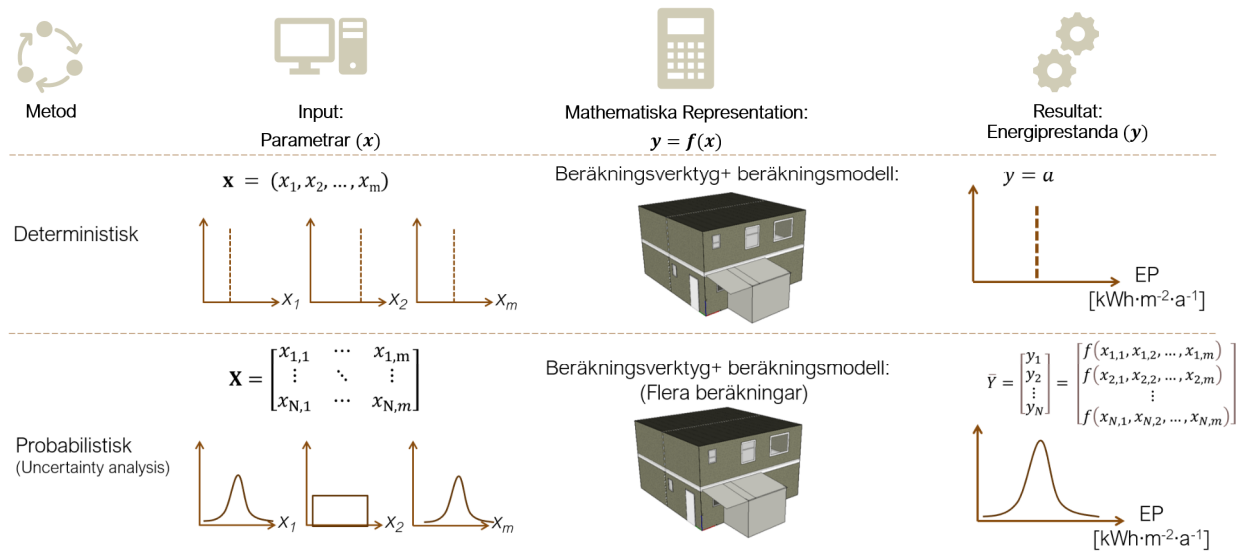
Denna rapport redovisar hur man gör en probabilistisk energiberäkning i praktiken med fokus på indatahantering. Rapporten börjar med en bakgrund om metoden och vad man kan göra med metoden beroende på vilken typ av indata man har samt nackdelarna med metoden jämfört med deterministiska energiberäkningar.

Rapporten fortsätter med att beskriva hur man ska arbeta med indata samt hur man bör planera sina simuleringar oavsett vilket beräkningsprogram man använder. Slutligen tar rapporten upp en presentation av resultaten.

Bakgrund

Deterministiska vs probabilistiska energiberäkningar – vad är skillnaden?

Energiberäkningar som görs idag är deterministiska till sin karaktär, det vill säga man kör en beräkning med fast indata. Resultatet man får är ett värde på den beräknade energianvändningen, se Figur 1. En probabilistisk energiberäkning innebär att man använder en mängd värden på indata samt genererar flera hundra eller tusen fall som man räknar på. Resultatet blir då en spridning av olika möjliga energianvändningar för beräkningsobjektet. Man kan jämföra det med en omfattande parametrisk studie där man provar olika indata för att se hur modellen reagerar.



Figur 1: Probabilistisk och deterministisk energiberäkningsmetoder.

Deterministiska vs probabilistiska energiberäkningar – Vilken metod ska jag välja och varför?

Båda beräkningsmetoderna har för- och nackdelar och båda har sina användningsområden. Det är viktigt att känna till skillnader mellan metoderna, samt hur man kan använda dessa på olika sätt innan man börjar med energiberäkningen.

En deterministisk energiberäkning är lämplig när man vill snabbt uppskatta energibehovet hos en byggnad. Fördelen är att det är den snabbaste metoden, och man kan få fram ett resultat ganska snabbt. Dessutom, man kan snabbt kontrollera ett hus mot byggkrav när man använder standardiserade indata så som BEN eller SVEBY. Nackdelen är att det är svårt att prediktera byggnadens verkliga energianvändning, även om det finns indata på byggnadens användning. Denna skillnad mellan beräknad och uppmätt energianvändning kallas för ”performance gap” eller energiprestandagap. Det finns många studier som fokuserar på att förklara denna skillnad genom att analysera indata, användarnas beteende, beräkningsprogram, klimatdata, och påslag i form av säkerhetsmarginaler men ingen studie har redovisat en metod som kan prediktera denna skillnad. (De Wilde, 2014; Jones, Fuertes and De Wilde, 2015; Imam, Coley and Walker, 2017; Jansson, 2017; van den Brom, Meijer and Visscher, 2018; Shi *et al.*, 2019)

En probabilistisk energiberäkning är lämplig när man vill få en uppskattning av hur den förväntade spridningen i energianvändningen kan se ut, d.v.s. man kan visa det förväntade energiprestandagap gentemot en deterministisk energiberäkning. Nackdelen, just idag, är att dessa beräkningar är mer tidskrävande både med hänsyn till förberedelser och beräkningstid samt att det inte finns så många programvaror tillgängliga som klarar beräkningarna. Det kräver också mer av energispecialisten då det är en svårare och mer komplex beräkningsmetod. Probabilistiska energiberäkningar kan genomföras på minst två olika sätt beroende på syftet med beräkningen:

1. Design/dimensioneringsverktyg
2. Riskanalys

Design och dimensioneringsverktyg

Det första alternativet är det som har undersökts mest i litteraturen och är den metoden folk tänker på när man tar upp probabilistiska energiberäkningar – det handlar om att köra många olika fall för att komma fram till vilka kombinationer av komponenter/användare beteende som behövs för att

uppfylla en viss energiprestanda. I detta fall väljer man indata som representerar olika lösningar eller produkter som projektet vill undersöka, till exempel om man inte vet vilket fönster man ska ha, vilken yttervägg, vilket ventilationssystem, mm, sedan räknar man på ett antal fall (till exempel 1000 kombinationer). Efter att beräkningarna är klara kan man sortera vilka kombinationer som ger en viss energianvändning. Projektet kan sedan välja en kombination som ger den önskade energiprestandan. Fördelen med denna beräkning är att man kan göra andra optimeringar på materialet, så som kostnads- eller miljöoptimering. Denna metod kvantifierar inte riskerna kopplat till olika materialantagande eller användare.

Risikanalyt

Det andra alternativet är att göra en riskanalys. Den metoden är en ganska ny metod och inte välkänd i dagsläget. Metoden utvecklades i en parallell SBUF project#13573, en doktorandprojekt "Predicting the energy performance of buildings – a method using probabilistic risk analysis for data-driven decision-support" (Ekström, 2021). I detta fall, är indata anpassat för att beräkna en spridning på möjliga energianvändningar som beror på avvikelser som är inbyggda i det valda materialet, produkttegenskaper eller användarbeteende. Fördelen med denna typ av energiberäkning är att man kan kvantifiera sannolikheten (och även risk) att en byggnad inte uppfyller en viss energiprestanda. Man kan därefter ha en diskussion i projektet om byggnaden är "för bra" (risken att byggnaden är för dyr) eller om risken att byggnaden överskrider sitt energikrav är för stort (risken att beställaren får högre driftkostnader än beräknat). Observera att man inte kan optimera byggnaden med denna metod då man inte räknar med olika komponenter eller material.

Syfte

Projektet har som syfte att vidareutveckla metoden för probabilistiska energiberäkningar genom att ta fram fler relevanta parametrar och skapa mer avancerade beräkningsmodeller. Detta gör det möjligt att applicera beräkningsmodellen på mer komplexa typer av byggnader, t.ex. flerbostadshus och kontor, än det tidigare utvärderade småhuset. En del i vidareutvecklingen är att arbeta in riskhantering i metoden samt ett tydligt sätt att förmedla informationen på.

Avgränsningar

Projektet har flera avgränsningar, många av dessa tas upp under de aktuella rubrikerna i rapporten. Flera viktiga avgränsningar som är viktigt är:

- Rapporten fokusera på hantering av indata för att genomföra en probabilistisk energiberäkning.
- Riskanalys är beskrivit i avhandling kopplat till SBUF projektet 13573.
- Syftet med projektet är inte att verifiera beräkningsmetoden eller indata utan att få metoden att fungera med ett flerbostadstypus med många zoner.
- Energimätningar är samlade från NCCs intern databas för ett typhus som byggdes över hela Sverige byggdes av NCC för den Svenska marknaden. Mätningar är övergripande och är baserat på energiuppföljningar av olika projekt där mätdata är kontinuerligt under 12 månader inom 2 år efter leverans. Ingen kartläggning har genomförts i något objekt för att verifiera kvalitet av mätdata.
- Indata för beräkningen S1 var en blind beräkning och var inte baserat på uppmätt indata.
- Indata för beräkningen S2 var delvis baserat på mätningar från typhusen.
- Där indata, eller underlag till spridningen i indata saknades gjorde arbetsgruppen en bedömning om vilket värden samt spridning var lämpligt för typhusen.
- Beräkningsmetoden och indata är anpassat till nu gällande svenska regelverk och anvisningar med metoden gäller i andra länder.
- Metoden använder Monte Carlo beräkningar med 1000 varianter på indatakombinationer.

HUR SKA MAN GENOMFÖRA EN PROBABILISTISK ENERGIBERÄKNING?

Sammanfattning av metoden

Metoden för att genomföra probabilistiskenergiberäkningar kan sammanfattas så här:

1. Bestäm syftet med energiberäkningen (designverktyg eller riskanalys)
2. Ta fram lämpliga indata för beräkningssyftet
3. Bygga beräkningsmodellen i beräkningsprogrammet
4. Köra beräkningsmodellen (IDA-ICE, BIM Energy eller ett annat program som kan hantera sådana beräkningar)
5. Analysera energiberäkningsresultat och jämföra effekten av olika indata på resultatet
 - a. Analysera vilken kombination av indata som ger den önskade energianvändningen
 - b. Ta fram riskanalysen för byggnaden

Beräkningsprogram

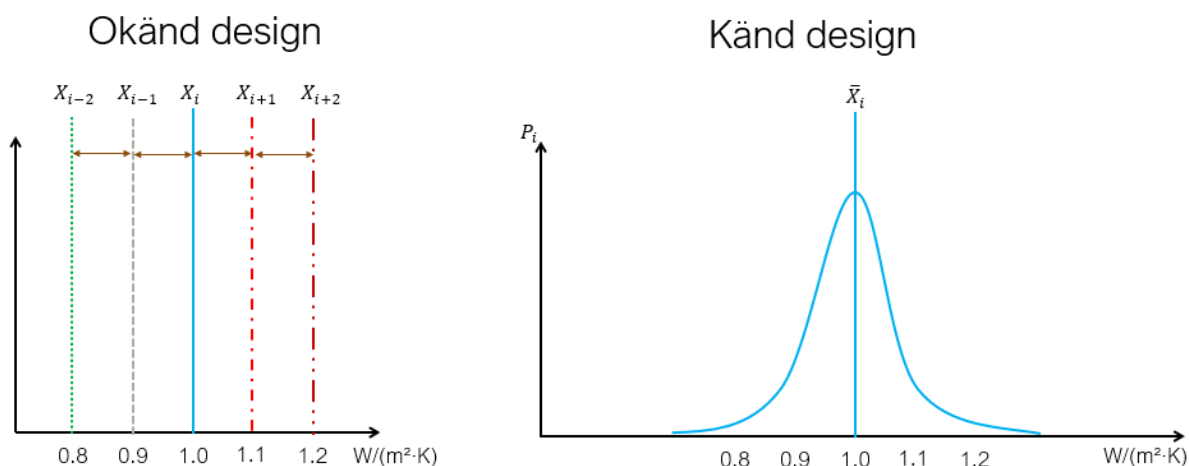
Informationen i denna rapport antar att man har tillgång till ett energiberäkningsprogram som klarar av probabilistiska energiberäkningar. Om man har ett sådant då kan programmet hantera generering av beräkningsfall samt köra och sammanställa resultaten. En begränsning i denna rapport är att det är skrivit till energikonsulter som använder, eller kommer att använda ett sådant program. Det är utanför projektet att beskriva metoden utförandet för en forskare nivå med egenutvecklade program även om rapporten tar upp information som måste hanteras även på denna nivå. Rapporten kommer att anta att man har tillgång till Excel samt ett energiberäkningsprogram men inte mer avancerade verktyg så som Matlab. Beräkningsprogrammen som användes i denna studie var prototyper på nya versioner av IDA-ICE från EQUA, och BIM Energy (utveckling av VIP Energy) från StruSoft.

Bestäm syftet med energiberäkningen

Innan man kan börja med en probabilistisk energiberäkning, måste man veta varför man ska göra en sådan beräkning. Vilket syfte kommer att bero på projekteringsunderlaget och om designen är känd, eller okänd. Som skrevs tidigare, beroende på det, finns det två syften som man kan välja emellan:

1. Man vill räkna ut vilka kombinationer av komponenter eller prestanda på komponenter man behöver för att uppnå en viss energianvändning (designverktyg).
2. Man har en design redan och vill utvärdera risken med att med just den designen överskrida energikravet som är ställt i projektet (riskanalys).

Detta steg är kritiskt då syftet med energiberäkningen kommer att styra alla indata samt hur man ska hantera resultaten. Figur 2 visar hur stor skillnad det är på indata beroende på om syftet är att ta fram en design som uppfyller en viss energiprestanda eller om man vill utvärdera risken kopplat till en känd design. Med en okänd design då tar man fram vissa värden, till exempel olika U-värde på fönster. Med den kända designen har man redan bestämt att fönstret har ett U-värde på 1,0 W/m²K från förra studien, (Burke *et al.*, 2017) man vet att ett fönster kan ha lite andra U-värden än det som är redovisat. Då är indata utformat som höger bild i Figur 2. Nästa del kommer att gå in i mer detalj om hur man ska välja ut rätt indata beroende på syftet med energiberäkningen.



Figur 2: Exempel på hur indata för ett fönster ska ser ut beroende på om syftet med beräkningen är att räkna ut vilket fönster man ska ha i en okänd design, eller att bedömer risken med en känd design.

Observera att man inte kan blanda ihop olika indata med olika syfte. Probabilistiska energiberäkningar som genomförts med indata anpassat till projektering av byggnaden inte kan användas som underlag för riskanalys. Se mer information i ”Design och dimensioneringsverktyg” och ”Riskanalys”.

Indata och faktorinventering

Som sagt, syftet med en energiberäkning kommer att styra både hur man ska arbeta med byggnadens indata samt vilka indata som man ska välja. I denna rapport, kallas hantering av dessa indata för faktorinventering då man ska göra en inventering och bedömning på flera olika aspekter av indata. Faktorinventering genomförs på olika sätt beroende på om designen är okänd eller känd. En okänd design kräver mindre fokus på faktorinventering medan en känd design kräver ganska mycket fokus på indata då små fel i många spridningar kan ge resultera i ett stort fel på slutresultat, både på minimum och maximum hos energiprestandan.

Nästa del av rapporten kommer att gå igenom hur faktorinventeringen genomfördes i ett flerbostadshus.

Faktorinventering

Faktorinventering är en kritisk del av metoden för att fel indata ger fel resultat. Flera beslut måste fattas innan man börjar samla indata eller definiera indata. Det som måste definieras innan datainsamlingen sker:

- Är syftet med beräkningen att få fram vilken indata som behövs för att uppfylla ett visst krav eller prediktera energianvändning under drifttiden, d.v.s. är det en känd eller okänd design?
- Vilken indata ska vara på en Lokal nivå eller en Global nivå?
- Vilken typ av byggnad är det?
- Vilken användning förväntas byggnaden ha?

Okänd design

Den ”enkla” probabilistiska energiberäkningen är när man ska räkna på en okänd design. I detta fall kan man använda den probabilistiska energiberäkningen som en metod för att komma fram till vilka kombinationer av indata som resulterar i den önskade energiprestandan. Indata i denna typ av beräkning kommer att bestå av möjliga produkter eller alternativ som projektet bedömer som

ekonomiskt rimliga. Till exempel, projektet kanske bedömer att man kan välja mellan tre typer av fönster där ett har ett U-värde på 0,7 W/m²K, ett har 0,9 W/m²K och det sista har 1,2 W/m²K. Då blir indata för fönstrets U-värde bara dessa tal.

I detta fall kommer faktorinventeringen för projektet bara att bestå av insamling av olika indata som projektet vill räkna på som alternativ. Exempel på flera parametrar som kan ingå är olika lambda-värden på isolering, olika mängder köldbryggor, olika ventilationsaggregat där man vill se påverkan av värmeväxlarens effektivitet eller påverkan av olika fläktars SFP på energibehovet, samt att man även kan titta på påverkan av olika luftflöden som till exempel effekten av hemma/borta läge eller VAV (variabelt luftflöde) jämfört med CAV (konstant luftflöde). Det vill säga man kan räkna med olika typer och kombinationer av tekniska system i byggnaden.

Om beräkningen syftar på att kontrollera byggnadens energiprestanda enligt BBR, då kan man välja att köra beräkningarna med vissa indata låsta enligt SVEBY eller BEN som till exempel användarbeteenderelaterade parametrar. Flera exempel är tappvarmvatten, hushållsenergi, och ventilationsflöde. Då kan man lättare se vilken kombination av tekniska system som resulterar i en optimal energianvändning för just den byggnaden utan att ta hänsyn till hur användningen kommer att påverka energiprestandan. Observera att extremanvändares beteende kan i praktiken slå ut en lösning som i teorin är tekniskt optimal. Om man har kostnader tillgängliga för dessa olika system, då kan man räkna fram den mest kostnadseffektiva lösningen för projektet med en "normal" användning enligt SVEBY eller BEN.

Det är viktigt i detta fall att de olika resultaten är kopplade till olika indata då syftet inte är uppskatta energiprestandan hos huset men istället vilken kombination av indata man behöver för att uppnå den önskade energiprestandan. Om man använder denna metod först i ett projekt, är det även rekommenderat att köra nästa beräkningstyp – Känd design – för att utvärdera risken med de valda parametrarna. Då kan man testa de utvalda systemen med andra användningar av huset tillsammans med den sannolika prestandan av det tekniska systemet och bedöma risken som en helhet.

Som skrevs tidigare, när designen är okänd måste fokus på indata ligga på vilket alternativ som är intressant för projektet. Då kommer värdena att bestå av olika alternativ som projektet vill prova i form av produkter eller materialegenskaper. Till exempel, projektet vill analysera energianvändning med 5 olika fönster med U-värde på 0,7, 0,9, 1,0, 1,2, och 1,6. I detta fall är faktorinventering relativt enkelt då alla indata är dessa värden där distributionen är enhetligt fördelat, det vill säga varje parameter är använd lika många gånger fördelat på alla beräkningar. Samma metod upprepas med alla parametrar som projektet vill utvärdera. I detta fall kommer inget värde att vara utanför dessa olika fasta värden, till exempel ett U-värde på 0,75 W/m²K kommer inte finnas med som alternativ då denna fönsterprestanda inte finns med bland de fasta värdena.

Känd design

Den "svårare" probabilistiska energiberäkningen är när man har en känd design. När indata ska tas fram för en känd design med syftet att analysera risker kopplat till den aktuella designen, då använder man inte samma typ av indata som är beskrivit i "Okänd design". Fokus för indata med en känd design med riskanalys måste ligga på vilka möjliga värden vissa parametrar kan ha. Det finns flera skäl till att denna typ av beräkning är svårare.

Kanske det största skälet till att det är svårare är att den här beräkningen kräver en helt annan typ av indata som inte finns lätt tillgängligt, eller i vissa fall saknas indata helt. Skillnaden mellan beräkningen med okänd design och en känd design är att med den kända designen måste man ha indata på den naturliga variationen av prestanda för den specifika produkt eller konstruktion som ska användas i byggnaden.

Det andra skälet till att denna beräkning är svårare är att man måste ta hänsyn till om indata är "lokal" eller "global". Det vill säga, om indata man har bara är lämpligt på en zon-nivå (lokalt) eller om det gäller för hela byggnaden (globalt). Till exempel, om man har indata på värmeväxlarens prestanda i ett hus med ett centralt ventilationsaggregat, då måste indata kopplat till det (SFP-tal, värmeåtervinning) som gäller för hela byggnaden (globalt) medan om huset har lägenhetsaggregat då kommer variationen att ligga på lägenhetsnivå (lokalt).

Ett annat exempel på detta är om man har hushållsenergianvändning då måste man vara försiktig med om denna data är på lägenhetsnivå eller en sammanställning för hela huset. Skillnaden då är att i det globala fallet, får alla lägenheter samma värde i en beräkning men olika värde i olika beräkningsfall. Om indata gäller lokalt då har alla de olika lägenheterna potentiellt olika värde både inom ett beräkningsfall och mellan olika beräkningsfall.

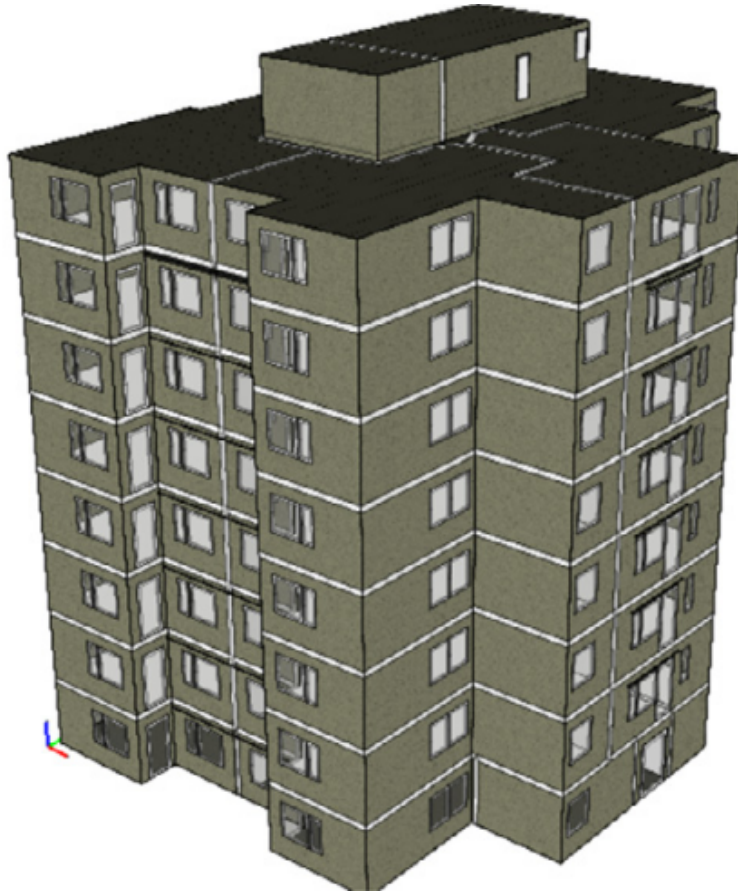
Beräkningsobjekt med Scenario 1 och Scenario 2

En del av detta projekt är att jämföra probabilistiska energiberäkningar med mätningar från verkliga objekt – i detta fall ett flerbostadshus, se Figur 3. Två beräkningsfall med olika indata har tagits fram, Scenario 1 (S1) och Scenario 2 (S2), för ett flerbostadshus. Syftet med två scenarion var att utvärdera hur indata kan påverka resultatet jämfört med energimätningar. Se (Ekström *et al.*, 2021) för mer information om hur indata kan påverka resultaten.

S1 togs fram för att visa resultatet av energiberäkningen med en minimumnivå på datakvalité. Mycket indata är baserat på standard indata från SVEBY, BEN och bedömningar från energiexperter.

S2 togs fram för att se hur energiberäkningsresultat ändras med andra indata källor som forskningsstudier, indata från aktuella objekt samt mer indata på det lokal nivå.

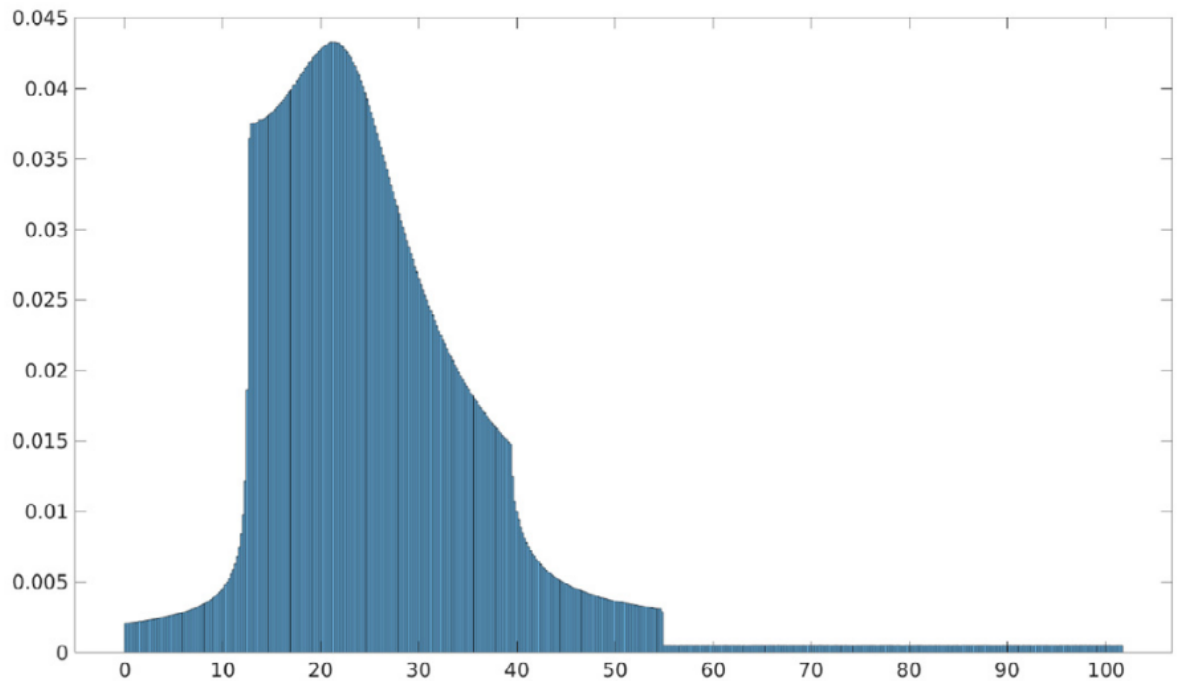
Flerbostadshuset har 8 våningar och energiberäkningsmodellen har 52 zoner. Objektet har byggts i flera exemplar i hela Sverige. Energianvändningen från över 100 objekt samlades in. Objekt som hade någon slags fel i mätdata eller saknade mätdata sorterades bort. Efter sorteringen hade man 28 objekt kvar.



Figur 3: IDA-ICE visualisering av beräkningsobjekt, ett flerbostadshus med 52 zoner. Samma modell byggdes i BIM (VIP) Energy.

Indata nivå – global eller lokal?

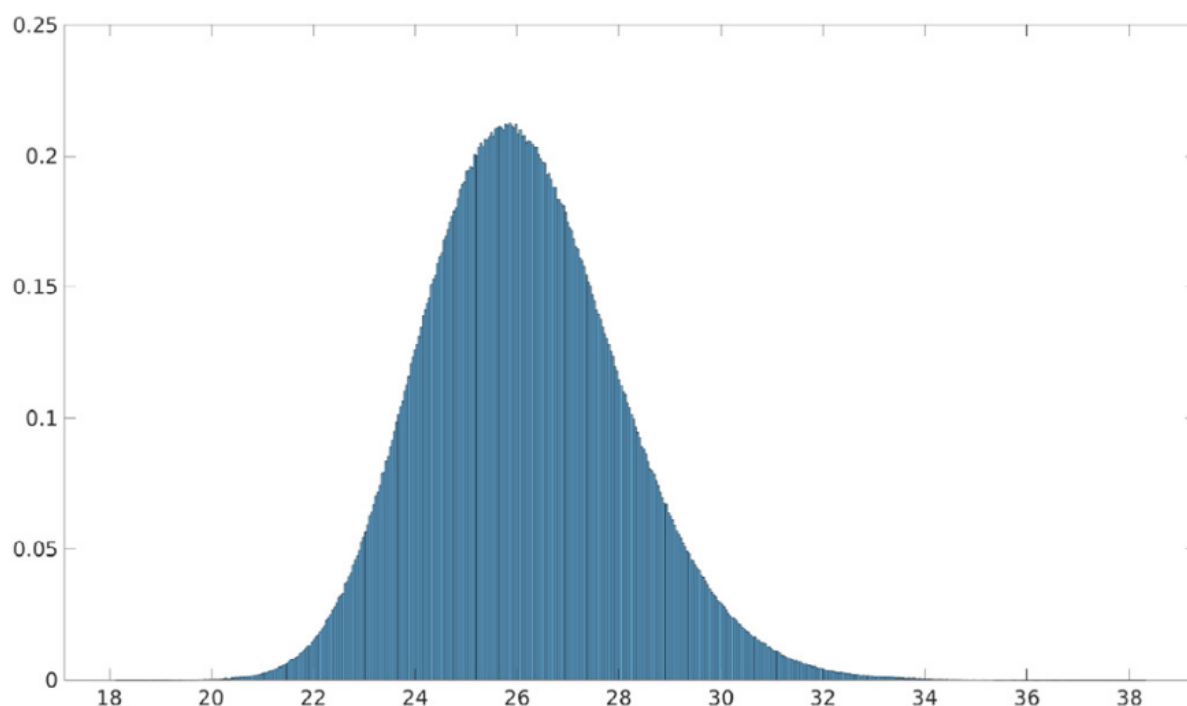
En annan viktig aspekt att ta hänsyn till innan man börjar jaga indata är att definiera på vilken nivå indata ska användas i energiberäkningsmodellen. Energiberäkningsmodeller kan vara indelade i "Zoner", speciellt för större eller mer komplexa byggnader. Det är viktigt att definiera om just den parametern kommer att variera zonvis, dvs lokal nivå eller om samma värde gäller för hela huset, dvs på en global nivå. Medelvärde av parametrarna, deras minimum- och maximumvärde samt fördelningskurvan form, se nästa avsnitt för mer information, är olika beroende på om parametern är på en lokal eller global nivå. Man får inte exakt samma resultat om man fördelar en lokal parameter globalt med motiveringen att de lokala parametrarnas variation delvis kommer att jämnas ut sig när man aggregerar dem. Ett bra exempel redovisades i Figur 4 där (Westin, 2019) på Skanska Teknik presenterade hushållsenergifördelning på över 3000 lägenheter i Sverige.



Figur 4: Exempel på hushållsel på den lokal nivå, baserat på mätdata från Westin (2019).

Om man skulle applicera fördelningen i Figur 4 aggregerat till en global nivå, då skulle samma fördelning se ut som i Figur 5. Om man antog att fördelningen på den globala nivån gäller även på en lokal nivå, då överskattas den lägre hushållselen och underskattas den övriga delen av hushållsenergi. Det innebär att resultatet kommer att ha en mindre spridning än den borde. Det kanske låter bra men som man kan se i ”

Beräknad vs uppmätt energianvändning i ett flerbostadstypus”, beräkningen behöver mer ”osäkerhet” eller en större spridning i indata för att kunna prediktera energianvändningen mer noggrant.



Figur 5: Indata från Figur 4 dock samplade på en global nivå.

Observera att distributionskurvorna ser olika ut beroende på om det är lokalt eller globalt.

Schema och profil

I samband med att indata ska vara globala eller lokala, vissa indata ska även vara kopplade till ett schema eller en driftprofil. Olika alternativ på driftprofiler kan provas för att se riskerna kopplat till olika användarbeteende. Profilererna kan vara baserat på timnivå (dygnsprofil) och/eller veckodag (veckoprofil) och/eller månader (årsprofil). Observera att vissa profiler har både dygns- och årsvariationer.

Exempel på profiler som har använts i detta projekt är:

1. Hushållsel (dygns-, vecko- och årsprofil)
2. Tappvarmvatten (dygns- och årsprofil)
3. Personbelastning (dygnsprofil)
4. Uttorkning av byggfukt (årsprofil)
5. VVC-förluster (årsprofil)
6. Köksventilation (årsprofil)
7. Vädringsförluster (årsprofil)

Mer information om dessa profiler finns under rapportdelen Faktorinventering – .

Fördelningskurvans form och redovisning av indata

I detta projekt, såväl som i etapp 1, (Burke *et al.*, 2017) har vi förenklat distributionskurvan till tre olika typer. Figur 6 visar de fyra olika sannolikhetsfördelningar som tilldelats indata. Om indata

hade en "normal" distributionskurva, då fick den en triangulär fördelning. Ett exempel var fördelning av A_{temp} . Om indata endast hade min/max-information och saknade underlag för att ta fram en fördelning lik (a) eller (c) i Figur 6, ansattes en enhetlig fördelning (b). Ett exempel är att SFP-tal fick en sned triangulär fördelning höger. Orsaken var att det redovisade värdet troligtvis blir det värde som var mest sannolikt medan man förväntar sig en försämring som sannolikt faller mot det mer ineffektiva. Dock är denna fördelning inte verifierad mot ett statistiskt underlag.

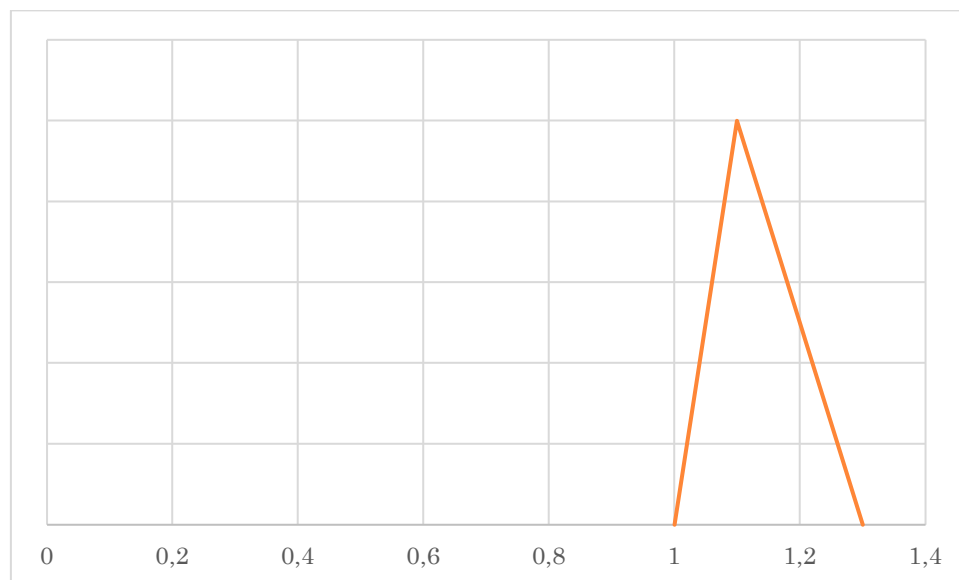


Figur 6: Illustrerar sannolikhetsfördelningarna som tilldelats indata i energisimuleringarna i fallstudien, (a) triangulär fördelning, (b) likformig fördelning, (c) sned triangulär fördelning, vänster respektive höger.

Vid redovisning av indata som används, är formatet "Sannolikhetsfördelning[min; medel; max]" där:

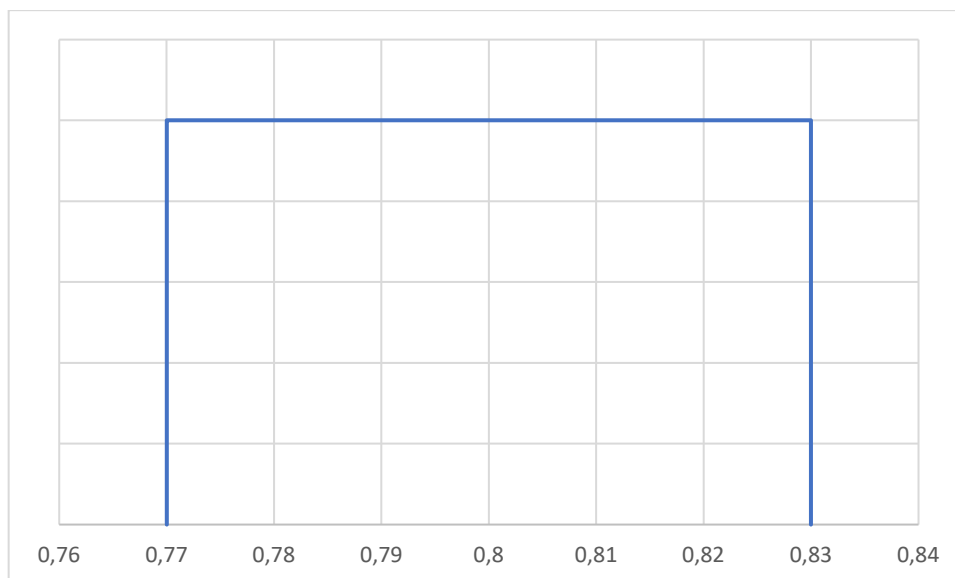
- T = triangulär fördelning
- U = likformig fördelning
- T_{SL} eller T_{SR} = sned triangulär fördelning vänster respektive höger.
- S = special fördelning.

Ett exempel på triangulär fördelning är U-värdet för fönster: Fönster T_{SR}[1,00; 1,10; 1,30]. Detta innebär att sannolikhetsfördelning är triangulärt, och börja med U-värdet = 1,0 W/m²K, har sin högsta punkt vid 1,1 W/m²K och avtar till max 1,3 W/m²K. I praktiken kommer de flesta energiberäkningar har ca 1,1 W/m²K medan enstaka beräkningar har 1,0 och 1,3 i U-värde. Detta visualiseras i Figur 7.



Figur 7: Exempel på sannolikhetsfördelningskurva för U-värdet av fönster, T[1,00; 1,10; 1,30].

En likformig fördelning används när statistiska underlag saknas och man kan inte generera en sannolikhetsfördelning. Ett exempel är värmeåtervinning i ventilationsaggregatet där vi antar att en roterande värmeväxlare kan återvinna mellan 77 % och 83 % av värmen men data saknas som redovisar sannolikhetsprofilen. Då blir indata redovisat så VVX återvinning U[0,77; 0,80; 0,83] som visualiseras i Figur 8. Med denna definition, kommer man ha lika många beräkningsfall med 0,77, 0,78, mm som med 0,83 eller tal däremellan.



Figur 8: Visualisering av sannolikhetsfördelningskurva för VVX återvinning $U[0,77; 0,80; 0,83]$

Faktorinventering – flerbostadshusexempel

För att se en sammanfattning av all indata i både S1 och S2, se Bilaga 1.

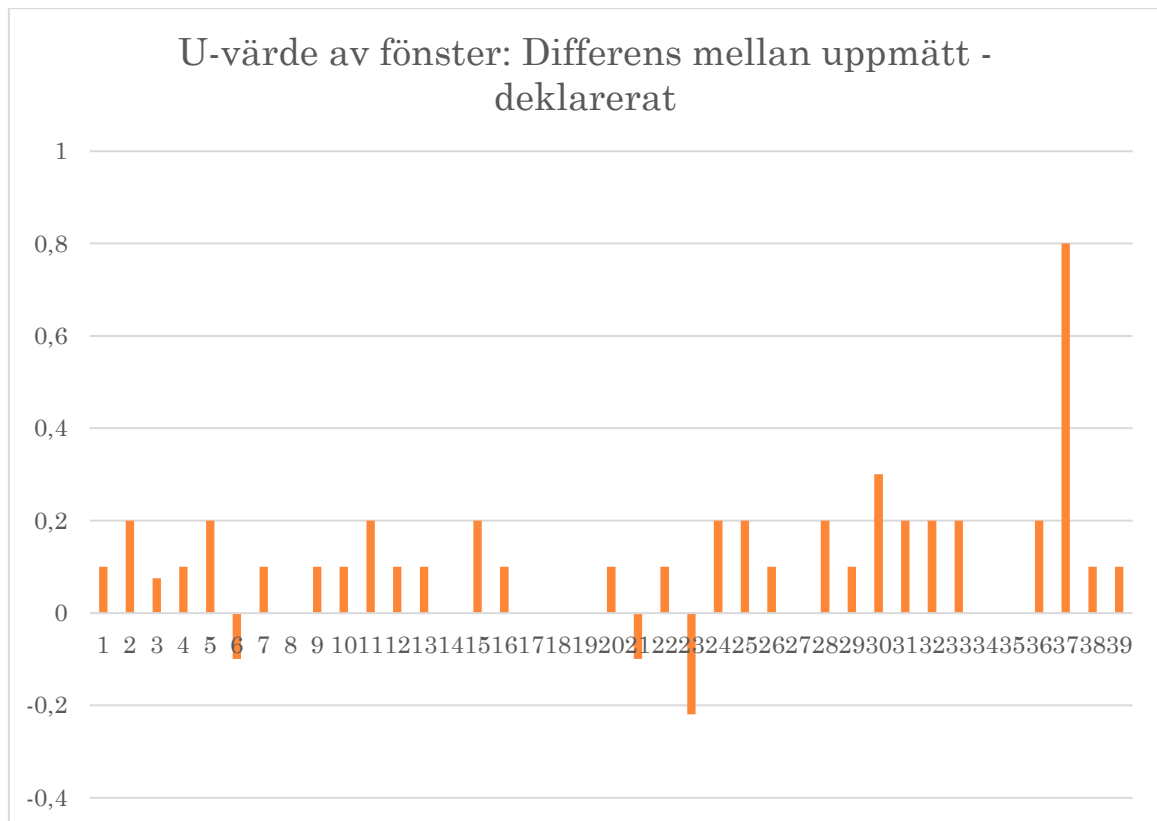
Fönster

U-värdet Fönster $T_{SL} [1,00; 1,10; 1,30]$ W/m²K.

Nu har projektet bestämt att det ska ha fönster med U-värdet 0,9 W/m²K. I en vanlig deterministisk energiberäkning då använder vi 0,9 W/m²K. I en probabilistisk energiberäkning med okänd design har man också använt 0,9 W/m²K som utgångspunkten. Men, i detta fall vi måste veta hur det ”riktiga” eller uppmätt U-värde för en 0,9 fönster blir i verkligheten. D.v.s. när vi köper ett fönster som är stämplat 0,9 W/m²K, hur stor skillnad kan det bli mellan den redovisade prestandan och den uppmätta prestandan. Enligt data från Boverket, samlades i del 1 (Burke *et al.*, 2017), vet vi att den verkliga prestandan hos ett 0,9 fönster oftast kan variera mellan 0,7 W/m²K och 1,1 W/m²K.

Första steget inom faktorinventeringen är klart, att definiera vilken min- och maxprestanda produkten har. Nästa steg är att definiera vilken typ av fördelning den produkten har, om denna data finns, samt bestämma på vilket minimum- och maximumvärde man vill använda i energiberäkningen. För att definiera fördelningen måste man ha data på energiprestandan hos många fönster med 0,9 W/m²K. Om man har ett bra statistiskt underlag, då kan man skapa en fördelningskurva. Ett problem är att dessa kurvor kan ha olika former och dessa måste definieras för varje parameter. Det andra problemet är att man ibland inte kan använda en standard fördelningskurva som exempelvis normalfördelning i modellen då extremvärdena kan bli orealistiska.

Underlag från Boverket (verifiering av CE-märkning) visade att fönster som har en deklarerad energiprestanda på 0,9 W/m²K kan ha ett faktiskt värde mellan 0,7 och 1,2 W/m²K, med ett extremt värde på 1,7 W/m²K. (Se Figur 9).

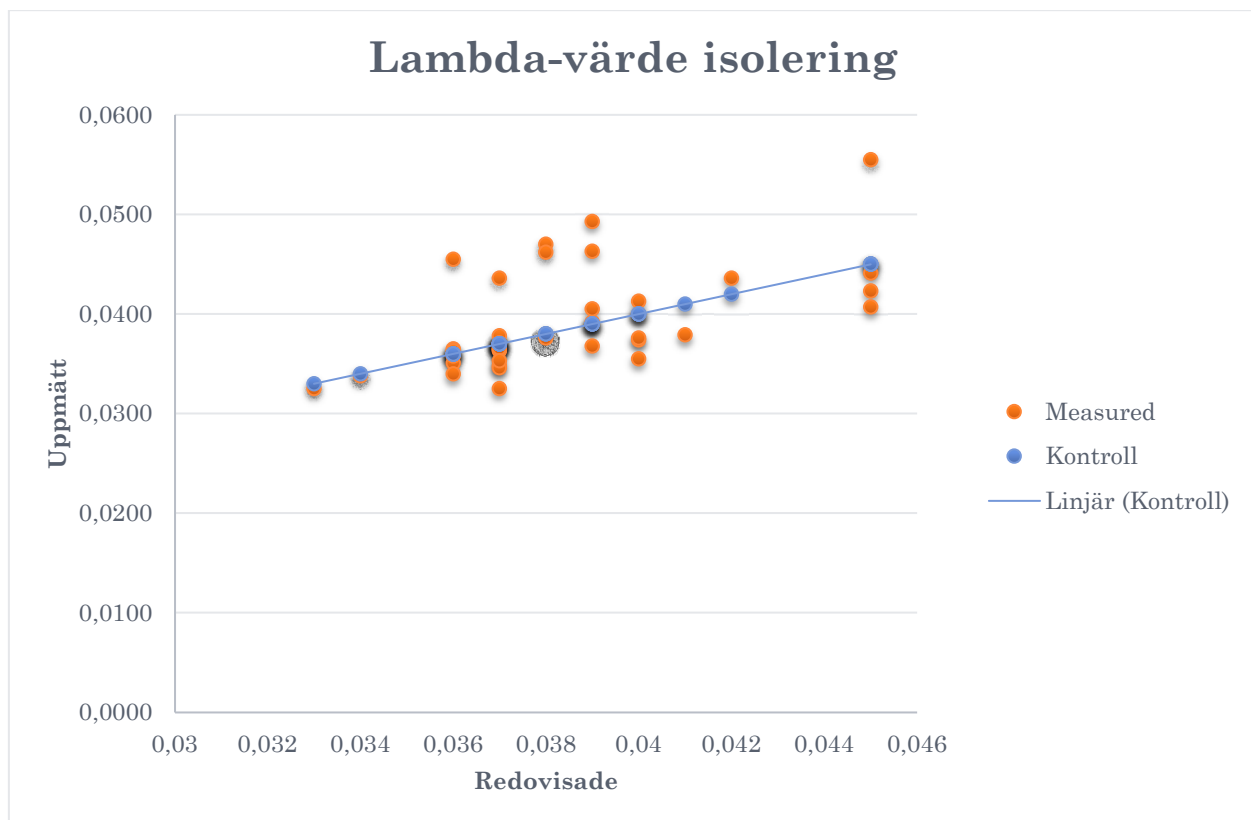


Figur 9: Exempel på skillnaden mellan deklarerat och uppmätt U-värde för 0,9 W/m²K fönster.

Lambdavärdet av isolering

Mineralull lambda-värde T [0,032; 0,038; 0,044] W/mK.

Lambdavärdet hos isoleringen, var en parameter som undersöktes i faktorinventeringen. Igen, data från Boverkets verifiering av CE-märkning användes. Flera olika märken av isolering med olika deklarerade energiprestanda analyserades. I detta fall, hittade man inget starkt samband mellan mineralullens deklarerade lambda-värde och det uppmätta lambda-värdet. I detta projekt valde man därför att använda den uppmätta spridningen på all mineralull och hantera mineralull som *ett* material oavsett vilket man valde i projektet. Se Figur 10.



Figur 10: Redovisad och uppmätt λ -värde för mineralull.

A_{temp}

A_{temp} bedöms olika av olika personer beroende på hur noggrant man räknar samt vilket antagande man gör. I Svebys energiberäkningstävling 2011 med ett flerbostadshus, varierade A_{temp} mellan 9500 m² och 13 300 m² där 10 252 m² var den bästa uppskattningen av A_{temp} med underlaget från fastighetsägaren. (Levin och Snygg, 2011 s. 13). En energiberäkningstävling från 2016 visade att A_{temp} i en skola kunde ligga mellan 1084 m² och 1209 m² beroende på hur man räknade. (Levin 2016 s. 14). Studien rapporterade även att 74 % av deltagarna hamnade inom ± 3 % av medelvärdet.

I denna studie, valdes därför en uniformspridning på ± 2 % på A_{temp} , men med olika utgångspunkter mellan S1 (T [2399, 2448, 2497] m²) och S2 (T [2519, 2570, 2621] m²). S2 A_{temp} är baserat på en mer noggrann uträkning av objektets uppvärmda area.

Köldbryggor

Variationer i köldbryggeberäkningar beror på användare och vilket antagande de gör. Vissa har köldbryggor som ett tillägg på $U \cdot A$ -värdet medan andra räknar ut vilken köldbrygga objektet har. Både energitävlingar från Sveby (Levin och Snygg 2011, och Levin 2016) visade hur köldbryggorna hanterades på olika sätt med olika metoder. I denna studie har det valts att ha två indata "Scenarios" där påverkan på olika metoder och spridningar undersöktes (se "

Beräknad vs uppmätt energianvändning i ett flerbostadstypus” för mer information om Scenario 1 och 2 eller S1 och S2).

S1 redovisar köldbryggorna som ett påslag på U*A-värdet i procent. S1 har 15 till 25 % påslag då flera bidrag i Energiberäkningstävling 2011 använde det. (Levin and Snygg, 2011)

S2 redovisar köldbryggor på detaljnivå baserat på skillnader mellan olika beräkningar utfört av olika personer inom NCC där flera energispecialister fick samma detalj och fick räkna ut vad de trodde var ett rimligt värde. Energispecialisterna hade olika erfarenhet. Resultaten redovisas i Tabell 1, och har en triangulär distribution.

Tabell 1: Indata till Köldbryggorna i S2.

Köldbryggor	Min	Des	Max
Kantbalk	0,115	0,227	0,339
Mellanbjälklag	0,078	0,090	0,102
Fönster & dörranslutningar	0,016	0,034	0,052
Takanslutning	0,072	0,117	0,161
Balkong	0,276	0,393	0,509
Ytterväggshörn	0,127	0,137	0,146

Lufttäthet

Lufttäthet T [0,10; 0,30; 0,50] l/sm² @ 50 Pa

Lufttäthet beror dels på detaljlösningar, dels på kvalitet av arbetet. I detta fall, detaljerna är genomarbetade då hustypen har byggts flera än ett hundra gånger inom Sverige. Problemet är att alla lufttäthetsprover för dessa hus bara gäller enskilda lägenheter och inte hela byggnaden som en helhet. Flera studier har tittat på samband mellan lufttäthet hos lägenheter eller moduler i jämförelse med ett helt hus men kom fram till att en uppenbar koppling inte finns (Wisth and Nilsson, 2011; Wisth and Kellner, 2012; Johansson and Spahic, 2016). ISO standard 9972:2015, (SIS, 2015) säger också att lufttäthetsvärdet bara gäller för det uppmätta området och kan inte översättas emellan, dvs att den uppmätta lufttäthet gäller bara för den uppmätta delen.

I denna studie valdes en stor spridning på lufttäthet, mellan 0,1 l/sm² @ 50 Pa och 0,5 l/sm² @ 50 Pa med en triangulär distribution då lufttäthetsprov av lägenheter i detta hus visade en lufttäthet på mellan 0,07 och 0,3 l/sm² @ 50 Pa. Tillsammans med kunskapen ovan valdes en stor spridning då inget lufttäthetsprov på hela hus har genomförts.

Fukt

Byggfukt S1: T [1,5; 3,3; 5,1] och S2: T [1,0; 2,2; 3,2] kWh/m²år.

Projektgruppen vill även kolla på den potentiella inverkan som uttorkning av byggfukt kan ha på objektet. I detta fall räknades ett påslag i kWh/m²år på energiberäkningsresultatet genom att anta olika mängder byggfukt, i detta fall 5, 11, och 16 kg/m³ fukt under första året huset är i drift (värsta scenario, S1). I detta fall räknade man bara med uttorkningsenergi under uppvärmningssäsongen (7 månader) i S2 samt med volymen betong i golvbjälklag då utfackningsväggar är trä. Resultaten var ett energipåslag på mellan 1,0 och 3,2 kWh/m²år. Observera att denna spridning gäller bara för den aktuella objekt och måste räknas fram för olika objekt.

I praktiken delade man upp uttorkningsenergi med en årsprofil, se Tabell 2 där man i S1 antog ett uttorkningsbehov hela året medan S2 antog bara under uppvärmningssäsongen.

Tabell 2: Årsprofil uttorkning byggfukt.

		Årsprofil	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Sum
Byggfukt uttorkning	S1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	S1		8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	100%
	S2	-	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	7
	S2		14%	14%	14%	14%	0%	0%	0%	0%	0%	14%	14%	14%	100%

SFP

SFP i S1 och S2: T_{SL} [0,75; 0,75; 1,05] kWh/m³s

Specific Fan Power, eller SFP visar hur mycket effekt en fläkt behöver i kW för att flytta 1 m³ luft varje sekund. SFP-tal som man utgick ifrån i denna studie var 0,75 kW/m³s. BBR-kravet för både till och frånluftsfläktar var 2,0 kW/m³s för den aktuella byggnaden.

I detta fall hittades ingen statistik på hur prestandan varierar mellan deklarerat värde och verklighet, men ett antagande gjordes att smuts under första året skulle kunna påverka fläktens prestanda. I detta fall antog vi att prestandan troligtvis kommer att ligga på det redovisade (0,75 kW/m³s och dagens BBR) och kunde bli sämre upp till ca 1,0 kW/m³s vilket motsvarade det gamla BBR kravet på SFP. Fördelningsform blev då en sned triangulär fördelning vänster.

Värmeåtervinning (FTX)

Värmeåtervinning FTX U [0,77; 0,80; 0,83] (*100 %)

Värmeåtervinning från en roterande värmexlare beskriver hur mycket energi som kan tas ifrån frånluften som kan skickas tillbaka i tilluften. Det finns studier som visar hur återvinning kan bero på temperaturerna, fukt, och damm/smuts men ingen dokumentation hittades på hur prestandan kan variera i en produkt. I detta fall tog vi en spridning som reflekterar den möjliga prestanda man kan förvänta sig i verkligheten med mellan 0,77 och 0,83 värmeåtervinning. Fördelningsformen antogs vara en enhetlig fördelning då underlag saknas för att kunna definiera spridningen av denna parameter. Med tanke på att definierat värmeåtervinning är framtaget i en labbmiljö med en fast utetemperatur och RF, är det rimliga att anta att verklig prestanda varierar med både väder och användarbeteende.

Till- och frånluftsflöde

Till och frånlufts-flöden hanterades på lite annorlunda sätt, dels för att ta hänsyn till under/övertryck i huset samt att ta hänsyn till injusteringsosäkerhet när det gäller både utrustning och injusteringspersonens säkerhetsmarginaler. Från samtal med injusteringspersoner, insåg vi i projektet att om det står ett visst luftflöde på ritningen, att så länge man fick ett flöde inom ett par l/s var man nöjd. I samband med injusterings av luftflödet, instrumentet som används för injusterings av luftflöde kan ha en mätosäkerhet på ±10 % och en kalibreringsosäkerhet på ±10 %. I detta fall blev då Frånluftsflöde T [27; 30; 33] l/s i S1 för alla lägenheter. Tilluften i S1 blir då:

$$\text{Tilluftsflöde} = \text{Frånluftsflöde} * (1 - \text{justeringsosäkerhet})$$

I S2, frånluftsflöden och tilluftsflöden delades upp på olika lägenhetsstorlek, samt definierades för alla de övriga ytorna. Utgångspunkten var det dimensionerande flödet för varje zon. Tilluftsflödet blir lika med frånluftsflödet – 2 l/s i lägenheterna men lika frånluftflödena i alla övriga ytor istället för att räkna ut det baserat på frånluftsflödet. Dessa grundflöden blir multiplicerat med en mätosäkerhet mellan 0,9 och 1,1, samt en injusteringsosäkerhet på mellan 0,9 och 1,1. I praktiken blir till- och frånluftsflöde i S2 enligt Tabell 3.

Tabell 3: Indata för till- och frånluftsflöde i S1 och S2.

Luftflöde - Frånluft		-	-	S1	S2
2 ROK	L	l·s-1		T [27; 30; 33]	T [19; 23; 28]
3 ROK	L	l·s-1		T [27; 30; 33]	T [20; 25; 30]
Trapphus + Övriga	L	l·s-1m-1		T _{SR} [0,2; 0,35; 0,35]	T _{SR} [0,2; 0,35; 0,35]
Fordonsrum	L	l·s-1			T [8; 10; 12]
Tvättstuga	L	l·s-1			T [15; 19; 23]
Förråd	L	l·s-1			T [32; 40; 48]
UC	L	l·s-1			T [12; 15; 18]
Mätosäkerhet	L	%		T [0,9; 1,0; 1,1]	T [0,9; 1,0; 1,1]
Kalibreringsosäkerhet	L	%		T [0,9; 1,0; 1,1]	T [0,9; 1,0; 1,1]
Luftflöde - Tilluft		-	-	-	-
2 ROK	L	l·s-1		-	T [17; 21; 26]
3 ROK	L	l·s-1		-	T [19; 23; 28]
Trapphus + Övriga	L	l·s-1		-	T [47; 58; 70]
Fordonsrum	L	l·s-1		-	T [8; 10; 12]
Tvättstuga	L	l·s-1		-	T [15; 19; 23]
Förråd	L	l·s-1		-	T [32; 40; 48]
UC	L	l·s-1		-	T [12; 15; 18]
Obalans	L	% /100		T [0,03; 0,05; 0,07]	-
Mätosäkerhet	L	%		T [0,9; 1,0; 1,1]	T [0,9; 1,0; 1,1]
Kalibreringsosäkerhet	L	%		T [0,9; 1,0; 1,1]	T [0,9; 1,0; 1,1]

Inomhustemperatur

Inomhustemperatur S1: 21 °C och S2: T [21; 22; 23] °C.

Inomhustemperaturen hanterades olika i S1 och S2. I S1 är spridningen på inomhustemperaturen baserat på en inställd inomhustemperatur på 21 °C och variationen är beroende på reglering av denna temperatur på ±0,5 °C.

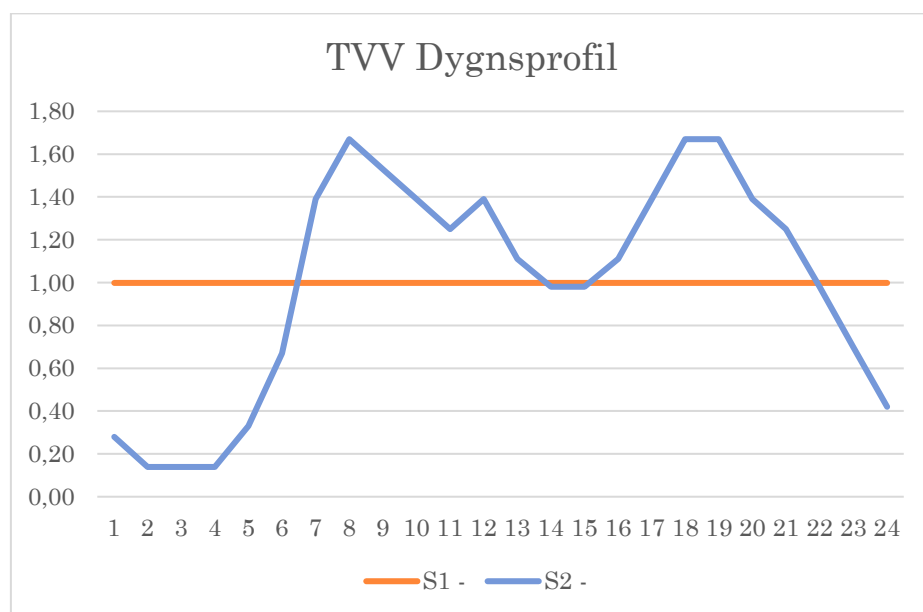
I S2 hade vi en spridning av inomhustemperatur med antagande att användaren kunde påverka den inställd temperatur (mellan 21 och 23 °C) sedan hade vi en regleringsjustering på ±0,5 °C på det. I både fall var spridningar på en lokal nivå med en triangulär spridning. Denna indata är baserat på figuren 4.20b i (Boverket, 2009) som visar inomhustemperaturfördelning i lägenheter. Deras indata är baserad på ELIB och BETSI studier.

Tappvarmvatten

Tappvarmvatten S1: T [15,0; 25,0; 35,0] och S2: U [5,0; 14,5; 24,0] kWh/m²år.

Tappvarmvatten hanterades på två olika sett mellan S1 och S2. I S1, utgick vi ifrån SVEBYs rekommendation på 25 kWh/m²år för ett flerbostadshus. (Levin, 2012) För den antog vi att man kan få en triangulär fördelning med ± 10 kWh/m²år.

S2 hade lite andra värde på [5,0 14,5 24,0] med en likformig spridning i kombination med både en årsprofil och en dygnsprofil då flera studier (Bagge, Johansson och Lindstrie, 2014; Andersson och Larsson, 2018) visar att tappvarmvattenanvändning varierar kraftigt beroende på vilka timme på dagen det är, vilken dag samt vilken månad det är. I denna studie har man genererat indata med hänsyn till vilken timme på dagen det var samt vilken månad. Se Figur 11 och Tabell 4.



Figur 11: Dygnsprofil för TVV som användes i S1 och S2.

Tabell 4: Årsprofil för TVV som användes i S1 och S2.

Årsprofil	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Sum
S1 -	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
S2 -	1,25	1,22	1,15	1,00	0,88	0,78	0,73	0,75	0,83	1,00	1,16	1,25	12

VVC

VVC-förluster S1 och S2: T [2,0; 4,0; 6,0] kWh/m²år.

VVC-förlusterna är baserade på SVEBY och antogs vara mellan 2 och 6 kWh/m²år, utanför uppvärmningssäsongen. Denna energiförlust är samma i S1 och S2 och har en triangulär fördelning på en global nivå. Andra studier visar att detta antagande kan vara för lågt i många fall och att den lägre nivån i spridningen kan vara osannolik men att medelvärdet och den högre delen av spridningen är ganska vanligt för nybyggda hus. (Kempe, 2013; Lindencrona och Lindsköld, 2014; Alros, 2015; Bergqvist, 2015; Burke *et al.*, 2021) Enligt en nyligen publicerad studie (Burke *et al.*, 2021) bör denna spridning för nybyggda flerbostadshus vara T_{SR}[3,0; 5,0; 15,0] med ett högre maximalt värde på ca 15 kWh/m²år med högsta punkten vid 5 kWh/m²år och minimipunkten på ca 3 kWh/m²år.

Denna förlust är jämnt fördelat i S1 under hela året, men i S2 är denna energiförlust bara med under sommaren (utanför uppvärmningssäsongen) då den inte ger någon nytta i huset men kan istället bidra till överhettning. Se Tabell 5. Det är viktigt att notera att denna profil måste anpassas efter byggnadens gränstemperatur, eller den utetemperatur där värmesystemet kommer igång.

Tabell 5: Årsprofil för VVC förluster.

		Årsprofil	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Sum	
VVC-förluster	S1	S1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
		S1	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%
	S2	S2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	5
		S2	0%	0%	0%	0%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	0%	0%	0%	0%

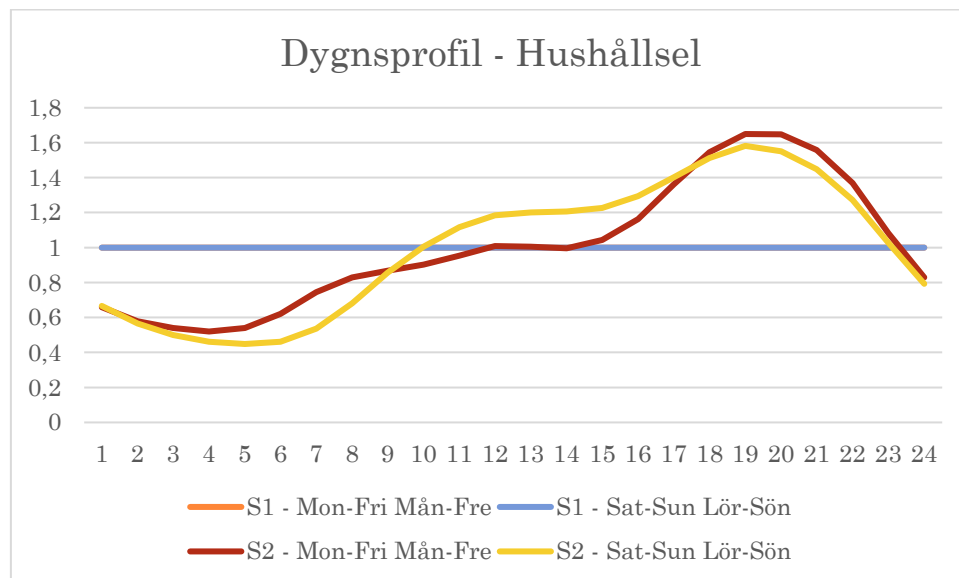
Hushållsel

Hushållsel S1: T [20,0; 30,0; 40,0] och S2: T_{SL} [2,0; 23,0; 102,0] kWh/m²år

Hushållsenergi är en viktig parameter då det i praktiken blir en gratis uppvärmningsenergi som gör att huset kan dra lite eller mycket värme/kylningsenergi. Det är även den parameter som en flerbostadshusägare har minst möjlighet att påverka.

I S1 antog vi en triangulär fördelning med 30 ± 10 kWh/m²år på en lägenhetsnivå. Denna spridning är baserad på Sveby med en antagen spridning. S1 använde samma hushållsel 24/7 under hela energiberäkningen och ingen dygns-, vecko-, eller årsprofil användes för indata.

I S2 användes en annan hushållselsprofil, se Figur 4, baserad på mätningar i över 3000 lägenheter som Skanska genomförde (Westin, 2019). Till indata, använde man även en dygnsprofil, veckoprofil samt årsprofil enligt Figur 12, Tabell 6, och Tabell 7. Profilerna lades till i energiberäkningsprogrammen.



Figur 12: Dygnspröfil för hushållsel för S1 och S2(Westin, 2019) .

Tabell 6: Årsprofil för hushållsel för S1 och S2 (Westin, 2019).

Årsprofil	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Sum
S1 -	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
-	8,3%	8,3%	8,3%	8,3%	8,3%	8,3%	8,3%	8,3%	8,3%	8,3%	8,3%	8,3%	100%
S2 -	1,11	1,09	1,03	0,97	0,92	0,87	0,81	0,93	0,98	1,05	1,1	1,14	12
-	9,3%	9,1%	8,6%	8,1%	7,7%	7,3%	6,8%	7,8%	8,2%	8,8%	9,2%	9,5%	100%

Tabell 7: Veckoprofil för hushållsel för S1 och S2 (Levin, 2012; Westin, 2019).

Veckoprofil	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Sum
S1 -	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	4,9
S2 -	0,98	0,98	0,961	0,97	0,97	1,04	1,1	7,0

Köksfläkt

Köksfläkt S1 och S2: T_{SL} [1; 2; 4].

Luften från köksventilationen innehåller olika matlukter och fetter som skulle minska värmeväxlarens effektivitet om de tillåts kondensera och utgör en risk för läckage av föroreningar till tilluften. Orsaken till denna förlust är aktiveringen av funktionen för att kringgå värmeåtervinningen (roterande värmeväxlare) i det centrala ventilationsaggregaten när den används. Effekten blir att värmen från köksfläkts luftflöde inte återvinns och används för att förvärma tilluften. Sålunda, vid användning, ökar ventilationens värmeförluster och frånluftsfläkts elanvändning eftersom luftflödet ökar. Dessa förluster läggs inte till modellen dynamiskt. Köksventilationsförlusterna är beroende av följande faktorer; luftflöde, inomhus- och utomhustemperatur, användningstiden för funktionen, antalet bostäder i byggnaden och justeras baserat på den energi som annars skulle ha återvunnits med hjälp av värmeväxlaren. Vid beräkning av den stokastiska parameterns variation var den inkluderade och kvantifierade osäkerheten användarens varaktighet. I både S1 och S2 användes det standardiserade värdet för användningen av köksventilation på 30 min per dag per bostadsenhet från Sveby (Levin, 2012). Designvärdet behölls samtidigt som en variation i användningslängden lades till, antagen vara ± 15 minuter per dag, för att kvantifiera osäkerheten med en triangulär fördelning.

I praktiken blev det ett påslag på mellan 1 och 4 kWh/m²år på en globalnivå med en sned triangulär fördelning vänster.

Vädringsförluster

Vädring S1 och S2: T [3,0; 4,0; 6,0] kWh/m²år.

Vädringsförlustens källa är öppningen av fönster och dörrar i byggnaden som leder till en okontrollerad ventilation mellan inomhus- och utomhusluft. Modellering av denna parameter är svår eftersom värmeförlusten beror på vilka antaganden som används, såsom hur länge fönstret står öppet samt hur mycket fönstret är öppet. En studie av Hamid och Ibrahimovic (Abdul Hamid och Ibrahimovic, 2013) visade att energiförluster kan vara mellan 0 och 20 kWh/m²år, även om i många fall, energiförlusten var i den nedre delen av denna spridning. En nyligen genomförd studie (Levin, Bergsten och Kempe, 2018) som mätte tiden och antalet dörrar och fönster som var öppna med hjälp av magnetremsor hittade en korrelation mellan utomhustemperatur och öppning av fönster (mindre öppna fönster vid lägre utomhustemperatur) och uppskattade påverkan på byggnadens energiförlust till mellan 3 och 8 kWh/m²år. Istället för att modellera parametern dynamiskt med okända indata - som försökte ta hänsyn till alla dessa parametrar - användes i detta projekt en förenklad modell där de totala årliga luftförlusterna uppskattades baserat på ett standardiserat värde. Det standardiserade värdet för denna parameter i Sverige är 4 kWh/m²år (Svensson, 2017). Baserat på

det standardiserade värdet och de studier som nämnts ovan, uppskattades variationen av luftförlusterna till 4 ± 2 kWh/m²år, med en triangulär fördelning på global nivå, som ett fast tillägg till beräkningsresultatet.

Personbelastning

Personbelastning S1 och S2:

- Boende 2 R&K: T [1,19; 1,63; 2,07] personer per zon.
- Boende 3 R&K: T [1,74; 2,18; 2,62] personer per zon.

Personbelastning i både S1 och S2 är baserat på Sveby rekommendationen och 3H projektets observationer för lägenheter. (Engvall *et al.*, 2005; Levin, 2012) Spridningen antas vara triangulär med en antagen spridning på $\pm 0,44$ personer per lägenhet.

SOLENERGIPRODUKTION

En parallell undersökning på solenergiproduktion genomfördes i projektet för att utvärdera hur produktionen kan variera under åren med små variationer i fem parametrar. Det antogs att solcellerna behåller samma effektivitet under tiden. Parameterstudier för solcellsinstallationer gjordes med beräkningsprogrammet PVsyst (Mermoud and Viloz, 2021). Programmet ger användaren möjlighet att köra flera simuleringar i följd utan att nya indata måste matas in. Istället kan en fil skapas där indata för de olika simuleringarna specificeras. PVsyst har också flera andra fördelaktiga funktioner så som skuggberäkningar, horisontprofiler, förlustberäkningar på grund av exempelvis nedsmutsning samt motståndsförluster i kablage.

Faktorinventering solenergiproduktion

De parametrar som varierades i studien var;

1. Lutningsvinkel

Lutningsvinkeln mäts från horisontalplanet och definieras som 0° i horisontellt läge.

2. Azimutvinkel

Azimutvinkeln definieras som den vinkel solcellerna vridits bort från söderriktning. Vinklar mot väst definieras som positiva.

3. Nedsmutsning

Nedsmutsningens effekt är att den minskar solstrålningen som träffar solcellerna.

4. Förluster i kablage

Kabelförlusterna definieras i simuleringarna som en procentuell förlust vid STC (standard test conditions).

Två olika indatafiler skapades. I den ena filen antogs det att byggnadens riktning (väst/öst) inte var bestämt. Samma sak gällde då för taklutningen. I den andra filen antogs det att husets riktning samt takets lutning var bestämt men att det kunde finnas mindre variationer och mätonoggrannheter.

Tabell 8: Variationer i indata för indatafil 1 och indatafil 2.

Parametrar	Indatafil 1	Indatafil 2	Sannolikhetsfördelning
Lutningsvinkel	[0°:45°]	[-5°:5°] avvikelse från projekterad takvinkel	U (Indatafil 1) T (Indatafil 2)
Azimutvinkel	[-90°:90°]	[-5°:5°] avvikelse från projekterad vridning	U (Indatafil 1) T (Indatafil 2)
Nedsmutsning	[2 %:6 %]	[2 %:6 %]	U
Kabelförluster AC	[1 %:2 %]	[1 %:2 %]	U
Kabelförluster DC	[1 %:2 %]	[1 %:2 %]	U

Totala kabelförlusterna skapades som en kombination av kabelförluster på AC samt på DC sidan. Denna förlust erhöles genom multiplikation av vardera förlusts komplement enligt ekvation 1,

$$Loss_{tot} = 1 - (1 - Loss_{AC}) \cdot (1 - Loss_{DC})$$

Andra viktiga parametrar som är avgörande för resultaten presenteras i Tabell 9.

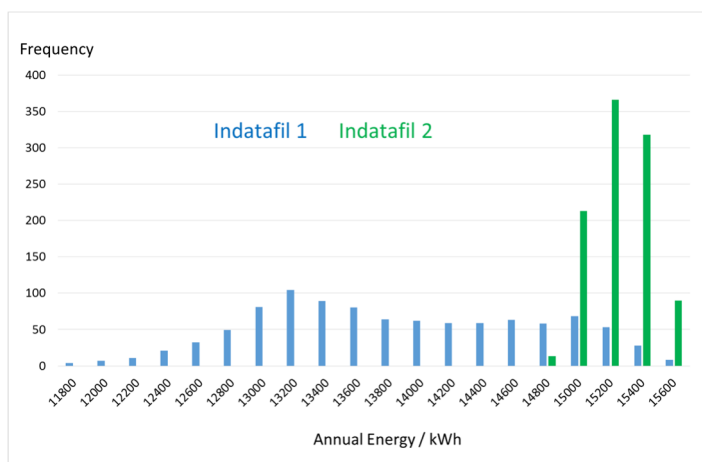
Tabell 9: Fast indata till PVsyst.

Parameter/data	Indata	Kommentar
Klimatfil	Egen klimatfil från Malmö	SVEBY/SMHI
Solcellsmoduler	14,9 kW _p	16 moduler per sträng 3 strängar
Växelriktare	12 kW	
Värmeförlustfaktor för konvektion	20 W/(m ² ·K)	Motsvarar semiintegrerade moduler
Egenförbrukning	1 970 W	Kontinuerlig förbrukning
Horisontskuggning	Ingen	
Närliggande skuggning	Ingen	
Markreflektans	0,2	
Systemet ur funktion	Aldrig	

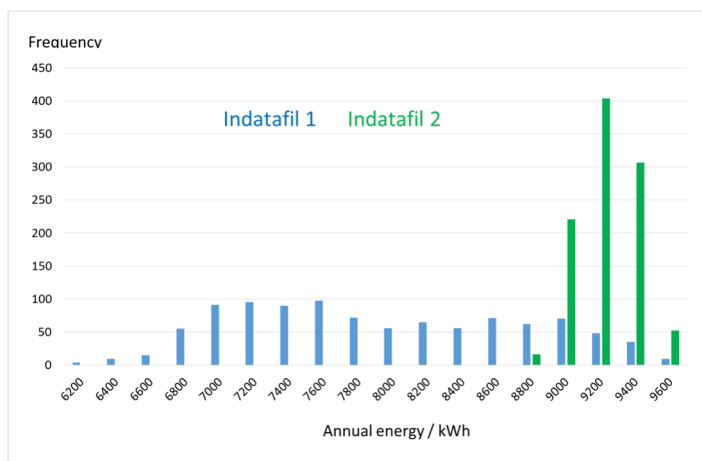
För varje indatafil skapades 1 000 olika simuleringsfall utifrån sannolikhetsfördelningarna för de respektive parametrarna. De 1 000 olika fallen simulerades och data sorterades i histogram. Storleken på intervallen i histogrammen varierades beroende på spridningen i resultaten.

Resultat av solenergiproduktionsberäkningar

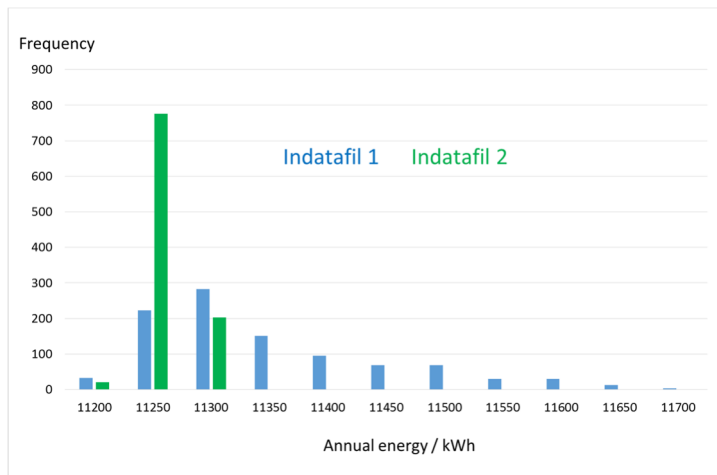
I figurerna 9-13 visas histogram över eleffekt ut från växelriktare, energi som skickas/säljs till elnätet, energi som kommer från/köps från elnätet samt elenergi som kommer från solcellerna under året. De två olika indatafilerna som presenterades i Tabell 8 ses i blått samt i grönt. Graferna visar en större spridning av resultaten från indatafil 1 jämfört med resultat från indatafil 2. I Figur 13 samt i Figur 14 skiljer sig de lägsta från de högsta värdena med 34 % respektive 57 % för indatafil 1. I Figur 15 och i Figur 16 skiljer sig värdena med 4,6 % respektive 9,2 %. Anledningen till detta förklaras i Figur 17 som visar eleffekt ut från växelriktaren i streckade linjer och energi från nätet i heldragna linjer. I rött visas effekter för ett simuleringsfall med låg elproduktion och i blått visas effekterna för ett simuleringsfall med hög elproduktion. Det syns tydligt att den höga eleffekten från växelriktaren enbart får en liten inverkan på eleffekten som tillförs från nätet.



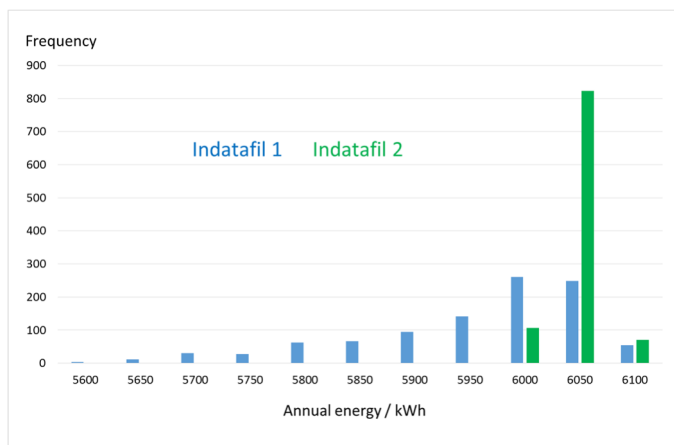
Figur 13: Histogram som visar årlig energi ut från växelriktare. I blått resultat från indatafil 1 och i grönt resultat från indatafil 2.



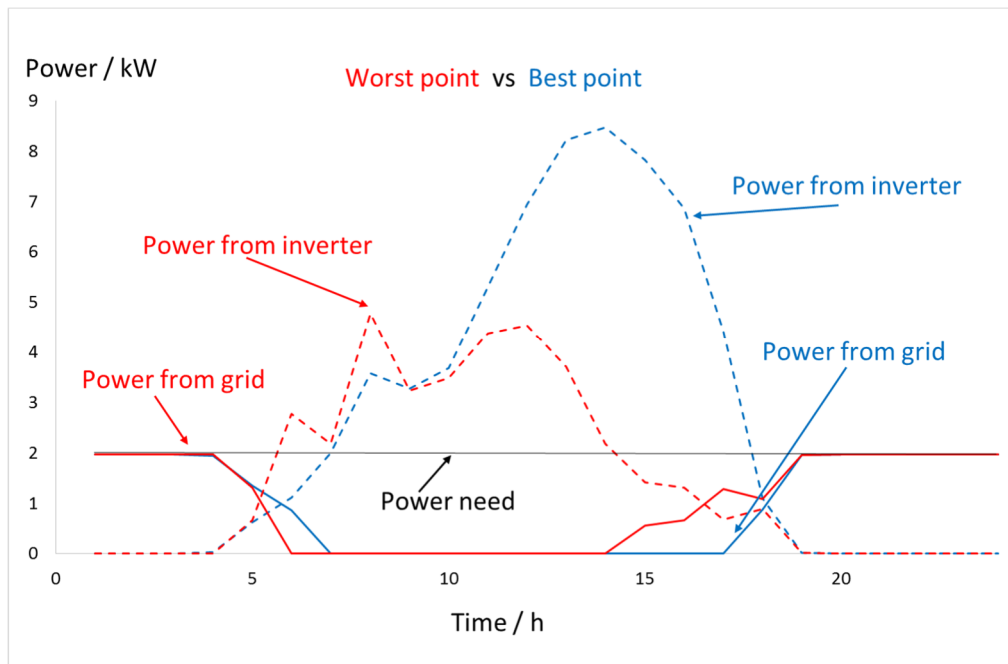
Figur 14: Histogram som visar årlig energi som skickas ut till nätet. I blått resultat från indatafil 1 och i grönt resultat från indatafil 2.



Figur 15: Histogram som visar årlig energi som kommer från nätet. I blått resultat från indatafil 1 och i grönt resultat från indatafil 2.



Figur 16: Histogram som visar årlig energi som kommer från solcellerna. I blått resultat från indatafil 1 och i grönt resultat från indatafil 2.



Figur 17: De streckade graferna visar effekt från växelriktare under en dag. De heldragna linjerna visar energi som kommer från nätet. I rött visas en låg daglig elproduktion och i blått visas en hög daglig elproduktion.

BERÄKNAD VS UPPMÄTT ENERGIANVÄNDNING I ETT FLERBOSTADSTYPHUS

Inom projektet har vi betraktat två uppsättningar indata, S1 och S2. Denna del presenterar jämförelsen mellan beräknad och uppmätt energianvändning från 28 identiska byggnader samt försöker förklara några av avvikelserna.

Observera att mätningarna är overifierade i mätobjekten då energibalansen i alla objekt inte är kartlagda, då detta inte var inom ramen för projektet. Mätningar är genomförda av NCC som en del av NCC:s energiuppföljning i enlighet med NCC:s interna rutiner och uppfyller mätningskravställningen enligt Boverket. Mätutrustningen som användes var mätare som är godkända för debitering av el eller fjärrvärme samt ett par undermätare. Det kan fortfarande finnas problem med fel i utrustningen eller att vissa mätningsutförande togs bort. En intern granskning inom NCC har bedömt att alla objekt som redovisas i denna rapport har liten risk för mätfel. Alla objekt där mätningarnas kvalitet inte kunde bekräftas eller där uppenbara fel hittades togs bort från underlaget.

Då alla objekt hade olika geografiska område i Sverige samt hade mätdata från olika år, behövdes data genomgå en normalisering av mätningar. Energimätdata som bidrar till uppvärmning av huset är normalårs korrigerat av energileverantören, i detta fall fjärrvärmeleverantören. Fastighetselen är inte korrigerat. Det innebär att den uppmätt energi i NCCs databas är redovisat som en normalårsanvändning och då blir jämförelsen mellan olika årtal enklare.

För att korrigera mot vart i landet objektet befinner sig, gjorde vi en korrigering enligt Boverkets geografisk justeringsfaktorer, som enligt Boverket (Boverket, 2021), är framtagen för att justera alla byggnader mot klimatet i Eskilstuna för att kunna jämföra samma hus i olika ställen i Sverige. För att kontrollera om Boverkets geografiska justeringsfaktor kunde användas för att producera jämförbara mätresultat, gjordes en analys av Ekström (2021) på sidor 78-80 som visade att uppvärmningsenergi blev tillräckligt bra att jämföra mellan objekt i olika städer efter man justera enligt Boverkets geografiska justeringsfaktorer.

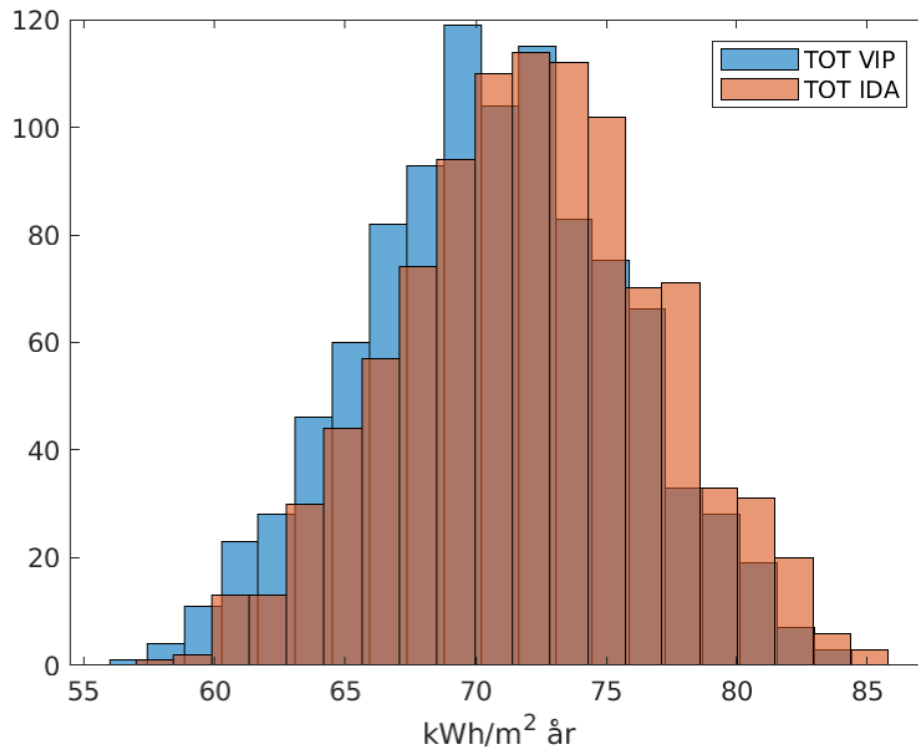
Beräkningstid

Beräkningstiden är något som många oroar sig för. Den riskerar bli lång när komplexiteten ökar om man kör beräkningsmodellen på en lokal PC. Modelloptimering kan reducera beräkningstiden signifikant men beräkningstiden kan reduceras radikalt med olika moln-beräkningstekniker även för komplexa och stora beräkningsmodeller. I en moln-miljö beställer användaren själv antalet beräkningskärnor som skall användas samtidigt. Då beräkningarna inte är beroende av varandra man kan beställa en kärna per beräkningsfall. I det fallet blir beräkningstiden för 1000 fall med 1000 kärnor lika lång som en deterministisk energiberäkning. Att använda en processorkärna i en timme kostar ungefär en krona (2022 pris), så lösningen är även kostnadseffektiv då det största kostnaden ligger på energispecialistens tid.

Byggnadens energianvändning

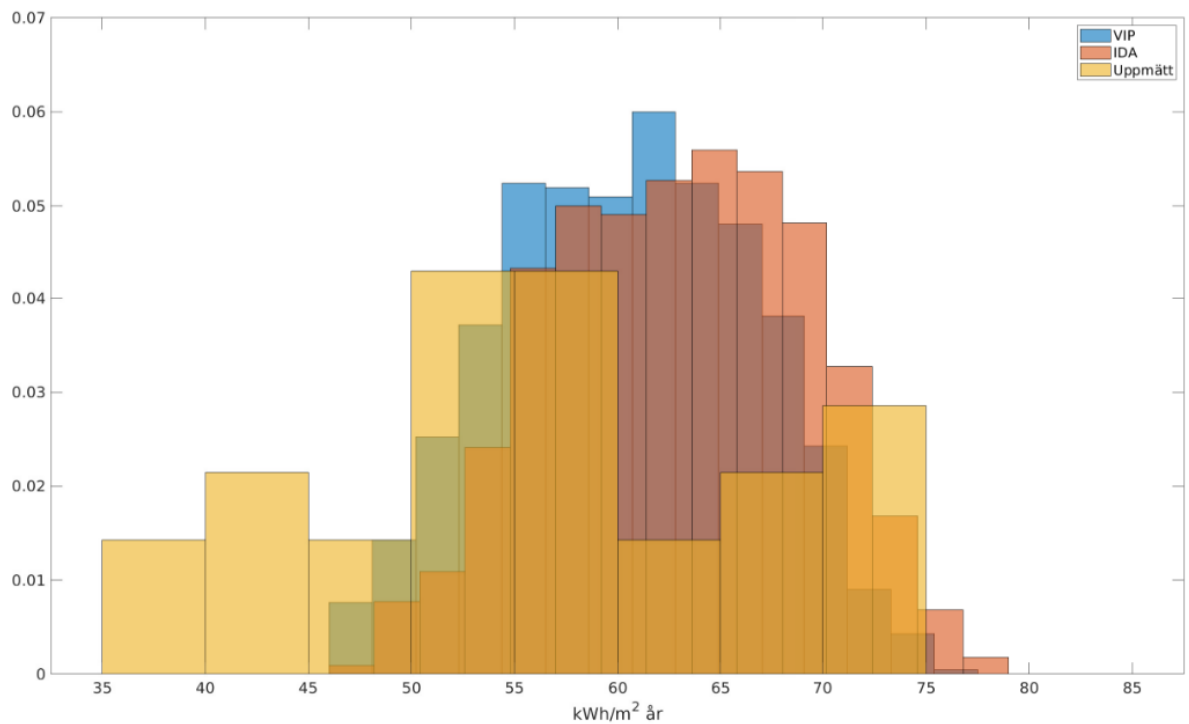
Byggnadens energianvändning är definierat enligt § 9:12 i BBR (Boverket, 2020) och innebär energi för uppvärmning av huset, TVV, VVC samt fastighetsenergi. Hushållsenergi ingår inte i redovisning av beräkningen eller resultatet.

Resultaten för S1 redovisas i Figur 18. Både energiberäkningsprogram visar liknande resultat.



Figur 18: Den totala beräknade energianvändningens fördelningskurva av S1.

Resultat för S2, samt mätningar från 28 objekt redovisas i Figur 19.



Figur 19: Den totala beräknade fördelningskurvan för energianvändningen för S2 jämfört med uppmätt energianvändning i 28 flerbostadshus.

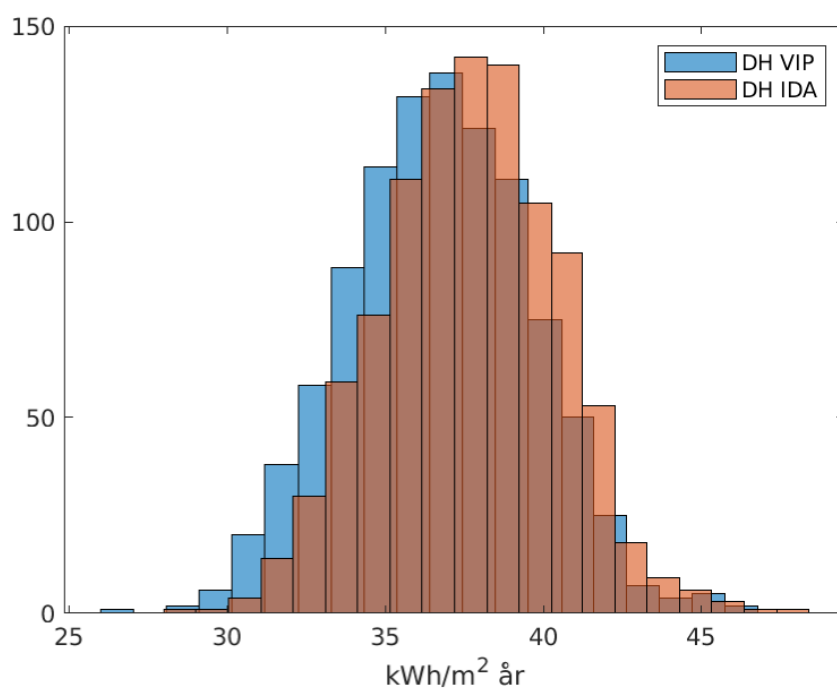
Både fall, S1 och S2 visar att energiberäkningen har ett högre resultat än det uppmätta resultatet. Observera att det uppmätta resultatet ligger helt inom det beräknade så en observation är att, även med osäkra indata man har observerat objekt med en energianvändning inom hela beräkningsområdet.

Resultaten ställer fler frågor än man får svar. Varför kunde beräkningen förutspå den högre delen av energianvändningen men inte den lägre delen? Kan det förklaras med att det finns fel i mätningarna? Saknas det mätvärde? Om mätningar är rätt, betyder det att vissa spridningar på indata är för smala eller konservativa? Är indata till energiberäkningarna för konservativa?

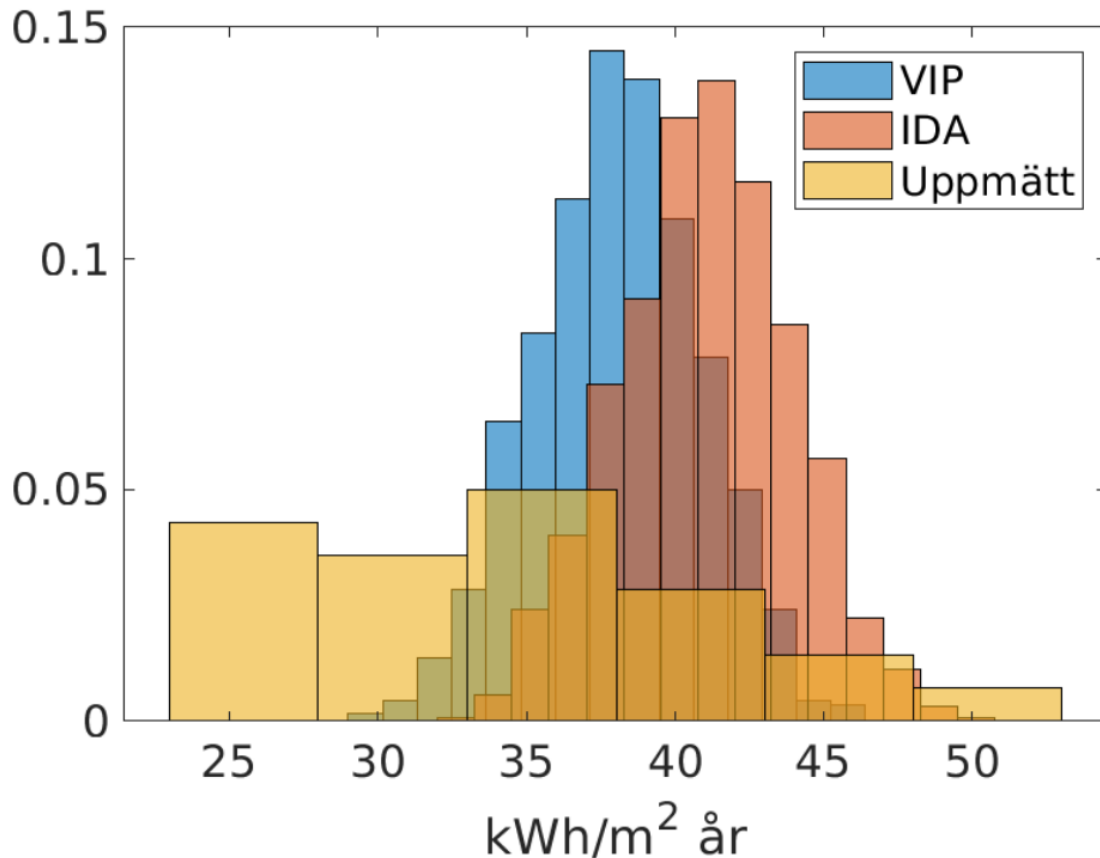
För att svara på alla dessa frågor krävs en energikartläggning av varje objekt för att säkerställa att energimätningssystemet är korrekt, samt vilken indata objektet hade för att uppnå den uppmätta energiprestandan. För att se om en möjlig förklaring kunde hittades för avvikelserna, har vissa tillgängliga parametrar analyserats.

Uppvärmningsenergi/fjärrvärme

Figur 20 redovisar den beräknade uppvärmningsenergin (fjärrvärme) för S1 medan Figur 21 redovisar den beräknade uppvärmningsenergin för S2 samt uppmätt uppvärmningsenergi i 28 objekt.



Figur 20: Den beräknade fördelningskurvan för fjärrvärme för S1.



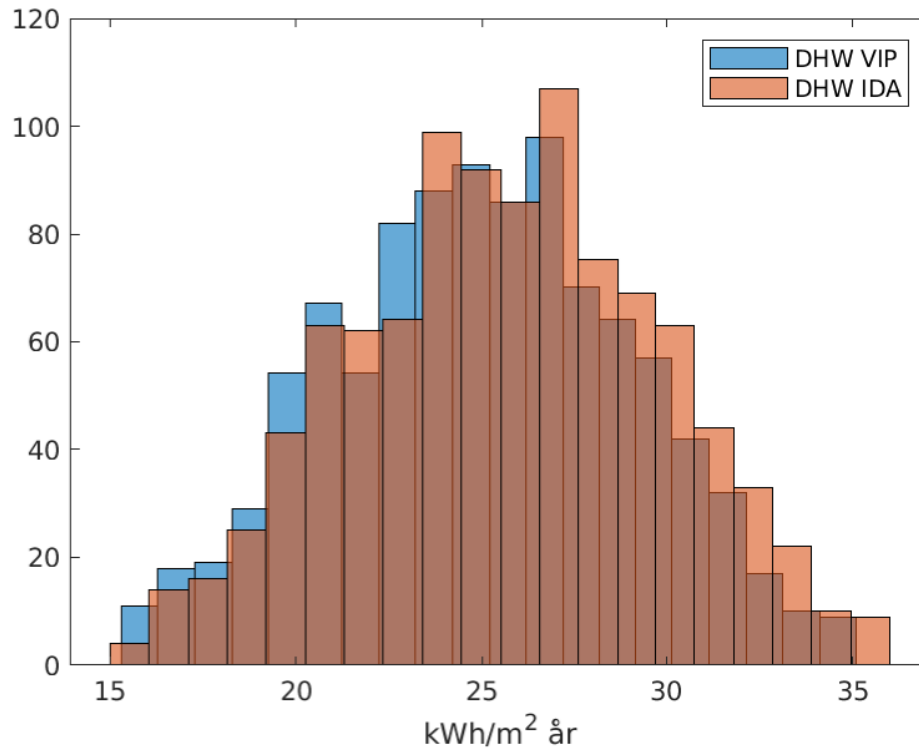
Figur 21: Den beräknade fördelningskurvan för fjärrvärme för S2 jämfört med uppmätt fjärrvärme i 28 objekt.

I detta fall kan man se att S1 har ett lägre uppvärmningsbehov (25-45 kWh/m² år) än S2 (35-55 kWh/m²år) vilket stämmer bättre med det uppmätta resultatet. Det kan vara så att här kan man se hur den nya hushållsenergin i samband med fasta tillägg kan påverka energiberäkningen. S1 använde SVEBYs rekommendationer som var konstant. S2 använde mättningsresultat med flera detaljerade profiler. En indikation av vad som har hänt kan man se när man jämför hushållselen enligt fördelningsprofilen i Figur 5 (som blir T[22; 26; 32]) jämfört med den definierade fördelningsprofil för S1 : T [20,0; 30,0; 40,0]. Jämförelsen visar att profilen i S2 är lägre vilket innebär att värmesystem behöver avge mer värme för att behålla inomhustemperaturen. Dessutom tillkommer flera profiler i S2 som gör att mer av denna värme avges under en kortare tid, och då under resterade tid behöver värmesystem bidra med lite mer värme för att bibehålla inomhustemperaturen.

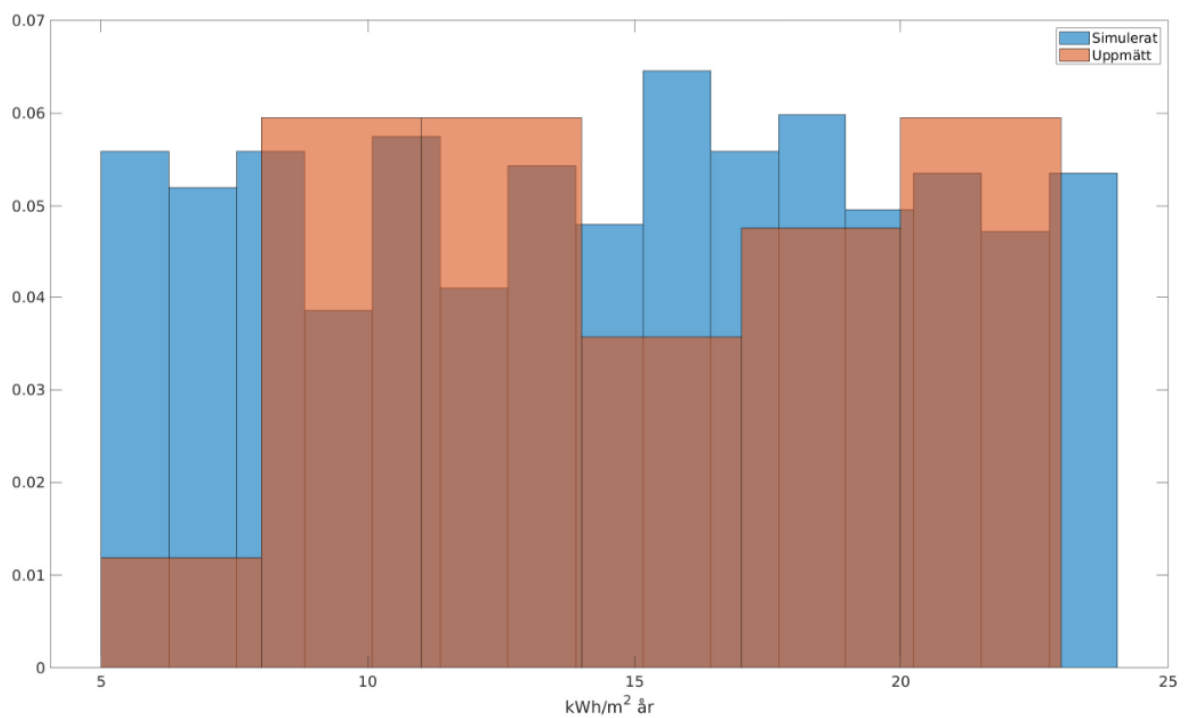
En annan viktig aspekt, som tas upp i Ekström på sidan 63 (Ekström, 2021; Ekström *et al.*, 2021) är att om man tar bort vissa fasta påslag så som vädring, byggfukt och köksfläktspåslag som vanligtvis används som säkerhetsmarginal i deterministiska energiberäkningar, då flyttas den beräknade uppvärmningsfördelning (och totala beräknade energianvändningsfördelning) ner ca 10 kWh/m²år vilket är mer i linje med det uppmätta resultat för både S1 och S2.

Tappvarmvatten

För att bedöma om den beräknade tappvarmvattensenergin speglade verkligheten, togs det fram mätresultat från ett par objekt på lägenhetsnivå. Den beräknade TVV i S1 visas i Figur 23. För S2, skapades TVV indata baserat på uppmätta objekt som visas i Figur 23. Figur 22 visar att den data som användes i S1 hade en högre energianvändning än uppmätt samt att spridningen är för smal och indata inte tar hänsyn till vissa låga mätresultat.



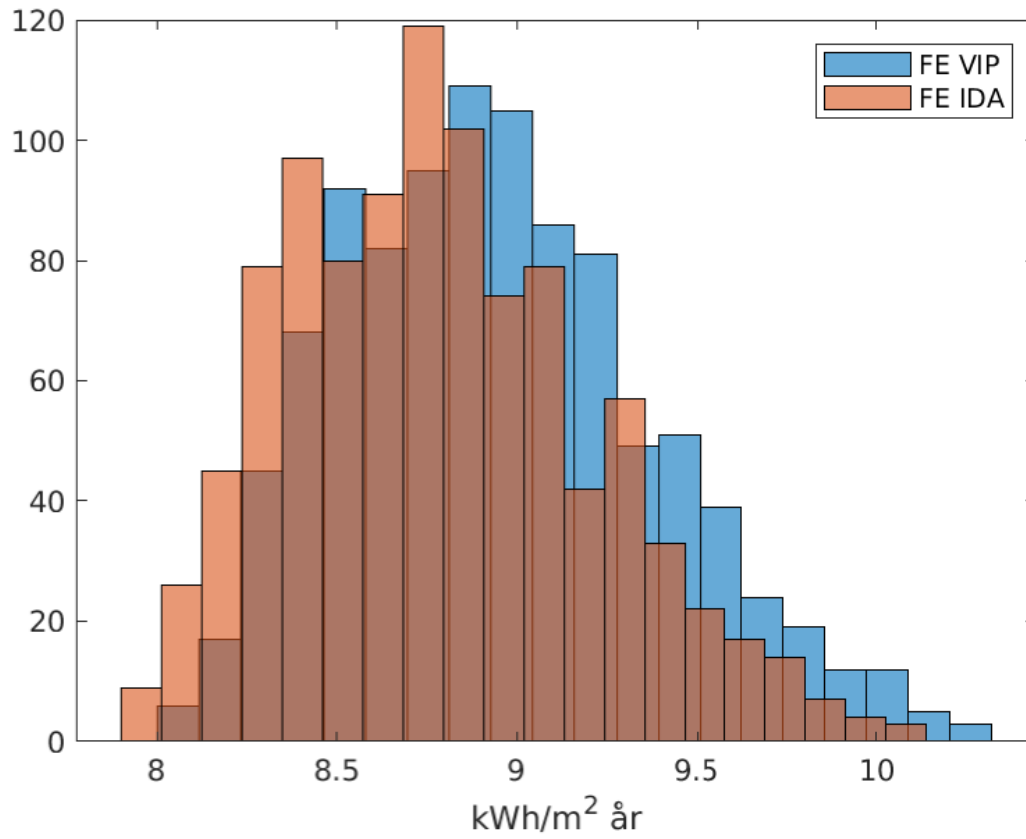
Figur 22: Fördelningskurvan för tappvarmvatten som användes i S1.



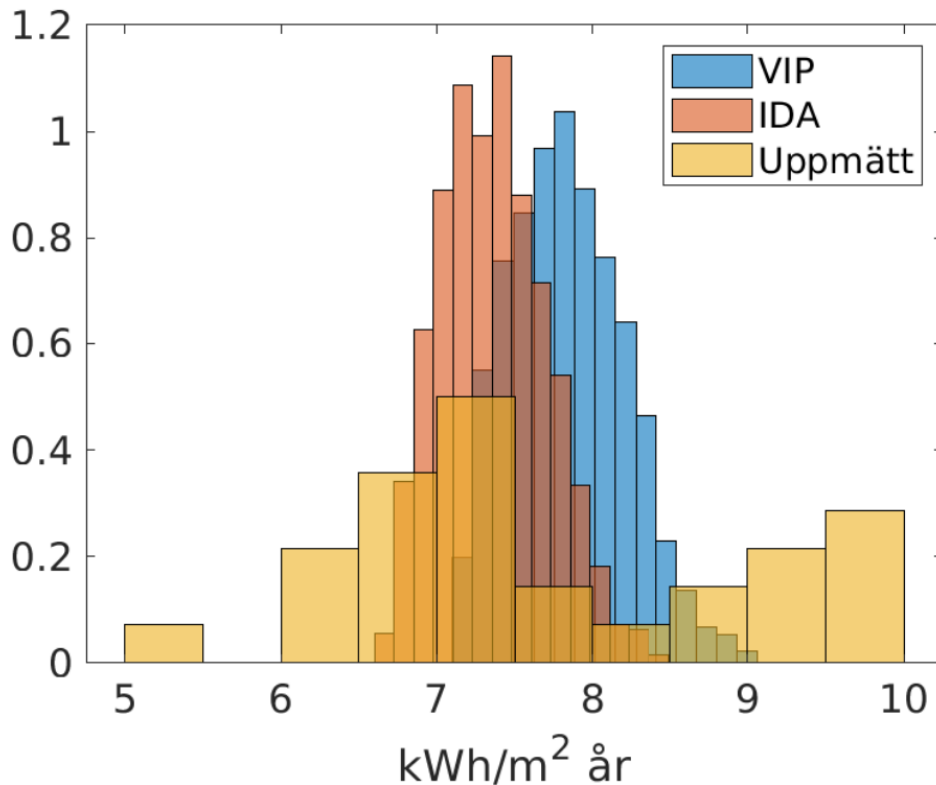
Figur 23: Jämförelse mellan tappvarmvattensfördelningskurva som användes i S2 (brun) i jämfört med uppmätt tappvarmvattenanvändning (blå).

Fastighetsenergi

Fastighetsenergi i de aktuella objekten innebär el för en hiss, ett ventilationsaggregat och belysning i trapphuset/förråd. Figur 24 redovisar fastighetsenergifördelningskurva för S1, och Figur 25 redovisar fastighetsenergifördelningskurva för S2 samt mätresultaten från 28 objekt.



Figur 24: Den beräknade fastighetselensfördelningskurva för S1.



Figur 25: Den beräknade fastighetselensfördelningskurva för S2 jämfört med uppmätt fastighetsel i 28 hus.

I både fall, S1 och S2, är spridningen i indata för smal jämfört med uppmätta värden. Det är okänt varför spridningen på det uppmätta är mycket större än det beräknade då alla objekt bör ha samma hiss, belysning, ventilationsaggregat, mm. Möjliga förklaringar kan vara geografisk, okontrollerat utbyte av utrustning under produktionen, mätfel, eller användarbeteenderelaterat (till ex. hissens användning). Oavsett vilket, den beräknade omfördelningsprofilen kunde vara bredare vilket bör leda till att nå extremvärdena med den totala beräknade energianvändningsfördelningskurvan.

Otillgängliga mätningar och vad det betyder för beräkningsresultaten

Trots tillgång till ovanstående mätdata, vissa data och energimätningar saknas dock som behövs för att kunna göra en kartläggning av de olika byggnaderna och därmed förklara spridningen. I detta fall saknas både hushållsenergi och personbelastning. Detta är mest på grund av husens ägarform som är bostadsrätter. Om dessa hus skulle vara hyresrätter då kunde man ta fram anonymiserade data. Varje lägenhet har en egen hushållsenergimätare och bostadsrättsägaren kan välja vilken leverantör de ska ha. Ingen mätpunkt finns för att mäta den totala hushållsenergin till huset och det är därför detta underlag inte togs fram i denna studie.

VVC förluster saknas också men är inbakat i energimätningarna som en del av den totala uppmätta fjärrvärmeenergin. Underlag från VVC-mätningar i nyare NCC-byggnader (inte mättningsobjekt i detta projekt) som även är redovisat i (Burke *et al.*, 2021), visar att det flesta NCC-hus har mindre än 5 kWh/m²år men enstaka hus kan ha upp till 25 kWh/m²år. Sådana objekt bör hamna på den översta delen av beräkningskurvan.

Det innebär att projektet förstärker behovet av bra indata, eller en noggrant genomförd fakturinventering.

FÖRUTSÄGA ENERGIPRESTANDAGAP OCH BEDÖMA RISK

Resultaten visar att båda energiberäkningsprogrammen får liknande resultat med samma indata. Skillnaden mellan uppmätta resultat och beräknade resultat verkar kunna förklaras genom skillnader mellan indata i beräkningsmodellen och i verkligheten. Det tyder på att mer arbete behövs för att ta fram indata som är mer anpassat till probabilistiska beräkningsmetoder, speciellt med extremvärdena. I detta projekt, S2 skulle vara ”bättre” indata men tanken i projektgruppen var att ”bättre” indata har mindre spridning, eller är mer ”säkert”. Resultaten visar att denne tanke är fel då man missar både de högsta och lägsta energianvändningarna. Framtagande av indata i framtiden måste även inkludera uppmätta extremvärden.

Det verkar även som att när man tar bort vissa externa påslag (säkerhetspåslag i dynamiska energiberäkningar) då flyttas beräkningskurvan ner och ger en bättre överensstämmelse med uppmätt energianvändning. Detta tyder på att idén med säkerhetspåslag eller säkerhetsmarginal, vilket är vanligt med deterministiska energiberäkningar, bidrar till ett större fel när det används på probabilistiska energiberäkningar.

För att kunna förklara samt verifiera alla byggnaders energianvändning skulle det krävas tillgång till alla energiposter, inte bara energimätningar enligt BBR-kravet. Då verifiering/kartläggning av mätobjekt var utanför ramen för projektet, följdes inget mätobjekt upp i detalj mer än en genomgång/granskning av mätdata inom NCCs interna databas.

Under projektets gång har alla inblandade insett att probabilistiska energiberäkningar kräver mer från energiberäknaren. Med deterministiska beräkningar behöver man kunskap om vilken indata (ett värde) som är mest lämpligt för beräkningen samt vilket påslag man ska göra för att skapa en säkerhetsmarginal. Med probabilistiska energiberäkningar måste man alltid fundera på vilken indata (ett värde) som är mest sannolikt för objektet, och sedan fundera på trolig spridning omkring värdet samt vilken form spridningen ska ha. Man måste även kasta bort idén att ”bättre” indata är mer precis, eller exakt och byta ut det till att ”bättre” indata även kan innebära en större spridning av indata! Om man börjar jobba enligt denna princip, kan man bättre bedöma en byggnads sannolika energianvändning och förutsäga byggnadens energiprestandagap och presentera det som en riskbedömning.

SLUTSATSER

Syftet med projektet var att utveckla kunskapen från etapp 1, se (Burke *et al.*, 2017), som använde ett enkelt småhus, och att använda probabilistiska energiberäkningsmetoder på ett flerbostadshus med flera zoner för att utveckla beräkningsmetoden till mer komplexa byggnader. Tillsammans med EQUA och StruSoft, lyckades projektet uppnå sina mål genom att beräkna den probabilistiska energianvändningen på ett flerbostadshus med 52 zoner. Projektet har även hunnit prova två typer av indatascenarier där S1 hade totalt 31 faktorer och S2 hade totalt 48 faktorer som hade någon slags variation.

Projektet visar att IDA-ICE och VIP/BIM Energy hade liknande beräkningsresultat men att beräkningsresultatet inte stämde lika bra med energimätningar som med resultatet i etapp 1 med ett småhusområde. Det är inte helt oförväntat då mycket indata inte är anpassat till probabilistiska energiberäkningar och en del antagande har gjorts för att få någon slags indata i rätt format för att kunna prova beräkningsmetoden.

Projektet visar på hur viktigt indata är för beräkningarna och mycket mer arbete som måste göras för att förbättra sannolikhetsfördelningar på indata, både när det gäller vilket värde man ska använda samt vilken fördelningsform. Resultatet indikerar att man helst inte ska inkludera

säkerhetsmarginaler i indata eller lägga på fasta energiposter som är antagna då man därmed riskerar att flytta hela fördelningskurvan. Man ska istället ta med så många parameter som möjligt i energiberäkningsprogrammet för att ta med synergieffekter, till exempel att VVC förlusten bidrar till husets uppvärmning under uppvärmningssäsongen.

Många gånger antas en viss solenergiproduktion för att byggnader ska bli klassade som noll- eller plusenergihus. Solenergiundersökningen i denna studie visar att även där kan det vara bra att genomföra en probabilistisk solenergiberäkning för att bedöma sannolikheten att man får en viss produktion i praktiken. Detta resultat kan kombineras med en probabilistisk energiberäkning för att utvärdera risken att huset inte uppfyller sin energiprestanda samt risken att solesystem underpresterar.

För att kunna hantera all indata på ett bra sätt krävs mer av energiberäknaren. Utöver kunskap om energiberäkningar och lämpliga indata, bör personen även ha kunskap inom statistiska metoder och förståelser av sannolikheter och skillnader mellan känd och okänd design. Energiberäknaren måste också ha förståelse av hur olika indata kan variera beroende på byggnadstekniska lösningar eller användning av huset för att kunna bedöma om standardiserade indata är mest lämpliga eller inte.

FRAMTIDA ARBETE

Under projektets gång, kom det upp fler frågor än svar. Det största framtida arbetet som behövs göras är framtagande av pålitliga indata. Omfattningen av arbetet innebär att varje indata parameter är ett eget framtidsprojekt då man måste skaffa ett statistiskt underlag innan man kan bestämma vilken sannolikhetsfördelning faktorerna har samt hur det ska hanteras i energiberäkningsmodellen. Man ska helst ha olika data för olika byggnadstyper då kontor, skolor, sjukhus, badhus, lokaler och bostäder har olika material, konstruktioner och användare.

Metoden kan även utvecklas vidare för att kombinera både okänd och känd design i en och samma beräkning. Denna typ av beräkning är en "delvis-okänd design" beräkning och skulle vara mycket mer tidskrävande.

Mer noggrann analys av beräkning mot mätningar på timnivå behövs för att kontrollera spridningar på indata samt när man har extremvärdena. Denna information skulle tillåta mer noggranna profiler.

Alla variationer ska vara dynamiska och finns med i beräkningen. Inga externa påslag då dessa kan påverka placering av resultatkurvan. Dessutom, externa faktorer som läggs på efter beräkningen har ingen påverkan på själva beräkningsmodellen, till exempel att spillvärme från VVC bidrar till uppvärmning av huset när värmesystemet är på.

Andra typer av byggnader behövs undersökas till exempel kontorshus, skolor, industrilokaler och sjukhus där det finns stora variationer i interna värme belastningar och användning.

Mer arbete behövs på termiskkomfort och inomhusmiljö/klimat. Bättre indata och profiler behövs för att se hur olika byggnader skiller sig samt vilken fördelning är mest lämpligt för olika typer av projekt. Ett exempel är äldreboende där man har olika temperaturkrav inomhus.

Kopplingar mellan olika parametrar måste undersökas och utvecklas för att utnyttja synergieffekter. I dagsläge finns det ingen koppling mellan de olika parametrar.

Åldrande av material och komponenter kan påverka en byggnads långtidsenergi-prestanda, till exempel hur ett fönsters prestanda kan ändras under långtid. Frågan även finns om den försämring

av materialets prestanda är signifikant i relation på andra parametrar. Till exempel om ett fönsters U-värde ändras med $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ efter 20 år, men samma fönster har ett U-värde med $\pm 0,4 \text{ W/m}^2\text{k}$ från fabriken då är kanske påverkan på grund av åldring en liten risk. Samtidigt om prestandaändring är så pass låg öppnar det upp sig för återvinning av material och miljöbesparingar. (Cusini *et al.*, 2020)

Inverkan av yrkesskicklighet i byggprocessen är en okänd faktor. Bidra yrkesskicklighet till ökat risk för högenergi-prestanda i hus?

Sol/batteri teknologi och hur dessa påverka byggnads energiprestanda behöver undersökas mer. Denna studie visade på att det även finns en variation och räkningsbar sannolikhet på solelproduktion monterat på taket på ett hus.

Framtida klimat är en variabel som behöver undersökas för att kunna utvärdera riskerna kopplat till ändringar i temperaturer. Då kan man utvärdera risken för övertemperatur samt kylbehov i mer komplexa byggnader. Exempelvis skolor som saknar kylsystem och risken kopplat till nedstängningar på grund av övertemperatur i klassrum.

REFERENSER

- Abdul Hamid, A. and Ibrahimovic, I. (2013) *Energiförluster på grund av vädring i nybyggda flerbostadshus: En del i energiuppföljningen av Flaggghusen i Malmö*. Lund. Available at: https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/33350780/TVBH_5085AAH_I_I_web.pdf.
- Alros, M. (2015) *Energikartläggning av VVC-systemet i flerbostadshus*. Stockholm. Available at: <http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A808048>.
- Andersson, E. and Larsson, O. (2018) *Normalisering av tappvarmvattenanvändning - Förstudie - Delrapport Version 1,4*. Stockholm. Available at: https://www.bebostad.se/library/2825/2018_05-foerstudie-normalisering-av-tappvarmvattenanvaendning-ver-14-delrapport.pdf.
- Bagge, H., Johansson, D. and Lindström, L. (2014) *Brukarrelaterad energianvändning - Mätningar och analys av hushållsel och tappvarmvatten*. Lund. Available at: https://www.bebostad.se/library/2825/2018_05-foerstudie-normalisering-av-tappvarmvattenanvaendning-ver-14-delrapport.pdf.
- Bergqvist, B. (2015) *VVC-förluster i flerbostadshus - Kartläggning i 12 fastigheter*. Stockholm. Available at: <https://www.bebostad.se/library/1893/slutrapport-kartlaeggnig-av-vc-foerluster.pdf>.
- Boverket (2009) *Så mår våra hus - Redovisning av regeringsuppdrag beträffande byggnaders tekniska utformning m.m.* Stockholm. Available at: https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2009/sa_mar_vara_hus.pdf.
- Boverket (2020) *Boverkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd, BBR*. Available at: https://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad_bbr_2011-6.pdf.
- Boverket (2021) *Primärenergital och byggnadens energiprestanda*. Available at: <https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/energi-hushallningskrav/primarenergital-och-byggnadens-energi-prestanda/>.
- van den Brom, P., Meijer, A. and Visscher, H. (2018) 'Performance gaps in energy consumption: household groups and building characteristics', *Building Research and Information*. Taylor & Francis, 46(1), pp. 54–70. doi: 10.1080/09613218.2017.1312897.
- Burke, S. et al. (2017) *Beräkningsmetod för sannolik energianvändning i bostadshus*. Stockholm. Available at: https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/e854c21a-49c2-4eb1-918b-43043a4d6543/FinalReport/SBUF_13074_Slutrapport_Berakningsmetod_for_sannolik_energianvaendning_i_bostadshus.pdf.
- Burke, S. et al. (2021) *Kartläggning av VVC-förluster i flerbostadshus*. Stockholm. Available at: https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/0aa6268e-6ffb-40ee-b0b5-19267f147673/FinalReport/SBUF_13631_Slutrapport_Kartlaeggnig_av_VVCfoerluster_i_flerbostadshus.pdf.
- Cusini, I. et al. (2020) *Fönsterprestanda under lång tid*. Malmö. Available at: http://www.laganbygg.se/UserFiles/Projekt/LAGAN_-_Fonsterprestanda_under_lang_tid_201022.pdf.
- Ekström, T. et al. (2021) 'Evaluating the impact of data quality on the accuracy of the predicted energy performance for a fixed building design using probabilistic energy performance simulations and uncertainty analysis', *Energy and Buildings*, 249. doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111205.
- Ekström, T. (2021) *Predicting the energy performance of buildings – a method using probabilistic risk analysis for data-driven decision-support*. Lunds universitet. Available at: <https://lup.lub.lu.se/record/1121915b-1dc3-4251-ad7f-a80457e62787>.
- Engvall, K. et al. (2005) *Rapport 1: Hälsomässigt Hållbara Hus - 3H projektet - Upplevd*

inomhusmiljö och hälsa i Stockholms flerbostadshus 2005. Stockholm. Available at: <https://docplayer.se/3725595-Rapport-1-halsomassigt-hallbara-hus-3h-projektet-karin-engvall-roger-corner-gunnel-emenius-marie-hult.html>.

Imam, S., Coley, D. A. and Walker, I. (2017) 'The building performance gap: Are modellers literate?', *Building Services Engineering Research and Technology*, 38(3), pp. 351–375. doi: 10.1177/0143624416684641.

Jansson, U. (2017) *Lämpliga säkerhetsmarginaler i energiberäkningar – säkerhetsmarginal för osäkerheter i indata*. Malmö. Available at: <https://www.sbuf.se/Projektsida?project=4f522148-e392-479c-8246-aaa63ba1c4ce>.

Johansson, E. and Spahic, A. (2016) *Standarder för att mäta byggnaders lufttäthet*. Linnéuniversitet. Available at: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:937023/FULLTEXT01.pdf>.

Jones, R. V., Fuertes, A. and De Wilde, P. (2015) 'The gap between simulated and measured energy performance: A case study across six identical New-Build flats in the UK', *14th International Conference of IBPSA - Building Simulation 2015, BS 2015, Conference Proceedings*, pp. 2248–2255.

Kempe, P. (2013) *Installationssystem i energieffektiva byggnader*. Stockholm.

Levin, P. (2012) *Sveby - Branschstandard för energi i byggnader*. Available at: <https://www.sveby.org/>.

Levin, P., Bergsten, D. and Kempe, P. (2018) *Vädringsbeteende och påverkan på energiprestanda för ett sabo kombohus*.

Levin, P. and Snygg, J. (2011) *Resultat från energiberäkningstävling för ett flerbostadshus*. Available at: <https://www.sveby.org/wp-content/uploads/2012/01/Etavlingsrapport-Sveby-111003.pdf>.

Lindencrona, E. and Lindsköld, S. (2014) *Förstudie av VVC-förluster i flerbostadshus*. Stockholm. Available at: <https://www.bebostad.se/library/1880/foerstudierapport-vvc-foerluster-i-flerbostadshus.pdf>.

Mermoud, A. and Viloz, M. (2021) 'PVsyst'. Switzerland: PVsyst. Available at: <https://www.pvsyst.com/>.

Shi, X. *et al.* (2019) 'Magnitude, causes, and solutions of the performance gap of buildings: A review', *Sustainability (Switzerland)*, 11(3), pp. 1–21. doi: 10.3390/su11030937.

SIS (2015) *SS-EN ISO 9972:2015 Byggnaders termiska egenskaper - Bestämning av byggnaders lufttäthet – Tryckprovningmetod (ISO 9972:2015)*. Stockholm.

Svensson, Y. (2017) *Boverkets föreskrifter om ändring av verkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår*. Stockholm.

Westin, R. (2019) *Hushållsel i nybyggda flerbostadshus*. Stockholm. Available at: <https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/fc05f047-decc-4d87-b1f5-4676a321efc7/FinalReport/SBUF 13627 - Hushållsel i nybyggda flerbostadshus.pdf>.

De Wilde, P. (2014) 'The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation', *Automation in Construction*. Elsevier B.V., 41, pp. 40–49. doi: 10.1016/j.autcon.2014.02.009.

Wisth, J. and Kellner, J. (2012) *Täthetsprovning av byggnader, Etapp 2 Metodutvärdering och jämförelse av metoder*. Stockholm. Available at: <https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/5cb6e41e-18e5-4381-95be-2bef41e8139e/FinalReport/SBUF 12633 Slutrapport Täthetsprovning av byggnader, Etapp 2 Metodutvärdering och jämförelse av metoder.pdf>.

Wisth, J. and Nilsson, H. (2011) *Jämförelse och utvärdering av tre metoder för täthetsprovning av flerbostadshus*. Stockholm. Available at:
[https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/8265ffc5-092f-4198-8b1a-e138cfe873a5/FinalReport/SBUF 12515 Slutrapport Täthetsprovning av byggnader.pdf](https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/8265ffc5-092f-4198-8b1a-e138cfe873a5/FinalReport/SBUF_12515_Slutrapport_Täthetsprovning_av_byggnader.pdf).

BILAGA 1 – SAMMANFATTNING AV INDATA FÖR S1 OCH S2

Scenario				S1	S2
	Parameter	G/L	Unit		
Byggnadsskal	Uppvärmrt golvyta, A_{temp}	G	m^2	T [2399; 2448; 2497]	T [2519; 2570; 2621]
	Mineralull, termisk konduktivitet	G	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	T [0,032; 0,038; 0,044]	T [0,032; 0,038; 0,044]
	Fönster, U-värde, U_w	G	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	T_{SL} [1,00; 1,10; 1,30]	T_{SL} [1,00; 1,10; 1,30]
	Skuggning	G	-	T [0,40; 0,50; 0,60]	T [0,40; 0,50; 0,60]
	Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)	G	-	T [0,49; 0,52; 0,55]	T [0,49; 0,52; 0,55]
	Köldbryggor	-	-	-	-
	% av $U \cdot A$	G	%/100	U [0,15; 0,20; 0,25]	-
	Kantbalk	G	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	-	T [0,12; 0,23; 0,34]
	Mellanbjälklag	G	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	-	T [0,08; 0,09; 0,10]
	Fönster och dörrar	G	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	-	T [0,02; 0,03; 0,05]
	Takanslutning	G	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	-	T [0,07; 0,12; 0,16]
	Balkong	G	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	-	T [0,28; 0,39; 0,51]
	Ytterväggshörn	G	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	-	T [0,13; 0,14; 0,15]
	Lufttäthet, q_{50} , omslutandeyta @ ± 50 Pa	G	$l \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$		T [0,10; 0,30; 0,50]
Byggfukt	G	$kWh \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$		T [1,5; 3,3; 5,1]	T [1,0; 2,2; 3,2]
Luftbehandlingsystem	Specific Fan Power - Tilluft	G	$kWh \cdot m^{-3} \cdot s$	T_{SL} [0,75; 0,75; 1,05]	T_{SL} [0,75; 0,75; 1,05]
	Specific Fan Power - Frånluft	G	$kWh \cdot m^{-3} \cdot s$	T_{SL} [0,75; 0,75; 1,05]	T_{SL} [0,75; 0,75; 1,05]
	Värmeåtervinning, VVX	G	%/100	U [0,77; 0,80; 0,83]	U [0,77; 0,80; 0,83]
	Luftflöde - Frånluft	-	-	-	-
	2 ROK	L	$l \cdot s^{-1}$	T [27; 30; 33]	T [19; 23; 28]
	3 ROK	L	$l \cdot s^{-1}$	T [27; 30; 33]	T [20; 25; 30]
	Trapphus + Övriga	L	$l \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$	T_{SR} [0,2; 0,35; 0,35]	T_{SR} [0,2; 0,35; 0,35]
	Fordonsrum	L	$l \cdot s^{-1}$	-	T [8; 10; 12]
	Tvättstuga	L	$l \cdot s^{-1}$	-	T [15; 19; 23]
	Förråd	L	$l \cdot s^{-1}$	-	T [32; 40; 48]
	UC	L	$l \cdot s^{-1}$	-	T [12; 15; 18]
	Mätosäkerhet	L	%	T [0,9; 1,0; 1,1]	T [0,9; 1,0; 1,1]
	Kalibreringsosäkerhet	L	%	T [0,9; 1,0; 1,1]	T [0,9; 1,0; 1,1]
	Luftflöde - Tilluft	-	-	-	-
	2 ROK	L	$l \cdot s^{-1}$	-	T [17; 21; 26]
	3 ROK	L	$l \cdot s^{-1}$	-	T [19; 23; 28]
	Trapphus + Övriga	L	$l \cdot s^{-1}$	-	T [47; 58; 70]
	Fordonsrum	L	$l \cdot s^{-1}$	-	T [8; 10; 12]
	Tvättstuga	L	$l \cdot s^{-1}$	-	T [15; 19; 23]
	Förråd	L	$l \cdot s^{-1}$	-	T [32; 40; 48]
UC	L	$l \cdot s^{-1}$	-	T [12; 15; 18]	
Obalans	L	% /100	T [0,03; 0,05; 0,07]	-	
Mätosäkerhet	L	%	T [0,9; 1,0; 1,1]	T [0,9; 1,0; 1,1]	
Kalibreringsosäkerhet	L	%	T [0,9; 1,0; 1,1]	T [0,9; 1,0; 1,1]	
Inställdtemperatur - Tilluft	G	$^{\circ}C$	T [18,0; 19,0; 20,0]	T [18,0; 19,0; 20,0]	
Värme- och regleringssystem	Systemeffektivitet - Space heating	-	-	-	-
	Värmesystemförluster (plant losses)	G	%/100	U [0,05; 0,10; 0,15]	U [0,05; 0,10; 0,15]
	Distributionsförluster	G	%/100	U [0,03; 0,05; 0,07]	U [0,03; 0,05; 0,07]
	VVC förluster	G	$kWh \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$	T [2,0; 4,0; 6,0]	T [2,0; 4,0; 6,0]
	Inställd inomhustemperatur Bostad	-	-	-	-
	Reglering osäkerhet	L	$^{\circ}C$	T [-0,5; 0,0; 0,5]	T [-0,5; 0,0; 0,5]
	Användarens alternativ inomhustemperatur	L	$^{\circ}C$	21	T [21,0; 22,0; 23,0]
Inomhustemperatur - övriga ytor	L	$^{\circ}C$	T [17,5; 18,0; 18,5]	T [17,5; 18,0; 18,5]	
Användaren	Hushållsel	L	$kWh \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$	T [20,0; 30,0; 40,0]	T_{SL} [2, 23, 102]
	Andel använtbart hushållsel för uppvärmning	L	%/100	-	T [0,70; 0,75; 0,80]
	Tappvarmvatten	G	$kWh \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$	T [15,0; 25,0; 35,0]	U [5,0; 14,5; 24,0]
	Köksventilationsförluster	G	$kWh \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$	T_{SL} [1,0; 2,0; 4,0]	T_{SL} [1,0; 2,0; 4,0]
	Vädringsförluster	G	$kWh \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$	T [3,0; 4,0; 5,0]	T [3,0; 4,0; 5,0]
	Intern värmeproduktion	-	-	-	-
	Boende - 2 R&K	L	N /zone	T [1,19; 1,63; 2,07]	T [1,19; 1,63; 2,07]
Boende - 3 R&K	L	N /zone	T [1,74; 2,18; 2,62]	T [1,74; 2,18; 2,62]	