

Beräkningsmetod för sannolik energianvändning i bostadshus

I detta projekt har man utvecklat och genomfört probabilistiska (sannolikhetsbaserade) energibalansberäkningar i två energiberäkningsverktyg, jämfört beräknad spridning mot uppmätt energianvändning i ett bostadsområde och studerat vilka indata som har den största påverkan på variationen av resultat.

Bakgrund

Skärpta krav på byggnaders energiprestanda och krav på tidiga prognoser av byggnaders energianvändning sätter stort fokus på energiprestanda redan före byggstart. Energiprestanda beräknas redan i systemhandlings- och projekteringskedet och dessa beräkningar kan, i vissa fall, vara underlag för energigarantier. Efter det att en byggnad är driftsatt mäts energianvändningen som en kontroll för att klargöra om energimålet uppnåtts.

Det finns ett antal faktorer som kan påverka en byggnadens energiprestanda på olika sätt. Brukarnas vanor och prestanda på komponenter såsom värmeåtervinning kan resultera i att målet inte nås. För att säkerställa att energiprestandan uppfylls och för att ta hänsyn till olika osäkerheter, görs ofta ett säkerhetspåslag på det beräknade resultatet. Genom att öka säkerhetsmarginalen minskar risken att den utlovade energiprestandan inte uppfylls i driftskedet. Men alltför stora säkerhetsmarginaler riskerar samtidigt att bli kostnadsdrivande för byggbranschen då byggnadens installationer eller klimatskärm med stora säkerhetsmarginaler kan överdimensioneras.

I dag använder byggbranschen schablonvärden som kan inhämtas från, till exempel, Boverkets nya föreskrift BEN eller från Svebys brukarindata, men inga av dessa indataparametrar presenteras med någon sannolik variation. Det innebär att det är svårt att göra en riskbedömning av energianvändningen utan att göra en omfattande parameterstudie. En sådana studie är dyr och kostnaden är beroende av både tiden det tar att hitta relevant indata och utökad beräkningstid då fler energibalansberäkningar måste genomföras.

I detta projekt har man utvecklat och genomfört probabilistiska (sannolikhetsbaserade) energibalansberäkningar i två energiberäkningsverktyg, jämfört beräknad spridning mot uppmätt energianvändning i ett bostadsområde och studerat vilka indata som har den största påverkan på variationen av resultat. Modellerna, vilka levererar resultat i form av uppskattad energianvändning, har analyserats med Monte Carlo-simuleringar, som är en statistisk

metod vilken hanterar problem med många och samtidigt inverkan faktorer.

Syfte

Projektets syfte är att:

- Testa den faktiska möjligheten att genomföra probabilistiska (sannolikhetsbaserade) energiberäkningar
- Jämföra beräknad spridning med uppmätt energianvändning i ett bostadsområde
- Studera vilka indataparametrar som har störst påverkan på variationen hos resultatet.
- Börja definiera realistiska spridningar hos de mest signifikanta indataparametrarna.
- Studera för- och nackdelar med probabilistiska energiberäkningar för bygg- och fastighetssektorn och de möjligheter som molnbaserade beräkningsservrar medför.
- Studera problematiken kring avvikelser mellan beräknad och uppmätt energianvändning i nybyggnader genom att kvantifiera de säkerhetsmarginaler som bör tillämpas så att, med olika grader av konfidens (till exempel 95 eller 99 procent), den verkliga energianvändningen inte kommer att överskrida den beräknade.
- Studera tillgängliga stokastiska modeller för brukarbeteende och testa hur några av dessa kan fungera i praktisk projektering.

Genomförande

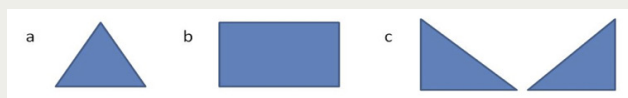
I detta projekt har probabilistiska energibalansberäkningar genomförts för två olika objekt: ett standard-enfamiljshus (inledande testfall, i rapporten även kallat Småhus) och ett en-familjs passivhus (i rapporten även kallat Passivhus). För att göra detta projekt möjligt, har två mjukvaruföretag som gör energibalansberäkningsprogram, EQUA Simulation AB och StruSoft AB, utvecklat nya modifierade versioner av sin mjukvara för energibalansberäkningar och Lunds universitet har tagit fram indatafiler innehållande

sluppmässiga indataparametrar till de två beräkningsprogrammen. Programmen läser in hur många beräkningsfall som ska simuleras och de olika indataparametrarnas värden som därefter används i energibalansberäkningarna. Det totala resultatet fås sedan ut som specifik energianvändning för de olika testfallen.

Spridning av indata

För att möjliggöra probabilistiska energibalansberäkningar med god relevans krävs att den indata som används är så verklighetsföranckrad som är möjligt. I projektet har därför eftersökts realistisk spridning av indata för de olika parametrar som varierats. Variationen av en parameter ska återspegla en spridning orsakad av oavsiktliga avvikelser och inte av medvetna val. Som exempel kan ges ett fönster som kan ha ett uppmätt U-värde mellan 0,7 W/m²K och 1,1 W/m²K även om fönstrets redovisade U-värde är 0,9 W/m²K. Denna parameter varierar dock inte genom att fönster med olika U-värden kan köpas in, vilket skulle vara ett medvetet val.

Spridningen på indata (så kallade faktorinventering i rapporten) har uppskattats genom litteraturstudier och kontakt med Boverket. I de fall ingen relevant variation kunnat hittas har antaganden gjorts. Under faktorinventering har även distributionens form bestämts. *Figur 1* visar olika distributions form.



Figur 1. Principiellt utseende för de olika fördelningstyperna för indata, a: triangulär, b: likformig och c: skev triangulär (höger respektive vänsterskev).

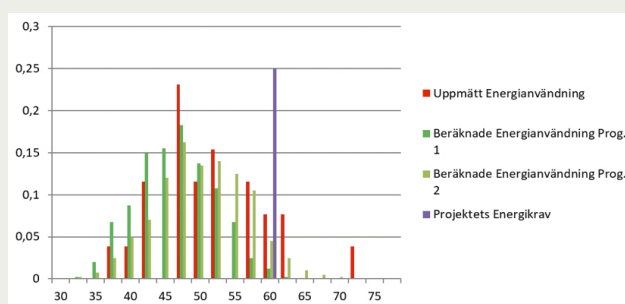
I projektet genomfördes energiberäkningar på två olika fall. Provfallet 1 (Småhus) hade bara ett syfte, att testa och felsöka beräkningsmetoden och beräkningsprogram. I Provfallet 2 (Passivhusen) genomfördes blinda energiberäkningar med realistisk indataspridning på ett riktigt objekt. *Tabell 1* visar vilka indata, samt spridningen av indata, som användes för provfallet 2.

Tabell 1. Faktorinventering för provfallet 2 – Passivhus.

Parameter	Symbol	Enhet	Originalvärde	Variation	Distribution	Källa
Värmeledning hos mineralull	λ	W/mK	0,0438	$\pm 0,00575$	Triangulär	Boverket (marknadskontroll)
U-värde hos fönster	U	W/m ² K	0,75	$\pm 0,2$	Triangulär	Boverket (marknadskontroll)
g-värde hos fönster	g	-	0,37	-0,15	Skev triangulär vänster	Antagande NCC
Köldbryggor	Ψ	% av U*A	25	± 5	Likformig	Beräknat (NCC)
Byggnadens luftläckning	q_{50}	l/sm ² External surface area @ 50 Pa	0,1	$\pm 0,05$	Triangulär	NCC uppmätt
Inomhustemperatur	T	°C	21,5	$\pm 0,5$	Triangulär	NCC uppmätt
Tilluftsfläkt Specific Fan Power (SFP)	SFP _{Sup}	kW/m ³ s	0,67	+0,30	Skev triangulär höger	Produktblad + antagande
Frånluftsfläkt SFP	SFP _{Ext}	kW/m ³ s	0,67	+0,30	Skev triangulär höger	Produktblad + antagande
Temperaturverkningsgrad Ventilationsvärmväxlare	η	-	0,8	$\pm 0,03$	Likformig	Produktblad + antagande
Tilluftsflöde	q_{Sup}	l/sm ² A _{temp}	0,39	$\pm 0,13$	Triangulär	(Filipsson & Dalenbäck, 2014)
Obalans (frånluftsflöde)	q_{Ext}	l/sm ² A _{temp}	$q_{Ext} = q_{Sup} - \text{variation}$	$\pm 0,03$	Triangulär	BBR21 avsnitt 6:251 samt antagande
VVC-förluster	Q_{VVC}	W/m ² A _{temp}	0	± 0	Likformig	Ingen installerade
Hushållsel	Q_{house}	W/m ² A _{temp}	4	$\pm 1,15$	Likformig	NCC uppmätt
Personvärme	Q_{pers}	W/m ² A _{temp}	1,92	$\pm 0,44$	Triangulär	(Sveby, 2012)
Energi för tappvarmvatten	E_{DHW}	kWh/m ² A _{temp} yr	20	± 10	Triangulär	(Levander & Stengård, 2009)
Kökets ventilationsförluster	E_{KV}	kWh/m ² A _{temp} yr	3	± 1	Triangulär	(Sveby, 2012), antagande

Resultat

Resultaten från både det första provet av metoden (Småhus) och de riktiga objekten (Passivhusen) uppvisade goda resultat. Provfallet 1 (Småhus) visade nästan likvärdiga resultat med båda programmen. De energimätningar som genomförts i 26 passivhus stämde mycket väl överens med energibalansberäkningen med Monte Carlo-metoden. *Figur 2* visar även den uppmätta energianvändningen i 26 passivhus byggda enligt underlaget för Provfallet 2. Uppmätt energianvändning stämmer väl överens med beräkningsresultat! De flesta byggnaderna hade en uppmätt specifik energianvändning på cirka 47–50 kWh/m²A_{temp} år. Lägsta uppmätta värde var cirka 38 kWh/m²A_{temp} år och högsta uppmätta värde var cirka 75 kWh/m²A_{temp} år. NCC:s originalberäkning från då byggnaderna uppfördes hade ett resultat på 60 kWh/m²A_{temp} år. Detta innebär att det, redan från början, fanns en liten risk att den faktiska energianvändningen skulle vara högre än originalberäkningens resultat.



Figur 2. Uppmätt, beräknad och ursprunglig energianvändning jämfört med projektets energikrav.

Ett annat intressant resultat var inverkan av indata där koefficienterna är normerade så att deras kvadratsumma är ett för att kunna jämföra storleken på inverkan mellan de olika indataparametrarna. Parametrarna i *tabell 2* är sorterade efter storleksordning med

avseende på deras inverkan på beräknad energianvändning för program 1 för småhusberäkningen. En negativ inverkan betyder att energi tillförs till systemet från den parametern.

Tabell 2. Parametrarnas inverkan på energiberäkningen för småhusberäkningen.

Parameter	PROG1	PROG2
TVV	0.59	0.55
VVC	0.57	0.56
Hushållsel	-0.37	-0.36
Köldbryggor	0.25	0.24
Byggnadens luftläckning	0.17	0.04
Tilluftsflöde	0.16	0.34
U-värde fönster	0.13	0.09
Lambda värde isolering	0.11	0.08
Personvärme	-0.09	-0.05
VVX (ventilationsåtervinning)	-0.08	-0.08
Inomhustemperatur	0.06	0.07
Kökets ventilationsförluster	0.05	0.06
G-värde	-0.05	-0.07
Tilluftsfläkt SFP	0.02	0.05
Frånluftsfläkt SFP	0.02	0.05
Obalans (frånluftflöde)	0.02	-0.05

Slutsatser

Resultaten från både det första provet av metoden (Småhus) och ett reellt objekt (Passivhus) var goda. De energimätningar som genomfört i 26 passivhus stämde mycket väl överens med energibalansberäkningen med Monte Carlo-metoden. Spridningen begränsades i detta fall med flera parametrar baserade på uppmätta data. Trots det hade resultatet ändå en spridning från 32 till 73 kWh/m²A_{temp} år i ett passivhus! Analysen av indata, se *Tabell 3*, visade att brukarbeteende hade den största påverkan på energianvändningen i husen, och att till synes identiska hus kan uppvisa en stor variation i uppmätt energianvändning.

En slutsats som kan dras är att beräknad energianvändning som redovisas i decimalform inte bör accepteras. Enligt resultatet i detta arbete bör energibalansberäkningen snarare ringa in en storleksordning angivet med en precision av tioalet kWh/m²A_{temp} år. Det kan inte heller i förlängningen betraktas som optimalt att anta en godtycklig säkerhetsmarginal med förhoppning om att den är tillräckligt högt ansatt för att den uppmätta energianvändningen inte ska hamna över den nivån, och samtidigt så pass låg att beräkningen överensstämmer med mätresultatet. Om den uppmätta energianvändningen är väsentligt lägre än den beräknade har byggnaden troligtvis kostat mer än den hade behövt göra.

Studien visar att det är möjligt att få fram ett probabilistiskt baserat beräkningsresultat som kan användas som diskussionsunderlag i en dialog där möjliga variationer och acceptabla risker vid en uppföljning genom mätning kan diskuteras. Detta kan minska risken för meningsskilljaktigheter och krav på eventuella åtgärder i ett senare skede och därmed spara tid, pengar och resurser för både byggherre och entreprenör i ett byggprojekt.

Ytterligare information

Kontaktpersoner:

Stephen Burke, NCC Sverige AB, tel 040-317018,

E-post: stephen.burke@ncc.se

Johnny Kronvall, Strusoft AB, E-post: johnny.kronvall@strusoft.com

Litteratur:

- Burke, S., Kronvall, J., Wiktorsson, M., & Sahlin, P., (2017), *Method for probabilistic energy calculations – variable parameters*, 11th Nordic Symposium on Building Physics 11-14 June, 2017, Trondheim, Norway
- Burke, S., Kronvall, J., Wiktorsson, M., & Sahlin, P., Ljungberg, A., (2017), *Beräkningsmetod för sannolik energianvändning i bostadshus*, SBUF Projekt 13074, www.sbuf.se
- Burke, S., Kronvall, J., Wiktorsson, M., & Sahlin, P., Ljungberg, A., (2017), *Bättre beräkningsmetod för energianvändning i bostadshus*, E2B2, www.e2b2.se/library/3542/resultatblad_berakningsmetod_for_sannolik_energianvandning_i_byggnader.pdf
- Burke, S., Kronvall, J., Wiktorsson, M., & Sahlin, P., Ljungberg, A., (2017), *Beräkningsmetod för sannolik energianvändning i bostadshus*, E2B2 Projekt 39706-1 Rapport 2017:13, www.e2b2.se/library/3543/slutrapport_berakningsmetod_for_sannolik_energianvandning_i_byggnader.pdf