

ENERGY USE IN LOW- ENERGY SCHOOLS

Measurements and analysis of energy use and user-related parameters

*Sammanfattning av SBUF-projekt 13290:
Energiuppföljning för standardisering av
brukardata, studie av nutida skolor.*

Branko Simanic

2020-11-11

FÖRORD

Här sammanfattas SBUF-projekt 13290: Energiuppföljning för standardisering av brukardata, studie av nutida skolor.

Projektet som sammanfattas här, finansierat av SBUF och Skanska Sverige AB, har bedrivits som ett doktorandprojekt på Lund Tekniska Högskola LTH i Lund. Projektet har rapporterats genom vetenskapliga artiklar [1-4] och en doktorsavhandling [5]. I doktorsavhandlingen sammanfattas även en studie om energianvändning i hotell som tidigare bedrevs på Royal Institute of Technology KTH i Stockholm fram till licentiatavhandlingen. Endast den del som omfattar skolor sammanfattas här.

BAKGRUND

En minskning av koldioxidutsläppen från den byggda miljön genom att förbättra energieffektiviteten är en viktig del i att minska de globala koldioxidutsläppen, eftersom de stod för nästan 40 procent av de energirelaterade koldioxidutsläppen under 2017. Det finns sex huvudparametrar som påverkar en byggnads energianvändning. Dessa är utomhusklimat, klimatskal, installationer/energisystem, drift/underhåll, brukarrelaterade aktiviteter och inomhusklimat. De tre första parametrarna kan klassificeras som tekniska parametrar och dessa har studerats tidigare. För att kunna förbättra en byggnads energieffektivitet ytterligare måste fokus även läggas på de tre sista parametrarna, vilka inte har studerats lika utförligt som de tekniska. Fler studier bör göras av dessa tre parametrar, som kan klassificeras som brukarrelaterade parametrar.

SYFTET, FORSKNINGSFRÅGOR OCH METOD

Det övergripande syftet med detta projekt är att bidra till att uppnå klimatmålet genom att förbättra byggnaders energieffektivitet genom att undersöka både beräknad och uppmätt energianvändning samt att identifiera vilka parametrar som har stor inverkan på den totala energianvändningen och därför bör beaktas. Detta projekt studerar beräknad och uppmätt energianvändning på sju nybyggda lågenergiskolor i Sverige. Det fokuserar på hur brukarrelaterade parametrar påverkar energianvändningen i dessa grundskolor belägna i södra halvan av Sverige.

För arbetet formulerades fyra forskningsfrågor:

1. Kan lågenergiskolor leverera tillräckligt bra inomhusklimat och luftkvalitet när det gäller inomhustemperatur och koldioxidkoncentration?
2. Hur väl överensstämmer den beräknade energianvändningen med den uppmätta i lågenergiskolor?
3. Hur påverkar brukarrelaterade parametrar den beräknade och uppmätta energianvändningen i lågenergiskolor och i vilken utsträckning påverkar de den totala energianvändningen?

4. Hur stämmer uppmätta resultat i lågenergiskolor överens med de standardvärden som anges i BEN2?

För att kunna svara på dessa forskningsfrågor, i de studerade grundskolorna samlades data in från mätningar av energianvändning för uppvärmning, fastighetsel, tappvarmvattenproduktion och verksamhetsel, inomhustemperatur, inomhuskoldioxidkoncentration, luftomsättning, ventilationsdrifttid samt persontäthet och personnärvarotid under en ettårsperiod. Beskrivande statistik och simuleringar av byggnadernas energianvändning användes för att analysera insamlade data. Linjär regressionsanalys av uppmätta data och känslighetsanalys med hjälp av IDA ICE energisimuleringsverktyg användes för att analysera påverkan av de studerade parametrarna på energianvändning. Intervjuer med driftpersonal från de studerade skolorna genomfördes gällande driften av lågenergiskolor. Information om de studerade skolorna presenteras i Tabell 1. Skolorna presenterades i samtliga publikationer med kodnamnen.

Tabell 1 Urval av information om de studerade lågenergiskolorna

	Skolor						
	S	N	K	B	Vi	Ve	St
I drift från	2016	2017	2016	2014	2016	2015	2016
A _{temp} / m ²	5641	8125	11222	8051	1725	3233	6695
Skolklass	0 – 6	7 – 9	0 – 6	0 – 6	0 – 6	0 – 3	0 – 3
Antal byggnader	1	1	1	1	1	1	1
Normalår HDH/ [(°C h)/y]	102600	92800	102600	111500	118000	92800	92800
Sporthall	Ja	Nej	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
Matsal	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Ja	Ja
Beräknad U _m / [W/(m ² K)]	0.23	0.18	0.18	0.2	0.21	0.21	0.29
Klimatskal area per volym/ (m ² /m ³)	0.39	0.45	-	0.40	-	-	-
Beräknad SFP/ [kW/(m ² /s)]	1.8	1.6 to 2.0	1.4	1.7 to 2.0	2.2	1.5	-
Beräknad VÄV verkningsgrad/ %	80	82 to 85	80	80 to 83	63	80	80
Projekterad lufttäthet/ ([l/(s m ² av klimatskal area)])	0.3 at +50 Pa	0.36 at +50 Pa	0.3 at +50 Pa	0.4 at +50 Pa	0.3 at +50 Pa	0.3 at +50 Pa	0.3 at +50 Pa
Uppvärmning	Borrhåls VP	FjV	FjV	Borrhåls VP	FjV	FjV/Mar värme VP	FjV
Tappvarmvatten produktion	VP/direkt el	FjV	FjV	VP/direkt el	FjV	FjV/Sol värme	FjV
Ventilation	Balancerad mekaniskventilation med behovstyrning i samtliga skolor						
Komfortkyla	Nej						

RESULTAT

De studerade skolorna visade sig vara lågenergibyggnader eftersom deras uppmätt energianvändning var lägre än högst 75 procent av de svenska nationella energikraven. En jämförelse av uppmätt och beräknad energianvändning visar att det förekommer en stor spridning i de studerade skolorna. Den uppmätta energianvändningen varierar mellan att understiga den beräknade med 44 procent respektive överstiga den beräknade med 28 procent. Det visade sig att de brukarrelaterade parametrarna hade större påverkan på variationerna i energianvändning än de tekniska parametrarna. Av de studerade parametrarna visade det sig att inomhustemperatur, luftomsättning och ventilationsdrifttid var de brukarrelaterade parametrarna som hade störst inflytande på byggnadernas energianvändning. Användningen av verksamhetsenergi hade något mindre inflytande på

den totala energianvändningen. Persontäthet och energianvändningen för varmvattenproduktion hade lite påverkan i de studerade skolorna. Även om endast sju lågenergiskolor inkluderades i studien kan man se att de uppmätta brukarrelaterade parametrarna kan variera avsevärt. Detta innebär inte bara att fler framtida mätningar i fler skolor behövs men också att endast ett medelvärde per parameter skulle kunna vilseleda energiingenjörer vid beräkningen av en byggnads energianvändning. Av denna anledning presenterar denna forskningsstudie även standardavvikelser samt min- och maxvärden för varje studerad parameter.

Slutsatser i relation till forskningsfrågorna

Kan lågenergiskolor leverera tillräckligt bra inomhusklimat och luftkvalitet när det gäller inomhustemperatur och koldioxidkoncentration?

Resultaten från mätningarna visade att den termiska komforten och inomhusluftkvaliteten, i termer av inomhustemperaturer och CO₂-koncentrationer, uppfyllde kriterierna i den internationella standarden EN 15251 och i de svenska rekommendationerna från Arbetsmiljöverket och Folkhälsomyndigheten. I vissa av de studerade klassrummen var dock medianinomhustemperatur mellan 19 och 20 °C under uppvärmningssäsongen.

Hur väl överensstämmer den beräknade energianvändningen med den uppmätta i lågenergiskolor?

Skillnaderna mellan uppmätt och beräknad energianvändning för de studerade skolorna varierade från –44 procent till +28 procent. Slutsatsen kan dras att en betydande stor variation hittades bland skolorna.

Hur påverkar brukarrelaterade parametrar den beräknade och uppmätta energianvändningen i lågenergiskolor och i vilken utsträckning påverkar de den totala energianvändningen?

Linjär regressionsanalys och känslighetsanalys av uppmätta värden visade att några av de studerade brukarrelaterade parametrarna hade ett stort, och andra ett mindre, inflytande på energianvändningen. Inomhustemperatur, luftomsättning och ventilationsdrifttid hade stor påverkan på energianvändning. Dessa parametrar måste därför antas så exakt som möjligt under projekteringsskede samt justeras med hjälp av driftoptimering under driftskede. Driftoptimering under driftskede är alltså lika viktig som energiberäkningen under projekteringsskede, med avseende på att minimera avvikelserna mellan beräknad och uppmätt energianvändning. Belägningsgraden, närvarotiderna och energi för tappvarmvatten visade sig ha ett mindre inflytande på energianvändningen. De sista tre parametrarna måste dock också antas så exakt som möjligt för att minimera avvikelserna mellan beräknad och uppmätt energianvändning.

Hur stämmer uppmätta resultat i lågenergiskolor överens med de standardvärden som anges i BEN2?

En brukarrelaterad indatalista för energiberäkningar för byggnader vid en normal användning, dvs. skolbyggnader, specificeras i BEN 2. Tabell 2 visar de uppmätta

brukarrelaterade parametrarna i de studerade skolorna och de värden som anges i BEN 2 för grundskolor.

Tabell 2 Jämförelse mellan uppmätta brukarrelaterade parametrar i de studerade skolorna och värden för grundskolor specificerade i BEN 2.

	Medel uppmätt	Standardavvikelse	Min till Max medel uppmätt per skola	BEN 2
Inomhustemperatur/ °C	21.4	0.7	20.2 to 23.4	22
Luftsättning mellan 08-16/ [l/(s m ²)]	1.54	0.55	0.77 to 2.20	3
Luftsättning mellan 16-08/ [l/(s m ²)]	0.48	0.45	0.0 to 1.1	-
Ventilation drifttid/ (h/year)	6000	2065	3000 to 8760	2200
Persontäthet/ (person/m ²)	0.069	0.027	0.05 to 0.13	0.067
Närvarotid/ (h/year)	1500	200	1205 to 1776	1320
Energi för tappvarmvatten/ [kWh/(m ² year)]	4	2	1.7 to 6.7	2
Verksamhetsenergi/ [kWh/(m ² year)]	26	11	13 to 48	22

Även om endast sju skolor inkluderades i studien och alla byggnader hade liknande tekniska system när det gäller energianvändning, kan man se i Tabell 2 att de uppmätta brukarrelaterade parametrarna kan variera avsevärt. Detta innebär att bara ett ingångsvärde per brukarrelaterad parameter kan ha vilselett energiingenjörer vid beräkning av energianvändning. Av denna anledning presenteras standardavvikelse samt min- och maxvärde för varje studerad parameter. I BEN 2 är, emellertid listan över brukarrelaterade input värden, en utgångspunkt för beräkning av energianvändning för byggnader vid normal användning i en tidig projekteringsfas och dessa kan ge nödvändiga input värden när dessa parametrar antas. Senare i projekteringsskedet måste energiingenjörer uppdatera sina antaganden baserat på specifik projektinformation och kommunikation med andra projektmedlemmar.

Till sist

För att kunna anta parametrarna som påverkar energianvändningen så exakt som möjligt samt minimera avvikelserna mellan uppmätt och beräknad energianvändning föreslås åtgärder som bättre kommunikation under projekteringsskede samt energiuppföljning och driftoptimering under driftskede. Det finns emellertid ett stort behov av att undersöka ett större antal lågenergibyggnader, vilket gör det möjligt att identifiera variationer i de brukarrelaterade parametrar som påverkar energianvändning. Den erfarenhet som fås och insamlade mätdata kan sedan användas av forskare och industrin. Detta skulle hjälpa deras ansträngningar för att minimera avvikelserna samt förbättra byggnadssimuleringsverktyg genom att inkludera tekniska och mänskliga aspekter på ett mer omfattande sätt. Detta skulle då bidra till att uppfylla det övergripande målet att förbättra energieffektiviteten i byggbranschen och att minska byggsektorns effekter på klimatförändringarna. Det kommer alltid att finnas variationer i brukarrelaterade parametrar som är svåra att förutsäga och dessa kommer att påverka energianvändningen. Hur vi bäst kan hantera denna oundvikliga aspekt är en fråga för framtida forskning.

REFERENSER

- [1] Branko Simanic, Dennis Johansson, Birgitta Nordquist and Hans Bagge (2018), 'User Related Input Data for Energy Use Calculations – the Case of Low Energy Schools in Sweden' in the Springer proceedings in Energy, The 9th International Cold Climate HVAC Conference 2018: pp 747-758; https://doi.org/10.1007/978-3-030-00662-4_63
- [2] Branko Simanic, Birgitta Nordquist, Hans Bagge and Dennis Johansson (2019), 'Indoor air temperature, CO₂ concentration and ventilation rates: long-term measurements in newly built low-energy schools in Sweden', Journal of Building Engineering, Volume 25; <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100827>
- [3] Branko Simanic, Birgitta Nordquist, Hans Bagge and Dennis Johansson (2019), 'Predicted and Measured User-related Energy Use in Newly Built Low-energy Schools in Sweden', Journal of Building Engineering, Volume 29; <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101142>
- [4] Branko Simanic, Birgitta Nordquist, Hans Bagge and Dennis Johansson (2020), 'Influence of user-related parameters on calculated energy use in low-energy school buildings', MDPI Energies, 13, 2985; <https://doi.org/10.3390/en13112985>
- [5] Branko Simanic (2020), 'Energy use in hotels and low-energy schools: Measurements and analysis of energy use and user-related parameters'; Lund: Lund Institute of Technology, Division of Building Services, 87 pp; ISBN 9789185415137; <https://lubcat.lub.lu.se/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=6638954>