Rapport 2022:7

Inomhusklimat i hus med inglasade fasader

Inomhusklimat i hus med inglasade fasader

Mikael Risberg, Petter Lundqvist,
Sofia Lidelöw, Shimantika Bhattacharjee
Luleå tekniska universitet

Energimyndighetens projektnummer: 46849-1

E2B2

Förord

E2B2s vision är en resurs- och energieffektiv byggd miljö.

Bebyggelsesektorn svarar för cirka en tredjedel av Sveriges totala energianvändning och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet. I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinator. Programmets andra programperiod pågår mellan 2018 och 2021.

Syftet med E2B2 är att ta fram ny kunskap, teknik, tjänster och metoder som bidrar till en hållbar energi- och resursanvändning i bebyggelsen. Det läggs därför stor vikt vid samverkan mellan näringsliv, samhälle och akademi och programmet ska bidra till och vara ett verktyg för att länka samman behovsägare med projektutförare.

Inomhusklimat i hus med inglasade fasader är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten. Det har letts av Luleå tekniska universitet och har genomförts i samverkan med AB PiteBo.

Projektet har tagit ett helhetsgrepp på hur inglasning av fasader påverkar energianvändning och termisk komfort inomhus. Projektet har mätt och utvärderat inomhusklimat, brukarupplevelser och användning av energi i en lågenergibyggnad med till stora delar två klimatskal, beläget i subarktiskt klimat.

Stockholm, 24 juni 2021

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att E2B2 har tagit ställning till innehållet.

Sammanfattning

Endast ett fåtal studier har adresserat hur inglasade utrymmen såsom balkonger påverkar energianvändningen och inomhusklimatet för bostadshus i ett subarktiskt klimat. Projektets syfte är att belysa detta genom att studera energianvändningen samt termiskt inomhusklimat i ett lågenergiflerbostadshus i norra Sveriges subarktiska klimat.

För att studera detta har både byggnadsenergisimuleringar och detaljerade numeriska metoder i form av CFD-simuleringar utförts. Dessa simuleringar har även kompletterats med mätningar samt en enkätundersökning till boende.

Utifrån beräkningar, enkäter och mätningar uppvisar det studerade lågenergiflerbostadshuset ett bra inomhusklimat och den specifika energianvändningen på 90 kWh/m^2 A_{temp}, år är 30 procent lägre än de BBR-krav som gällde vid tiden för byggnation och uppfyller kraven för Miljöbyggnad Silver. Däremot använder byggnaden mer energi än vad som var projekterat.

Överlag tyder resultaten från projekt på att inglasningar är viktiga att beakta då byggnader med stor andel inglasad fasad projekteras för att mer träffsäkert kunna uppskatta energianvändningen i drift. Modelleringen av de inglasade balkongerna i IDA ICE var tidskrävande. Vilket kan vara ett hinder för den praktiska tillämpningen, särskilt då de var rundade och byggnaden har en oval utformning. Arbetet med simulering visar att det inte fanns någon etablerad metod för utförandet vid projektering.

Resultaten visar på att det är skillnad om man tar hänsyn till inglasningar vid byggnadsenergisimuleringar och projektering. Det är därför viktigt att undersöka betydelsen av detta för fler byggnadsobjekt där man både tar hänsyn till geografisk placering och utformning.

Nyckelord: Inglasning, lågenergiflerbostadshus, subarktiskt, CFD, energisimulering, IDA ICE

Summary

Only a few studies have addressed how glazed spaces such as balconies affect energy use and the indoor climate for residential buildings in a subarctic climate. The project aims to study energy use and the indoor thermal climate in a low-energy apartment building in northern Sweden's subarctic climate.

To study this, both building energy simulations and detailed numerical calculations in the form of CFD simulations have been performed. These simulations have also been supplemented with measurements and a survey.

Based on calculations, surveys and measurements, the studied low-energy apartment building shows a good indoor thermal climate and the specific energy use of 90 kWh/m^2A_{temp}, year, which is 30% lower than the BBR requirements that applied at the time of construction and met the criteria for Miljöbyggnad Silver. On the other hand, the building uses more energy than was predicted during the design.

Overall, the results from projects indicate that glazing is important to consider when buildings with a large proportion of glazed facades are designed to be able to predict energy use more accurately. The modelling of the glazed balconies in IDA ICE was time-consuming, which can be an obstacle for practical application, especially when the building has an oval design. The work with simulation shows that there was no established method for this to be used during the design of the building.

The results show that there is a difference if glazing is taken into account when building energy simulations during the design phase are performed. Therefore, it is essential to investigate the significance of this for more building objects where different geographical locations and building design are considered.

Keywords: Glazing, low-energy apartment buildings, subarctic, CFD, energy simulation, IDA ICE

INNEHÅLL

1 INLEDNING OCH BAKGRUND 7

2 GENOMFÖRANDE 8

2.1 BESKRIVNING AV STADSTORNET 8

2.2 MÄTNINGAR 9

2.3 ENKÄT 10

2.4 SIMULERINGAR MED IDA ICE 10

2.5 SIMULERINGAR MED CFD 11

3 RESULTAT 12

3.1 ENERGIPRESTANDA 12

3.2 TERMISKT INOMHUSKLIMAT OCH UPPLEVD KOMFORT 14

3.3 DETALJERADE SIMULERINGAR AV INOMHUSKLIMATET 15

4 DISKUSSION 18

5 REFERENSER 20

1 Inledning och bakgrund

Endast ett fåtal studier har adresserat hur vanligt förekommande inglasade utrymmen såsom balkonger påverkar energianvändningen och inomhusklimatet för bostäder i ett subarktiskt klimat. Projektets syfte är att belysa hur energianvändning och termisk komfort påverkas genom att studera dessa i ett lågenergiflerbostadshus i norra Sveriges subarktiska klimat. Huset är uppfört med största delen inglasade balkonger som täcker ca 70 procent av ytterväggsarean medan resterande delar är en konventionell yttervägg som är välisolerad. Tillsammans med balkongerna får byggnaden en oval utformning.

De inglasade balkongerna fungerar som temperaturreglerande zoner som bidrar till uppvärmning av innanförliggande lägenheter samtidigt som de sommartid kan ge upphov till höga inomhustemperaturer. Eftersom byggnaden till stor del är täckt av dessa balkonger innebär det i praktiken att byggnaden har två klimatskal; en traditionell kärna samt en yttre mantel av i huvudsak glas. Mellan dessa två kommer temperaturen under stora delar av året vara högre än utomhustemperaturen, vilket kommer att påverka det termiska inomhusklimatet och energianvändningen jämfört med en traditionell byggnad. En annan viktig parameter som påverkar både inomhusklimatet och energianvändningen är solinstrålningen, som kommer att variera beroende på bland annat väderstreck, fönsterplacering och förekommande solavskärmning.

Projektets mål är att utveckla kunskapen om funktionen i driftsfas för ett lågenergiflerbostadshus i norra Sveriges subarktiska klimat med avseende på både energianvändningen och inomhusklimatet. Inom projektet har även en jämförelse med andra kända lågenergibostadshus inom den subarktiska regionen genomförts samt att man undersökt hur man skall kunna optimera lösningar för klimatskal med en stor andel inglasade balkonger. Under projektet har både metodiken och resultaten diskuteras med kommuner, fastighetsägare, leverantörer och experter i norra Sverige.

I projektet har Luleå tekniska universitet och AB PiteBo deltagit.

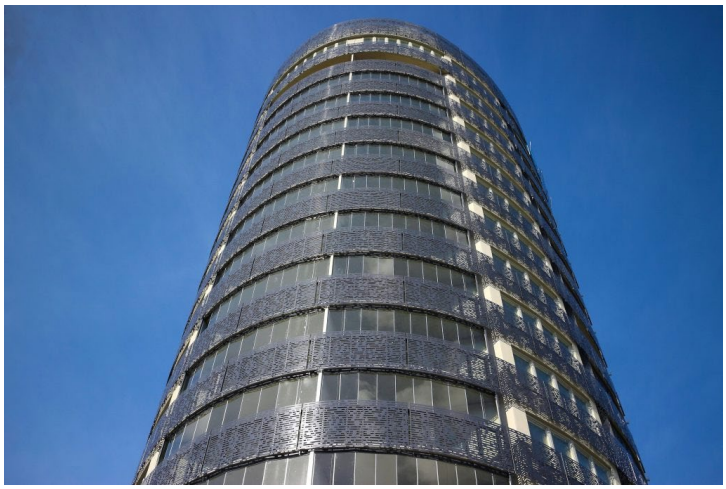
2 Genomförande

Inom projektet har ett antal delmoment utförs. Första steget var insamling av befintliga data om lågenergiflerbostadshuset stadstornet följt av insamling av data så som temperaturer och värme, samt intervjuer med de boende. Parallellt med detta har både framtagande av modeller baserade på byggnadsenergisimuleringar med programvarupaketet IDA-ICA och strömningsdynamiska simuleringar (CFD) genomförts. Dessa modeller har använts för att simulera energianvändningen för byggnaden samt inomhusklimatet för enskilda lägenheter. Slutligen jämfördes modellerna med data och intervjuerna för att kunna dra slutsatser.

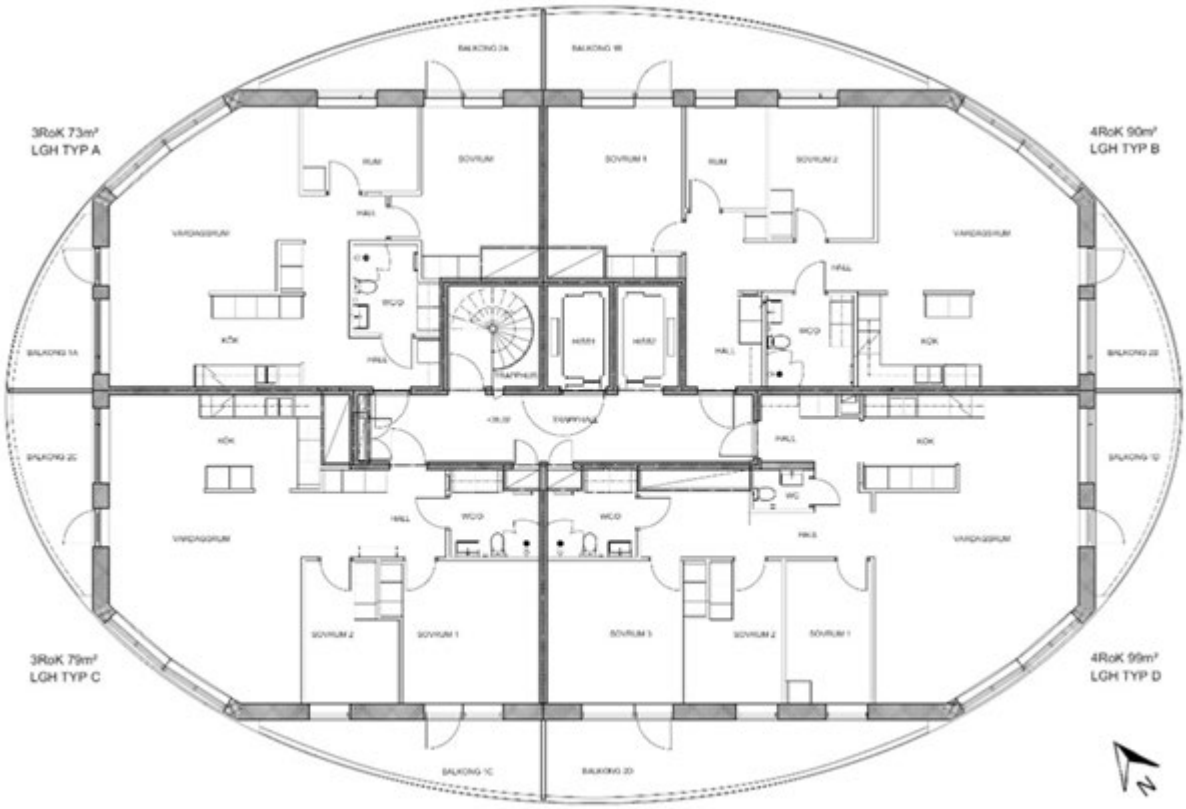
Under projektet har både metodiken och resultaten diskuteras med kommuner, fastighetsägare, leverantörer och experter i norra Sverige. Detta främst under en workshop i Kiruna som arrangerades tillsammans med det Interreg nord finansierade projektet EEBAK men även löpande under projektet vid till exempel projektmöten.

2.1 Beskrivning av stadstornet

Stadstornet är ett höghus placerat i Piteå som stod klart 2017. Byggnaden har 16 våningar med totalt 60 lägenheter i varierande storlekar mellan 46-148 m^2. Byggnaden är en lågenergibyggnad som är miljöcertifierad enligt det svenska systemet Miljöbyggnad, betyg Silver. Den byggdes av NCC och ägs av det kommunala bostadsbolaget AB PiteBo. De flesta lägenheterna har två inglasade balkonger i olika väderstreck. Med de inglasade balkongerna får byggnaden en oval form, se figur 1 och 2. Med sin ovala form och höga andel inglasade fasad (cirka 70 procent av ytterväggsarean) är byggnaden unik i norra delen av Sverige där ett subarktiskt klimat råder.



Figur 1. Foto av fasaden på Stadstornet (Pitebo).



Figur 2. Typplan för våning 9-14 i Stadshuset.

Byggnaden värms med fjärrvärme via ett vattenburet radiatorsystem och ventileras med från- och tilluftssystem med värmeåtervinning (FTX). Stommen är uppbyggd av prefabricerade, isolerade vägg- och bjälklagselement i betong. Klimatskärmens genomsnittliga U-värde är 0,40 W/m^{2}K och genomsnittliga U-värden för de olika byggnadsdelarna är 0,13 W/m^{2}K för tak, 0,21 W/m^{2}K för väggar, 0,17 W/m^{2}K för grundkonstruktionen och 0,81 W/m^{2}K för fönster/fönsterdörrar.

2.2 Mätningar

Samtliga lägenheter var utrustade med temperaturgivare i respektive hall. Data från dessa givare gav en samlad bild av temperaturdistributionen i höjd och olika väderriktningar. Utöver detta monterades temperaturgivare i balkonger och angränsande rum i fyra lägenheter för att kunna ge en temperaturgradient från givare i hall till balkong. Samtliga givare placerades i skuggad och loggade data med 15 minuters mellanrum.

I en av lägenheterna mättes lufthastigheter i vertikala led i mitten av rummen för att kunna skapa gradienter över luftflödet. Lufthastigheter mättes även i dörröppningar, i närhet av ventilation samt på balkongerna. Detta skedde i två omgångar – höst och vinter. På grund av Covid-19 kunde ytterligare mätningar inte genomföras och tillgång till fler lägenheter var begränsade.

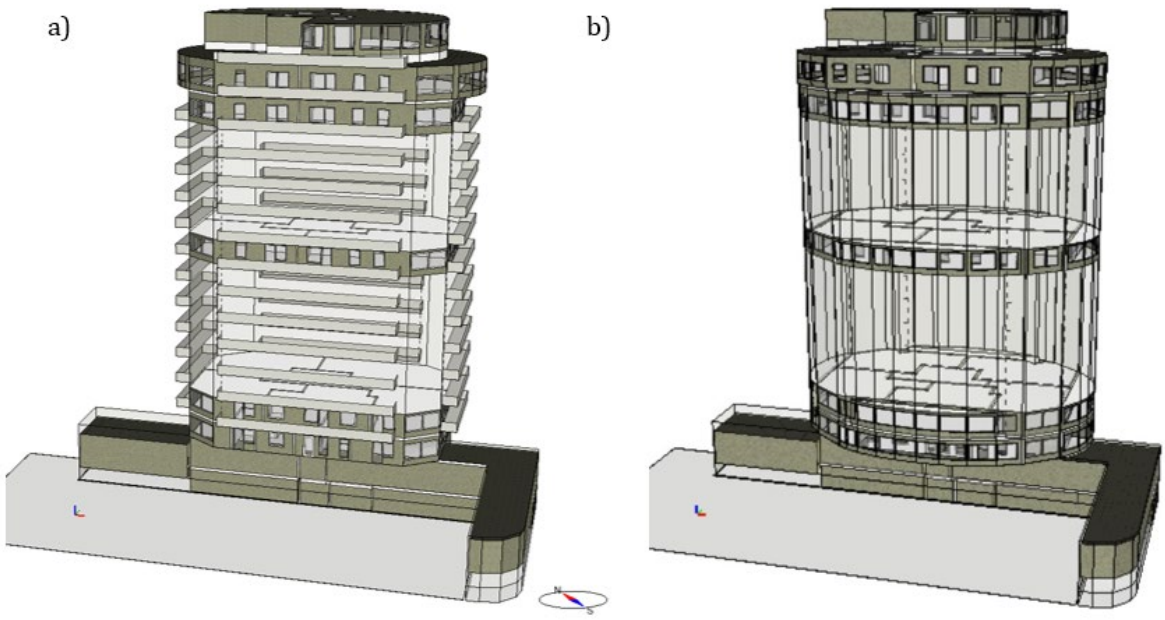
Energimätningar på byggnadsnivå omfattade använd fjärrvärme för varmvatten, total fjärrvärmeanvändning och fastighetselanvändning (exklusive tillförd el till motorvärmare). Inom projektet analyserades uppmätt energianvändning för perioden juni 2018-maj 2019. Energianvändning för uppvärmning normalårskorrigerades med SMHI Energi-Index.

2.3 Enkät

En enkätundersökning om hur boende upplever inomhusklimatet i lägenheterna genomfördes under juli 2018, som var en av de varmaste julimånaderna som hittills uppmätts i Piteå. Enkäten innehöll frågor om hur de boende upplever inomhusklimatet med avseende på värme och temperatur, luftkvalitet och ventilation samt ljudmiljö. Enkäten delades ut till samtliga boende i lägenheterna. Svar inkom från 34 av totalt 60 lägenheter i huset, vilket motsvarar en svarsfrekvens på 57 procent.

2.4 Simuleringar med IDA ICE

Dynamiska simuleringar av byggnadens energianvändning och termiska inomhusklimat genomfördes med programvaruverktyget IDA ICE 4.7. För att studera hur den inglasade fasaden kan påverka energianvändningen och det termiska inomhusklimatet användes två byggnadsmodeller, en utan och en med de inglasade balkongerna (se figur 3). Den förenklade simuleringsmodellen utan inglasade balkonger motsvarar den som skapades och användes i projekteringsskedet. Simuleringsmodellen med inglasade balkonger utvecklades inom ramen för detta E2B2-projekt. Modellen förenklades genom att balkonger i samma väderstreck och på samma våning modellerades som en istället för två oventilerade zoner. Simuleringsmodellen validerades med mätdata för perioden juni 2018-maj 2019.



Figur 3. Byggnadsmodell av Stadstornet a) utan och b) med inglasade balkonger från simuleringsverktyget IDA ICE.

Energianvändningen simulerades och analyserades på årsbasis. Termiskt inomhusklimat analyserades utifrån simulerad operativ temperatur (medelvärdet av luftens temperatur och omgivande ytors temperatur) i lägenheter och balkonger belägna i olika väderstreck på våning 9.

2.5 Simuleringar med CFD

Simuleringar med CFD genomfördes med programvarupaketet ANSYS 2020 R2. Geometrin skapades utifrån ritningar. För att inte behöva använda mer datorkraft än nödvändigt begränsades modellen till att inkludera endast en balkong och en yttervägg, samt de interiörerna i anslutning till balkongen. I figur 4 visas begränsningen av en typisk lägenhet som användes, samt den mesh som skapades för beräkningarna.

Mesh och inställningar för lösaren baserades på tidigare studier från simulering av inomhusklimat i byggnader (Lundqvist et al, 2019). Detta inkluderade bland annat att ge de finita volymerna en maximal storlek på 0.1 meter, med en viss förfining kring in- och utlopp. ANSYS Fluent användes som lösare. Discrete Ordinates användes för strålningsmodellen, tillsammans med den inbyggda modellen för beräkningar av solinstrålning utifrån datum och tidpunkt. Eftersom det förekommer turbulens i vissa delar av volymerna användes k-ε modellen. Randvillkor ställdes in enligt material och rådande förhållanden utomhus. Modellen validerades mot uppmätt data för lufttemperatur och lufthastigheter från hösten och vintern.

Ytterväggarna, inkluderat den mellan balkong och lägenhet, är i modellen oändligt tunna, men använder ett gränssnitt som matematiskt gav både tjocklek och termiska egenskaper enligt verkligheten. Värmetransporten från insida till utsida är alltså den verkliga. Värmetransporten ut påverkas av både temperaturer och värmeöverföringskoefficienten, vilken i sin tur beror på lufthastigheterna utomhus.

Figur 4. Begränsad del av lägenhetstyp C, samt den mesh som användes för CFD beräkningarna.

3 Resultat

3.1 Energiprestanda

Byggnadens energiprestanda beräknades utifrån projekterad och uppmätt energianvändning för det första driftåret (juni 2018-maj 2019), se tabell 1. Både projekterad och uppmätt energiprestanda uppfyller med god marginal BBR:s krav och kravet för indikatorbetyg Silver i Miljöbyggnad 2.2.

Den i projekteringsskedet beräknade specifika energianvändningen var 17 procent lägre än den uppmätta på grund av att energianvändningen för främst uppvärmning och i viss mån även fastighetsel blev högre än beräknat. Det finns flera möjliga förklaringar till denna avvikelse. I projekteringsskedet följdes Svebys då gällande rekommendationer vilket bland annat innebar att en klimatfil för Umeå, som är beläget 35 km söder om Piteå, användes. En annan viktig skillnad mellan modellen och den verkliga byggnaden var att effekten av de inglasade balkongerna bortsågs från i projekteringsskedet.

Tabell 1. Byggnadens energiprestanda beräknad utifrån projekterad respektive uppmätt normalårskorrigerad energianvändning jämfört med det krav i BBR som gällde vid tiden för byggnadens bygglov.

	Energi till uppvärmning [kWh/m² A_{temp}, år]	**Energi till tappvarmvatten [kWh/m² A_{temp}, år]**	**Energi till fastighetsel [kWh/m² A_{temp}, år]**	**Specifik energianvändning [kWh/m² A_{temp}, år]**
Projekterad	37	25	15	77
Uppmätt	52	17	21	90
Krav enl. BBR21				130

Jämförelse med andra kända lågenergihus i den subarktiska regionen visas i Tabell 2.

Tabell 2. Energiprestanda för andra lågenergihus i den subarktiska regionen.

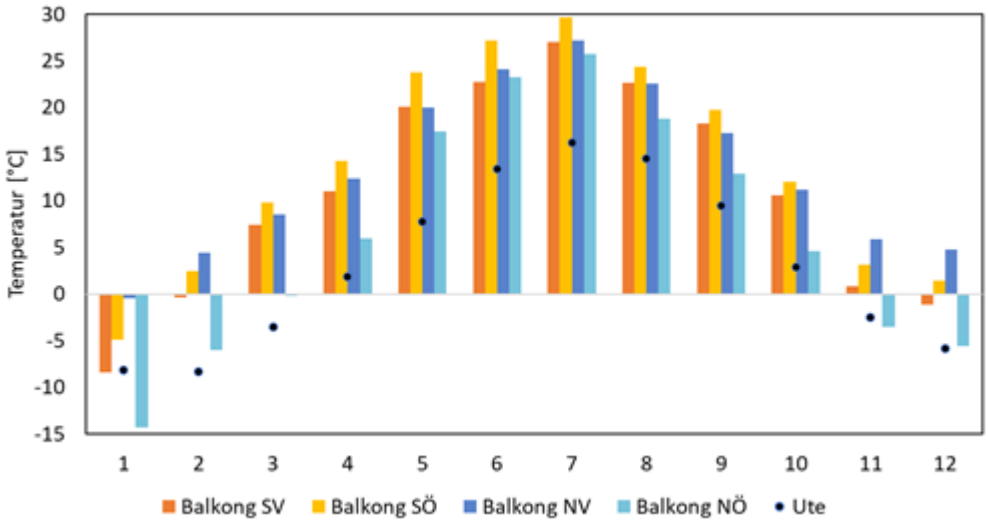
	Specifik energianvändning [kWh/m² A_{temp}, år]
Sjunde huset Kiruna	70
Jektholtet Harstad	120
Lusthusbacken Piteå	110

Jämförande energisimuleringar i IDA ICE av byggnaden utan och med inglasade balkonger (och i övrigt samma indata) visade också att energianvändningen för uppvärmning blev högre i fallet med inglasade balkonger då, se tabell 3. För Stadstornet förefaller alltså energianvändningen för uppvärmning påverkas negativt av de inglasade balkongerna.

Tabell 3. Byggnadens simulerade årliga energianvändning för uppvärmning utan och med inglasade balkonger.

Byggnadsmodell	**Energianvändning för uppvärmning [kWh/m² A_{temp}, år]**
Utan inglasade balkonger	44
Med inglasade balkonger	53

Den troliga förklaringen till att energianvändningen för uppvärmning över ett helt år blir högre med inglasade balkonger än utan är att balkongerna orsakar skuggning och avskärmar solinstrålningen och därmed reducerar solvärmetillskottet som leder till att en mindre mängd solinstrålning når in i lägenheterna. Det inglasade utrymmet i sig fungerar som en värmebuffert där temperaturen under stora delar av året är högre än uteluftstemperaturen (se figur 5), vilket borde minska transmissionsförlusterna för den del av ytterväggen som vetter mot inglasningarna.



Figur 5. Medeltemperaturer i uteluft och genomsnittliga simulerade operativa temperaturer på inglasade balkonger i olika väderstreck under juni 2018-maj 2019. Månaderna är numrerade från januari till december.

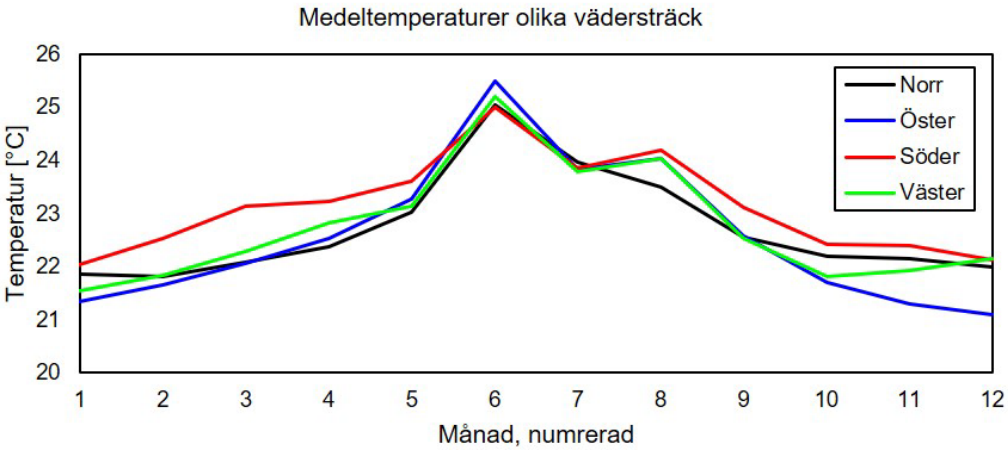
När temperaturerna på balkongerna är högre än temperaturen inomhus, kan byggnaden inte förlora värme genom väggytan mot balkongen. Som exempel kan vi titta lägenhetstyp C på våning 14 under en dag i april. På en eftermiddag steg temperaturer på balkongerna över de inomhus - upp mot 30°C på grund av klart väder. Vid samma tidpunkt var temperaturen utomhus 5°C, och byggnaden var alltså i behov av värme. Lägenhetstyp C har ca 85 procent av sina ytterväggar mot balkonger, vilket i detta fall agerade som en buffert mot värmeförlusterna. Värmetransporten genom klimatskalet leder till att byggnaden tar upp värme från balkongerna vid detta tillfälle. Inräknat värmeförluster genom klimatskalet utåt blir värmeförlusterna försumbara denna eftermiddag.

3.2 Termiskt inomhusklimat och upplevd komfort

Resultat från enkätundersökningen som genomfördes i juli 2018 indikerar en allmänt acceptabel grad av tillfredsställelse med de termiska förhållandena under vintern, och en hög grad av tillfredsställelse med de termiska förhållandena under sommaren. De angivna orsakerna till missnöje inkluderade: för kallt under vintern (12 lägenheter; 34 procent), för varmt under sommaren (6 lägenheter; 18 procent), rumstemperatur varierar med utetemperatur (18 lägenheter; 53 procent), kalla golv (11 lägenheter; 32 procent) och kalldrag (4 lägenheter; 12 procent).

De flesta av de svarande som uppgav att de stördes av kalla rum och/eller golv bor i lägenheter med inglasningar orienterade mot norr eller öster, vilket tyder på att lägenheter i dessa riktningar är mer utsatta för kyla på grund av den låga solinstrålningen under vintern. Intressant att notera är att det, trots att juli 2018 var en av de varmaste julimånaderna som hittills uppmätts i Piteå, endast var boende i 6 av 34 svarande lägenheter som uppgav att det var för varmt i något rum under sommarhalvåret. Dialoger med fastighetsskötare pekar på att också fastighetsägaren mottagit förhållandevis få felanmälningar eller klagomål från boende angående de termiska förhållandena i lägenheterna.

De uppmätta temperaturerna i lägenheterna bekräftar att det inte förekommer några extrema temperaturer som skapar utmärkande obehag under längre tider. I figur 6 visas medeltemperaturen från januari till december år 2020 för lägenheter belägna i olika väderstreck. Lägenheter mot söder hade en högre medeltemperatur under de första månaderna av 2020 medan resten av lägenheterna hade liknande eller samma medeltemperaturer. Lägenheter mot norr och öster hade under våren lägre temperaturer än de mot söder och väster. Detta visar på att väderstreck, och alltså solen, påverkar inomhusklimatet, vilket även bekräftar enkätundersökningens resultat om skillnader i kalla rum och/eller golv mot norr och öster.



Figur 6. Medeltemperaturer i lägenheter under år 2020 i de fyra väderstråcken. Månaderna är numrerade från januari (1) till december (12).

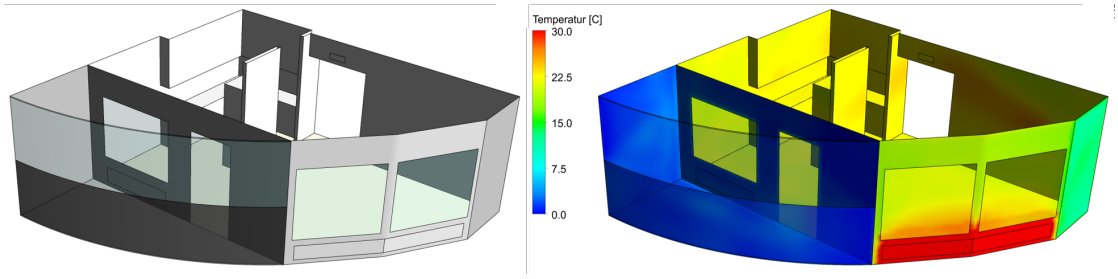
Under sommaren var medeltemperaturen i lägenheterna runt 25°C i juni och 24°C i juli, oavsett väderstreck. Det kan därför antas att väderstreck har en mindre påverkan under sommaren då solen endast är borta en kortare period under natten. Den högsta uppmätta temperaturen inomhus var 29°C, vilket vid mättillfället motsvarade utomhustemperaturen. Under vinterhalvåret var medeltemperaturen 22°C i byggnaden. Som lägst uppmättes 20°C. Denna temperatur återfanns både i lägenheter mot norr och väster under.

Från och med mitten på mars kan balkonger mot sydost, söder och sydväst ha temperaturer som är högre än temperaturerna inomhus. Balkonger mot nordost, norr och nordväst når temperaturer över inomhustemperaturerna i april och maj. Oavsett väderstreck kan balkongerna ha högre temperatur än de inomhus fram till september. Maximala uppmätta temperaturerna på balkongerna var 48°C, vilket ägde rum i juni. Temperaturer över 40°C förekom även under de övriga sommarmånaderna. Dessa förhöjda temperaturer kan kopplas till solens strålning.

3.3 Detaljerade simuleringar av inomhusklimatet

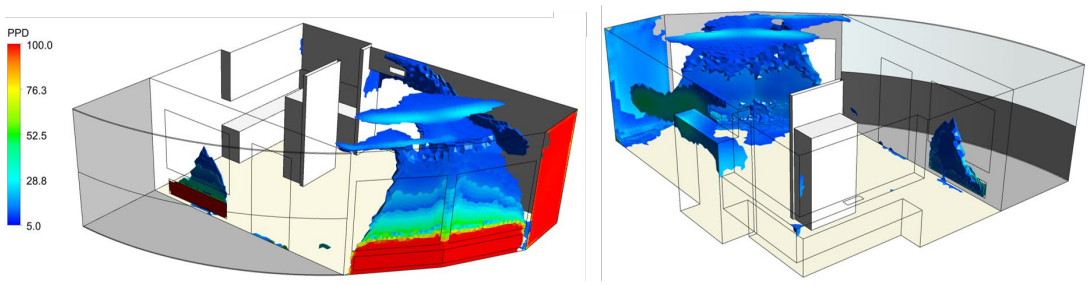
Modellen som byggdes upp validerades med de lufttemperaturerna och lufthastigheterna som mättes i vertikalt på balkong och intilliggande rum som genomfördes i mars 2020. Vid rådande förhållande var det 1,5°C utomhus och i snitt 1,7°C på balkongen, och en vindhastighet på 6 m/s.

Med hjälp av den validerade modellen var det möjligt att undersöka temperaturer och andra termiska parametrar på detaljnivå. Exempel på detta illustreras i figur 7, där lägenheten först visas i sitt ursprung och sedan med temperaturer på ytorna.



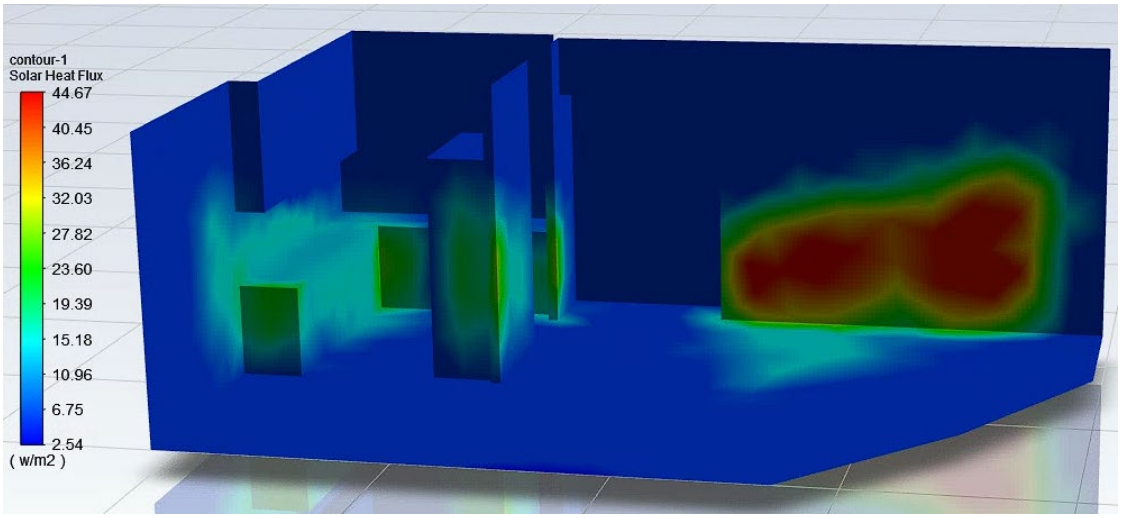
Figur 7. Modell använd för CFD beräkningarna (vänster) med temperaturer på ytorna (höger).

Fangers index för beräknat missnöje, Predicted Percentage Dissatisfied (PPD), beräknades baserat på att personen satt stilla klädd i typiska vinterkläder för inomhusbruk, det vill säga att både clothing och metabolic rate var satta till 1. Gränsvärdet för ett bra termiskt klimat är 10 procent eller lägre. CFD modellen visade ett snitt 7,4 procent, vilket innebär ett bra och acceptabelt termiskt inomhusklimat. Eftersom 10 procent är gränsvärdet plottades PPD inomhus där det beräknades vara över 10 procent. Detta illustreras i figur 8, där det går att se var beräknat missnöje finns. Detta är främst i anslutning till radiatorerna, vilket beror på för höga temperaturer. I normala fall är detta inget problem då dessa områden ligger utanför vistelsezonen.



Figur 8. PPD utmarkerad där det överstiger 10% inomhus i lägenheten.

Med hjälp av CFD-modellen var det även möjligt att undersöka solinstrålningen och se uppvärmda ytor, vilket visas i figur 9. För den aktuella simuleringen syns det tydligt att mindre andel av solinstrålningen når insidan där den inglasade balkongen är. Orsaken till denna skillnad är att balkongen tar upp en del av värmen, vilket då minskar solinstrålningens transmission till insidan. På grund av balkongernas utformning uppstår även en effekt av skuggning från balkongen ovanför som minskar solinstrålningen. Balkongerna kan därför indirekt agerar som solskydd. Det innebär att på det stora hela får byggnaden mindre solinstrålning än vid projekteringen av byggnaden.



Figur 9 . Värmestrålningen från solen på ytor inomhus.

3.4 Optimering av inglasning och klimatskal runt dessa.

För närvarande finns ingen optimal lösning för hur inglasningar och installationer runt dessa skall designas för att minska energianvändningen för en byggnad med en stor del inglasad fasad. Men resultaten visar på att både g och u-värden för fönster samt inglasningen kommer att påverka resultaten och dessa måste optimeras. Vidare visar resultaten att skuggningen från balkongerna har stor påverkan på solinstrålningen och att man får mindre solstrålningen på grund av detta. Hur detta påverkar energianvändningen kommer att vara platsberoende vilket gör att det är svårt att hitta en optimal design för inglasningar generellt och därför måste man ta hänsyn till dessa frågor redan vid projekteringsskedet. Då både byggnadsenergisimuleringar och CFD-simuleringar är tidskrävande om man skall ta med inglasade balkonger på ett korrekt sätt. Så för att kunna optimera detta är det viktigt att detta studeras vidare och man kan utveckla en metodik som fungerar vid projekteringsskedet av nya byggnader.

4 Diskussion

Stadstornet är genom sin speciella utformning ett unikt lågenergiflerbostadshus i norra Sveriges subarktiska klimat och därför finns inga riktigt liknande byggnader att jämföra dess energiprestanda med. Husets specifika energianvändning på 90 kWh/m^2 A_{temp}, år är 30 procent lägre än de BBR-krav som gällde vid tiden för byggnation och uppfyller kraven för Miljöbyggnad Silver. Jämfört med andra lågenergihus i den subarktiska regionen är energianvändningen högre än i Sjunde huset i Kiruna, ett superisolerat parhus byggt med passivhusteknik, som har en specifik energianvändning på omkring 70 kWh/m^2 A_{temp}, år (Risberg et al. 2019). Men energianvändningen är exempelvis lägre än i lågenergismåhusen i Jektholtet i Harstad, norra Norge, som har en specifik energianvändning på över 120 kWh/m^2 A_{temp}, år (Wigenstad, 2007) och lågenergiflerbostadshusen på Lusthusbacken i Piteå, med en specifik energianvändning på omkring 110 kWh/m^2 A_{temp}, år (Energimyndigheten och Boverket (2018). Sammantaget har huset en god energiprestanda i drift.

Mätningarna av inomhusklimatet visar att det över året är jämna temperaturer och bra komfort inomhus. Detta återspeglas även i enkäten. Övertemperaturer förekommer endast vid ett fåtal tillfällen per år, och alltid i samband med höga temperaturer utomhus under sommarmånaderna oavsett väderstreck. Övertemperaturer är i första hand relaterat till temperaturen utomhus och inte till solens instrålning. Detta innebär att solen i sin tur ökar övertemperaturerna ännu mer och att solskydd skulle kunna vara aktuellt för byggnaden. Balkongerna kan redan till en viss del skärma av mot solen, men för ett bättre inomhusklimat skulle ytterligare solskydd behövas.

Byggnadsenergisimuleringar och mätningar tyder på att energianvändningen för uppvärmning underskattas om inte de inglasade balkongerna tas hänsyn till i projekteringsskedet. Orsaken till detta förefaller vara att solinstrålning minskar på grund av inglasningen av balkongen, vilket indikeras av detaljsimuleringar av det termiska inomhusklimatet med hjälp av CFD-modellen. Samtidigt kommer värmeförlusterna genom den del av ytterväggen som omsluts av inglasningen bli lägre eftersom temperaturen i inglasningen är högre än utetemperaturen under större delen av året. Men den minskade värmeförlusten verkar inte upphäva effekten av den minskade solinstrålningen in i lägenheten. Resultaten pekar på att inglasningar är viktiga att beakta då byggnader med stor andel inglasad fasad projekteras för att mer träffsäkert kunna uppskatta energianvändningen i drift. Modelleringen av de rundade balkongerna i IDA ICE var dock tidskrävande, vilket är ett hinder för den praktiska tillämpningen. Då resultaten visar på att det är stor skillnad om man tar hänsyn till inglasningar vid byggnadsenergisimuleringar är det viktigt att fortsätta undersöka betydelsen av detta för fler byggnadsobjekt där man både tar hänsyn till geografisk placering och utformning.

Simulering av termiskt inomhusklimat med hjälp av CFD har genomförts i ett flertal studier. Vid denna typ av arbete modelleras normalt endast de interna volymerna, till exempel rum och dörröppningar, medan solida delar, till exempel väggar, utelämnas i så stor utsträckning som möjligt. Det visade sig därför inte finnas något rakt tillvägagångssätt att modellera de inglasade balkongerna för den studerade byggnaden, där värmetransport sker mellan den interna volymen och den externa balkongen. Den litteraturstudie som har genomförts visar att detta fenomen inte heller är studerat på detta sätt tidigare. Det kan finnas behov att utveckla en metod för att lättare kunna studera hur inglasade partier utanför klimatskalet påverkar det termiska inomhusklimatet.

Då resultaten visade på en ökad energianvändning med inglasade balkonger där både skuggning och g-värde för glasen för inglasningen kommer att påverka solinstrålningen. Detta kommer att innebära att dessa måste optimeras för and att man inte skall öka energianvändningen för byggnaden. För närvarande finns det ingen optimal lösning för hur detta skulle kunna göras utan detta behövs arbetas vidare på. Men resultaten i rapporten visar på vikten att man tar hänsyn till inglasningar under projekteringsskedet vilket man för närvarande inte gör.

5 Referenser

Energimyndigheten och Boverket: “Utvärdering av lågenergibyggnader - fallstudie 2017”: Statens energimyndighet, Eskilstuna, ER 2018:08, 2018

Lundqvist, P, Risberg, M, Westerlund, L: “Air heating system design for a sub-Arctic climate using a CFD technique”, Building and Environment, Vol. 160, 2019

Risberg, D, Risberg, M, Westerlund, L: ”Investigation of thermal indoor climate for a passive house in a sub-Arctic region using computational fluid dynamics” Indoor and Built Environment, Vol. 28(5), 677-692, 2019

Wigenstad, T: ”Jektholtet – Harstad, Lavenergiboliger. Oppfølging” SINTEF rapport, SBF BY A07020, 2007

En tredjedel av all energi som används i Sverige används i bebyggelsen och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet.

I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i E2B2.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinator. Läs mer på www.E2B2.se.