



# Studie av vindsisolering i flerbostadshus



# Studie av vindsisolering i flerbostadshus

Roland Thérus, Riksbyggen

Jonas Karlsson, Riksbyggen

Hans Bagge, Lunds Universitet

Dennis Johansson, Lunds Universitet

Akram Abdul Hamid, Lunds Universitet

Jan Kristoffersson, Sustainable Innovation



Energimyndighetens projektnummer: 46800-1

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 koordinatör. 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.

*Studie av vindisolering i flerbostadshus* är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten. Det har letts av Sustainable Innovation i Sverige och har genomförts i samverkan med Riksbyggen och Lunds Universitet.

Projektet har undersökt effekterna av tilläggsisolering av vindsbjälklag i flerbostadshus. Forskarna har studerat energieffektivisering, fuktproblematik, inomhusklimat och de boendes upplevda inomhusmiljö. Lärdomarna har omsatts i en praktisk vägledning för projektledare som står inför beslut om åtgärder.

Stockholm, den 5 mars 2021

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



## Sammanfattning

Projektet har studerat effekterna av tilläggsisolering av vindsbjälklag i flerbostadshus med avseende på energieffektivisering, fuktproblematik, uppmätt inomhusklimat och de boendes upplevda inomhusklimat.

Studien baseras på noggranna tekniska mätningar samt intervjuer med boende, omfattande fyra huskroppar i bostadsområdet Kvinneby i Linköping. Tilläggsisolering av vindsbjälklagen har genomförts i två av byggnaderna medan de två andra byggnaderna har fungerat som referensobjekt.

Projektet konstaterar att tilläggsisoleringen i de studerade husen har gett en substantiell besparing av både energi och effekt för uppvärmning, samtidigt som de som bor i huset är nöjda med inneklimatet och inte har störts av åtgärden medan den utfördes. Resultaten visar även att man efter en tilläggsisolering har anledning att injustera uppvärmningssystemet i och med att byggnadens värmebalans ändras.

Fuktmätningarna visar inte på en ökad fuktrisk efter tilläggsisoleringen i de studerade husen men det är viktigt att påpeka att fuktsäkerheten behöver utvärderas i varje enskilt fall där tilläggsisolering är aktuellt.

Lärdomar från projektet har omsatts i en praktisk handledning *Tilläggsisolering av vindsbjälklag - En handledning för beställare och förvaltare* (publicerad av Sustainable Innovation i mars 2021).

Projektet har genomförts i samverkan mellan Riksbyggen, Sustainable Innovation och Lunds universitet.

*Nyckelord:* Isolering, vindsisolering, flerbostadshus, fuktsäkerhet, energieffektivisering, fuktmätning, utvärdering.



## Summary

The present project has determined the impact of added insulation in cold attics of Swedish apartment buildings, as an energy efficiency measure. The impact of the measure has been determined with regard to the energy use of the buildings, risks for moisture damage, the indoor climate and the residents' perception of the indoor climate.

The evaluation of the impact of the measure is based on extensive measurements of the attic climate, the indoor climate and the outdoor climate, as well as on interviews with residents. The study included four buildings that are situated within the residential area Kvinneby in the town of Linköping. In two of the buildings, additional insulation was added to the attic floors, while the other two buildings served as reference objects.

The study shows that the additional insulation resulted in substantial reductions of energy and power needed for heating the buildings affected by the measure. The study also shows that those who live in the additional insulated buildings are satisfied with the indoor climate and have not been disturbed by the installation while it was carried out. The results also show that there is reason to adjust the heating system after additional insulation, since the building's heat balance is altered by the insulation.

The moisture analyses do not show an increased risk of moisture damage in the affected attics due to the addition of insulation. However, it is strongly suggested to evaluate the impact on the risk of moisture damage for each specific case (building) when considering additional insulation.

Experiences from the project have been collocated into a practical guide: *Tilläggsisolering av vindsbjälklag - En handledning för beställare och förvaltare* (published by Sustainable Innovation in March 2021).

The project has been carried out in collaboration between Riksbyggen, Sustainable Innovation and Lund University.

Key words: Insulation, attic insulation, apartment buildings, moisture safety, energy efficiency, moisture measurement, evaluation.



## INNEHÅLL

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	7
2	GENOMFÖRANDE	8
2.1	AP1 PROJEKTKOORDINERING	9
2.2	AP 2 PILOTÅTGÄRDER I KVINNEBY	9
2.3	AP 3 UTVÄRDERING OCH SLUTSATSER	10
2.4	AP4 KOMMUNIKATION/RESULTATSPRIDNING	10
3	RESULTAT	11
3.1	LITTERATURSTUDIE	11
3.2	INTERVJUER	12
3.3	ENERGIANVÄNDNING OCH INOMHUSKLIMAT	13
3.4	FUKTRISKER	16
4	DISKUSSION	20
5	PUBLIKATIONSLISTA	22
6	REFERENSER	23
	BILAGOR	25



# 1 Inledning och bakgrund

Det befintliga flerbostadshusbeståndet i Sverige inrymmer cirka 2,5 miljoner lägenheter (18). Även om tillskottet av nya lägenheter har stigit de senaste åren kan man räkna med att tre fjärdedelar av de bostäder vi kommer att bo i 2030, redan finns. Åtgärder i befintlig bebyggelse är därför viktiga för att samhällets mål beträffande minskad energianvändning och klimatpåverkan ska kunna nås.

I samband med den så kallade Energiöverenskommelsen i december 2016 enades fem partier om ett gemensamt mål för Sverige som innebär 50 procent effektivare energianvändning till år 2030 (tillförd energi i relation till BNP jämfört med 2005). Energianvändningen för uppvärmningen och varmvatten för alla flerbostadshus i Sverige (180 miljoner kvadratmeter) uppgår till cirka 27 TWh (6). Kostnads-effektiva lösningar för värmeåtervinning och tilläggsisolering som kan få ett brett genomslag i det befintliga flerbostadshusbeståndet är därför viktiga för att nå en betydande effekt på den totala energiförbrukningen. Det är alltså angeläget att driva utvecklingsarbete, där lösningar anpassade mot de villkor som gäller i befintliga byggnader, kan tas fram och prövas i verkliga miljöer.

Tilläggsisolering av vindsbjälklag framstår som en enkel och lönsam åtgärd som bör kunna genomföras i stor omfattning och därmed ge ett väsentligt bidrag till energieffektivisering av Sveriges befintliga bestånd av flerbostadshus. Förutom att minska värmeförlusterna via vinden kan ofta framledningstemperaturen i husens värmesystem sänkas. Detta minskar hela byggnadens värmebehov och uppvärmningskostnad. Det är också av betydelse att de lägenheter som finns närmast vindsbjälklaget ofta får ett förbättrat inomhusklimat, med jämnare temperatur både vinter och sommar.

Utifrån ett energisystemperspektiv bidrar åtgärden till att minska byggnadernas effektbehov när det gäller tillförd energi för uppvärmning. Beroende på uppvärmningslösning minskar därmed åtgärden kostnader i elsystemet och/eller aktuellt fjärrvärmesystem. Kostnader för utbyggnad av både produktion och distribution blir lägre vid minskat toppeffektbehov samtidigt som omställning till fossilfri och förnybar energiproduktion underlättas.

Samtidigt lyfter man ofta fram fuktrisker med vindsisoleringar. Om tilläggsisolering görs utan tillräcklig kunskap om hur byggnaden fungerade från början och hur tilläggsisoleringen ändrar funktionen för andra aspekter än energianvändningen finns risken att problem uppstår. Tilläggsisolering gör att vindarna blir kallare vilket ökar risken för kondensutfällning och därmed på sikt risk för mögelpåväxt och fuktskador. Om så sker kan naturligtvis energivinsterna snabbt ätas upp av kostnader för att ta hand om dessa problem.

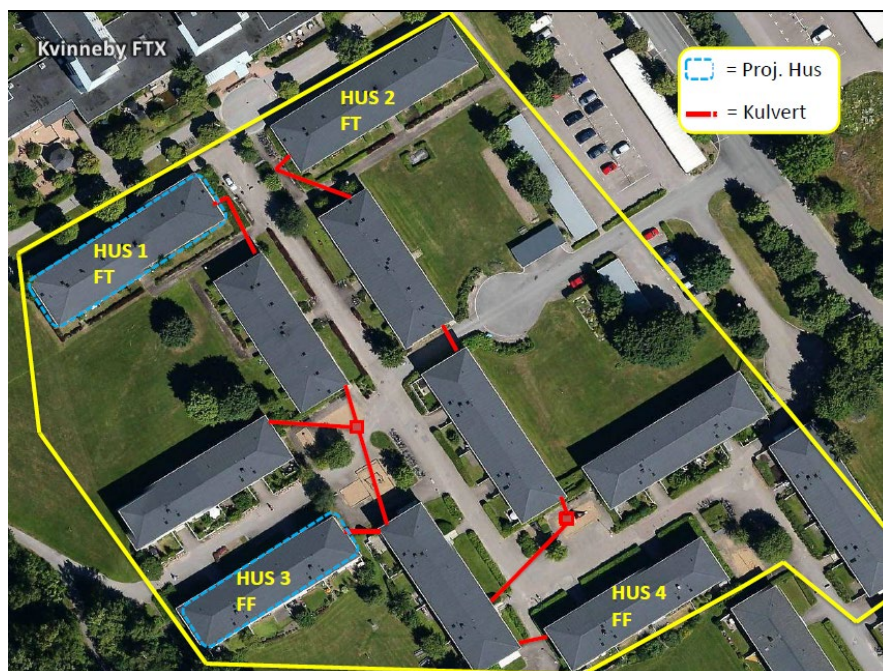
Projektet har därför studerat effekterna av tilläggsisolering av vindsbjälklag i flerbostadshus med avseende på energieffektivisering, fuktproblematik, inomhusklimat och de boendes upplevda inomhusklimat.



## 2 Genomförande

Projektet genomfördes mellan september 2018 och februari 2021. Som försöksområde valdes Kvinneby-området i Linköping som ägs och förvaltas av Riksbyggen. Området är ett typiskt miljonprogramsområde, byggt 1969 som består av 11 tvåvåningsbostadshus med 112 lägenheter i 14 uppgångar.

En viktig orsak till att projektet placerades i Kvinneby var att ett tidigare projekt - *Användning av värmeåtervinning inom miljonprogrammet* (E2B2 rapport 2017:17) hade genomförts där och att både mätutrustning och tidigare mätdata därför fanns tillgängliga. I samband med det tidigare projektet utrustades fyra av husen i området med mätutrustning för att kunna följa tillförd energi, temperaturer och fukthalter. I två av husen installerades därefter från- och tilluftsventilation med återvinning (FTX), medan de andra två husen användes som referenshus. I detta projekt har tilläggsisolering genomförts av vindsbjälklagen i de två husen med FTX, vilket har möjliggjort jämförelse av denna ytterligare åtgärd, dels över tiden i respektive hus dels jämförelse med de ej åtgärdade referenshusen.



Figur 1. Hus 1, Kvinnebyvägen 14 (projekthus) och Hus 2, Kvinnebyvägen 12 (referenshus) är båda tvåvånings loftgångshus med 16 lägenheter vardera (ett rum och kök). Hus 3, Kvinnebyvägen 24–26 (projekthus) och Hus 4 Kvinnebyvägen 36–38 (referenshus) är båda tvåvåningshus med vardera åtta lägenheter, sex treor och två fyror). Hus 1 och Hus 3 byggdes i det tidigare projektet om till FTX från tidigare mekanisk från- och tilluftsventilation (FT) respektive frånluftsventilation (FF) utan värmeåtervinning.





Efter den inledande planeringen och installationen av kompletterande mätutrustning påbörjades mätningar före isoleringsåtgärderna under december 2018. Isoleringsåtgärder på de två projekthusen genomfördes i slutet av september 2019. Därefter inleddes mätperiod två efter isoleringsåtgärderna i oktober 2019. Dessa pågår fortfarande men projektets resultat baseras på mätningar fram till och med september 2020. Projektet har indelats i följande fyra arbetspaket.

## 2.1 AP1 Projektkoordinering

Sustainable Innovation har svarat för löpande koordinering genom projekt-och styrgruppsmöten samt rapportering till Energimyndigheten. Sustainable Innovation har även varit sammanhållande för arbetet med den handledning som tagits fram inom projektet.

## 2.2 AP 2 Pilotåtgärder i Kvinneby

Att tilläggsisolera vindarna bedömdes som lönsam och diskuterades redan vid genomförandet av det tidigare ventilationsprojektet i Kvinneby. Man beslöt dock då att vänta med vindsisoleringarna eftersom den skulle störa utvärderingen av ventilationsåtgärderna. Riksbyggen har svarat för genomförandet av åtgärderna i Kvinneby. Det har omfattat kontakt med tänkbara entreprenörer, upphandling och sedan utövande av beställarfunktionen gentemot den valda entreprenören Eniva Isolering. Eniva genomförde (som del av sitt offertarbete) förstudier för de båda aktuella vindarna och svarade sedan för projektering och genomförande som en totalentreprenad.



Figur 2. Bilder från genomförandet av isoleringsarbetena

Tabell 1. Några uppgifter om tilläggsisoleringen framgår i tabellen nedan.

	Hus 1 (nr 14)	Hus 3 (nr 36-38)
Area att isolera (m <sup>2</sup> )	ca 400	ca 450



Befintlig isoleringstjocklek	ca 15 cm mineralullsmatta	ca 12 cm mineralullsmatta
Tilläggsisolering	ca 30 cm lösull, cellulosa- base- rad med lambdavärde 0,039 W/(mK)	ca 30 cm lösull, cellulosa- base- rad med lambdavärde 0,039 W/(mK)

I offerten från Eniva bedömdes den årliga energibesparingen bli ca 37 000 kWh för båda husen vilket motsvarar ca 23 kWh per m<sup>2</sup><sub>Atemp</sub>

Baserat på mätningen av luftomsättning från mätperiod 1 beslutades i samråd med entreprenören att minska vindarnas ventilation genom att täta vartannat fack mellan takstolarna vid takfoten. Den genomförda litteraturstudien gav även stöd för att en sådan begränsning av vindarnas ventilation skulle kunna minska fuktriskerna.

Riksbyggen har även i samverkan med Lunds universitet svarat för mätningar, mätdatainsamling och intervjuer med de boende.

### 2.3 AP 3 Utvärdering och slutsatser

Lunds Universitet (avdelningen för Installationsteknik LTH och avdelningen för Byggnadsfysik LTH) har svarat för bakgrundsinformationen genom litteraturstudier och intervjuer med förvaltare som har erfarenheter från genomförda vindsisoleringar. Resultat från intervjuerna redovisas i kapitel 3.2. Vidare har Lunds Universitet tillsammans med Riksbyggen svarat för mätprogrammet vilket omfattade:

- Energianvändning för uppvärmning av byggnader där tilläggsisoleringar utförts
- Inomhustemperaturer i lägenheter
- Temperatur utomhus
- Relativ fuktighet utomhus
- Temperaturer på vindar
- Relativ fuktighet på vindar
- Fuktkvot i råspont och takstolar
- Luftomsättningar på vindar

Baserat på mätningar har man sedan svarat för analysarbetet vilket även har inkluderat två workshops tillsammans med projektgruppen och ledande forskare inom området fuktsäkerhet i byggnader.

### 2.4 AP4 Kommunikation/Resultatspridning

Sustainable Innovation har varit sammanhållande för projektets kommunikation och resultatspridning enligt en kommunikationsplan som togs fram vid projektets inledning. Målgrupper är projektledare samt utförare av energieffektiviseringsåtgärder i flerbostadshus. Dessa återfinns hos bostads- och förvaltningsbolag som Riksbyggen, HSB och SBC samt hos bostadsbolag, teknikonsulter och leverantörer av isoleringsentreprenader. Huvuddelen av resultatspridningen kvarstår när denna rapport.



## 3 Resultat

### 3.1 Litteraturstudie

En litteraturstudie utfördes för att sammanställa resultat från relevanta publikationer som behandlat tilläggsisolering av kalla vindar i tempererat klimat. Sökningen nyttjade kända sökmotorer för publicerad litteratur (artiklar, avhandlingar, examensarbeten, konferensbidrag) på svenska och engelska. Sökningen resulterade i hundratals träffar i sökmotorerna. Efter granskning av sammanfattningar och sortering på relevans kvarstod cirka 43 artiklar. Efter noggrann granskning av dessa föll många bort och endast 15 ansågs vara direkt relevanta, baserat på den här studiens syfte. Studier som exkluderades var från varmare klimat, undersöker kylning, är äldre än 25 år eller undersöker praktisk applicering av tilläggsisolering.

Sex referenser (2, 3, 7, 8, 14, 17) har utvärderat inverkan av tilläggsisolering i kalla vindar genom mätningar eller enkätstudier. Av dessa har fem (3, 7, 8, 14, 17) tagit hänsyn till inverkan på energianvändning genom någon sorts mätstudie, enkätstudie eller intervjustudie. Två av referenserna (2, 17) har bedömt inverkan av tilläggsisolering på fuktillståndet i kalla vindar genom mätningar. En referens (8) mätte inverkan på inneklimat av tilläggsisolering på vinden i samband med andra renoveringsåtgärder.

Åtta referenser (1, 5, 8, 9, 10, 13, 16, 19) har utfört simuleringar för att utvärdera inverkan av bland annat tilläggsisolering av vindar. Fem referenser (1, 13, 5, 8, 9) har undersökt inverkan av kombinationer av vindsisolering med andra åtgärder på energianvändningen. Sådana åtgärder består till exempel av tätning av vindsbjälklag, strålningsbarriärer under takstolarnas överram, installation av FTX, nya fönster, tilläggsisolering av ytterväggar, sänkning av innetemperaturen, solceller, solvärmefångare, dränering kring grunden, energieffektiv belysning och installation av frånluftsvärmepump. Endast en referens (8) utvärderar inverkan av tilläggsisolering av vindar med avseende på inneklimatet och då genom simuleringar.

Litteraturstudien visar att:

- Tilläggsisolering är en attraktiv åtgärd eftersom den är enkel att utföra samt oftast lönsam.
- Enbart tilläggsisolering sparar energi, men inte mycket, några kWh/kvm per år.
  - Tilläggsisolering i kombination med andra åtgärder (till exempel tätning, reflektiva barriärer, installation av FTX, nya fönster, med mera) kan dock spara väldigt mycket, upp till 70 procent.
  - Inverkan av andra brister, till exempel läckage från ventilationsrör, eller ett otätt vindsbjälklag, kan medföra att åtgärden har sämre effekt eller att höga relativa fuktigheter uppnås i vinden.
  - I kallare klimat är åtgärden ännu mer lönsam än i varmare klimat.
- Tilläggsisolering reducerar koldioxidutsläpp, allt från litet till mycket, beroende på byggnaden och situationen.
- Tilläggsisolering i kombination med FTX kan minska problem med värmekomfort i inneklimatet.



- Tilläggsisolering ökar risken för fuktproblem.
  - Minskning av ventilationen på vinden kan minska den risken.
  - Isolering på utsida av råspont i stället för på vindsbjälklaget kan minska risken.
  - Aktiva tekniker kan också minska risken, till exempel behovsstyrd värmeförsel (2) eller ventilation (11,12).

### 3.2 Intervjuer

Intervjuer har genomförts med sex erfarna projektledare inom området förvaltning av befintliga flerbostadshus samt även personal hos Eniva som genomförde isoleringsarbetet i Kvinneby. Syftet med intervjuerna var att fånga upp hur processen med vindsisoleringar brukar initieras och genomföras och vilka problem som kan uppstå. Följande personer har intervjuats:

- Thomas Ahlsén, Riksbyggen Norrköping
- Tomas Nordqvist, Uppsalahem
- Yngve Green, Svenska Bostäder
- Gunnar Viberg, Stockholmshem
- Per Öhrlund, Riksbyggen Skellefteå
- Per Levin, Projektengagemang
- Christoffer Ivarsson, Marcus Johansson och Emanuel Ivarsson, samtliga Eniva Isolering

Här följer en sammanställning av de viktigaste slutsatserna från intervjuerna utifrån de frågeställningar som intervjuerna baserades på.

*Vad har främst initierat vindsisoleringarna?*

- De har varit en del av energibesparingsprogram eller renoveringar, oftast tillsammans med andra åtgärder.
- Har framkommit som förslag i energideklarationen.
- De har genomförts i samband med andra åtgärder som inbegriper vindarna (värmeåtervinning).
- Upplevda komfortproblem i lägenheterna.
- Man vill dra nytta av bidrag för energieffektivisering.

*Vilka analyser har man gjort före åtgärden?*

- Normalt har man enbart gjort okulär besiktning.
- Mätningar för uppföljning före och efter har de flesta fall inte gjorts.

*Hur har man genomfört isoleringen?*

- Hur åtgärden har genomförts har vanligen bestämts av entreprenören.
- Vanligen låter man befintligt material ligga kvar och lägger ett nytt isoleringsskikt över, dock genomförs städning av sådant som inte ska finnas där.
- Någon nämner vikten av att behålla takfotsventilationen.
- Flera nämner vikten av att säkerställa täthet nedåt (rörgenomgångar tätningslist på luckor).



- Isolering med lösull (till skillnad från fasta isoleringsskivor) är den vanligaste metoden att göra tilläggsisoleringar på. De vanligaste materialen av lösull är glas- eller stenull (gemensamt namn mineralull) samt cellulosaisolering av återvunnet tidningspapper eller träfiber.
- De flesta verkar tänka på att göra gångbryggor för att undvika nedtrampning efter att det att isoleringen har lagts ut.

*Vilka är de största hindren och svårigheterna man har stött på?*

- Vindsförråd utgör ofta ett problem och driver kostnader.
- Platta/låglutande tak med litet utrymme eller svårtillgängliga utrymmen.
- Utifrån entreprenörens synvinkel är frågorna om att komma till med lastbil och få tillgång till trefas-eluttag viktiga. Det kan även finnas personskyddsfrågor som man behöver vara vaksam på (till exempel nyfikna barn). Det är viktigt att de boende i området informeras.

*Vilka problem har man uppmärksammat efter åtgärderna?*

- I de flesta fall har man inte uppmärksammat några problem, men man har inte heller gjort uppföljande undersökningar.
- Hög relativ luftfuktighet (70-72 procent) har observerats efter genomförda isoleringsprojekt i Skellefteå (200 mm med kvarliggande spån och sand under). Man har försökt åtgärda genom mer ventilation, genom att försöka täta/undvika ventilation och är nu inne på att installera avfuktare.

*Vilka besparingar och andra effekter har man uppmärksammat*

- I de flesta fall har andra åtgärder gjorts samtidigt vilket har gjort det svårt att bedöma vad vindsisoleringen har bidragit till.
- Ofta har man missat att göra injustering av värmesystemet vilket gör att energieffektiviseringen inte blir så stor som förväntat.
- Projekt i Klinte (Riksbyggen) för cirka tio år sedan gav fyra till fem procent besparing (inklusive byte av radiatorventiler och injustering). Enligt entreprenören var bedömningen 8 procent.
- Projekt i Skellefteå (Riksbyggen) har inneburit att de som bor på översta våningen har märkt en positiv förändring av inomhusklimatet.

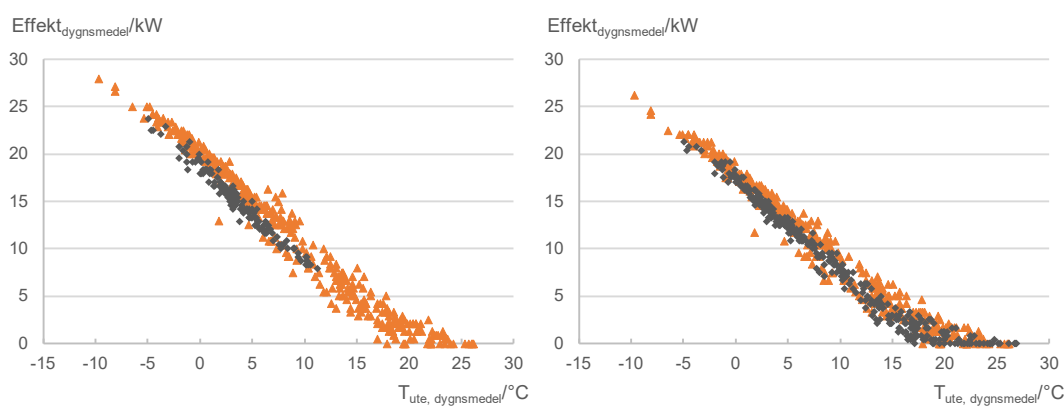
### 3.3 Energianvändning och inomhusklimat

För att analysera hur tilläggsisoleringen av vindsbjälklagen påverkar energianvändningen har levererad energi för uppvärmning mätts under en mätperiod innan tilläggsisoleringen utfördes (2018-09-25 – 2019-09-13) och under en mätperiod efter att tilläggsisoleringen genomfördes (2019-10-04 – 2020-09-21). Under dessa mätperioder har även utetemperaturen mätts samt inomhustemperaturen i ett antal lägenheter i varje byggnad. Mätningarna möjliggör att korrigera uppmätt energianvändning under de två mätperioderna för skillnader i temperaturer både inomhus och utomhus. De boendes upplevelse av inomhusklimatet har studerats genom telefonintervjuer med ett urval av de som bor på plan 2 i husen.

Energimätaren i Hus 1 har inte fungerat under hela mätperiod 2. Effektsignaturer som utgår från dygnsmedelvärden har tagits fram för de båda husen och de båda mätperioderna, se figur 3. För att



beskriva uppvärmningen under uppvärmningssäsongen för respektive mätperiod har linjära regressionslinjer tagits fram för dygn med dygnsmedeltemperaturer mellan  $-5^{\circ}\text{C}$  och  $11^{\circ}\text{C}$  för Hus 1 samt mellan  $-5^{\circ}\text{C}$  och  $15^{\circ}\text{C}$  för Hus 3. Ekvationerna samt  $R^2$  värdet för dem presenteras i tabell 2. Effektsignaturerna visar att effektbehovet per vindsbjälklagsarea i de båda husen minskat med cirka  $2,2 \text{ W/m}^2_{\text{vindsbjälklag}}$  vilket för de båda husen innebär totalt cirka  $3,6 \text{ kW}$  lägre effektbehov för uppvärmning.

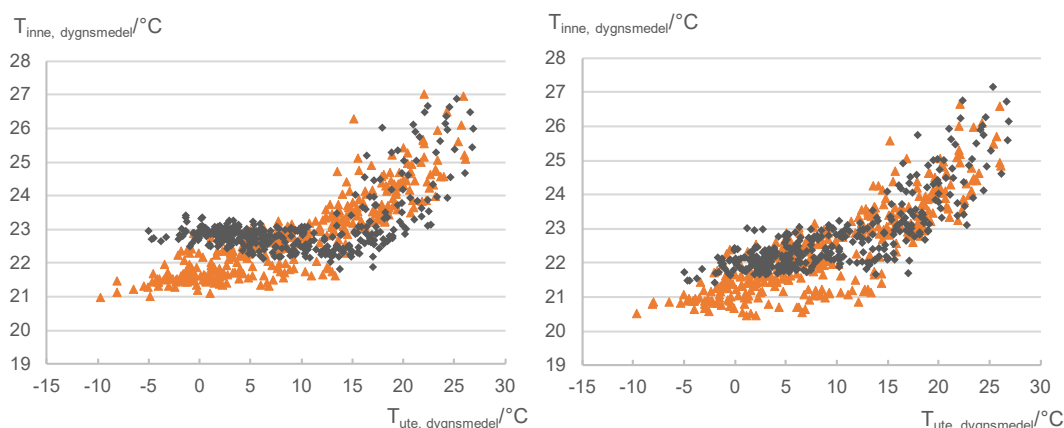


Figur 3. Effektsignaturer baserade på dygnsmedelvärden för Hus 1 till vänster och Hus 3 till höger för mätperiod ett (orange trianglar) och mätperiod två (grå romber).

Tabell 2 Värderna för regressionslinjer på formen  $y=a \cdot T_{\text{ute, dygnsmedel}}+b$  för de två mätperioderna samt korrelationskoefficient ( $R^2$ ).

	Mätperiod 1			Mätperiod 2		
	a	b	$R^2$	a	b	$R^2$
Hus 1	-1,00	20,2	0,96	-1,00	18,6	0,97
Hus 3	-0,94	17,9	0,96	-0,97	17,2	0,98

Inomhustemperaturen under de två mätperioderna uppmätta i lägenheter på plan två presenteras i figur 4 som dygnsmedeltemperaturer för våningsplan 2 som funktion av dygnsmedeltemperaturen utomhus. I figurerna framgår att det under uppvärmningssäsongen har varit högre inomhustemperatur på plan 2 under mätperiod 2. Motsvarande tydliga högre inomhustemperatur under mätperiod 2 finns inte på plan 1. I tabell 3 presenteras medeltemperaturen i husen, medelvärde av temperaturen på plan 1 och 2, för de båda mätperioderna.



Figur 4. Dygnsmedeltemperatur inomhus på plan 2 som funktion av dygnsmedeltemperatur utomhus för mätperiod 1 (orange trianglar) och mätperiod 2 (grå romber). Hus 1 till vänster och Hus 3 till höger.

Tabell 3. Medeltemperatur inomhus i de olika husen under vintersäsong ( $T_{ute, dygnsmedel}$  mellan  $-5^{\circ}\text{C}$  och  $5^{\circ}\text{C}$ ) och sommarsäsong ( $T_{ute, dygnsmedel}$  mellan  $18^{\circ}\text{C}$  och  $24^{\circ}\text{C}$ ).

	Mätperiod 1, $T_{inne}/^{\circ}\text{C}$		Mätperiod 2, $T_{inne}/^{\circ}\text{C}$	
	Vinter	Sommar	Vinter	Sommar
Hus 1	22,7	24,1	23,4	23,7
Hus 3	21,6	23,8	21,9	23,8

Den årliga energianvändningen för uppvärmning innan och efter tilläggsisolering har beräknats baserat på de regressionslinjer som presenteras i tabell 2, utomhustemperaturer för ett "normalår" för Linköping enligt Meteonorm samt skillnaden i inomhustemperatur under de båda mätperioderna enligt tabell 3. På så sätt beräknas energianvändningen efter tilläggsisoleringen så att den motsvarar vad den skulle varit om det hade varit uteklimat såsom ett "normalår" och samma inomhustemperatur som innan tilläggsisoleringen. Tabell 4 presenterar de årliga energianvändningarna, utetemperatur och inomhustemperaturkorrigerade, före och efter tilläggsisolering.

Tabell 4. Årlig energianvändning för uppvärmning, utetemperatur och inomhustemperaturkorrigerad, före och efter tilläggsisolering.

	Innan isolering	Efter isolering
	$\text{kWh}/(\text{m}^2_{Atemp}\cdot\text{år})$	$\text{kWh}/(\text{m}^2_{Atemp}\cdot\text{år})$
Hus 1	133	111
Hus 3	123	111

I genomsnitt har energianvändningen minskat med  $17 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{Atemp}\cdot\text{år})$  vilket motsvarar en minskning med 13 procent. Den förhållandevis stora skillnaden i energibesparing mellan de båda husen kan



bero på olika prestanda på den befintliga isoleringen av bjälklagen. Den absoluta minskningen i energianvändning och effektbehov kommer att vara samma oberoende av antalet våningar ett hus har medan fördelningen per  $A_{temp}$  innebär att för ett högt hus kommer energibesparingen uttryckt per  $A_{temp}$  kunna vara försumbar. Med tanke på energianvändning och effektbehov i samhället så kan fördelningen per  $A_{temp}$  ses som mindre intressant medan den absoluta besparingen eller besparingen relaterat till bjälklagsarean skulle kunna vara mer relevanta mått. Fördelat per vindsbjälklagsarea är den genomsnittliga energibesparingen i de studerade husen  $34 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{vindsbjälklag}} \cdot \text{år})$ .

Intervjuerna av boende i 10 lägenheter på plan 2 gav att ingen upplevde att inomhusklimatet efter tilläggsisoleringen blivit sämre under uppvärmningssäsongen. Åtta personer av tio tyckte att inomhusklimatet blivit bättre. De uppmätta högre inomhustemperaturerna på plan 2 efter tilläggsisoleringen kan vara en orsak till att inomhusklimatet upplevdes bättre. Ingen av de som intervjuats upplevde att det stördes av arbetet i samband med tilläggsisoleringen. Vad gäller ljudförhållanden i bostaden upplevde ingen av de tio som intervjuats någon försämring och flera upplevde det efter tilläggsisoleringen som att det är bättre ljudisolerat mot ljud utifrån.

### 3.4 Fuktrisker

#### 3.4.1 Metod

För att bedöma inverkan av tilläggsisolering på fuktillståndet i en kallvind utfördes mätningar i fyra byggnader i Linköping. Två av husen fungerade som referenshus i studien (nr 2 och 4), medan två andra tilläggsisolerades (hus nr 1 och 3).

I vindsutrymmet uppmättes lufttemperatur och relativ luftfuktighet, samt temperatur och fuktkvot i takstolar och råspont. Detta för att bedöma åtgärdens inverkan på risken för mögelpåväxt. Mätningar utfördes i alla fyra vindar före (mätperiod 1: 2018-07-19 - 2019-10-01) och efter tilläggsisolering (mätperiod 2: 2019-10-02 - 2020-09-26). Mätningar av temperatur och RF i vindsutrymmet utfördes med HOBO-loggers (*HOBO MX2301A Temp/RH*, no date). Givare placerades i vindsutrymmet vid vindluckor som var åtkomliga via yttertaket. Givarna registrerade mätvärden var femtonde minut. Mätningar av temperatur och fuktkvot i takstolar och råspont utfördes manuellt var fjortonde dag genom tillämpning av elektroder som borrades in i takstolar, samt tillämpning av spikar för resistansfuktkvotsmätning. Se bilaga 1 Fuktanalys för fotografier och ritningar på placering av utrustning i vind.

Luftomsättningen i vindarna på husen som tilläggsisolerades (två stycken) mättes med passiva spårgasbehållare (doserare och mottagare) som placerades i vindarna på nord- och sydsida i varje hörn samt mitt i vindarna. Detta för att bedöma skillnader i luftomsättning före och efter åtgärd. Doserare och givare placerades ut på brickor fastsvetsade på stavar och hölls på cirka fyra meters avstånd från varandra. Stor försiktighet iakttogs vid utplacering av doserare och behållare då risken fanns att de skulle hamna i isoleringen istället för i luftutrymmet ovanför isoleringen. Se bilaga 1 för fotografier på spårgasutrustning.

Uteklimatdata för analyserna har hämtats från SMHIs tjänst MetObs (Swedish Meteorological and Hydrological Institute [SMHI], no date) för att relatera mätvärden i vinden till uteklimatet, eftersom klimatet i vinden är beroende av uteklimatet. Dessutom jämfördes uteklimatet under mätperioderna före och efter tilläggsisolering för att identifiera skillnader som kan ha påverkat mätningarna. Temperatur





i uteluften, relativ luftfuktighet, ånghalt, vindhastighet, och frekvensen av vindriktningen analyserades. Se bilager för grafer för jämförelse av klimat mellan mätperioderna.

Mögelriskanalys har skett indikativt baserat på en förenkling av Sedlbauers (Sedlbauer, 2002) mögelriskmodell. Denna är strikt tillämpad och bör därmed indikera ifall en mögelrisk finns. Finns ej indikation på förhöjd mögelrisk bör konstruktionen anses vara säker. Finns en indikation som visar på väsentligt förhöjd risk, bör vidare analyser utföras med mer nyanserade mögelriskmodeller. Om uppmätta timmedelvärden av temperaturer och relativa luftfuktigheter överskrider kritisk gräns för mögelpåväxt, finns förhöjd risk för mögelpåväxt.

### 3.4.2 Resultat

Skillnader i uteklimat mellan mätperioderna bedöms inte ha påverkat mätningarna väsentligt. Skillnader i temperatur, ånghalt och vindhastighet utomhus mellan mätperiod 1 och 2, det vill säga före och efter tilläggsisoleringen, har visat sig vara obetydliga. Vidare visar resultaten att den mest frekventa vindriktningen under studien var åt sydöst. Se bilaga 1 Fuktanalys för jämförelse av klimatdata mellan de två mätperioderna.

Genom passiv spargasmätning bekräftades en minskad luftomsättning i de två vindar som har tilläggsisolerats. Skillnader i luftomsättning mellan olika väderstreck och vid olika uteluftstemperaturer, visar luftomsättningens beroende av rådande väderlek. Genom att jämföra samma tidsperioder före och efter (vinter mot vinter, sommar mot sommar) observeras kraftiga sänkningar av luftomsättningen i de tilläggsisolerade vindarna. Detta kopplas till att öppningar i takfoten delvis har satts igen i samband med tilläggsisolering, just för att minska luftomsättningarna. Sådana här mätningar gör den här studien unik enligt vår bedömning. Se exempel på jämförelse i tabellen nedan samt i bilaga 1.

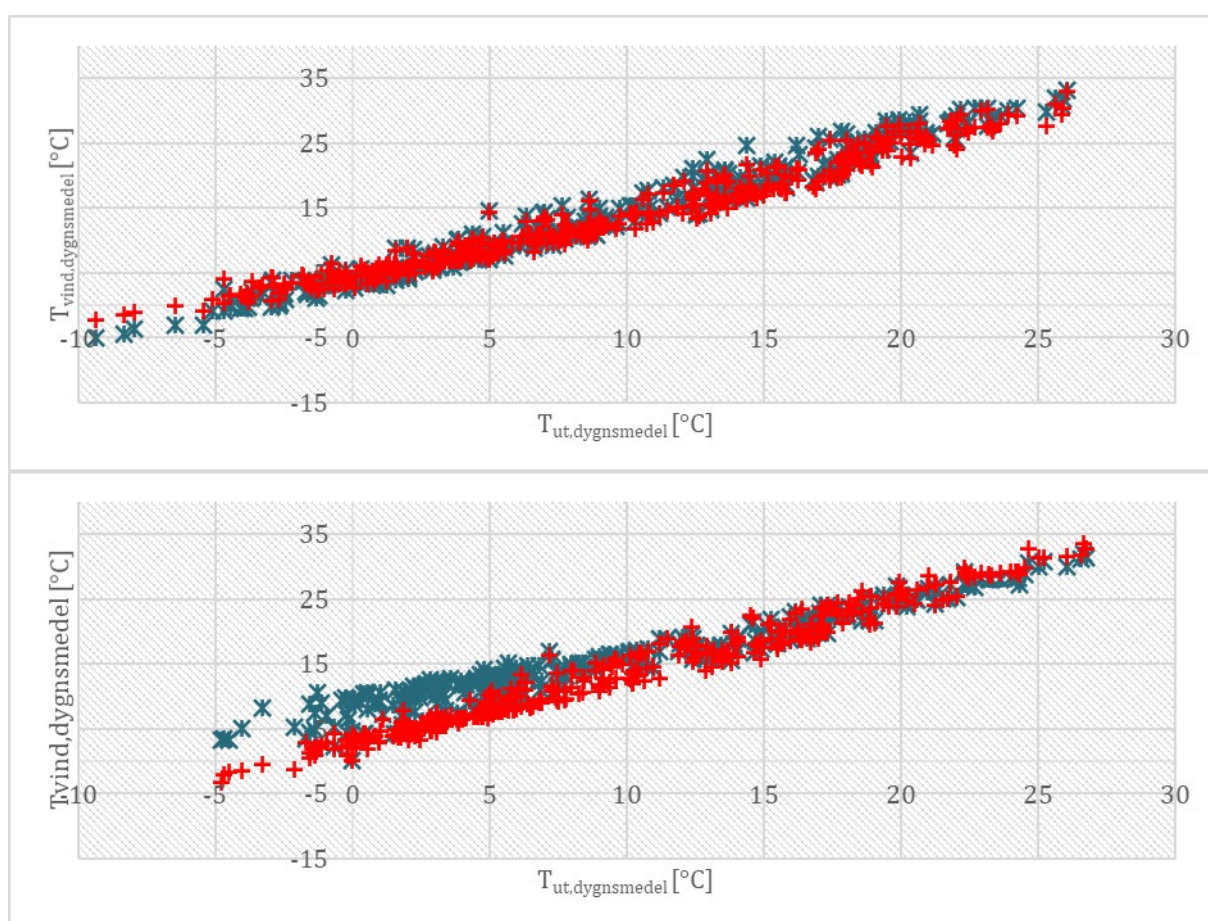
Tabell 5: Uppmätta luftomsättningar i vind för hus 1. Mätperiod 1: före tilläggsisolering, Mätperiod 2: efter tilläggsisolering. Ytterligare detaljer finns i Bilaga 1.

Mätperiod	Säsong	Min [oms/h]	Max [oms/h]	Medel [oms/h]	Stdavv [oms/h]	T [°C]
1	Vinter	6,76	14,1	9,82	±0,85	4,9
1	Sommar	4,10	17,7	6,68	±0,58	20,5
2	Vinter	1,53	5,15	3,43	±0,30	5,2
2	Sommar	0,44	2,87	0,87	±0,08	24,8

Minskning av temperaturer i tilläggsisolerade vindar vintertid, och ökning av temperaturer sommartid, bekräftades via mätningar. Se exempel av jämförelse i figur 5 nedan. Den övre grafen visar förhållandet mellan sydsida och nordsida för vind 1 under mätperiod 1. Här observeras inga större skillnader mellan de olika väderstrecken. Den nedre grafen visar ett omvänt förhållande mellan syd- och



nordsida efter tilläggsisolering. Åt sydsidan är det dessutom varmare vid lägre uteluftstemperaturer (<15 °C), medan det åt nordsidan är kallare, och vice versa vid högre uteluftstemperaturer (ca >15°C). Dessa förändringar kopplas till tilläggsisoleringens inverkan på klimatet i luftutrymmet. Motsvarande jämförelser för de andra vindarna finns i bilaga 1.

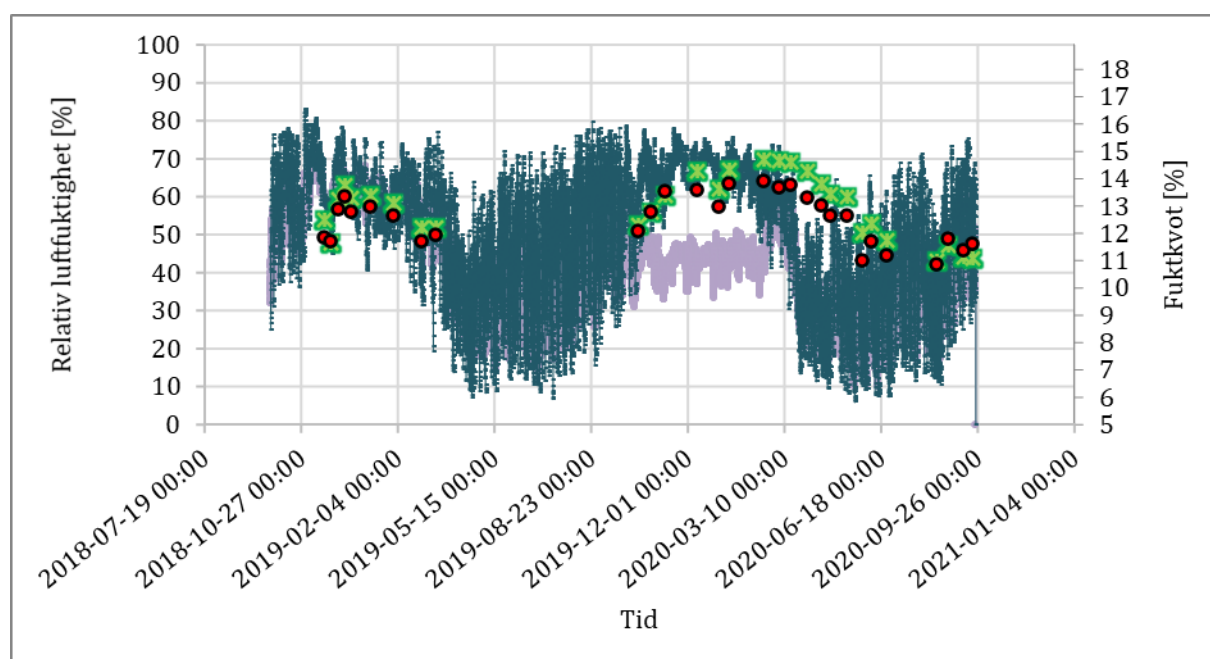


Figur 5. Temperatur i vind ställd mot temperatur utomhus, hus 1, mätperiod 1 ovan, mätperiod 2 nedan. Blå punkter representerar mätningar åt sydsida, röda punkter åt nordsida.

Figur 6 nedan visar relativ luftfuktighet och fuktkvoter i vind för hus 1 (tilläggsisolerad). Där observeras 1,7 procent högre fuktkvot i genomsnitt under januari-mars i mätperiod 1 jämförs med motsvarande i mätperiod 2. Det visar på en förhöjning av fuktkvoten i takstolar och råspont mellan mätperioderna. Motsvarande ökning i relativ luftfuktighet observeras ej i figuren. Eftersom vinden har tilläggsisolerats förväntas temperaturen ha sänkts i mätpunkterna. Skulle en höjning av temperaturen vara den enda förändringen, innebär det en högre relativ luftfuktighet och därmed högre fuktkvot vid samma uteklimat (ånghalt). Dock kan tillskott av värme (till exempel ökad mängd solstrålning eller sänkt luftomsättning) under mätperiod 2 ha påverkat resultaten med hänsyn till temperaturen och



dess inverkan på den relativa luftfuktigheten. Liknande grafer för jämförelser av övriga vindar finns i bilagorna. I alla hus ökade fuktkvoterna och i ett av referenshusen var fuktkvoterna generellt sett högre än för övriga. Ökningen av fuktkvoten i de tilläggsisolerade vindarna var inte märkvärdigt hög i jämförelse med ökningen i referenshusen. Det indikerar att tilläggsisoleringen i sig inte ökat fuktkvoterna i de tilläggsisolerade vindarna.



Figur 6. Relativa luftfuktighet i vind, ställd mot uppmätta fuktkvoten i råspont och takstolar, hus 1. Röda punkter = fuktkvot råspont (höger y-axel), gröna punkter = fuktkvot takstol (höger y-axel), streckprickad lila linje = RF sydsida (vänster y-axel), streckprickad turkos linje = RF nordsida (vänster y-axel). Se detaljer i bilaga 1.

Under mätperiod 1 överskrider kritisk relativ luftfuktighet enligt förenkling av Sedlbauers modell (se figur i bilaga 1) med 13 timmar för nordsida på hus 1, 34 timmar för nordsida på hus 3, och 1 timme för sydsida på hus 4. Efter tilläggsisolering överskrider inte den kritiska relativa luftfuktigheten, vilket visar att ingen risk finns för mögelpåväxt under mätperiod 2. Trots att fuktkvoterna ökade så minskade risken för mögelpåväxt under mätperiod 2 i jämförelse med mätperiod 1. I bilagorna finns statistiskt framtagna figurer som visar hur stora skillnaderna är mellan uppmätta värden och gränsvärde för mögelpåväxt enligt förenkling av Sedlbauers modell. Jämförelserna visar att risken för mögelpåväxt inte är betydande vare sig under mätperiod 1 eller 2. Detta, tillsammans med oväsentliga skillnader i uteklimat mellan mätperioderna, visar att åtgärden (tilläggsisolering med minskad luftomsättning) inte har ökat risken för mögelpåväxt.



## 4 Diskussion

I två flerfamiljshus har vindsbjälklag tilläggsisolerats. Både innan och efter tilläggsisoleringen har energianvändning, inneklimat och fuktförhållanden mätts för att kunna studera och verifiera effekten av åtgärden. Boende i husen har intervjuats om hur de upplever inomhusklimatet före och efter tilläggsisoleringen. Genom att tilläggsisoleringen genomförts som enskild åtgärd och inte i samband med att även andra åtgärder genomförts, har det varit möjligt att studera effekten av just tilläggsisoleringen på både energianvändning, inneklimat och fukt. Som ytterligare underlag har projektet genomfört en litteraturstudie, intervjuat personer med yrkesmässig erfarenhet av vindsisoleringsprojekt samt genomfört två workshops där bakgrund och resultaten har diskuterats. Dessa olika aktiviteter har lagt en god grund för både denna rapport och den parallellt framtagna handledningen *Tilläggsisolering av vindsbjälklag - En handledning för beställare och förvaltare* (Sustainable Innovation, mars 2021).

Resultatet visar att energianvändningen har minskat samtidigt som de boende på översta våning generellt är nöjdare med inneklimatet än innan. Att de boende är nöjdare med inneklimatet efter tilläggsisoleringen kan bero på att innetemperaturen i genomsnitt är cirka 1°C högre på översta våning än tidigare. Den uppmätta genomsnittliga skillnaden i årlig energianvändning, kompenserad för skillnader i både utetemperatur och inomhustemperatur, före och efter tilläggsisoleringen är 17 kWh/(m<sup>2</sup><sub>Atemp</sub>·år). Det motsvarar en minskning av energianvändningen med cirka 13 procent. Det är förhållandevis stor skillnad i energibesparing mellan de båda studerade husen vilket kan bero på olika prestanda på den befintliga isoleringen av bjälklagen. Fördelat per vindsbjälklagsarea är energibesparingen i genomsnitt 34 kWh/(m<sup>2</sup><sub>vindsbjälklag</sub>·år). Besparing per vindsbjälklagsarea skulle kunna vara ett bättre nyckelvärde med tanke på att den ger besparingen oberoende av antalet våningsplan i en byggnad.

Analys av luftomsättningar, relativ luftfuktighet, fuktkvoter, temperaturer i tilläggsisolerade hus och referenshus, samt uteklimat, visar att: 1) åtgärden har minskat luftomsättningen i vinden, 2) att det vid jämförelse av relativ luftfuktighet före och efter tilläggsisolering inte finns ett tydligt samband i förändringarna mellan de fyra studerade husen, 3) att fuktkvoten generellt sett har ökat i alla hus, 4) att temperaturer och temperaturförhållanden har förändrats i vindar för tilläggsisolerade hus och ett av referenshusen. Resultatet av mätningarna före och efter tilläggsisoleringen indikerar inte att tilläggsisoleringen inneburit en ökad fuktrisk på vindarna i de studerade byggnaderna. Enligt både tidigare studier och byggnadsfysikalisk teori kan tilläggsisolering öka risken för mögelpåväxt när temperaturen i vinden sjunker på grund av minskat värmefflöde från de uppvärmda rummen under. Dock säger byggnadsfysikalisk teori även att sänkt luftomsättning kan minska den risken, vilket också påpekas tidigare studier. I Kvinneby tillämpades denna kunskap genom en minskning av luftomsättningen i tilläggsisolerade vindarna. Därför kan man förmoda att den minskade luftomsättningen har motverkat den ökning av risken för mögelpåväxt som kan uppstå genom en lägre temperatur. Dock måste det påpekas att trots att just denna studie inte visar på en ökad risk för mögelpåväxt på grund av tilläggsisolering, är inte resultaten generaliseringsbara för alla byggnader. För varje projekt där åtgärder görs behöver fuktsäkerheten beaktas för det specifika fallet, då varje byggnad är unik med hänsyn till sin konstruktion, användning, och geografiska placering.



Sammanfattningsvis kan man konstatera att tilläggsisoleringen har gett en substantiell besparing av både energi och effekt för uppvärmning samtidigt som de som bor i huset är nöjda med inneklimatet och inte har störts av åtgärden medan den utfördes. Fuktmätningarna visar inte på en ökad fuktrisk efter tilläggsisoleringen i de studerade husen men det är viktigt att påpeka att fuktsäkerheten behöver utvärderas i varje enskilt fall där tilläggsisolering är aktuellt. För att frigöra den fulla potentialen av en tilläggsisolering finns det anledning att justera uppvärmningssystemet i och med att byggnadens värmebalans ändras.

Slutligen vill författarna framhålla att den nära samverkan mellan olika aktörer som forskare, fastighetsägare, drift- och underhållspersonal och entreprenörer har varit särskilt värdefull. Samarbetet har genom fokus på praktisk problemlösning inneburit både ökad förståelse och kunskapsöverföring mellan organisationer och personalkategorier.



## 5 Publikationslista

Tilläggsisolering av vindsbjälklag - En handledning för beställare och förvaltare. Publicerad av Sustainable Innovation i mars 2021

Vindsisolering – Bygg huset från toppen. Artikel i Hållbart byggande nr 01 2019



## 6 Referenser

- 1 De Angelis, E., Pansa, G. and Serra, E. (2014) 'Research of Economic Sustainability of Different Energy Refurbishment Strategies for an Apartment Block Building', *Energy Procedia*. Elsevier B.V., 48, pp. 1449–1458. doi: 10.1016/j.egypro.2014.02.164.
- 2 Arfvidsson, J. and Harderup, L.-E. (2008) Fuktsäkerhet i kalla vindsutrymmen. Slutrapport.
- 3 Biswas, K. et al. (2013) 'A study of the energy-saving potential of metal roofs incorporating dynamic insulation systems', in *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings - 12th International Conference*.
- 4 Bonakdar, F., Dodoo, A. and Gustavsson, L. (2014) 'Cost-optimum analysis of building fabric renovation in a Swedish multi-story residential building', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 84, pp. 662–673. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.09.003.
- 5 Dodoo, A., Gustavsson, L. and Truong, N. Le (2018) 'Primary energy benefits of cost-effective energy renovation of a district heated multi-family building under different energy supply systems', *Energy*. Elsevier Ltd, 143, pp. 69–90. doi: 10.1016/j.energy.2017.10.113.
- 6 Energimyndigheten, *Energistatistik för flerbostadshus 2018*
- 7 La Fleur, L., Moshfegh, B. and Rohdin, P. (2017) 'Measured and predicted energy use and indoor climate before and after a major renovation of an apartment building in Sweden', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 146, pp. 98–110. doi: 10.1016/j.enbuild.2017.04.042.
- 8 La Fleur, L., Rohdin, P. and Moshfegh, B. (2018) 'Energy use and perceived indoor environment in a Swedish multifamily building before and after major renovation', *Sustainability (Switzerland)*, 10(3). doi: 10.3390/su10030766.
- 9 La Fleur, L., Rohdin, P. and Moshfegh, B. (2019) 'Investigating cost-optimal energy renovation of a multifamily building in Sweden', *Energy and Buildings*, 203. doi: 10.1016/j.enbuild.2019.109438.
- 10 Gustafsson, M. et al. (2016) 'CO2 emission evaluation of energy conserving measures in buildings connected to a district heating system – Case study of a multi-dwelling building in Sweden', *Energy*, 111, pp. 341–350. doi: 10.1016/j.energy.2016.05.002.
- 11 Hagentoft, C.-E. and Kalagasidis, A. S. (2010) 'Mold Growth Control in Cold Attics through Adaptive Ventilation: Validation by Field Measurements', *Buildings XI: Thermal Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings*, p. 8.
- 12 Hagentoft, C. E. and Kalagasidis, A. S. (2016) 'Drying Potential of Cold Attic Using Natural and Controlled Ventilation in Different Swedish Climates', *Procedia Engineering*. Elsevier B.V., 146, pp. 2–7. doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.345.



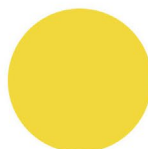
- 13 Liu, L. et al. (2014) 'Comprehensive investigation on energy retrofits in eleven multi-family buildings in Sweden', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 84, pp. 704–715. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.08.044.
- 14 Medineckiene, M. and Björk, F. (2011) 'Owner preferences regarding renovation measures - The demonstration of using multi-criteria decision making', *Journal of Civil Engineering and Management*, 17(2), pp. 284–295. doi: 10.3846/13923730.2011.582380.
- 15 Miljömedicin Kjell Andersson Örebro (no date). Available at: [http://www.inomhusklimatproblem.se/mmq/mmq\\_sv.html](http://www.inomhusklimatproblem.se/mmq/mmq_sv.html) (Accessed: 1 October 2018).
- 16 Miller, W. (2013) 'Roof and Attic Design Guidelines for New and Retrofit Construction of Homes in Hot and Cold Climates'.
- 17 Nagy, B. and Simon, T. K. (2018) 'Energy and hygrothermal performance of builtin mineral wool thermal insulations', in *MATEC Web of Conferences*. doi: 10.1051/matec-conf/201816308001.
- 18 SCB Statistik Bostadsbestånd 2019
- 19 Shirazi, A. and Ashuri, B. (2020) 'Embodied Life Cycle Assessment ( LCA ) comparison of residential building retrofit measures in Atlanta', *Building and Environment*. Elsevier Ltd, 171(December 2019), p. 106644. doi: 10.1016/j.buildenv.2020.106644






## Bilagor

Bilaga 1 Fuktanalys- detaljer om mätning och resultat



 *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](http://www.E2B2.se).*

