

# **Dagslyskvalitet** som sundheds- mæssig driver for energirenovering: **2-lags vinduer vs. 3-lags vinduer**

## **Dagslyskvalitet** som sundhedsmæssig driver for energirenovering: **2-lags vinduer vs. 3-lags vinduer**

### Forfattere:

Carlo Volf, Region H, NID. Projektleder  
Klaus Martiny, Region H, NID  
Jakob Markvart, SBI, Aalborg Universitet København  
Kjeld Johnsen, SBI, Aalborg Universitet København  
Paul Michael Petersen DTU Fotonik  
Anders Thorseth, DTU Fotonik  
Signe Dunker Svendsen, Region H, NID

### Øvrige deltagere og underrådgivere:

Stefan Vestergaard, Rambøll A/S, Bygherrerådgiver  
Haderslev Almene Boligselskab, HAB, Bygherre

### Fotos og illustrationer:

Forfatterne

### Filmformidling:

Volapyk

### Grafisk layout:

Grethe Bruun

Forsknings- og udviklingsprojektet er støttet af Elforsk, Dansk Energi, projektnummer 348-018.



# Notat: udtalelse fra projektgruppen

Carlo Volf, Region H, NID-GROUP, projektleder  
Klaus Martiny, Region H, NID-GROUP  
Jakob Markvart, SBI, Aalborg Universitet København  
Kjeld Johnsen, SBI, Aalborg Universitet København  
Paul Michael Petersen, DTU Fotonik  
Anders Thorseth, DTU Fotonik  
Signe Dunker Svendsen, Region H, NID

Kjeld Johnsen og Jakob Markvart har efter afleveringen og udgivelsen af rapporten om "Dagslyskvalitet som sundhedsmæssig driver for energirenovering: 2-lags vinduer vs. 3-lags vinduer" af 2019 erfarede, at der er formuleringer og konklusioner, som er upræcise og kan misforstås. På denne baggrund har projektgruppen udfærdiget dette notat med en fælles udtalelse, som skal læses sammen med rapporten. Det er hensigten, at Notatets præciseringer samt den allerede udgivne rapport vil kunne bidrage til en konstruktiv debat vedrørende bl.a. valg af vinduestyper ved bygningsrenoveringer. Notatet adresserer væsentlige spørgsmål, som er blevet stillet gruppen ved rapportens udgivelse, tillige med at det uddyber og præciserer enkeltresultater i rapporten.

Det er forfatterens ønske, at dette notat læses sammen med rapporten, for at læseren undgår mulige mistolkninger. Notatet giver en præcisering og visse steder justering af teksten i rapporten, og derfor er notatets konklusioner vigtige for at få en korrekt forståelse af rapportens indhold.

Indledningsvist i dette notat gives en kort introduktion til projektets baggrund og metode, hvorefter der gives kommentarer eller uddybninger til rapportens resultater og konklusioner. Uddybningerne relaterer sig generelt til spørgsmål, kommentarer og misforståelser, som forfatterne har mødt ved rapportens udgivelse.

## 0. BAGGRUND FOR PROJEKTET

I disse år sker der omfattende renoveringer af ældre byggeri, der typisk indbefatter udskiftning af vinduer, hvor ruderne skiftes fra 2-lags ruder til 3-lags energiruder. Projektet har derfor ønsket at se nærmere på dagslyskvaliteten ved forskellige nyere glastyper, samt hvad det kunne betyde rent sundhedsmæssigt. Projektet har haft fokus på forskellene i dagslysendfald og beboernes oplevelse af ændringer i dagslyskvalitet ved udskiftning af traditionelle termoruder, samt energiforbrug til opvarmning for de to identiske etageejendomme ved henholdsvis:

- 2-lags jernfattede ruder (i én etageejendom med 36 lejligheder)
- 3-lags energiruder (i en helt tilsvarende etageejendom med 36 lejligheder)

Herudover har projektet søgt at afdække, om der kan spores ændringer i beboernes selvoplevede velbefindende, søvnkvalitet og sundhedstilstand. Projektet er, så vidt vides, det første af sin art, og de foretagne undersøgelser bør betragtes som eksplorative, dvs. uden at der er defineret et primært mål, mens det er udviklingen af forskningsmetoden og mulighederne for at påvise bestemte sammenhænge, der har været det primære. Den eksplorative tilgang blev valgt for også at kunne vurdere, om det er hensigtsmæssigt at gennemføre mere dybdegående forskning på området.

## 1. UNDERSØGELSER I PROJEKTET

Der er foretaget laboratorie-tekniske lysmålinger på tre forskellige gængse vinduesrudetyper anno 2018, samt den i etageejendommene eksisterende vinduestype fra 1995, med fokus på vinduestypernes egenskaber mht. spektral lystransmittans. Derudover blev der foretaget et feltforsøg i to ens boligejendomme. I den ene etageejendom blev der skiftet til vinduer med 2-lags jernfattede ruder og i den anden ejendom til vinduer med 3-lags energiruder, og begge er undersøgt i laboratorietechniske målinger. En tredje rudetype, en 3-lags jernfattede rude, var med i laboratoriemålingerne men ikke i feltforsøget. I feltforsøget blev der foretaget on-site dagslysmålinger, registrering af indeklimaforhold i en 3-måneders periode samt indsamling af sundhedsmæssige data gennem spørgeskemaer til beboerne før og efter udskiftning af de eksisterende vinduer.

## 2. RAPPORTENS OPBYGNING

Rapporten består overordnet af:

- En spørgeskemaundersøgelse med demografiske og sundhedsmæssige spørgsmål. Spørgeskemaer blev uddelt til beboerne før (baseline) og efter (effektmåling) vinduesudskiftningen i de to etageejendomme, henholdsvis ved efterårs jævndøgn 2016 og efterårs jævndøgn 2017, og herfra er udvalgte data er præsenteret.
- En teknisk del, indeholdende:
  - 1) laboratoriemålinger af lysets spektralfordeling igennem fire glastyper under kontrollerede omgivelser: 3-lags jernfattede ruder, eksisterende 2-lags termoruder uden energibelægning, 2-lags jernfattede energiruder og 3-lags energiruder. Her indgik de tre sidstnævnte typer i projektets case.
  - 2) On site lux-målinger af dagslys i de to etageejendomme ved jævndøgn 2016 (før) og 2017 (efter) udskiftningen af vinduerne fra almindelige termoruder til henholdsvis 2-lags jernfattede vinduer og 3-lags energivinduer.

Mht. on-site målingerne i etageejendommene, så er der før og efter udskiftningen af vinduer foretaget målinger af lys i 10 udvalgte lejligheder, henholdsvis ved jævndøgn 2016 og jævndøgn 2017. I rapporten er der givet gennemsnitlige lux-målinger fra 4 lejligheder fra hver etageejendom, lejligheder der parvise er sammenlignelige hvad angår størrelse og placering i blokken. Én lejlighed i hver etageejendom blev frasorteret i rapporterede lux-målinger pga. afvigelse i lejlighedernes brug og dermed store afvigende forskelle i lysforhold.

Der er tillige målt indeklima i de 10 lejligheder med IC-meter i ugerne hvor spørgeskemaerne blev besvaret. Data fra disse er analyseret, men kun et udsnit af data er vist i grafisk form. Graferne vist i rapporten er gennemsnitskurver for én uge for en repræsentativ lejlighed. Hvert punkt på kurverne repræsenterer således et gennemsnit af 7 dage målt på samme tidspunkt af hvert af de 7 døgn. Samme tendens mht. niveauer af hhv. temperatur, CO<sub>2</sub> koncentrationer og relativ fugtighed er observeret for begge etageejendomme, hvorfor grafer kun er medtaget som et repræsentativt eksempel.

## 3. RAPPORTENS RESULTATER

### Demografiske forhold

I rapportens er medtaget resultater fra alle beboere som har svaret på spørgeskemaerne før eller efter renoveringen svarende til, baselinemåling og effektmåling. I alt 17 personer i hver af de to identiske ejendomme,

i alt 34 beboere, gav besvarelser både FØR og EFTER. Besvarelserne er analyseret ved at se på ændringer i disse beboeres besvarelser fra før til efter renoveringen. Se metode s 6, 9 og 13.

Som nævnt i rapporten er gennemsnitsalder, tilknytning til arbejdsmarkedet og adfærd statistisk signifikant forskellig for de to etageejendomme. Mht. adfærd henvises til følgende citat fra rapporten: "Når det gælder adfærd, opholder beboerne i etageejendommen med 2-lags jernfattede vinduer sig statistisk signifikant flere timer indendørs på hverdage efter renoveringen i forhold til beboerne i etageejendommen med 3-lags vinduer." Det understreges, at bl.a. disse forhold kan have betydning for spørgeskemaresultaterne og dermed nogle af konklusionerne.

### Laboratoriemålinger og lyskvalitet

Alle rapportens målinger af rudetypernes lystransmittans er lavet hos DTU Fotonik i laboratoriet under kontrollerede omgivelser. De 2-lags jernfattede ruder transmitterer ca. 15 % mere synligt lys end 3-lags energivinduer og ca. 20 % mere kortbølget lys (indenfor spektralområdet 460 - 480 nm) i forhold til 3-lags energi vinduer. Man ved at døgnrytmen reguleres ved netop disse bølgelængder.

Det er værd at bemærke at de 3-lags energiruder, som er anvendt, har en relativt høj LT-værdi (0,74). Forskellen imellem 2-lags jernfattede ruder og 3-lags energivinduer kan forekomme at være endnu større i andre renoverings-cases.

### Laboratoriemålinger

#### UVB-lys

Ud fra laboratoriemålingerne konkluderer rapporten at 2-lags jernfattede ruder transmitterer ca. 5 % UVB-lys og at de andre 2-lags og 3-lags ruder blokerer det meste UVB-lys. UVB-transmittansen er målt under kontrollerede omgivelser (i DTU laboratoriet) for de forskellige rudetyper og således ikke on site. Laboratoriemålingerne viser følgende:

- Jernfattet 2-lags lavenergirude transmitterer ca. 5 % UVB-lys (fra 290 - 315 nm)
- Jernfattet 3-lags lavenergirude transmitterer mindre end 0,5 % UVB-lys
- Eksisterende rude (fra on site renoverings-case) transmitterer mindre end 0,1 % UVB-lys
- Almindeligt 3-lags energirude transmitterer mindre end 0,1 % UVB-lys

Vinduesglasset er første barriere og afgørende for hvor meget UVB og kortbølget lys, der kan komme ind i lejlighederne. Rapporten siger således noget om, hvor meget UVB lys der potentielt kan tilføres de enkelte lejligheder gennem vinduerne.

#### D-vitamin

Det er vigtigt at slå fast at rapporten ikke har målt D-vitamin-indhold hos beboerne. Lystransmittans er målt i laboratoriet i det synlige spektrum og inden for det spektrale område, der kan aktivere D-vitamin nemlig stråling med bølglængder fra 290 nm til 315 nm.

Rapporten belyser muligheden for at beboerne eventuelt kan danne D-vitamin ud fra de specifikke UVB-lys målinger foretaget i laboratoriet. Gennem spørgeskemaet er der også spurgt ind til, om beboerne tog D-vitamin tilskud. Ud fra de samlede resultater angiver rapporten, at det vil være interessant at undersøge effekten på D-vitamin nærmere i større studier/undersøgelser over længere tid. Særligt når mange i Danmark lider af D-vitamin-mangel (og opholder sig indendørs ca. 90 % af tiden) og når solen er den primære kilde til dannelse af D-vitamin.

### Beboernes tilfredshed med dagslyset

Rapporten angiver at der er signifikant forskel i tilfredshed med dagslyset FØR og EFTER, se datadiagram side 24. Analysen viser, at der er en statistisk signifikant forskel i udviklingen af rapporteret tilfredshed med dagslyset i lejlighederne fra FØR til EFTER. Således stiger tilfredsheden i etageejendommen med 3-lags vinduer, mens tilfredsheden statistisk er uændret i etageejendommen med 2-lags vinduer. Rapporten angiver ved en fejl i teksten, at tilfredsheden stiger i begge ejendomme, men det er ikke tilfældet. På spørgsmål om tilfredshed med dagslys havde undersøgelsen flere mere specifikke tilfredshedsspørgsmål (4 spørgsmål), hvor besvarelserne varierede. Der kunne dog ikke konstateres specifikke forskelle i besvarelserne af disse spørgsmål. Disse resultater er ikke præsenteret i rapporten, men tænkes publiceret i en videnskabelig publikation.

Flere steder nævner rapporten, at der er "numeriske forskelle" i beboernes besvarelser af spørgeskemaerne. Det understreges, at sådanne resultater, der er angivet som en "numerisk forskel" ikke bør tillægges for stor vægt, da de netop ikke er påvist at være statistisk signifikant forskellige.

Udvendig kondens kan have betydning for den oplevede dagslyskvalitet. Rapporten angiver, at der kan forventes 1.500 timer med udvendig kondens i boligerne med 3-lags ruder, mens det tilsvarende tal er 500 for boliger med 2-lags ruder er 500. Det bør understreges, at disse tal ikke er målt på de to boligblokke, men baseret på generelle erfaringer, som fx bekræftes af DTU-rapporten 'Energimæssig helhedsvurdering af vinduer' (BYG-DTU, R-035, 2002).

### Indeklima og luft

I projektet reetableredes ejendommenes oprindelige naturlige ventilationsystem, med karmventiler i vinduerne. Karmventiler til ventilation viste sig umiddelbart ikke at være tilstrækkeligt, idet både CO<sub>2</sub>-niveau og relativ fugtighed steg markant i lejlighederne efter renoveringen. Tendenserne er den samme for begge etageejendomme. Årsagen hertil antages at være, at de nye vinduer er væsentligt mere tætte end de tidligere vinduer. Målingerne understreger vigtigheden af, at beboere i boligejendomme gives grundig information om, at der kan være behov for øget udluftning, når utætte vinduer udskiftes med helt tætte vinduer.

### Energiforbrug til opvarmning

Varmeforbruget lå generelt lidt højere i etageejendommen, hvor der blev monteret 3-lags vinduer, både før og efter vinduesudskiftningen. Vinduesudskiftningen viser reduktioner i varmekonsumet (inkl. varmt brugsvand) på 7-11 %, uden at der kan spores den forventede forskel i reduktionen ved 3-lags ruder i forhold til 2-lags ruder. Når rapporten siger 'Resultaterne peger på at ældre bygninger ikke får den beregnede energimæssige gevinst ved 3-lags ruder' er det baseret på en enkelt varmesæson for de 72 lejligheder i HAB. Hvor vidt det vil have samme gevinst i andre ejendomme, afhænger af flere faktorer, bl.a. vinduesorienteringen som er en vigtig faktor for varmebalancen og energiforbruget.

### Den samlede økonomi

De angivne priser på 2-lags og 3-lags vinduer er baseret på indhentede priser til den konkrete renovering. Rude- og vinduespriser er stærkt afhængige af efterspørgslen, og afspejler derfor ikke nødvendigvis de faktiske omkostninger ved produktionen. Rapporten afdækker, at der ikke med sikkerhed kan konstateres nogen energibesparelse ved skift til 3-lags energiruder frem for 2-lags energiruder, og at den i givet fald vil

være meget beskednen. Dette opvejer ikke det øgede materialeforbrug og fragtudgifterne på glas, der produceres i udlandet samt et potentielt lys-tab på 15 %. Rapporten fremstiller mulige fordele ved 2-lags vinduer rent byggeteknisk, lysmæssigt, sundhedsmæssigt og bæredygtighedsmæssigt, som typisk ikke vurderes i tilstrækkelig grad ved valg af nye vinduer.

Undersøgelsen har haft fokus på konkrete ikke-energimæssige fordele (NEB), såsom søvnkvalitet. Det er i sagens natur ikke muligt at estimere konkrete besparelser som følge af eksempelvis en forbedret søvnkvalitet. Rapporten og undersøgelsens resultater peger i retning af en samlet bedre vurdering af at anvende 2-lags vinduer i forhold til 3-lags jernfattede vinduer, fordi der i den konkrete case er tegn på at søvnkvaliteten stiger. Teoretisk set vil der kunne opnås dannelse af D-vitamin indendørs ved anvendelse af 2-lags vinduer.

Med hensyn til de rapporterede ikke-energimæssige fordele, så er det væsentligt at bemærke at flere undersøgelser er nødvendige for at validere resultaterne, også set i lyset af de demografiske forskelle mellem etageejendommene mht. alder og tilknytning til arbejdsmarkedet, som var at finde i undersøgelsens case.

#### **4. RAPPORTENS KONKLUSIONER OG FORBEHOLD**

En af rapportens vigtigste resultater fra casen er, at 2-lags jernfattede glas rent varmebalance- og energimæssigt svarer til 3-lags energi vinduer, men samtidigt generelt klarer sig bedre på de undersøgte dagslys- og sundhedsmæssige parametre. Det er som nævnt et lille eksplorativt studie, og der er behov for en bredere randomiseret undersøgelse. Ud fra studiet anbefales det, at man ved et fremtidigt studie randomiserer vin-

duestypen per lejlighed, for at få et stærkere forsøgsdesign. Metoden, der er anvendt med baseline-måling og effekt-måling på de samme beboere, tager højde for en del biases, men er ikke så stærk til at tage højde for demografiske forskelle, som et egentligt randomiseret design vil være.

Når rapporten konkluderer følgende: "Rapporten vil ud fra en samlet sundhedsmæssig og energimæssig vurdering anbefale 2-lags jernfattede glas fremfor 3-lags energiglas ved alle renoveringer af byggerier fra før 1985", så er dette kun gældende ved renoveringer af lignende karakter, som den i projektets case og ud fra de måle-parametre vi i casen har udvalgt og taget i betragtning.

#### **Perspektivering**

Rapporten åbner op for en vigtig debat om hvorvidt etageejendomme før 1985 i en renovering med udskiftning af vinduerne får nok gavn af et ekstra lag glas, eller om de positive egenskaber ved 3-lags energivinduer opvejes af større mulige sundhedsmæssige effekter af 2-lags jernfattede ruder.

Facader uden direkte eller indirekte solindstråling i fyringssæsonen, dvs. mod N, er ikke undersøgt i rapporten, her kan 3-lags vinduer måske være en fordel rent energimæssigt. Men prisen er, at der kommer mindre dagslys ind, og mod N er der mindst lys i forvejen. Det bør undersøges nærmere, hvad det kan betyde rent sundhedsmæssigt i fremtidige studier. På basis af ovennævnte vurderes det, at dette eksplorativt studie, afdækker vigtige og centrale sundhedsmæssige og dagslysmæssige forhold. Der er behov for yderligere større undersøgelser, der kan afdække de eventuelle sundhedsmæssige effekter i et større regi i Danmark.

## Forord

Projektet tager udgangspunkt i energirenovering af boligbyggeri og ser nærmere på hvordan dagslyskvalitet kan indgå som en sundhedsmæssig driver når det gælder optimering af energiforbrug ved vinduesudskiftning. Målet om at Danmark skal være uafhængigt af fossile brændstoffer i 2050 har skabt fokus på energieffektivisering af byggeriet og det estimeres, at varmekonsumet i vores bygninger bør reduceres med ca. 40 % frem mod 2050, hvis den grønne omstilling skal ske så omkostningseffektivt som muligt. Især helårsbeboelse opført før 1985 rummer i den forbindelse et stort potentiale, dels fordi disse bygninger udgør knap 67 % af det samlede bygningsareal, og dels fordi de er opført før egentlige krav til bygningers energiforbrug blev indført.

Projektets formål er at se nærmere på hvordan man bedst muligt kan energirenovere sådan en helårsbeboelse fra før 1985. Det sker med henblik på, at kvalificere beslutningstagere, bygherrer og rådgivende parter i valget af vinduer ud fra en samlet helhedsvurdering, hvori også sundhedsmæssige faktorer indgår. Projektet søger på den måde at bidrage med viden til hvordan en helhedsorienteret tilgang kan fremme og forbedre fremtidige energirenoveringer, hvor dagslyskvalitet, velvære og sundhed også tilgodeses og indgår i beslutningsprocessen.

Fra de første egentlige energikrav trådte i kraft i 1961 og frem til i dag, er kravene til energiforbrug skærpet markant. Fra krav svarende til ca. 400 W/m<sup>2</sup> pr. år, til krav på 41 W/m<sup>2</sup> pr. år i Bygningsreglement 2015/2018. Det svarer til en samlet reduktion på ca. 90 %. Hvis samme høje procentvise besparelse skulle gennemføres igen i dag, ville det kun give en yderligere besparelse på 9 % af den oprindelige besparelse på ca. 360 W/m<sup>2</sup> pr. år, som Bygningsreglement allerede har skabt. I bestræbelserne på at reducere energiforbruget, vil yderligere besparelser i fremtiden i højere grad drives af andre afledte faktorer end energibesparelser, f.eks. sundhed, indeklima og bæredygtighed, som alle ligger indenfor rammerne af dette projekt.

I de senere år har forskning frembragt ny viden om dagslysets betydning for menneskets velvære og helbred, ligesom der er stigende bevidsthed om dette hos almenbefolkningen. I gennemsnit bruger vi ca. 90 % af tiden i det indendørs miljø. De indendørs omgivelser spiller derfor en vigtig rolle for vores generelle trivsel og sundhed, helt specifikt fordi vores døgnrytme, søvn, humør, samt niveau af D-vitamin, alle stimuleres af naturligt dagslys.

I gennem de senere år har der været fokus på at optimere vinduer og klimaskærm ud fra et ønske om, at reducere energiforbruget. Projektet her fokuserer på dagslyskvaliteten og ser på de udfordringer, som energivinduer kan være med til at skabe når det gælder dagslys og sundhed. I den forbindelse undersøger og synliggør projektet andre parametre som også påvirkes af en vinduesudskiftning.

Samfundsmæssigt er projektet relevant og aktuelt fordi Danmark indenfor de kommende årtier står overfor fornyelse og energirenovering af en stor del af den samlede boligmasse. Langt den største del af byggeriet vil i fremtiden udgøres af energirenoveringer, primært i form af forbedringer af klimaskærm, facade- og vinduer. I den planlagte renovering af ca. 350.000 boliger i Danmark, vil effektiv energirenovering i høj grad handle om, at bidrage til en samlet helhedsorienteret besparelse, hvori andre gevinster også inddrages – gevinster som på sigt kan overstige potentielle energimæssige besparelser, også rent økonomisk.

Projektet er det første af sin art der undersøger den sundhedsmæssige effekt ved to almindelige vinduestyper i dag, nemlig vinduer med 2-lag glas og vinduer med 3-lag glas. Med udgangspunkt i renoveringen af et konkret byggeri, Haderslev Almene Boligselskab, bidrager projektet med viden når det gælder valg af vinduestyper og glastyper, samt betydningen af 2- og 3-lags glas i form af Non Energy Benefits (NEB). Projektet henvender sig til alle beslutningstagere, planlæggere og bygherrer der arbejder med fremtidig energirenovering af boligbyggeri i Danmark.

På projektgruppens vegne ønsker vi at udtrykke en tak til beboerne i Haderslev Almene Boligforening HAB for deres store gæstfrihed. Også en tak til Rambøll, til chefkonsulent Stefan Vestergaard, hvis interesse og engagement i, at samle viden indenfor byggeriet, har været en vigtig forudsætning for projektet. Tak til hovedbestyrelsen i HAB for deres velvilje og opbakning til projektet. Tak til fagfolk indenfor glas- og vinduesbranchen, til Knud-Erik Moselund. Tak til Haderslev Fjernvarme. Og sidst men ikke mindst tak til Elforsk og Jørn Borup og Dorte Lindholm for deres støtte til projektet.

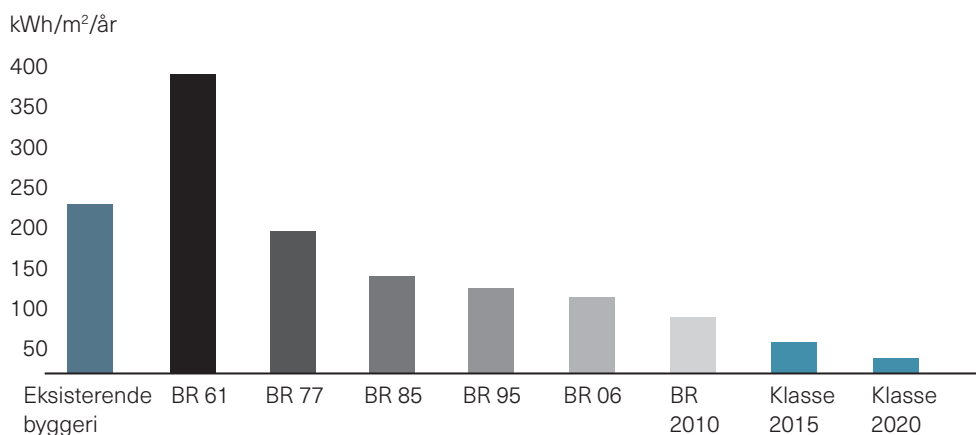


Fig 1. Udvikling i energikrav i perioden 1961 - 2020. Energi + Arkitektur, Solar City

## Resumé af resultater

Projektet tager udgangspunkt i HAB, Afd. 20. Ejendommen er opført i 1959 og består af to helt identiske etageejendomme; Kløvervej 66 – 92 og Kløvervej 116 – 142. Energirenoveringen foretages januar – april 2017. Indsamling af data foretages henholdsvis før renoveringen, i perioden september 2016 – januar 2017 (baseline) og efter renoveringen, i september 2017 – januar 2018 (effektmåling).

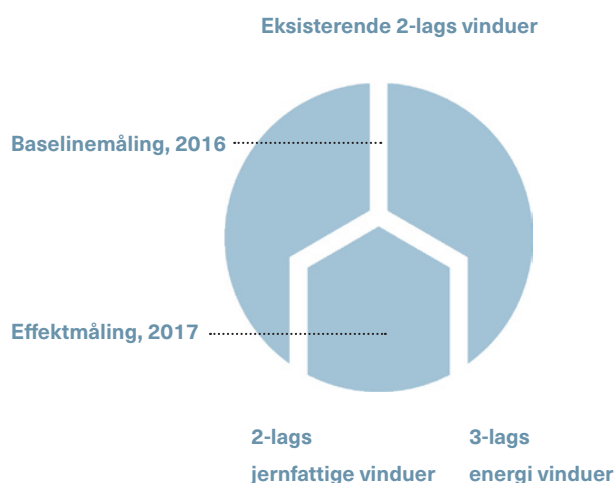
I gennem to forskellige vinduesløsninger, undersøges hvilke sundhedsmæssige og energimæssige effekter 2-lags og 3-lags glas har og hvilken vinduesløsning – 2-lags eller 3-lags glas – der giver mest værdi set ud fra en samlet helhedsmæssig betragtning.

Projektet undersøger hvordan de to vinduesløsninger påvirker dagslyset og hvordan beboernes tilfredshed og sundhed efterfølgende påvirkes. Andre indeklimamæssige faktorer, såsom CO<sub>2</sub>, temperaturer og luftfugtighed undersøges, og endelig undersøger projektet hvordan renoveringen påvirker energiforbruget til opvarmning i de to sammenlignelige etageejendomme.

I projekteringsfasen sker følgende to hovedgreb.

**1.** Projektet udskifter alle vinduer og døre<sup>1</sup>. Alle lejligheder har som udgangspunkt det samme vinduesareal før og efter udskiftningen. Undtagen de store vinduespartier i de SV-vendte facader, som reduceres således, at glasareal/gulvareal reduceres fra 25,5 % til 23,8 % i de største rum i forhold til boliger før renoveringen.

**2.** Projektet implementerer to forskellige vinduesglastyper i de to identiske etageejendomme og udfører en baselinemåling og en effektmåling, henholdsvis før og efter renoveringen. Se diagram nedenfor.



<sup>1</sup> Undtagen alle hoveddøre





Fig 2. Rudetyper. 2-lags energirude med jernfattigt glas (tv) og 3-lags standard energirude (th) I midten 3-lags energirude med jernfattigt glas som supplerende reference i laboratiormålinger



Fig 3. Rudetyper. 2-lags energirude med jernfattigt glas (th) og 3-lags standard energirude i midten. 3-lags energirude med jernfattigt glas som supplerende reference i laboratiormålinger (tv)

I boligerne projekteres følgende to specifikke rudetyper:

Rudetype	Glas 1	Gas	Glas 2	Gas	Glas 3	Lt	G	U	RA
1.Climaplus	4 mm diamant	16 mm Ar 90%	Planitherm 4 mm diamant	-	-	0,82	0,75	1,20	99
2.Climatop	4 mm Planiclear Planitherm xn	16 mm Ar 90%	4 mm Planiclear	18 mm Ar 90%	Planitherm xn 4 mm Planiclear	0,74	0,56	0,53	97

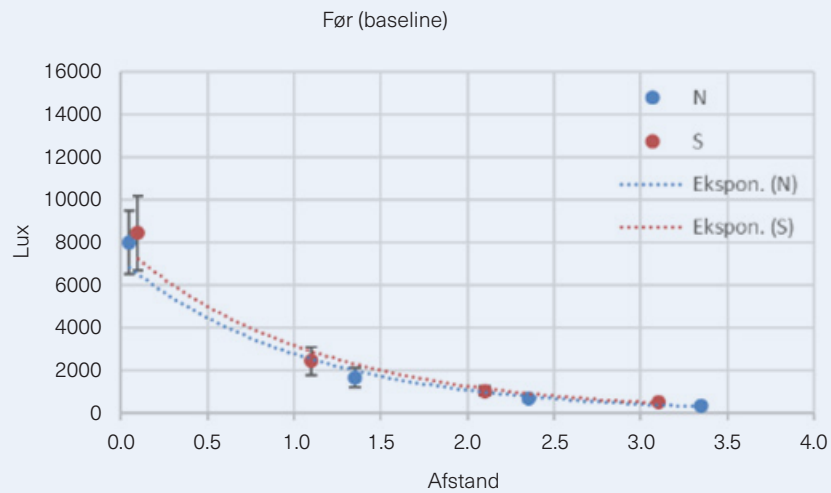


Fig 4. Lysregistrering, baseline d. 20.09.2016. Hvert punkt er gennemsnit med tilhørende standard afvigelser af målingerne fra fire testlejligheder. Alle målinger er foretaget i to sammenlignelige testlejligheder i henholdsvis etageejendom N og S (eksisterende 2-lags glas)

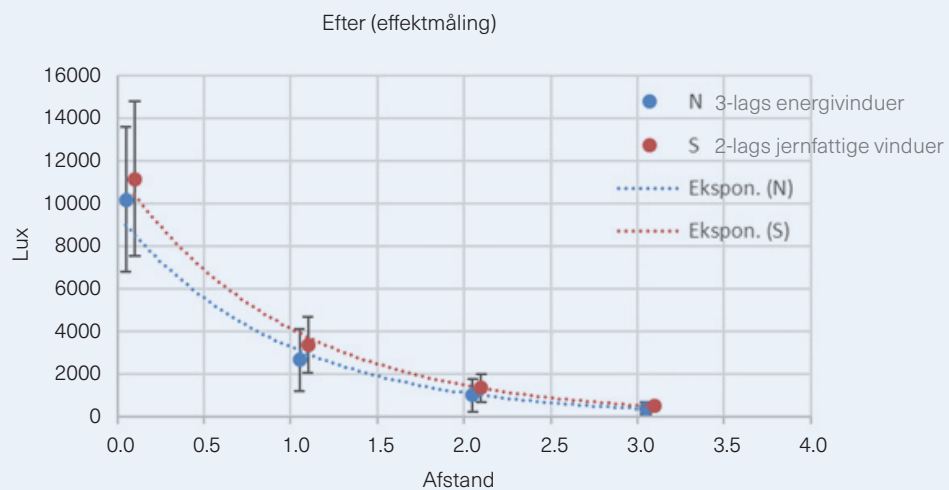


Fig 5. Lysregistrering, effektmåling d. 20.09.2017. Hvert punkt er gennemsnit med tilhørende standard afvigelser af målingerne fra fire testlejligheder. Alle målinger er foretaget i to sammenlignelige testlejligheder i henholdsvis etageejendom N (3-lags energiglas) og S (2-lags jernfattigt glas)

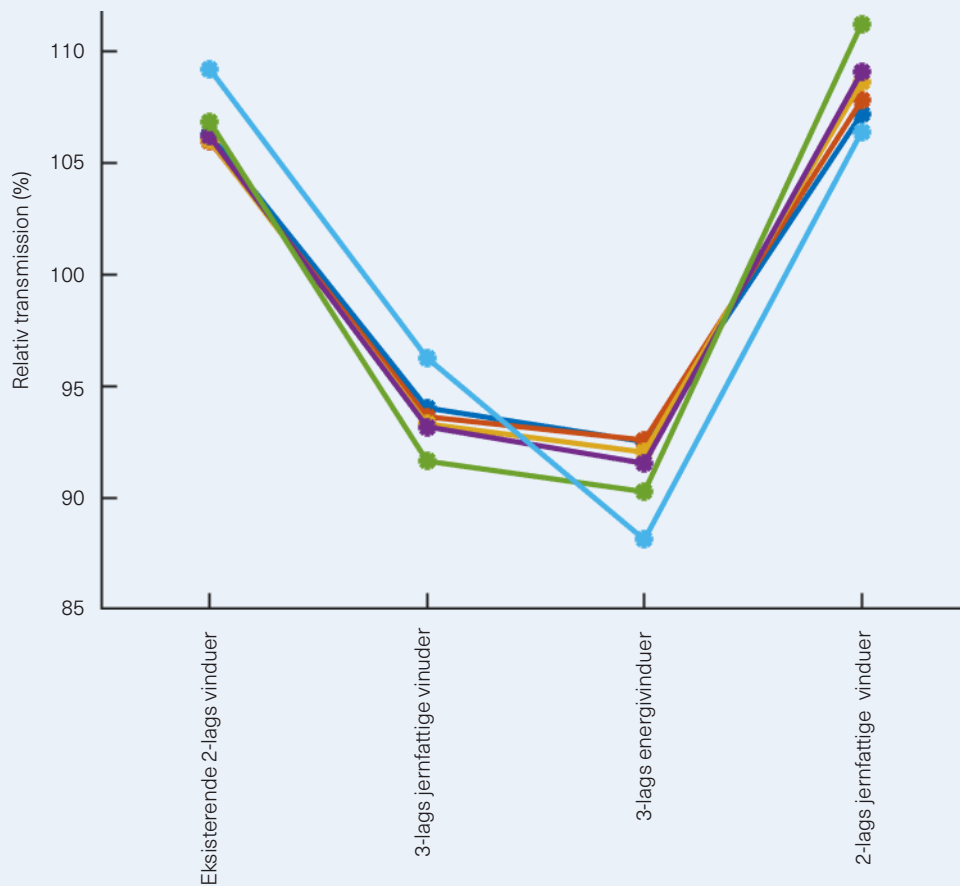
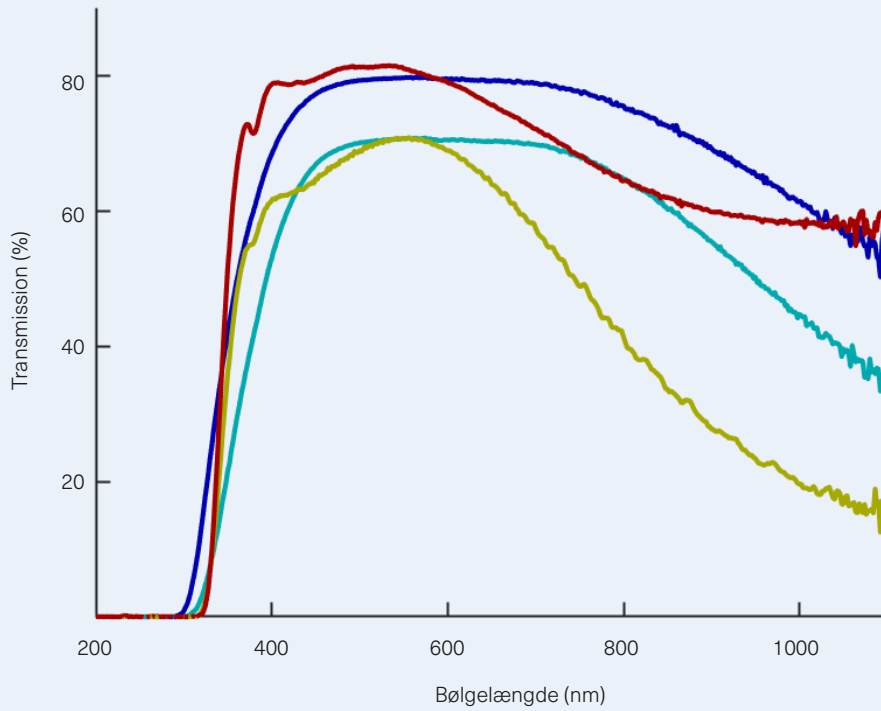


Fig. 6. Øverst: Samlet lystransmittans for henholdsvis 2-lags jernfattigt glas (blå), 3-lags energiglas (gul) 3-lags jernfattigt glas (grøn), eksisterende glas (rød) (øverst). Nederst: Vægtet lystransmittans i forhold til optimal lysfølsomhed for de fem forskellige retinale celler. Målt for henholdsvis eksisterende glas, 3-lags jernfattigt glas, 3-lags energiglas, samt 2-lags jernfattigt glas. Melanoptisk receptor (lilla), cyanoptisk receptor (grøn), kloropisk receptor (rød), erytropisk receptor (blå) samt rodopisk receptor (gul) (nederst)

## Resultater

Projektets enkelte resultater er kort resumeret i det følgende.

### Sociodemografi

- Der er statistisk signifikant forskel når det gælder alder på beboerne i de to etageejendomme. Gennemsnitsalder for beboerne i etageejendom med 3-lags vinduer er 70.5 år, imens den er 57.2 år hos beboerne i etageejendom med 2-lags vinduer.
- Der er statistisk signifikant forskel når det gælder tilknytning til arbejdsmarkedet. I alt 90 % af beboerne er udenfor arbejdsmarkedet i etageejendom med 3-lags vinduer, imens 55 % af beboerne er udenfor arbejdsmarkedet i etageejendom med 2-lags vinduer.

### Lysmålinger

- Dagslystintensiteten i lejligheder med 2-lags jernfattige vinduer er efter renoveringen signifikant højere (>15 %) målt i forhold til lejligheder med 3-lags vinduer. 2-lags jernfattige vinduer transmitterer UVB-lys imens 3-lags energi glas med to energibelægninger fuldstændigt blokerer for UVB-lyset. Selv 3-lags vinduer med jernfattigt glas transmitterer stort set intet UVB-lys (<0,5 %).
- Målinger viser at 2-lags jernfattige vinduer transmitterer signifikant mere kortbølget lys end 3-lags energiglas (> 20 % mere lys indenfor spektralområdet 460 - 480 nm)

### Sundhed

- Resultaterne viser en statistisk signifikant forringelse af søvnkvaliteten hos beboerne i etageejendommen med 3-lags glas. Imens beboere i etageejendommen med 2-lags jernfattigt glas angiver en overordnet numerisk bedre søvnkvalitet.
- Resultaterne viser endvidere en statistisk signifikant udvikling i fordelingen af kronotyper. Beboerne i etageejendommen med 2-lags jernfattigt glas vågner tidligere efter renoveringen og bliver signifikant mere morgentyper end beboerne i ejendommen med 3-lags glas.
- Resultaterne viser at beboere i boliger med 2-lags jernfattigt glas oplever numerisk bedre selvrapporeret humør (WHO-1), vågenhed (daytime alertness), samt indsovningstid (sleep onset latency), imens beboere i boliger med 3-lags energiruder ikke oplever nogen forskel.
- Lysfølsomhed hos beboerne øges i etageejendommen med 3-lags vinduer i forhold til beboerne i etageejendom med 2-lags vinduer efter renoveringen.

### **Tilfredshed**

- Tilfredsheden med dagslyset og dagslyskvaliteten stiger statistisk signifikant i etageejendom med 3-lags vinduer efter renoveringen, imens tilfredsheden stiger numerisk i etageejendom med 2-lags jernfattige vinduer. Tilfredsheden i etageejendommen med 3-lags vinduer stiger signifikant når det gælder dagslysets karakteristika; klarhed, hudfarve og farver på genstande.
- Beboerne i begge etageejendomme oplever færre dage hvor det er koldt. Især beboerne i etageejendom med 3-lags vinduer, som oplever statistisk signifikant færre dage hvor det er koldt.
- Baseret på resultater af IC-mettermålinger forringes det samlede indeklima i begge etageejendomme efter vinduesudskiftningen. Især faktorer som påvirkes af øget tæthed, som f.eks. luftfugtighed og CO<sub>2</sub>, bliver signifikant højere efter vinduesudskiftningen.

### **Energi**

- 3-lags energivinduer giver ingen reduktion i det registrerede energiforbrug til opvarmning i forhold til 2-lags jernfattige vinduer. Energiforbruget til opvarmning i er ens for de to etageejendomme og vinduesglasløsninger.

### **Andre forhold**

- Beboerne i etageejendommen med 3-lags vinduer opholder sig statistisk signifikant flere timer udenfor til hverdag i forhold til beboerne i etageejendom med 2-lags jernfattige vinduer efter renoveringen. Beboerne i etageejendommen med 2-lags jernfattige vinduer opholder sig statistisk signifikant flere timer udenfor i weekenden efter renoveringen i forhold til beboerne i etageejendom med 3-lags vinduer. Når det gælder adfærd, opholder beboerne i etageejendommen med 2-lags jernfattige vinduer sig statistisk signifikant flere timer indendørs på hverdage efter renoveringen i forhold til beboerne i etageejendommen med 3-lags vinduer.
- Resultaterne viser at beboernes tilfredshed med luften i etageejendommen med 3-lags vinduer er uændret efter renoveringen, imens den falder signifikant i etageejendommen med 2-lags jernfattige vinduer efter renoveringen
- Beboerne i etageejendommen med 2-lags jernfattige vinduer rapporterer at de når statistisk signifikant mindre på grund af deres fysiske helbred efter renoveringen og, at de oplever at fysisk helbred eller følelsesmæssige problemer i højere grad vanskeliggør arbejdet og det at se andre mennesker efter renoveringen.

### Beboernes sundhed

Resultaterne viser, at der er signifikant forskel i søvnkvaliteten hos beboerne i etageejendommen med 3-lags glas i forhold til beboerne i etageejendommen med 2-lags jernfattigt glas: Beboere i etageejendommen med 3-lags energivinduer angiver en statistisk signifikant dårligere overordnet søvnkvalitet efter renoveringen. Imens beboere i etageejendommen med 2-lags jernfattige vinduer angiver en numerisk, men ikke statistisk signifikant forbedring af deres overordnede søvnkvalitet.

<b>Søvnkvalitet (score 0-3 med 3 = meget god)</b>	<b>Før</b>	<b>SD</b>	<b>Efter</b>	<b>SD</b>	<b>P = 0.005</b>	<b><math>\chi^2 = 7.9</math></b>
Vinduer med 2-lags jernfattigt energiglas	1.59	0.62	1.69	0.70		
Vinduer med 3-lags standard energiglas	2.21	0.80	1.64	0.93		

Resultaterne viser signifikant forskel i fordelingen af kronotyper før og efter renovering. Beboerne i etageejendom med 2-lags jernfattige vinduer oplever at de vågner tidligere og er signifikant tidligere morgentyper ("morgenmennesker") efter renoveringen, imens beboere med 3-lags energivinduer ikke oplever en signifikant ændring.

<b>Morgentyper (score 0-3 med 3 = aftenmenneske)</b>	<b>Før</b>	<b>SD</b>	<b>Efter</b>	<b>SD</b>	<b>P = 0.03</b>	<b><math>\chi^2 = 5.0</math></b>
Vinduer med 2-lags jernfattigt energiglas	1.41	1.12	0.81	0.98		
Vinduer med 3-lags standard energiglas	1.06	0.88	1.00	0.78		

Resultaterne viser en numerisk ikke-signifikant forskel i selvrapporteret humør (WHO-1). Beboerne i etageejendommen med 2-lags jernfattige vinduer oplever bedre humør, imens beboerne i etageejendommen med 3-lags energivinduer oplever dårligere humør.

<b>WHO-1 (score 0 – 5 med 5 = hele tiden)</b>	<b>Før</b>	<b>SD</b>	<b>Efter</b>	<b>SD</b>	<b>Non-signifikant</b>
Vinduer med 2-lags jernfattigt energiglas	3.76	1.21	3.82	0.95	
Vinduer med 3-lags standard energiglas	4.00	0.88	3.75	1.0	

Beboerne i etageejendommen med 2-lags jernfattige vinduer angiver at de er mere vågne i dagtimerne, om end dette ikke er statistisk signifikant.

<b>Daytime Sleepiness (score 0 – 3 med 3 = flere gange)</b>	<b>Før</b>	<b>SD</b>	<b>Efter</b>	<b>SD</b>	<b>Non-signifikant</b>
Vinduer med 2-lags jernfattigt energiglas	0.47	0.62	0.38	0.81	
Vinduer med 3-lags standard energiglas	0.08	0.28	0.08	0.28	

Beboerne i etageejendom med 2-lags jernfattede vinduer angiver at de falder ca. 8 minutter hurtigere i søvn efter renoveringen (sleep onset latency), imens beboerne i etageejendom med 3-lags glas falder lidt langsommere i søvn, men dette er ikke statistisk signifikant.

<b>Sleep Onset Latency (i minutter)</b>	<b>Før</b>	<b>SD</b>	<b>Efter</b>	<b>SD</b>	<b>Non-signifikant</b>
Vinduer med 2-lags jernfattedt energiglas	30.1	28.7	22.6	24.0	
Vinduer med 3-lags standard energiglas	20.7	18.3	22.1	20.5	

Herudover viser resultaterne en numerisk, men ikke signifikant, forskel i antallet af sygedage indenfor de seneste 3 måneder. Beboerne i etageejendom med 2-lags glas har færre sygedage end beboerne i etageejendom med 3-lags energivinduer (12.8 dg før/11.9 dg efter vs 10 dg før/15.8 dg efter). Generelt viser resultaterne at livskvaliteten er høj i boligforeningen, med en samlet WHO-5 score > 70. Ud fra ovenstående ses et sammenfaldende mønster i data, der viser en påvirkning af søvn og døgnrytme. Af disse er det dog kun søvnkvaliteten og morgentype der er viser en statistisk signifikant forskel.

### **Beboernes tilfredshed**

Resultaterne viser statistisk signifikante forskelle i beboernes tilfredshed med dagslyset. Tilfredsheden stiger signifikant hos beboerne i etageejendommen med 3-lags vinduer, imens tilfredsheden stiger numerisk hos beboerne med 2-lags jernfattede vinduer. Tilfredsheden med dagslysets karakteristika er signifikant højere hos beboerne i etageejendommen med 3-lags vinduer når det gælder klarhed, farver på genstande samt hudfarve.

<b>Tilfredshed med dagslyset (score 0 - 5 med Før SD Efter SD P = 0.03 <math>\chi^2 = 4.9</math> 5 = meget tilfreds)</b>	<b>Før</b>	<b>SD</b>	<b>Efter</b>	<b>SD</b>	<b>P = 0.03 <math>\chi^2 = 4.9</math></b>
Vinduer med 2-lags jernfattedt energiglas	4.25	0.77	4.00	0.95	
Vinduer med 3-lags standard energiglas	3.86	0.66	4.44	0.63	

Når det gælder tilfredshed med indeklimaet viser resultaterne, at beboerne i begge etageejendomme oplever færre dage hvor det er koldt efter renoveringen. Især beboerne i etageejendom med 3-lags vinduer, som oplever statistisk signifikant færre dage hvor det er koldt. (Mean = 0.63/SD = 0.5, ud fra en score fra -1 til 1, med 1 = Jeg oplever færre dage hvor det er for koldt og -1 = Jeg oplever flere dage hvor det er for koldt) i forhold til beboerne i etageejendom med 2-lags glas (Mean = 0.13/SD = 0.5), (P = 0.01,  $\chi^2 = 6.0$ ).

Resultaterne viser statistisk signifikant forskel i beboernes tilfredshed med luften. Imens beboernes tilfredshed med luften i etageejendom med 3-lags vinduer er ens før og efter renoveringen, falder tilfredshed med luften i etageejendommen med 2-lags vinduer fra 3.6/SD = 1.21 til 2.8/SD = 1.61, score 0 - 5

med 5 = meget tilfreds ( $P = 0.005$ ,  $\chi^2 = 7.9$ ). Resultaterne viser endvidere at lysfølsomheden hos beboerne i etageejendom med 3-lags vinduer øges signifikant i forhold til beboerne i etageejendom med 2-lags jernfattede vinduer efter renoveringen. Fra 0.40/SD = 0.51 til 0.57/SD = 0.51, score fra 0 til 1, med 1 = ja, jeg er specielt følsom over for stærkt lys. ( $P = 0.03$ ,  $\chi^2 = 4.5$ )

Herudover viser resultaterne at beboerne i etageejendom med 2-lags jernfattede vinduer ikke er mere generet af solvarme (ekstern varmelast) efter renoveringen end beboerne i etageejendom med 3-lags energi vinduer.

Reduceringen af vinduesåbningerne har ikke negativ effekt på den overordnede tilfredshed med dagslyset. I stedet viser resultaterne overraskende mere positiv tilfredshed med dagslyset og at flere beboere rent faktisk oplever at deres bolig er blevet lysere efter renoveringen. Der er en tendens til at beboerne i begge etageejendomme generelt rapporterer om øget tilfredshed med dagslys, temperatur og indeklimaforhold som følge af renoveringen.

### **Andre forhold**

Resultaterne viser forskelle imellem beboerne i de to etageejendomme når det gælder beboernes adfærd efter renoveringen. Beboerne i etageejendommen med 3-lags vinduer opholder sig statistisk signifikant flere timer udenfor til hverdag efter renoveringen. Fra 2.9 timer/SD = 1.20 til 4.5 timer/SD = 2.64 ( $P = 0.02$  og  $\chi^2 = 5.9$ ), imens beboerne i etageejendom med 2-lags vinduer opholder sig statistisk signifikant flere timer indendørs på hverdage efter renoveringen. Fra 4.3 timer/SD = 2.63 til 5.8 timer/SD = 3.26 ( $P = 0.06$ ,  $\chi^2 = 3.4$ ). I weekender opholder beboerne i etageejendom med 2-lags vinduer sig statistisk signifikant flere timer udenfor efter renoveringen. Fra 5.3 timer/SD = 3.26 til 5.6 timer/SD = 3.83 ( $P = 0.0001$ ,  $\chi^2 = 19.9$ ).

Beboerne i etageejendommen med 2-lags vinduer rapporterer at de har nået mindre end de gerne ville på grund af deres fysiske helbred efter renoveringen. Fra -0.41/SD = 0.51 til -0.63/SD = 0.50, score -1 til 0 med -1 = jeg har nået mindre ( $P = 0.005$ ,  $\chi^2 = 7.8$ ). Beboerne i etageejendom med 2-lags vinduer oplever at fysiske smerter i højere grad har vanskeliggjort deres daglige arbejde efter renovering. Fra -1.1/SD = 1.17 til -1.7/SD = 1.20, score -4 til 0 med -4 = virkelig meget ( $P = 0.01$ ,  $\chi^2 = 6.4$ ). Endelig rapporterer beboerne i etageejendom med 2-lags vinduer at de har vanskeligere ved, at se andre mennesker på grund af deres fysiske helbred eller følelsesmæssige problemer efter renoveringen. Fra 0.8/SD = 1.35 til 1.0/SD = 0.89, score 0 - 4 med 4 = hele tiden ( $P = 0.03$ ,  $\chi^2 = 4.5$ ).



## **Konklusion – sundhedsmæssig, energimæssig og økonomisk betragtning**

Rapporten vil ud fra en samlet sundhedsmæssig og energimæssig vurdering anbefale 2-lags jernfattigt glas fremfor 3-lags energiglas ved alle renoveringer af byggerier fra før 1985. Konklusionen på de forskellige outcomes peger i retning af, at 2-lags jernfattede vinduer alt i alt udgør en samlet merindtægt i forhold til 3-lags energivinduer når både lysmæssige og sundhedsmæssige gevinster tages med i betragtning. Hvis disse Non Energy Benefits (NEB) indgår i den samlede vurdering, vil 3-lags glas udgøre en samlet negativ merudgift – overraskende nok selv når de energimæssige resultater indgår i vurderingen, og selv i boliger med relativt store glaspartier (25 % af gulvareal).

Som tidligere nævnt udgør bygninger fra før 1985 langt over hovedparten af Danmarks samlede bygningsareal, svarende til ca. 67 %. Det har derfor en stor betydning, at energikrav til facade- og vinduesrenovering tilpasses bygningernes generelle tilstand således, at de ikke kompromitterer de sundhedsmæssige krav. Når rapporten her anbefaler 2-lags jernfattigt glas fremfor 3-lags energiglas hænger det i øvrigt i tråd med ambitionerne om, at reducere bygge- og anlægsbranchens affald, der i dag udgør ca. 33 % af alt det affald der produceres i Danmark. Glas udgør i dag en stor andel af facadearealet og hvis materialeforbruget til glas kan reduceres med 33 % vil det have en stor positiv effekt, ikke kun på reduktion i affaldsmængde, men også på den samlede CO<sub>2</sub>-udledning, fordi glas er et relativt ressourcekrævende materiale at fremstille.

### **Søvn og humør**

Når det gælder dagslyskvalitet og sundhedsfaktorer som søvn og humør, viser resultaterne en signifikant forskel til fordel for 2-lags glas. Resultaterne bekræfter at naturligt dagslys har en teoretisk positiv indvirkning på søvn og døgnrytme og efterviser også dette i praksis.

Resultaterne bekræfter at glaskvalitet i praksis har en statistisk signifikant positiv indvirkning på søvn og døgnrytme. Resultaterne viser at 3-lags vinduer forringer søvnkvaliteten statistisk signifikant. Resultaterne viser også en statistisk signifikant forskel hos beboerne i etageejendom med 2-lags jernfattigt glas, deres døgnrytme faseforskydes fremad (phase-advance) i forhold til 3-lags energiglas. Andre resultater peger på, at beboerne i etageejendom med 2-lags jernfattigt glas falder hurtigere i søvn, oplever mindre træthed i dagtimerne, samt bliver tidligere morgentypen, sammenlignet med beboerne i etageejendom med 3-lags glas. Alt i alt bekræfter de samlede sundhedsmæssige resultater, at 2-lags jernfattigt glas og naturlig dagslyskvalitet understøtter en god søvn og døgnrytme. At dette skyldes glaskvaliteten understøttes af, at resultaterne opnås på trods af en samlet reduktion af glasareal/gulvareal fra 25.5 % til 23.8 %.

Resultaterne af de teoretiske laboratoriemålinger viser, at glaskvaliteten rent teoretisk har en overraskende signifikant indvirkning på det kortbølgede lys, der stimulerer døgnrytmen. 2-lags jernfattigt glas øger mængden af kortbølget lys signifikant med op til ca. 20 % i forhold til 3-lags energiglas.

### **D-vitaminmangel og sundhed**

Resultaterne bekræfter at glaskvalitet har en overraskende signifikant indvirkning på muligheden for dannelse af D-vitamin indendørs. Resultaterne bekræfter at 2-lags jernfattigt glas muliggør dannelse af D-vitamin indendørs, imens 3-lags glas uanset om det er jernfattigt eller energiglas omvendt blokerer for dannelse af D-vitamin indendørs.

Sollys er den primære og vigtigste kilde til omdannelse af D-vitamin. Men mennesker som opholder sig meget indendørs i Danmark får ikke nok sollys, for stort set alt glas - undtagen 2-lags jernfattigt glas - absorberer og reflekterer nemlig UVB lyset der er med til at omdanne 7-dehydro-cholesterol til aktivt 1,25(OH)<sub>2</sub>D. Sundhedsstyrelsens anbefaling for D-vitamin lyder på 50 nanomol per liter blod og som absolut minimum 25 nmol/L. En tommelfingerregel siger, at en dansker mister ca. ét nanogram om ugen igennem vinterperioden. Lægger man ud med en koncentration på 50 i blodet i september måned, vil man derfor efter ca. 31 uger - i slutningen af april - typisk have et underskud sidst på vinteren, svarende til 19 ng/ml D-vitamin. Men hvis en person i stedet starter fra 75 ng/ml i sommerperioden, så slutter de i stedet med 56 ng/ml.

Dansk forskning offentliggjort i det lægevidenskabelige tidsskrift British Medical Journal viser, at folk med et lavt indhold af D-vitamin i blodet oftere rammes af sygdomme, som slår dem tidligere ihjel, end hvis blodet har mere D-vitamin. Ifølge overlæge Børge Nordestgaard viser forskningen, at en person der kun har 30 nanomol per liter, har en 40-procents forøget risiko for at dø af kræft og en øget dødelighed på samlet set 30 procent, i forhold til folk, som har det anbefalede niveau. Forskningen er baseret på årsagssammenhænge på 96.000 danskere fra den såkaldte Herlev-Østerbro-undersøgelse. Ud fra et overordnet sundhedsmæssigt skøn, vurderes de økonomiske udgifter, forbundet med almindelig D-vitamin mangel på sygdomme, såsom hjerte- karsygdomme, knoglesygdomme samt kræft, etc, at udgøre 15-16 % af de samlede sundhedsudgifter i Danmark. Det svarer til ca. 18 Mia. Kr. årligt, baseret på, at udgifterne til sundhedsvæsenet i dag udgør ca. 8,8 % af BNP, svarende til ca. 122 mia. kr årligt.

Når det gælder glaskvalitet og muligheden for at danne D-vitamin, kan resultaterne af dette projekt altså bekræfte, at glaskvalitet ikke kun har indvirkning på dagslyskvalitet og energiforbrug, men også på sundhedsmæssige forhold, der direkte påvirkes af glaskvaliteten. Valg af glastype bør derfor ikke kun bero på energimæssige hensyn, men også på glassets evne til, at transmittere det naturlige dagslys.

### **Glas, klimaskærm og energiforbrug**

Sammenlignes varmekonsumet for de to etageejendomme efter renoveringen med forbruget i de sidste 4-5 år, reduceres forbruget med ca. 20 MWh/år i begge etageejendomme. Vinduer med 3-lags energiruder og vinduer med 2-lags jernfattige energiruder giver altså samme reduktion i det registrerede energiforbrug til opvarmning. Resultaterne peger overraskende på, at ældre bygninger ikke får den beregnede energimæssige gevinst ved 3-lags ruder. Rent energimæssigt viser resultaterne af projektet, at dette gør sig gældende selv i bygninger med relativt stort glasareal/gulvareal (25 %).

## Tilfredshed

Der er statistisk signifikant forskel i tilfredshed med dagslyset hos beboerne. Beboerne i begge etageejendomme oplever generelt øget tilfredshed som følge af renoveringen, men resultaterne viser at tilfredsheden hos beboerne i etageejendommen med 3-lags energivinduer øges statistisk signifikant. Det samme er tilfældet når det gælder dagslysets karakteristika, såsom klarhed, farver på genstande samt hudfarve. Dette resultat virker umiddelbart overraskende, taget i betragtning, at målingsresultaterne viser, at 3-lags vinduer har en dårligere lystransmittans og giver mindre lysintensitet, med en grønlig toning af dagslyset, hvilket igen betyder mindre klar farve- og skyggetegning. En mulig forklaring på den øgede tilfredshed kan være, at 3-lags vinduer skaber en større forskel imellem før og efter renoveringen, hvorimod 2-lags jernfattede vinduer giver en mindre forskel imellem før og efter renoveringen. Det høje glasareal/gulvareal på 25 % og de høje dagslysfaktorer > 3 % i de største rum betyder, at lejlighederne ikke mangler dagslys, resultaterne tyder snarere tværtimod på at de måske får for meget dagslys.

Beboerne i etageejendommen med 3-lags vinduer oplever færre dage hvor det er for koldt, i forhold til beboerne i etageejendom med 2-lags vinduer. Det kan skyldes, at de store SV-vendte vinduespartier skaber kuldenedfald. Især mod SV, som er den fremherskende vindretning i Danmark. Her ser det ud til at 3-lags vinduer bidrager til, at beboerne oplever færre dage hvor det er for koldt i boligen.

Herudover viser resultaterne flere andre forskelle i tilfredshed på de enkelte spørgsmål om dagslyskvalitet. Når det gælder varme viser resultaterne, at beboerne i etageejendom med 2-lags jernfattede vinduer ikke er mere generet af solvarme (ekstern varmelast) end beboerne i etageejendom med 3-lags energiglas. Beboernes tilfredshed med luften i etageejendommen med 3-lags vinduer, er ens før og efter renoveringen, imens den falder i etageejendommen med 2-lags vinduer. Resultatet stemmer ikke overens med IC-meter-målingerne, der viser at luften forringes ens i både etageejendommen med 2-lags vinduer og etageejendommen med 3-lags vinduer. Reduceringen af vinduesåbningerne har ikke en negativ effekt på den overordnede tilfredshed med dagslyset. I stedet viser resultaterne overraskende at beboerne er mere tilfredse med dagslyset og rent faktisk oplever, at deres bolig er blevet lysere efter renoveringen.

## Indeklima

Det samlede indeklima i begge etageejendomme forringes på flere punkter efter vinduesudskiftningen. Især når det gælder faktorer som forårsages af øget lufttæthed, såsom relativ luftfugtighed og CO<sub>2</sub>, som begge øges signifikant efter vinduesudskiftningen. Detailkravet om tæthed for vinduer betyder at infiltrationen reduceres markant hvilket indebærer, at indeklimaet forringes, når naturlig eller mekanisk ventilation ikke indarbejdes og optimeres i forbindelse med en vinduesudskiftning. Projektet her reetablerede naturligt aftræk igennem toilet-kernen, øgede udluftningsmuligheder og indtræk igennem karmventiler, men tilsyneladende uden signifikant effekt på det samlede indeklima efter renoveringen.

### Økonomi - glas

Ud fra resultaterne af projekteringen og de indkomne tilbud baseret på udbudsmaterialet viser resultaterne, at jernfattede 2-lags vinduer rent faktisk er økonomisk billigere end 3-lags energivinduer.

I tilbudspris er 2-lags jernfattedt glas 30.736 DKK billigere end 3-lags energiglas. Svarende til en besparelse på 29.604 DKK til vinduer og 12.816 DKK til døre pr ejendom. For begge etageejendomme betyder det, at bedre dagslyskvalitet rent faktisk giver en økonomisk besparelse på i alt 84.840 DKK i de samlede byggeomkostninger. Prisforskellene skyldes udelukkende vinduesglasset, for vinduestype og montering m.m. er ens for 2- og 3-lags glas. Prisen på jernfattede ruder kan variere, alt afhængigt af leverandør, mængde, leveringstid, etc., men prisen er selvfølgelig en afgørende faktor når bygherre skal vælge vinduesløsning. I den følgende beregning af teoretiske, vejledende priser sammenlignes vejledende priser med de reelle udgifter på henholdsvis 2-lags jernfattede vinduer og 3-lags energivinduer. Prisen for jernfattedt glas (1-lag) estimeres til at være 30 % dyrere end almindeligt glas (1-lag). Herved fås følgende regnestykke med indeks = 1.0 for standard 3-lags vinduer med energiglas.

Forskel	Vinduer med 2-lags jernfattedt energiglas	Vinduer med 3-lags standard energiglas
1 Relativt glasforbrug. Indeks 3-lags glas	0.66	1.0 (Indeks)
2 Prisforskel, Indeks 3-lags glas	1.3	1.0 (Indeks)
3 Reel forskel i pris	0.858 (pkt 1. x pkt 2.)	1.0 (Indeks)
4 Afspejlet i tilbudspris	1.246.720 DKK	1.453.054 DKK
5 Faktuelt afgivet tilbudspris	1.484.321 DKK	1.515.057 DKK

Alt i alt giver det en estimeret prisforskel på 206.334 DKK imellem jernfattedt 2-lagsglas og 3-lagsglas. 2-lags jernfattedt glas er billigere end 3-lags energiglas, og det afspejles også i tilbudsprisen. Projektet viser altså i praksis, at 2-lags jernfattede vinduer er billigere end 3-lags energivinduer.

OBS. De 3-lags glas der er anvendt er standard for vinduesindustrien i dag. Der er dog en lille forskel nemlig, at energibelægningen er placeret på fase 3 og 5, hvor de som standard er placeret på fase 2 og 5. Det kan have en mindre indflydelse på g-værdi og U-værdi.

### Bemærkninger

Udover pris kan andre forhold også have betydning når bygherre skal vælge imellem 2-lags glas og 3-lags glas. I det følgende kan nævnes:

- Forskel. I det samlede regnestykke indgår også forskel i vægt og materialeforbrug imellem 2-lags glas og 3-lags glas i de to etageejendomme: 3-lags vinduer (vinduesenhed 1400 x 1316 mm): 69 kg. 2-lags vinduer (vinduesenhed 1400 x 1316 mm): 57 kg.

- Forskel i antal timer med udvendig kondens. Udvendig kondens er et problem og kan reducere lystransmittans for glasset markant. Der er stor forskel imellem 2-lags glas og 3-lags glas når det gælder antal timer med udvendig kondens. For de to etageejendomme gælder følgende estimering: 3-lags vinduer (vinduesenhed 1400 x 1316 mm): ca. 1.500 h/år. 2-lags vinduer (vinduesenhed 1400 x 1316 mm): ca. 500 h/år. I valget af glas skal man overveje hvorvidt udsigten benyttes i morgentimerne/aftentimerne, for især på disse tidspunkter vil 3-lags glas reducere udsigt og lystransmittans i varierende grad, alt afhængigt af årstiden.
- Life Cycle Assessment (LCA). Glas er et tungt og ressourcekrævende materiale at fremstille, derfor bidrager 3-lags vinduer negativt i LCA analysen, særligt set i lyset af, at vinduets levetid er relativ kort og ikke forlænges ved det 3. lag glas.

Rapporten viser at det slet ikke udelukket at energioptimering og sundhedsoptimering kan gå hånd i hånd. Men det kræver flersidet og mere langsigtet fokus på sundhed, dagslys og energi i planlægningen af byggeriet. Resultaterne omkring D-vitamin kræver f.eks. forsøg af længere varighed for, at undersøge de specifikke sundhedsmæssige indvirkninger. Det vil være relevant at undersøge dette nærmere i fremtidige undersøgelser, når resultaterne tyder på, at glaskvaliteten har så stor og afgørende betydning. Ensidig fokusering på optimering af energiforbrug i Bygningsklasse 2018 og 2020 skaber ikke de sundeste – og i længden mest bæredygtige – byggerier i Danmark, og kan gøre det svært, at arbejde med en fælles målsætning om, at udnytte dagslysets sundhedsmæssige potentialer bedst muligt.

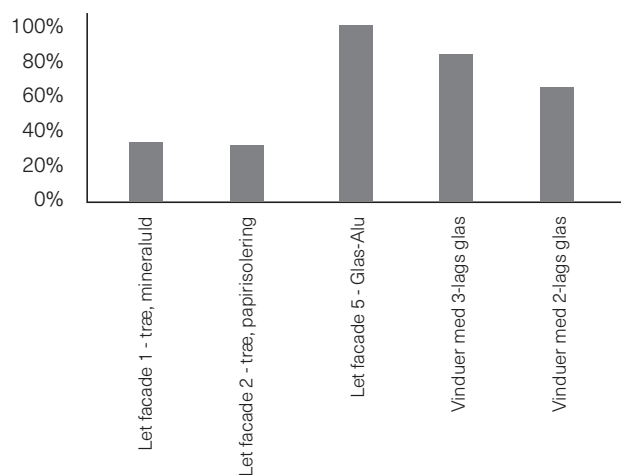


Fig 7. LCA livscyklusvurdering og sammenligning af bl.a. betydning af lukket facade, 3-lags vinduer og 2-lags vinduer

Denne rapport bekræfter flere resultater fra rapporten "Sundere dagslys og kunstlys – Nye veje mod lavenergiarkitektur 2020" og viser flere udfordringer og muligheder når det gælder sundhed. Men rapporten viser også at dynamiske faktorer gør det problematisk at beregne indeklimaet, og at vi mangler praktisk viden og erfaring med hvordan ekstern varmelast og naturlig ventilation håndteres i praksis. Resultaterne viser, at 2-lags jernfattede vinduer rent faktisk samlet set er billigere end 3-lags almindelige energivinduer.

Resultater	2-lags jernfattede energivinduer	3-lags energivinduer
1 Højeste dagslysintensitet	✓	
2 Forudsætning for dannelse af D-vitamin indendørs	✓	
3 Højeste intensitet af kortbølget lys der stimulerer døgnrytmen	✓	
4 Bedst søvn, humør og morgenfriskhed (tidlige morgentyper)	✓	
5 Højeste optimering af energiforbrug til opvarmning	✓	✓
6 Højeste tilfredshed med dagslyset		✓
7 Mindst gene fra solvarme	✓	✓
8 Forbedring af samlet indeklima		
9 Samlet merindtægt når alle lysmæssige og sundhedsmæssige gevinster, Non Energy Benefits (NEB), inddrages	✓	

Fig 8. 2-lags jernfattede energivinduer vs. 3-lags energivinduer. Komparativ analyse af samlede resultater. Positive resultater markeret med ✓