

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.



Forord

Projektet tager udgangspunkt i energirenovering af et 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 stor fokus på energieffektivisering af byggeriet og det estimeres, at varmemeforbruget 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, når de skal vælge vinduesløsninger ud fra en samlet helhedsvurdering hvori også sundhedsmæssige faktorer indgår sammen med energimæssige faktorer. 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 tilgodeses og indgår i beslutningsprocessen.

Fra de første egentlige energikrav trådte i kraft i 1961 og frem til i dag, er kravene til energiforbrug således skærpet markant. Fra krav svarende til ca. 400 W/m² pr. år, til krav på 41 W/m² 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/m² pr. år, som Bygningsreglement allerede har skabt. Det giver derfor anledning til at stoppe op og se på andre drivere, såsom dagslysmæssige og sundhedsmæssige forhold. 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, der alle stimuleres af naturligt dagslys.

Igennem de senere år har der været stor fokus på at optimere vinduer og klimaskærmen 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 har projektet sin relevans og aktualitet i at 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. Dette projekt er derfor både vigtigt og højaktuelt og det er håbet at resultaterne kan få betydning for fremtidige energirenoveringer. 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, hvor 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 og gængse glastyper i dag, nemlig 2-lags glas og 3-lags 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, både rent energimæssigt og rent sundhedsmæssigt, i form af Non Energy Benefits (NEB). Projektet henvender sig til alle beslutningstagere og bygherrer der overvejer, at renovere eksisterende byggeri og planlægger mere kost-effektive løsninger i fremtidige energirenoveringer af boligbyggeriet i Danmark.

På projektgruppens vegne ønsker vi at udtrykke en særlig tak til beboerne i Haderslev Almene Boligforening HAB for deres store gæstfrihed. Også en særlig tak til Rambøll, til chefkonsulent Stefan Vestergaard, hvis interesse og engagement i, at samle viden indenfor byggeriet, har været en vigtig forudsætning for dette projekt. 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 store engagement og støtte til projektet.

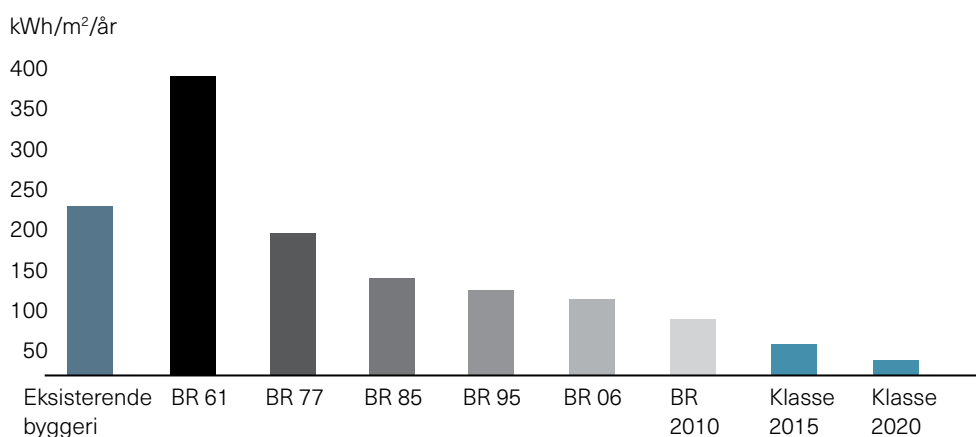


Fig 1. Udvikling i energikrav i perioden 1961 - 2020. Energi + Arkitektur, Solar City

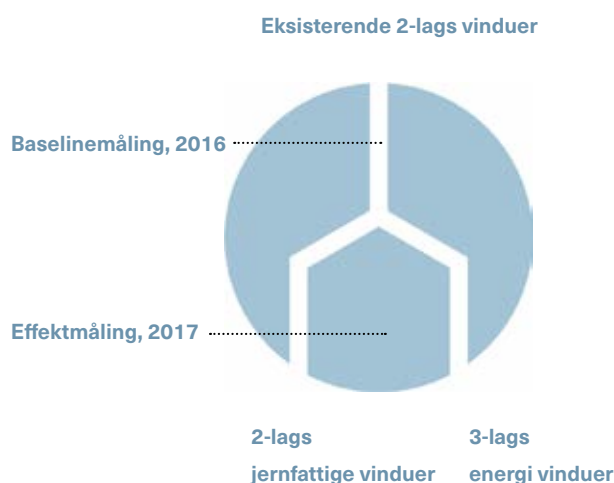
Resumé af resultater

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).

Igennem 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 helhedsmæssig betragtning.

Projektet undersøger hvordan de to vinduesløsninger påvirker dagslyset og hvordan beboernes tilfredshed og sundhed efterfølgende påvirkes. Andre indeklimamæssige faktorer, såsom CO₂, 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 døre¹. Alle lejligheder har som udgangspunkt det samme vinduesareal før og efter udskiftningen, undtagen de store vinduespartier i de SV-vendte facader. Her reduceres det givne vinduesareal med ca. 19 % således, at den totale glas/areal andel reduceres fra 25,5 % til 23,8 % i de største rum i forhold til boliger før renoveringen.
2. Projektet projekterer to forskellige vinduesglastyper i de to identiske etageejendomme og udfører en baselinemåling og en effektmåling, henholdsvis før og efter renoveringen.



¹ 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 laboratoriemålinger



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 laboratoriemålinger (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

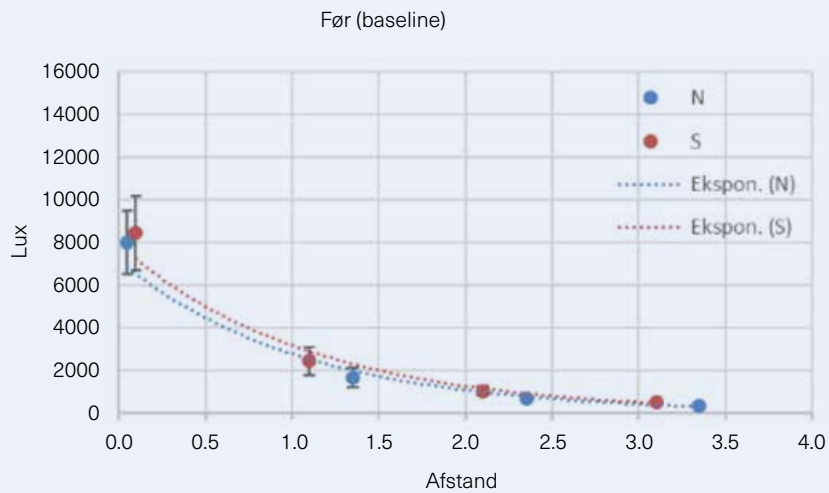


Fig 4. Lysregistrering, baseline d. 20.09.2016. Hvert punkt er et gennemsnit med tilhørende standard afvigelser af målingerne fra fire testlejligheder. Alle målinger er foretaget i to sammenlignelige testlejligheder i henholdsvis etageejendom N og S (eksisterende 2-lags glas)

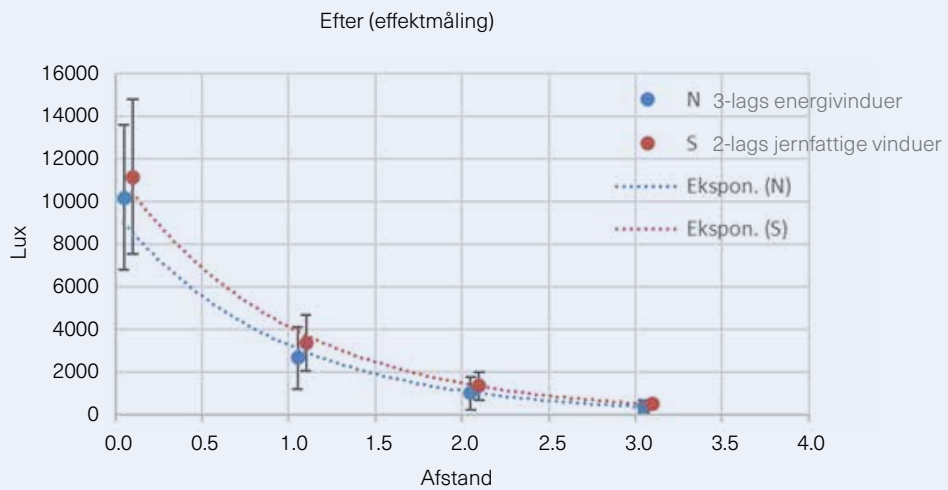


Fig 5. Lysregistrering, effektmåling d. 20.09.2017. Hvert punkt er et gennemsnit med tilhørende standard afvigelser af målingerne fra fire testlejligheder. Alle målinger er foretaget i to sammenlignelige testlejligheder i henholdsvis etageejendom N (3-lags energiglas) og S (2-lags jernfattigt glas)

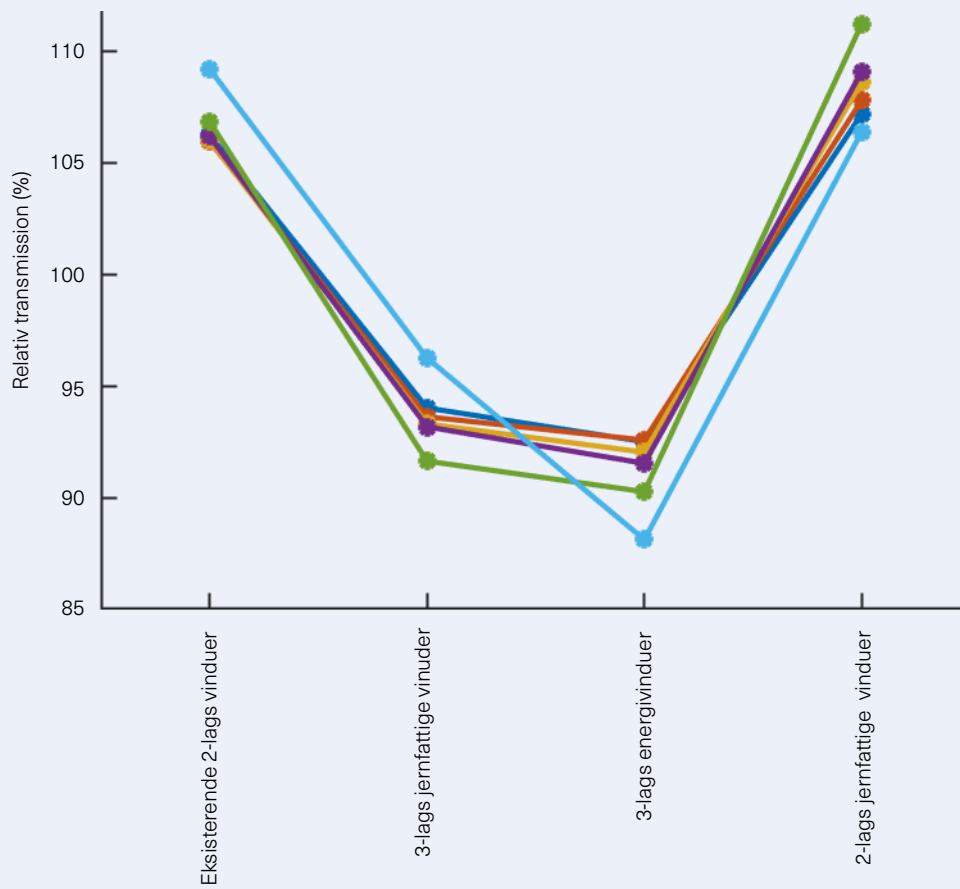
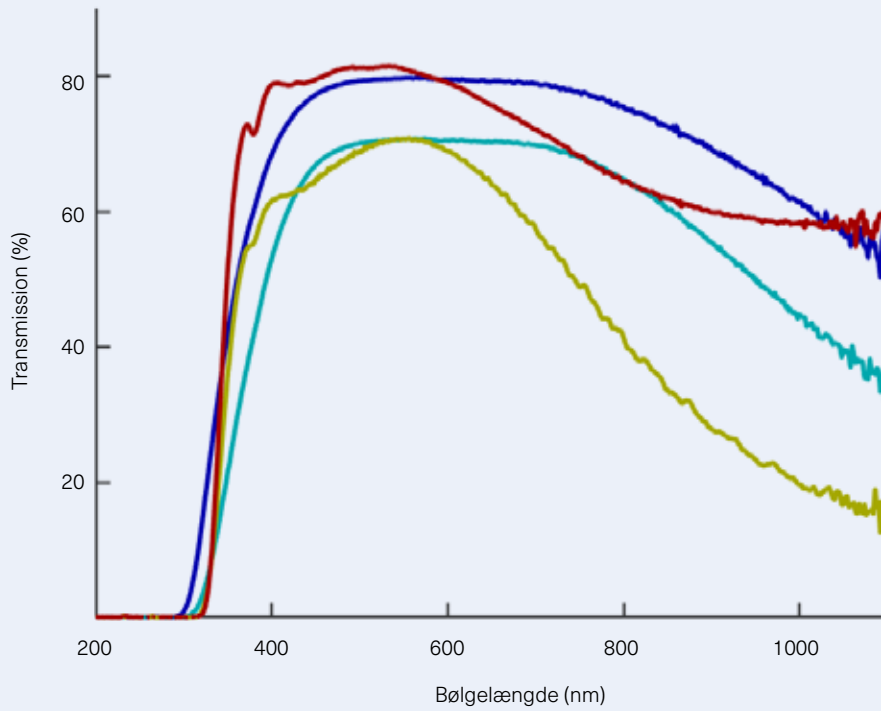


Fig. 6. Samlet lystransmittans målt for henholdsvis 2-lags jernfattigt glas (blå), 3-lags energiglas (gul) 3-lags jernfattigt glas (grøn), eksisterende glas (rød) (øverst). Vægtet lystransmittans i forhold til optimal lysfølsomhed for de fem forskellige retinale celler. Målt for henholdsvis eksisterende glas, 3-lags jernfattigt glas, 3-lags energiglas, samt 2-lags jernfattigt glas. Melanoptisk receptor (lilla), cyanopisk 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

- Dagslysiintensiteten i lejligheder med 2-lags jernfattige vinduer bliver 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 % iflg. laboratiormålinger på DTU Fotonik).
- Målinger viser at 2-lags jernfattige vinduer transmitterer signifikant mere kortbølget dagslys 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 og bliver signifikant mere morgentyper end beboerne i ejendommen med 3-lags glas efter renoveringen.
- 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 karakter; 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-metermålinger forringes det samlede indeklima i begge etageejendomme efter vinduesudskiftningen. Især faktorer som påvirkes af øget tæthed, såsom luftfugtighed og CO₂, der begge bliver signifikant højere efter vinduesudskiftningen.

Energi

- 3-lags energivinduer giver ikke 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 i forhold til beboerne i etageejendom med 3-lags vinduer efter renoveringen. 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 ejendommen 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 den overordnede søvnkvalitet.

Søvnkvalitet (score 0-3 med 3 = meget god)	Før	SD	Efter	SD	P = 0.005	$\chi^2 = 7.9$
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.

Morgentyper (score 0-3 med 3 = aftenmenneske)	Før	SD	Efter	SD	P = 0.03	$\chi^2 = 5.0$
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 lidt dårligere humør.

WHO-1 (score 0 – 5 med 5 = hele tiden)	Før	SD	Efter	SD	Non-signifikant
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.

Daytime Sleepiness (score 0 – 3 med 3 = flere gange)	Før	SD	Efter	SD	Non-signifikant
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 jernfattige vinduer angiver at de falder ca. 8 minutter hurtigere i søvn end før renoveringen (sleep onset latency), imens beboerne i etageejendom med 3-lags glas falder lidt langsommere i søvn, men dette er ikke statistisk signifikant.

Sleep Onset Latency (i minutter)	Før	SD	Efter	SD	Non-signifikant
Vinduer med 2-lags jernfattigt 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 imellem etageejendom med 2-lags glas og etage ejendom 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. Men 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 imellem beboernes tilfredshed med dagslyset. Tilfredsheden stiger signifikant hos beboerne i etageejendommen med 3-lags vinduer, imens tilfredsheden stiger numerisk hos beboerne med 2-lags jernfattige vinduer. Tilfredsheden med dagslysets karakteristika er også signifikant højere hos beboerne i etageejendommen med 3-lags vinduer når det gælder klarhed af vinduer, farver på genstande samt hudfarve.

Tilfredshed med dagslyset (score 0 - 5 med 5 = meget tilfreds)	Før	SD	Efter	SD	P = 0.03 $\chi^2 = 4.9$
Vinduer med 2-lags jernfattigt 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, der 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 signifikante forskelle imellem 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 jernfattige 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) end beboerne i etageejendom med 3-lags energi vinduer efter renoveringen.

Reduceringen af vinduesåbningerne har ikke en 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 rapporterer om øget tilfredshed med dagslys, temperatur og indeklimaforhold som følge af renoveringen.

Andre forhold

Resultaterne viser også 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 endvidere 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 disse byggerier fra før 1985 ca. 67 %, altså langt over hovedparten af Danmarks samlede bygningsareal. 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 udledning af CO₂ fordi glas er et relativt ressourcekrævende materiale at fremstille.

Søvn og humør

Når det gælder dagslyskvalitet og sundhedsfaktorer såsom 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 positiv og statistisk signifikant indvirkning på søvn og døgnrytme. 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 morgentyper, sammenlignet med beboerne i etageejendom med 3-lags glas. Alt i alt bekræfter de samlede sundhedsmæssige resultater, at 2-lags jernfattigt glas og naturligt 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 bekræfter dette, idet 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 rent teoretisk 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 absorberer og reflekterer nemlig UVB lyset der er med til at omdanne 7-dehydro-cholesterol til aktivt 1,25(OH)₂D. 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, der slår dem tidligere ihjel, end hvis blodet havde haft 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 i forhold til folk, der har det anbefalede niveau og en øget dødelighed på samlet set 30 procent. Forskningen er baseret på årsagssammenhængen 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 i Danmark til at udgøre 15-16 % af de samlede sundhedsudgifter. Det svarende til ca. 18 Mia. Kr. årligt, baseret på, at udgifterne til sundhedsvæsenet i dag årligt udgør ca. 8,8 % af BNP, svarende til ca. 122 mia. kr.

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 udenfor.

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 overraskende nok samme reduktion i det registrerede energiforbrug til opvarmning. Resultaterne peger 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 signifikante forskelle 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 måske umiddelbart overraskende, taget i betragtning, at 3-lags energiglas i målinger har en dårligere lystransmittans og giver mindre lysintensitet, med en grønlig toning af dagslyset, hvilket igen betyder mindre klar farve- og skyggetegning. En forklaring 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 forhold på 25 % og de høje dagslysfaktorer > 3 % i de største rum betyder, at lejlighederne ikke mangler dagslys, resultaterne tyder snarere tværtimod på at de 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 med det høje glasareal/gulvareal forhold 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 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 mere positiv tilfredshed med dagslyset og at flere beboere 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 to faktorer som forårsages af øget lufttæthed, nemlig relativ luftfugtighed og CO₂, som begge øges signifikant efter vinduesudskiftningen. Detailkrav om tæthed for vinduer betyder at infiltrationen reduceres markant hvilket indebærer, at indeklimaet forringes hvis ikke naturlig eller mekanisk ventilation optimeres og indarbejdes i forbindelse med en vinduesudskiftning. Projektet her reetablerede naturligt aftræk igennem toiletkernen og indtræk igennem karmventiler, men tilsyneladende uden signifikant effekt på det samlede indeklima efter renoveringen.

Økonomi - glas

Ud fra resultaterne af projektet og de indkomne tilbudspris baseret på udbudsmaterialet i projekteringen viser resultaterne at jernfattigt 2-lags vinduer rent økonomisk er billigere end 3-lags energivinduer.

I tilbudspris er 2-lags jernfattigt glas 30.736. 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 vil det betyde, at en bedre dagslyskvalitet rent faktisk giver en økonomisk besparelse på i alt 84.840 DKK i de samlede byggeudgifter. Prisforskellene skyldes udelukkende glastyperne, for vinduestype og monteringspris 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 det følgende er derfor beregnet teoretiske, vejledende priser. Efterfølgende sammenlignes disse priser med de reelle udgifter på henholdsvis 2-lags jernfattede vinduer og 3-lags energivinduer. Hvis prisen for jernfattigt glas (1-lag) estimeres til at være 30 % dyrere end almindeligt glas (1-lag) fås følgende regnestykke med indeks = 1.0 i 3-lags vinduer med energiglas.

Forskel	Vinduer med 2-lags jernfattigt energi-glas	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 bør der være en estimeret prisforskel på 206.334 DKK imellem jernfattigt 2-lagsglas og 3-lagsglas. At 2-lags jernfattigt glas er billigere, afspejler sig også i virkeligheden 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 i forhold til, at energibelægningen er placeret på fase 3 og 5, hvor de som standard er placeret på fase 2 og 5. Det kan have en lille 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 nævnes nogle af disse forhold.

- Forskel i vægt. 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 stort problem og kan reducere lystransmittans for glas markant. Der er markant 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 altså nøje overveje hvorvidt udsigten benyttes i morgentimerne/aftentimerne, i så fald vil 3-lags glas reducere udsigt og lystransmittans på disse tidspunkter i varierende grad, alt afhængigt af årstiden.
- Life Cycle Assessment (LCA). Glas er et ressourcekrævende materiale at fremstille, derfor bidrager 3-lags vinduer negativt i LCA analysen, særligt set i lyset af, at vinduets levetid ikke forlænges ved det 3. lag glas.

Denne rapport bekræfter flere resultater fra rapporten "Sundere dagslys og kunstlys – Nye veje mod lavenergiarkitektur 2020" og viser, at energirenovering rummer udfordringer og muligheder når det gælder sundhed. Når det gælder lavenergiarkitektur gør dynamiske faktorer det problematisk at beregne indeklimaet, der mangler simpelthen praktisk viden og erfaring med hvordan ekstern varmelast og naturlig ventilation håndteres. Resultaterne afkræfter samtidigt at 2-lags jernfattede vinduer er dyrere end 3-lags almindelige energivinduer. Resultaterne viser tværtimod at 3-lags energivinduer er dyrere end 2-lags jernfattede vinduer.

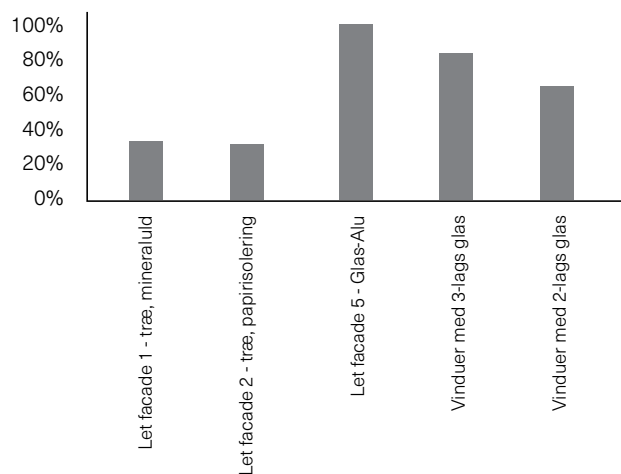


Fig 7. LCA sammenligning af livscyklusvurdering og betydning af lukket facade, 3-lags vindue og 2-lags vindue

Rapporten viser at det slet ikke udelukket at energioptimering og sundheds-optimering 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, og det vil være relevant at undersøge dette nærmere i kommende undersøgelser, når resultaterne tyder på at glaskvaliteten har en 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 i en fælles arbejdsproces, med en fælles målsætning om at udnytte dagslysets sundhedsmæssige potentialer bedst muligt.

Resultater	2-lags jernfattige energivinduer	3-lags energi-vinduer
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, kaldet Non Energy Benefits (NEB) inddrages	✓	

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