

Rapport over analyse af boligejerens socioøkonomiske gevinst ved indeklimaforbedring som følge af energirenovering

Andersen, Rune Korsholm; Toftum, Jørn

Publication date:
2013

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Andersen, R. K., & Toftum, J. (2013). Rapport over analyse af boligejerens socioøkonomiske gevinst ved indeklimaforbedring som følge af energirenovering.

DTU Library Technical Information Center of Denmark

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Rapport over analyse af

Boligejerens socioøkonomiske gevinst ved indeklimaforbedring som følge af energirenovering

Udarbejdet af

Rune Korsholm Andersen
og
Jørn Toftum

Center for Indeklima og Energi
Institut for Byggeri og Anlæg
Danmarks Tekniske Universitet

For

Energistyrelsen

December 2013



Indhold	Side
Forord	1
Sammenfatning.....	2
Indledning.....	4
Formål og analysemetode.....	7
Isolering og opvarmning.....	7
Ventilation og luftkvalitet.....	11
Fugt.....	14
Støj	20
Lys	21
Radon.....	22
PCB	23
Dokumentation overfor boligejeren af indeklimaets kvalitet og socioøkonomiske betydning	24
Referencer	28

Fra Harrington et al., 2005:

Interviewer

How important is being warm for you?

Respondent 1

Very, because I can't stand the cold very much because I get pains in my legs from the cold.

Respondent 2

My bad chest hasn't appeared. I think being warm makes you feel a lot better. When I was in the flat and didn't have central heating, I was inclined to sit beside the [gas] fire, and didn't move about in other areas of my house. I'm not afraid to walk around this house, whereas, in the flat, as soon as I entered my bathroom I could see the condensation running down the walls. It was absolutely freezing.

Interviewer

Do you think being warm is connected to your health?

Respondent 3

Yes, because you can catch more colds [if colder].

Forord

Denne rapport bygger på en analyse af den socioøkonomiske gevinst ved forbedring af indeklimaet som følge af energirenovering. Analysen er gennemført for Energistyrelsen i perioden november 2013 til december 2013.

Rapporten beskriver både nogle af de indeklimateforbedringer og potentielle risici, som følger af forskellige renoveringstiltag og vurderer så vidt muligt de socioøkonomiske konsekvenser af renoveringerne. Endvidere anvendes eksisterende databaser til at illustrere sammenhænge mellem boligens indeklima og forskellige sygdomsudfald. I udarbejdelsen af rapporten har vi skelet til effekterne på indeklimaet af de renoveringstiltag, der er beskrevet i "Indeklimaforhold ved energirenovering – Kortlægning af typiske indeklimaproblemer", som Energistyrelsen udgav i januar 2013.

I projektforsøget har det stået klart, at der er ret gode muligheder for via målinger, observationer og simuleringer at vurdere effekten på indeklima og energiforbrug af energirenovering, men at grundlaget for at vurdere de socioøkonomiske gevinster er noget mere mangelfuldt og oftest baseret på undersøgelser i lande, der som udgangspunkt ikke har samme generelt høje boligstandard som Danmark. Den socioøkonomiske gevinst ved at renovere boliger i disse lande vil således være højere end i de danske boliger.

Vi har alligevel forsøgt at anvende det eksisterende grundlag bedst muligt, men er også bevidste om, at de økonomiske skøn, der gives i litteraturen er behæftet med stor usikkerhed. Vi anser derfor undersøgelser som Jensen (2013) og NIRAS & Bygningsstyrelsen (2013) som værdifulde rettesnore analyse af ejeres og lejerers økonomiske incitament og deres forventede gevinst ved at gennemføre og bekoste energirenovering. I rapportens sidste afsnit har vi kort anført, hvordan denne information kan indsamles som en integreret del af et formidlingsværktøj.

De anvendte metoder til at vurdere de socioøkonomiske forhold varierer mellem de forskellige studier – fra estimering af boligejerens gevinst ved reduceret energiforbrug, højere komfort og reduceret sygelighed til samfundets gevinst ved færre tabte arbejdsdage og hospitalsindlæggelser. Vi har tilstræbt at vurdere den socioøkonomiske gevinst i forhold til indeklimaets fire hovedområder, der alle i større eller mindre grad må forventes at blive påvirket af energirenoveringer: termisk indeklima, luftkvalitet, lyd og lys.

Sammenfatning

Energirenovering vil i de fleste tilfælde også påvirke indeklimaet i boligen. Ved korrekt planlægning og udførelse bør der opnås et bedre indeklima ved et lavere energiforbrug end før renoveringen. Men energirenoveringer med et ensidigt fokus på energibesparelser kan også i visse tilfælde have store negative privat- og samfundsøkonomiske konsekvenser.

Det økonomiske incitament til at foretage energirenovering er let målbart, når investeringen vurderes i forhold til rentabiliteten af højere energieffektivitet. En forbedring af indeklimaet giver ikke nødvendigvis en tilsvarende realiserbar værdiforøgelse af boligen eller en bedre rentabilitet af energirenoveringen.

Konsekvenserne af dårligt indeklima i boligen er mangeartede og kan omfatte arbejdsdage med nedsat arbejdsevne, tabte arbejdsdage som følge af egen eller barns sygdom, hospitalsindlæggelse eller endda død for meget svækkede personer. Kvantificering af gevinsten af bedre indeklima efter energirenovering er således både diffus og meget omfattende.

Sammenfattende er der god evidens for, at en forbedring af boligens termiske komfort værdsættes af beboerne, som i hvert fald i hypotetiske scenarier er villige til at betale for forbedringen. Imidlertid er de fleste studier gennemført i lande, der har en anden boligtradition og generelt ringere boligstandard end den danske. Det må formodes at en energirenovering, der løfter boligens indeklima fra et lavt (lave temperaturer i opholdsrum, kun få rum opvarmet om vinteren) til et middelhøjt eller godt niveau vurderes mere værdifuldt end fra et middel til et godt niveau. Værdifastsættelsen af forskellige renoveringstiltag kan således forventes at være lavere i Danmark end i de lande, hvori de fleste undersøgelser er gennemført. Samtidig afhænger villigheden til at betale af, hvor langt boligen er fra en slags mætningstilstand, hvor forbedringer kun har marginal effekt.

Undersøgelser i danske boliger indikerer, at der er et ret betydeligt omfang af boliger med et for lavt luftskifte og problemer med fugt og skimmel. Ved tætning af klimaskærmen som del af energirenovering er det således nødvendigt at sikre tilstrækkelig tilførsel af udeluft både af hensyn til koncentrationen af gasformig og partikulær luftforurening og for smitterisikoen blandt boligens beboere. Gevinsten ved konvertering fra naturlig ventilation til et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding kan udover et kontrolleret luftskifte også reducere beboernes eksponering for udefrakommende partikulær luftforurening. Dette kan samtidig reducere risikoen for hjerte-kredsløbssygdomme. Et mekanisk ventilationsanlæg kan dog også have ulemper i form af støjgener i boligen, hvor baggrundsstøj typisk er lav og beboerne ofte er mere sensitiv overfor støj end på arbejdspladsen.

Energirenovering kan løse eventuelle fugtproblemer ved at hæve temperaturen på indvendige flader (loft, vægge og gulv) eller ved at øge luftskiftet. I uheldige situationer kan renovering øge risikoen for fugtrelaterede problemer, f.eks. ved påmontering af indvendig isolering eller hvis der ikke tages hensyn til opretholdelse af et tilstrækkeligt luftskifte, når klimaskærmen tætnes. En spørgeskemaundersøgelse i danske boliger tyder på at renoveringer oftere øger fugtproblemer end at afhjælpe dem. Generelt findes kun få og ret usikre dosis-respons sammenhænge mellem indeklimafaktorer, herunder fugt og skimmel, og sundhedsudfald. Men gennemgående er der fundet lavere risiko for respiratoriske infektionssygdomme og episoder med astma og allergi i boliger uden fugt og skimmelvækst.

Vi har forsøgt at beskrive effekterne af energirenoveringer både fra et privatøkonomisk og et samfundsøkonomisk perspektiv. Konsekvenserne af energirenoveringer påvirker både privatøkonomien og samfundsøkonomien. Privatøkonomien påvirkes af forandringer i energiforbruget, sygefravær, medicinforbrug osv. Det er i sær de helbredsmæssige effekter, der påvirker samfundsøkonomien i form af udgifter til velfærdssystemets håndtering af sygdom (tilskud til medicin, lægebesøg, hospitalsindlæggelser osv.) samt forringet produktivitet af samfundet (sygefravær, reduceret aktivitet, forkortelse af forventet levetid osv.).

Selvom samfundsmæssige udgifter til velfærdssystemet som følge af helbredseffekter påvirker boligejere i form af skatter og afgifter, er koblingen mere fjern. Derfor skal det skitserede formidlingsværktøj primært have et privatøkonomisk perspektiv, selvom de samfundsøkonomiske konsekvenser i visse tilfælde er ganske betydelige.

Især to forskellige metoder har gennemgående været anvendt til at værdisætte indeklimaet og investeringer i indeklimaforbedringers betydning for henholdsvis komfort og sundhed. Privatøkonomisk har Willingness-To-Pay i andre lande været anvendt til at vurdere lejeres og boligkøberes villighed til at betale for energiforbedringer i boliger.

Makroøkonomiske modeller har endvidere været anvendt til at sammenholde nødvendige investeringer i boligsektoren med det forventede udbytte i form af reduceret CO₂ udledning, forventede forbedringer i komforten og reduktion af sygefravær og medicinforbrug. Så vidt vides, har ingen af de to metoder endnu været anvendt til at værdisætte gevinsten ved de indeklimaforbedringer, der følger af en energirenovering af danske boliger. Som en integreret del af et formidlingsværktøj, der skitseres i rapportens sidste afsnit, foreslås en nem metode til at indsamle en del af det nødvendige datagrundlag.

Der kan være mange gevinster ved energirenoveringer – ud over det sænkede energiforbrug. Disse kan bestå i større udnytteligt boligareal pga. forbedrede termiske forhold i boligen, forbedringer af de sundhedsmæssige aspekter i boligen, der kan medføre mindre sygdom og sygefravær, reduceret medicinforbrug, forøgelse af den forventede levetid samt forøget aktivitet. Endeligt kan der være gevinster, der er svære at kvantificere så som forøget velvære og trivsel.

Men energirenoveringer kan også have negative konsekvenser hvis der f.eks. ikke sørges for opretholdelse af et tilstrækkeligt luftskifte eller hvis renoveringen medfører forringelser i dagslys- eller støjforholdene. Hvad enten en energirenovering har positive eller negative konsekvenser, kan de ikke energirelaterede konsekvenser af energirenoveringstiltag være langt større end de direkte økonomiske konsekvenser af en eventuel energibesparelse.

Indledning

Økonomiske vurderinger af øget energieffektivitet i bygninger har sjældent inkluderet gevinsten ved højere velvære og sundhed, som følger af et samtidigt forbedret indeklima (Howden-Chapman and Chapman 2012). Årsagen er blandt andet en mangel på veldokumenterede vurderingsmetoder og et ret utilstrækkeligt datagrundlag til at værdifastsætte velvære og sundhed i boliger, således at disse faktorer kan indgå i totaløkonomiske vurderinger af energirenoveringer.

Derimod er der efterhånden gennemført en del analyser af indeklimaets økonomiske effekter i kontormiljøer, hvor medarbejdernes produktivitet naturligt vægtes højt. De skønnede lønudgifter er her så markante, at selv relativt små effekter på produktiviteten af indeklimaet i hovedtræk dominerer analysernes konklusioner (e.g. Fisk, 2000; Jensen et al., 2009). Selvom vi i gennemsnit tilbringer 16 timer om dagen i vores boliger (Keiding et al. 2003), betyder produktivitet mindre, mens andre effektmål træder frem, herunder hvordan indeklimaet påvirker komfortforhold, akutte symptomer og helbredseffekter, overførsel af smitte mellem personer, levetid af bakterier og vira og derigennem hyppigheden af infektionssygdomme som f.eks. forkølelse eller influenza.

Imidlertid er vurderinger af, hvordan energieffektiviteten påvirker komfort og helbred oftest baseret på epidemiologiske undersøgelser. De beskrevne sammenhænge kan således ikke umiddelbart beskrive gevinsten eller effekten for et individ eller en specifik bolig, men kan anvendes til bredere beskrivelser af sammenhænge mellem indeklima og helbreds- og komfortforhold for grupper eller populationer (Juul 2008). Kobles disse til økonomiske skøn vil der være mulighed for at vurdere de socioøkonomiske gevinster som funktion af boligens indeklima.

Et eksempel på en metode, der med nogen tilpasning også kunne anvendes i danske boliger, er blevet beskrevet af Chau et al., (2008), som for boliger i Hong Kong gennemførte en relevant analyse af værdien af velvære og sundhed ved bedre luftkvalitet i hjemmet. Analysen bygger på dosis-respons sammenhænge mellem luftkvalitet, termiske forhold og værdien af bedre komfort og sundhed. Analysen viste, at rensning af luften i boligen og en hensigtsmæssig adfærd for åbning af vinduer gav den største gevinst svarende til HK\$ 2072 for en voksen og HK\$ 1700 for ældre. Metoden kan overføres til danske forhold, men ikke selve de økonomiske skøn, eftersom niveauet for luftforurening, udeklima og byggetraditioner i Hong Kong og i Danmark er vidt forskellige og fordi de anvendte priser varierer mellem Hong Kong og Danmark. Studiets fremgangsmåde vil imidlertid kunne udbredes til at omfatte andre indeklimafaktorer og tilpasses til boligforhold som de danske.

Boligens indeklima påvirker forskellige befolknings- og aldersgrupper forskelligt. Børn som rammes af et astmatilfælde eller en anden sygdom må blive hjemme fra institution eller skole og vil således være pasningskrævende. For voksne på arbejdsmarkedet kan symptomer eller egentlig sygdom relateret til indeklimaet forårsage reduceret arbejdsevne eller de kan være årsag til egentligt sygefravær. Ældre er ofte mere følsomme overfor indeklimaets påvirkninger og det kan i alvorlige tilfælde være nødvendigt med hospitalsindlæggelser, som kunne være undgået i et bedre indeklima. Således vil boligens indeklima også i et vist omfang påvirke samfundsøkonomien.

Det er sandsynligt, at boligens ejerforhold har betydning for, hvordan beboeren vurderer værdien af investeringer i øget energieffektivitet og de afledte gevinster i form af bedre indeklima eller besparelser på

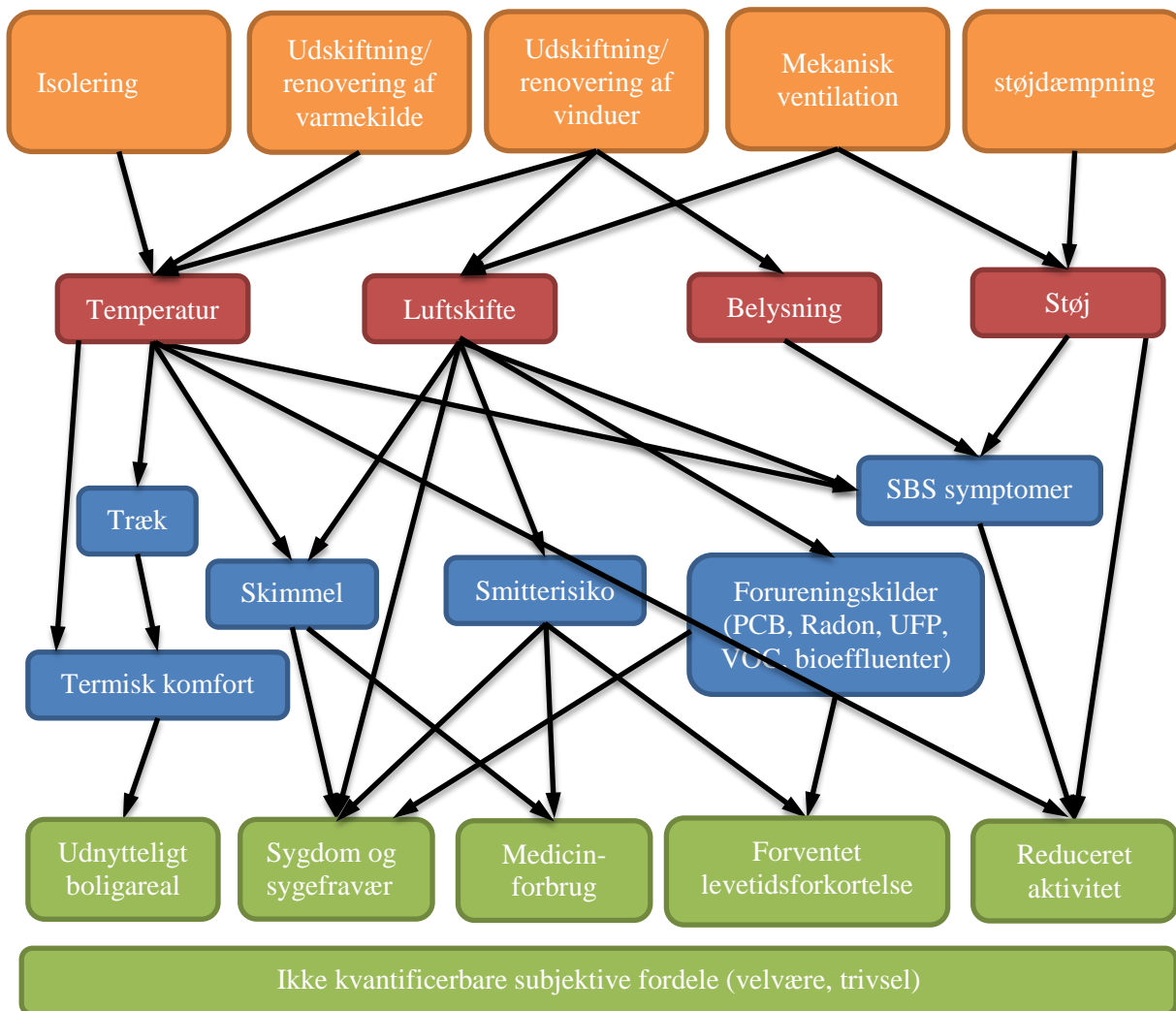
energiudgifterne. For de fleste er ejerboligen den største investering, der overhovedet foretages og boligens værdi kan opretholdes eller øges ved en forbedring af energieffektiviteten. Energimærkning af boligen giver en indikation af energieffektiviteten, men endnu er der ikke en tilsvarende ordning, der på samme måde rangordner indeklimaet. DS 3033 (2011) Frivillig klassificering af indeklimaets kvalitet i boliger, skoler og kontorer er et muligt udgangspunkt for et fremtidigt indeklimamærke for boliger.

Økonomiske levevilkår er i sig selv en faktor, der har indflydelse på boligens indeklima. Husstande der er ramt af "fuel poverty" er blevet defineret som de, der anvender mere end 10 % af indtægten på opvarmning. I nogle lande er dette især et problem i husstande med svækkede ældre, som undlader at opvarme boligen tilstrækkeligt (Howden-Chapman and Chapman 2012). Blandt de mere velhavende samfundsgrupper er udgifterne til opvarmning af mindre betydning for antallet af rum, der opvarmes og til hvilken temperatur.

Den største socioøkonomiske gevinst kan således opnås ved at opgradere de dårligste boliger. Generelt er boligstandarden bedre i Danmark og det nordlige Europa end i f.eks. New Zealand, USA, eller Storbritannien, hvor især ældre og børn kan være udsat i dårligt isolerede og utilstrækkeligt opvarmede boliger. Eksempelvis fandt et omfattende projekt i New Zealand med en gennemgribende opgradering af 47.000 boliger et benefit-to-cost forhold på 4-til-1 ved sammenligning af den nødvendige investering med besparelserne på indlæggelser af ældre og skrøbelige med respiratoriske eller hjerte-kar sygdomme (Grimes et al., 2011).

Udover de mange faktorer, der definerer boligens indeklima er der således også en række sekundære forhold, som indirekte har betydning for en socioøkonomisk vurdering af bedre indeklima efter energirenovering. Samtidig er energirenovering en meget bred betegnelse for ret forskellige opgraderinger af bygninger, der påvirker indeklimaet på forskellig vis.

Energirenoveringer vil typisk have en række konsekvenser for indeklimaet i de renoverede bygninger. Ofte vil kvaliteten af det termiske indeklima forøges, dels som en konsekvens af lavere varmetab og dels på grund af brugernes forøgede forventninger, der giver sig udslag i, at temperaturen i bygningen hæves. Nogle renoveringstiltag kan også have negative indeklimamæssige konsekvenser, f.eks. en tætning af klimaskærmen uden opretholdelse af tilstrækkelig ventilation. Rapporten "Indeklimaforhold ved energirenovering" indeholder en gennemgang af de indeklimamæssige konsekvenser ved en række renoveringstiltag. Med udgangspunkt i rapporten samt i Kvik-tjek af husets energitilstand (Videncenter for energibesparelser i bygninger 2011), er sammenhængene øverst i flowdiagrammet identificeret (Figur 1). Se i øvrigt Witterseh et al. (2013) for en nærmere gennemgang.



Figur 1. Hvert af de betragtede renoveringstiltag (orange) påvirker indeklimaet (rød) via forskellige mekanismer (blå) og har i sidste ende betydning for beboernes velvære og sundhed (grøn).

Formål og analysemetode

Analysens formål er at synliggøre de socioøkonomiske gevinster, bygningsejere vil få ved at sikre et godt indeklima i forbindelse med energirenovering, samt hvordan man kan dokumentere kvaliteten og de socioøkonomiske effekter af indeklimaet overfor boligejer.

Analysen bygger på en gennemgang af udvalgt litteratur, der beskriver nogle af de undersøgelser og metoder, som har været anvendt i ind- og især udland til at vurdere indeklimaets betydning for sundhedseffekter og værdifastsættelse af indeklima. Derudover har vi til analysen anvendt eksisterende databaser med boligkarakteristika, brugeradfærd, komfort og symptomer, herunder:

- 11.000 besvarelser fra 2008 af et omfattende spørgeskema med fokus på materialer i boligen, opvarmning, ventilation, udluftning, renovering, fugt-, skimmel- og lugtproblemer og en række symptomer som træthed, hovedpine og øjenirritation.
- 1000 besvarelser fra gentagne spørgeskemaundersøgelser i 2006 og 2007 omhandlende indeklima, brugeradfærd, vaner og rutiner i boligen.
- 650 besvarelser fra 2010 af et spørgeskema om beboeres adfærd, deres viden angående bygningsinstallationer til styring af indeklimaet, og de måder, hvorpå de opnår komfort. Bruges til at klarlægge hvordan boligejere prioriterer forskellige indeklimatiltag og prissætter brugervejledning.

Isolering og opvarmning

Det er især de termiske forhold i boligen, der påvirkes af renoveringstiltag som efterisolering af ydervægge, gulv- og loftskonstruktioner og udskiftning af vinduer. De termiske forhold beskrives både ved generel termisk komfort og ubehag grundet termisk asymmetri, som kan være træk fra sprækker i klimaskærmen eller fra kuldeneffald, kuldestråling eller kolde gulve.

Generel termisk komfort afhænger af boligens eller rummets temperaturniveau, bestemt af luft- og middelstrålingstemperatur (sum af overfladetemperaturer vægtet i forhold til vinkelfaktorer), af lufthastigheden og i mindre grad af luftfugtigheden. Derudover afhænger generel termisk komfort af beboernes aktivitetsniveau og beklædning. Ubekvæmhed grundet træk afhænger af lufthastigheden, lufthastighedens fluktuationsgrad og lufttemperaturen, mens kuldestråling typisk stammer fra lav overfladetemperatur på dårligt isolerede ydervægge eller vinduer.

Den termiske indeklimaparameter, der typisk er blevet sammenlignet før og efter energirenovering har været boligens temperatur, enten som gennemsnit over en måleperiode eller et interval omkranset af maksimum og minimumtemperaturer i måleperioden (e.g. Noris et al., 2013). Faktorer som træk og kuldestråling er måleteknisk mere komplicerede og omkostningsfulde og har derfor oftest været beskrevet ved subjektive udsagn (e.g. Harrington et al., 2005, NIRAS & Bygningsstyrelsen 2013) eller målinger i et mindre, ikke repræsentativt antal boliger.

Boligstandarder har indflydelse på, om energirenoveringer omsættes til energibesparelser eller forbedret komfort. Boliger med høj standard vil i højere grad reducere energiforbruget efter forbedring af boligens energieffektivitet, mens boliger med lavere standard typisk vil opnå højere komfort på bekostning af et reduceret energiforbrug. På baggrund af undersøgelser foretaget i lav-indkomst boliger i England efter

energirenovering skønnes, at ca. 25 % til 30 % af den forventede energibesparelse i stedet omsættes til bedre komfort (Milne and Boardman 2000). Harrington et al. (2005) skønner, at hvis temperaturniveauet er over 21 °C i opholdsområder og 18 °C i boligens øvrige rum, vil gevinsten ved højere energieffektivitet resultere i fuld besparelse på energiforbruget. NIRAS & Bygningsstyrelsen (2013) undersøgte erfaringer med energirenoveringer i danske boliger. Energibesparelser (hovedsagligt varmebesparelser) var en vigtig motivationsfaktor i enfamilieshuse, mens behovet for vedligeholdelse blev nævnt som den mest motiverende faktor i etageboliger.

Boligstandarden blandt lavindkomstgrupper er generelt ringere i England, så formentlig er der et større energibesparelspotentiale og et mindre potentiale for at forbedre komfort og sundhed ved at øge danske boligernes energieffektivitet. Et forsigtigt skøn kan være, at 10-20 % af den forventede energibesparelse vil blive omsat til højere temperatur i en dansk gennemsnitsbolig. Dette stemmer godt overens med NIRAS & Bygningsstyrelsen (2013), som sammenlignede realiserede og forventede varmebesparelser i 16 renoverede etageboliger. Den gennemsnitlige forventede besparelse var 17 % mens den gennemsnitlige realiserede varmebesparelse var på 8 %. Forskellen blev blandt andet tilskrevet at renoveringerne havde ændret på forholdene (f.eks. temperatur og luftskifte) i bygningerne. Disse var ikke i tilstrækkelig grad taget med i beregningerne af den forventede besparelse.

Forud for en efterisolering af deres bolig blev en række beboere i New Zealand adspurgt, om de ville foretrække en økonomisk gevinst eller en komfortgevinst (Howden-Chapman et al. 2009) . Besvarelserne fordelte sig hovedsagelig i to nogenlunde lige store, men modsatrettede grupper, som enten lagde mest vægt på komfort eller økonomisk gevinst (Tabel 1 2001: all hypothetical). Efter at boligerne var blevet renoveret skiftede fordelingen, således at ca. 65 % af beboerne nu foretrak en komfortgevinst. Flere blandt de, der havde fået boligen renoveret, ville med deres nye erfaring og oplevelse af en bedre bolig foretrække komfortgevinsten (Tabel 1 2002 actual). Kontrolgruppen, der ikke havde fået boligen renoveret, havde ligeledes flyttet sig i forhold til 2001, formentlig som følge af den øgede fokus på betydningen af boligens temperatur som undersøgelsen i sig selv afstedkom (Tabel 1 2002 hypothetical). Tabel 1 viser trade-off mellem anført præference for økonomisk gevinst eller komfortgevinst.

Trade-off preference for \$ savings vs. higher temperature						
All seven localities	2001: all hypothetical		2002 hypothetical		2002 actual	
	n	Percent	n	Percent	n	Percent
Take 100% higher temp.	252	31	158	43	134	39
Take 80% higher temp.	18	2	28	8	39	11
Take 60% higher temp.	89	11	66	18	52	15
Take 40% higher temp.	93	12	34	9	50	15
Take 20% higher temp.	78	10	13	4	12	4
Take 100% money savings	278	34	66	18	54	16
Sum	808	100	365	100	341	100
Non-response	23		34		87	
Median group	40% higher		80% higher		80% higher	

Tabel 1. Trade-off mellem anført præference for økonomisk gevinst eller komfortgevinst. Fra (Howden-Chapman et al. 2009).

En beslægtet, men mere konkret metode har været anvendt til at vurdere beboernes villighed til selv at betale for forskellige renoveringsalternativer (Banfi et al., 2008). I både enfamilies ejerboliger og i lejede lejligheder blev beboerne bedt om hypotetisk at acceptere eller forkaste kombinationer af givne

reoveringsalternativer og den tilhørende skønnede omkostning ved tiltagene. Valget blev foretaget på baggrund af en lægmandsbeskrivelse af omkostninger og gevinster, inklusive bedre komfort, lavere omkostninger til energi og miljømæssige gevinster i form af reduceret CO₂-udledning. I analysen blev det antaget, at værdien af at bo i en lavenergibolig var en funktion af boligens pris udtrykt ved leje eller købspris, de tiltag, der blev anvendt til at øge energieffektiviteten, boligens beliggenhed, beboernes socioøkonomiske status samt en stokastisk komponent til at kvantificere effekten af de tilfældige faktorer, som modellen ikke tog højde for. Tabel 2 viser den marginale villighed til at betale for at gennemføre de alternative reoveringstiltag, udtrykt i % af lejen eller af boligens anskaffelsespris.

Tabel 2. Marginal villighed til at betale for forskellige reoveringsalternativer, målt i % af leje eller anskaffelsespris. Fra Banfi et al. (2008).

Attribute	Rented flats in multi-family houses			Purchase of single-family houses		
	WTP	Sig.	95%-Interval	WTP	Sig.	95%-Interval
Enhanced insulated window (as compared to standard insulated windows)	1%	n.s.	-1% 3%	1%	n.s.	-2% 4%
Enhanced facade insulation (as compared to standard insulation)	3%	*	1% 5%	3%	**	0% 6%
Housing ventilation system (new buildings)	8%	***	4% 11%	12%	***	6% 17%
Housing ventilation system (existing buildings)	8%	***	4% 11%	4%	**	1% 7%
New windows (as compared to medium old ones)	13%	***	8% 17%	13%	***	9% 18%
Medium old windows (as compared to very old ones)	10%	***	6% 14%	8%	***	4% 11%
Standard facade insulation (as compared to facade painting)	6%	**	3% 10%	7%	***	3% 10%
Facade painting (as compared to old unpainted facade)	3%	n.s.	-1% 7%	3%	*	0% 7%

WTP = Willingness To Pay, expressed as % of rental price (flats) and purchase price (single-family houses) respectively. Sig. = Significance level: ***0.01, **0.05, *0.1, n.s. = not significantly different from 0 at 10% significance level.

Særligt villigheden til at betale for nye vinduer sammenlignet med middelgamle vinduer var høj blandt både ejere og lejere og svarede til 13 % af både leje og anskaffelsespris, muligvis fordi nye vinduer er vigtige for æstetikken. Derimod var værdien af isolerende vinduer sammenlignet med standard vinduer lav blandt både lejere og ejere. Værdien af et ventilationssystem blev vægtet højt, undtaget for de boligejere, der skulle have systemet installeret i deres eksisterende bolig. Villigheden til at betale for øget isolering af klimaskærmen var generelt lav.

Undersøgelsen konkluderede generelt, at villigheden til at betale oversteg de faktiske omkostninger til at gennemføre de forskellige tiltag og at det således ville være økonomisk fornuftigt at investere i energireoveringer. At investeringerne i praksis ikke blev foretaget i større omfang kunne skyldes lovmæssige, strukturelle eller socioøkonomiske barrierer, ukendskab blandt beboerne om de potentielle gevinster og ikke mindst utilstrækkelige metoder til at kvantificere gevinsterne økonomisk. Samtidig afhænger villigheden til at betale af, hvor langt boligen er fra en slags mætningstilstand, hvor forbedringer kun har marginal effekt og derfor vil værdifastsættelsen afhænge af en boligs generelle standard.

Sammenfattende er der god evidens for at en forbedring af boligens termiske komfort værdsættes af beboerne, som ihvertfald i hypotetiske scenarier samtidig er villige til at betale for forbedringen. Imidlertid er de fleste studier gennemført i lande, der har en anden boligtradition og generelt ringere boligstandard end

den danske. Det må formodes at en energirenovering, der løfter boligens indeklima fra et lavt (lave temperaturer i opholdsrum, kun få rum opvarmet om vinteren) til et middelgodt eller godt niveau vurderes mere værdifuldt end fra et middel til et godt niveau. Værdifastsættelsen af forskellige renoveringstiltag kan således forventes at være lavere i Danmark end i de lande, hvori de fleste undersøgelser er gennemført.

Ventilation og luftkvalitet

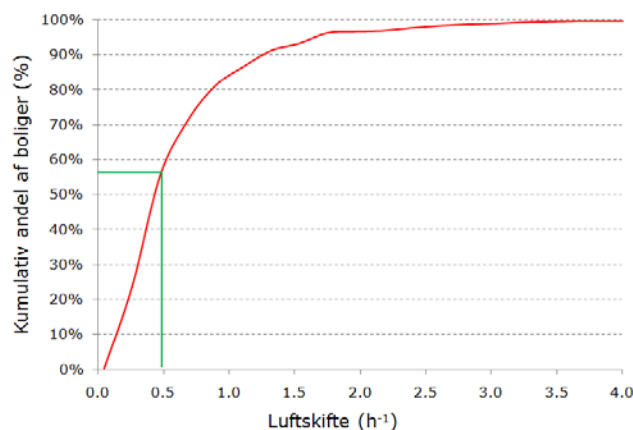
Luftkvaliteten i en bolig afhænger især af luftskiftet samt forurening fra de materialer, der er anvendt i boligen, beboernes aktiviteter som f.eks. madlavning, rygning, tøjtørring og afbrænding af stearinlys og fra beboerne selv. Endelig kan boligen også få tilført forurening udefra via infiltration eller ventilation. Luftkvaliteten i boligen er omtrentligt et resultat af balancen mellem forurening og fugt tilført fra de forskellige kilder og den mængde forurening og fugt, der fjernes med ventilationen. Andre mekanismer som f.eks. adsorption på boligens overflader vil typisk have betydeligt mindre indflydelse på luftkvaliteten.

Både akutte og kroniske sygdomme kan påvirkes af luftkvaliteten i boligen. Adskillige undersøgelser har forbundet et lavt luftskifte med børns udvikling af astma og allergi (Bornehag et al., 2005), luftvejsinfektioner (Nardell et al., 1991) og andre respiratoriske og hjerte- kredsløbssygdomme (studier opsummeret i Chau et al., 2008). Konsekvenserne er mangeartede og omfatter arbejdsdage med nedsat arbejdsevne, tabte arbejdsdage som følge af egen eller barns sygdom, hospitalsindlæggelse eller endda død for meget svækkede personer.

I boliger er overførsel af vira og bakterier via luften formentlig ikke den mest betydende smittevej. Alligevel er der indikationer af, at en lavere ventilationsrate resulterer i større risiko for eksponering for luftbårne aerosoler med smittebærende rhinovirus, som er ansvarlig for mellem 30% og 50% af alle respiratoriske infektionssygdomme inkl. almindelig forkølelse (Sun et al., 2011; Myatt et al., 2004; Dick et al., 1987; Jennings & Dick 1987). Flere af undersøgelserne er gennemført i boligtyper med usædvanlig høj beboerdensitet som militærbarakker og kollegier, og de er derfor ikke umiddelbart repræsentative for énfamilieboliger. Resultaterne bekræftes imidlertid af undersøgelser i kontorer, hvor sygefraværet var lavest i bygninger med høje ventilationsrate (12 l/(s person) mod 24 l/(s person)) (Milton et al., 2000).

Smitterisikoen ved overførsel af bakterier og vira påvirkes af luftfugtigheden via flere mekanismer. Dels ved den betydning luftfugtighed har for bakterier og virus levedygtighed og dels for den tid, de smittebærende aerosoler tilbringer i luften i boligen. Over korte strækninger har faktorer som luftfordeling og –bevægelse betydning, mens større afstand mellem individer (lavere persontæthed) medfører lavere smitterisiko. Ved direkte overførsel (berøring) kan temperatur og luftfugtighed have betydning for levetiden af bakterier og vira på overflader. Særligt er det lidt diffuse begreb "damp buildings" blevet forbundet med øget sygelighed som følge af respiratoriske infektionssygdomme og symptomer (Pirhonen et al., 1996).

En årsag til stigningen i forekomsten af astma og allergi tilskrives bl.a. en ændring i indeklima, f.eks. via nedsat ventilation og afledt deraf øget luftfugtighed (Folkesundhedsrapporten, 2007). Uden tilpas tilførsel af udeluft til en energirenoveret bolig er der risiko for, at tætning af boligens klimaskærm kan medføre et endnu lavere luftskifte end før renoveringen. Bekö et al., (2010) målte luftskiftet i 500 danske boliger og fandt, at 56% af boligerne havde et luftskifte lavere end 0.5 h^{-1} . Af Bekö et al.'s undersøgelse fremgik det ikke, hvilke boliger, der var renoveret for øget energieffektivitet, men Figur 2 viser, at luftskiftet i de inkluderede boliger generelt var lavt. Figur 2 viser fordelingen af luftskifter målt i et barneværelse i de 500 boliger. Undersøgelsens detaljer er beskrevet i (Clausen et al. 2012).



Figur 2. Fordeling af luftskifter målt i et barneværelse i 500 danske boliger. Fra Bekö et al. (2010b).

Figur 5 viser sammenhængen mellem det målte luftskifte og den relative luftfugtigheder i de samme 500 boliger. Figuren indikerer, at fugtigheden i boligerne stiger med faldende luftskifte og især ved luftskifter lavere end Bygningsreglementets minimum på 0.5 h^{-1} . Bekö et al. (2011) modellerede de målte luftskifter via kendskabet til boligernes karakteristika og data om beboernes adfærd og fandt, at bygningskarakteristika kun forklarede op til 9% af variationen i luftskiftet, mens beboeradfærd til gengæld forklarede op mod 30%. Resten af variationen måtte tilskrives andre faktorer, der ikke var medtaget i analysen.

På baggrund af retningslinjer udstukket af OECD foreslog Brandt et al. (2011) estimater af omkostningerne forbundet med forskellige sygdomme og behandlinger. Estimerne fremkom som en del af en vurdering af gevinster for helbred og økonomi ved at reducere den partikelemission, som følger af vores energiproduktion. Værdifastsættelsen kan således ikke direkte henføres til indeklimaets påvirkninger, selvom effekterne, der vurderes, i nogen grad overlapper med effekterne af et dårligt indeklima. Omregnet til 2012 priser viser Tabel 3 de skønnede omkostninger ved udvalgte helbredseffekter.

Tabel 3. Omkostninger ved forskellige helbredseffekter og nedsat præstation forårsaget af helbredseffekter. Fra (Brandt et al. 2011) omregnet fra 2006 til 2012 priser.

Helbredseffekt	Omkostning i 2012 kroner	
Kronisk bronkitis	452627	per tilfælde
Dag med nedsat præstation	1120	per dag
Hjertestop	140236	per tilfælde
Lungekræft	180770	per tilfælde
Hospitalsindlæggelse		
Respiratorisk sygdom	67780	per tilfælde
Hjerneblødning o.lign.	85864	per tilfælde
Astma børn		
Hoste	504	per dag
Symptomer i nedre luftveje	137	per dag

Partikler dannet udendørs som følge af trafik, energiproduktion eller anden industriel produktion eller emissioner fra brændeovne kan blive ført ind i boligen med ventilation gennem vinduer og udluftningsventiler og via infiltration. For partikulær luftforurening udendørs findes dosis-respons sammenhænge mellem partikelkoncentrationen og den forøgede risiko for både akutte symptomer og hjerte-kredsløbs sygdomme (Dockery & Pope 1994; Pope & Dockery 2006). Bräuner et al. (2008) fandt, at partikelkoncentrationen inden døre kunne reduceres ved at recirkulere og filtrere indeluften og at risikoen for hjerte-kredsløbssymptomer blandt en ellers sund gruppe af ældre samtidig faldt.

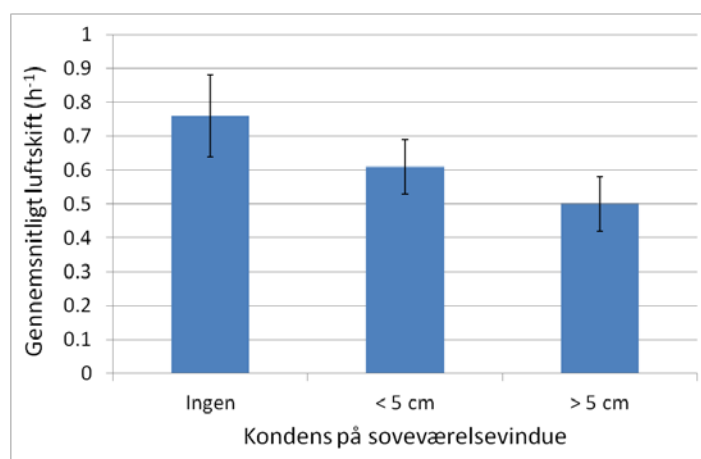
I områder med høj koncentration af partikulær forurening udendørs, kan transporten af partikler udefra ligeledes reduceres ved at anvende et mekanisk ventilationsanlæg med partikelfilter fremfor naturlig ventilation. En energirenovering, der indeholder en konvertering fra naturlig til balanceret mekanisk ventilation vil således også kunne reducere beboernes eksponering for udefrakommende partikulær luftforurening, særligt i områder, der er belastet af en høj udekonzentration. I modsætning til udendørs haves endnu kun få studier af betydningen for sundheden af partikeksponering inden døre, men som udendørs indikerer resultaterne, at lavere eksponering modsvarer af lavere sundhedsrisiko. De ovennævnte betragtninger gælder ligeledes for pollen.

Fugt

Fugt i bygningskonstruktioner kan accelerer nedbrydning og kan have negative helbredseffekter for en boligs beboere. Renovering kan løse eventuelle eksisterende fugtproblemer ved at hæve temperaturen på indvendige flader (loft, vægge og gulv) eller ved at øge luftskiftet. I uheldige situationer kan renovering øge risikoen for fugtrelaterede problemer, f.eks. ved montering af indvendig isolering eller hvis der ikke tages hensyn til opretholdelse af et tilstrækkeligt luftskifte, når klimaskærmen tættes

Det anslås, at mikrobiel nedbrydning af materialer koster op mod 5 % af BNP i Polen (Żukiewicz-Sobczak et al. 2013). Estimatet bygger på, at ca. 25 % af alle polske bygninger var inficeret med skimmel. I Danmark har prisen for mikrobiel nedbrydning af byggematerialer ikke været undersøgt, men udbredelsen af skimmel i de nordiske lande i Europa er noget lavere: Żukiewicz-Sobczak et al. (2013) fandt på baggrund af et litteraturstudie, at 10 % af skandinaviske bygninger var inficeret med skimmel, mens Haverinen-Shaughnessys (2012) mere omfangsrige og metodisk korrekte litteraturstudie fandt, at skimmel var udbredt i 17,3 % af de nordeuropæiske boliger.

I en dansk spørgeskemaundersøgelse som blev gennemført to gange i de samme hustande (i september 2006 og februar 2007) var et af spørgsmålene, om respondenterne havde haft problemer med svamp eller skimmel inden for de seneste fem år (R. V. Andersen et al. 2009). Til det svarede 7 % og 8 % ”ja” i hhv. september 2006 og februar 2007. Dette resultat blev senere understøttet af en opfølgende spørgeskemaundersøgelse, sendt til 2500 danske husstande i 2010. Her var et af spørgsmålene, om respondenterne havde problemer med skimmelsvamp eller kondens på indersiden af vinduerne (Frontczak, Andersen, and Wargocki 2012). 6 % af respondenterne angav at de havde problemer med skimmel i deres bolig og 17 % svarede, at de havde problemer med kondens på vinduernes inderside om vinteren, hvilket kan være et tegn på et højt fugtniveau i boligen og/eller et lavt luftskifte. På baggrund af spørgeskemabesvarelser og målinger i 500 fynske boliger giver Figur 3 et eksempel på, hvordan luftskiftet var højst i boliger, hvor der ikke blev observeret kondens på indersiden af vinduerne i soveværelset og lavest hvor kondensstriben var bredere end 5 cm (Bekö et al. 2011; Clausen et al. 2012).



Figur 3. Sammenhæng mellem bredden af kondensstriben på soveværelsevindue og gennemsnitligt luftskifte (\pm 95% konfidensinterval) i 500 boliger på Fyn. Studium og resultater beskrevet i Bekö et al. (2011) og Clausen et al. (2012).

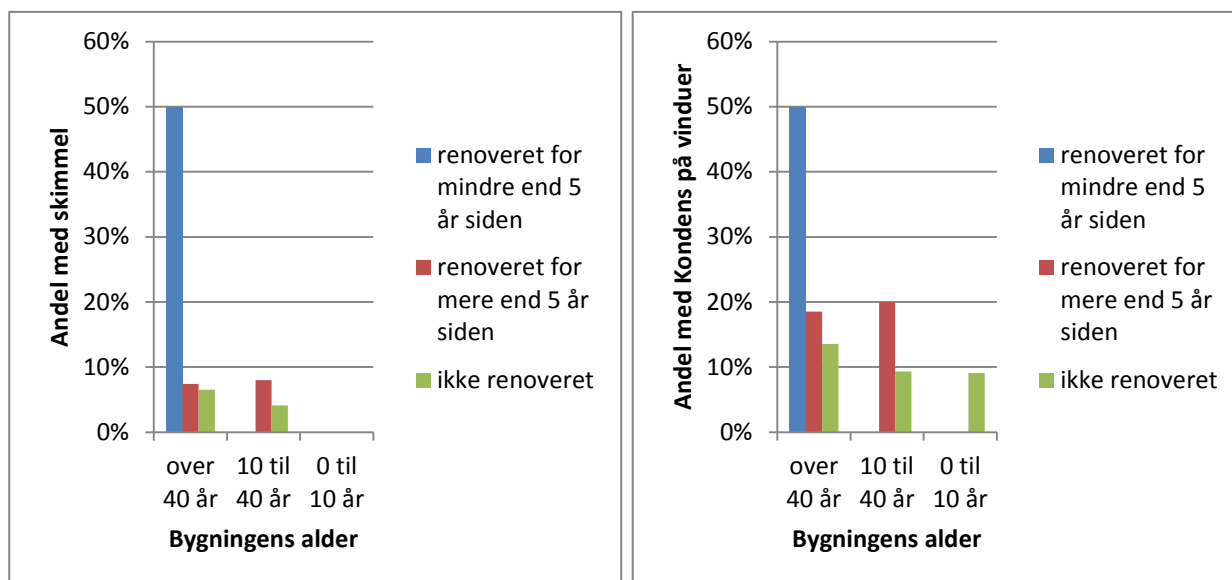
Analysen af spørgeskemabesvarelser fra Frontczak et al. (2012) fandt ingen systematisk sammenhæng mellem respondenternes senest afsluttede uddannelse og problemer med skimmel eller kondens (Tabel 4). Det samme gjorde sig gældende for husstandsindkomst og beskæftigelse.

Tabel 4. Sammenhæng mellem senest afsluttede uddannelse og observeret med skimmel og kondens. Undersøgelsen er beskrevet i (Frontczak et al., 2012).

Senest afsluttede uddannelse	Antal besvarelser	Andel med skimmel (%)	Andel med kondens på vinduer (%)
Grundskole	100	5	14
Gymnasial uddannelse	19	5	32
Håndværksmæssig uddannelse	91	4	15
Kort videregående uddannelse	213	8	17
Lang videregående uddannelse	149	5	20
Ikke besvaret	40	3	13
Sum	612	6	17

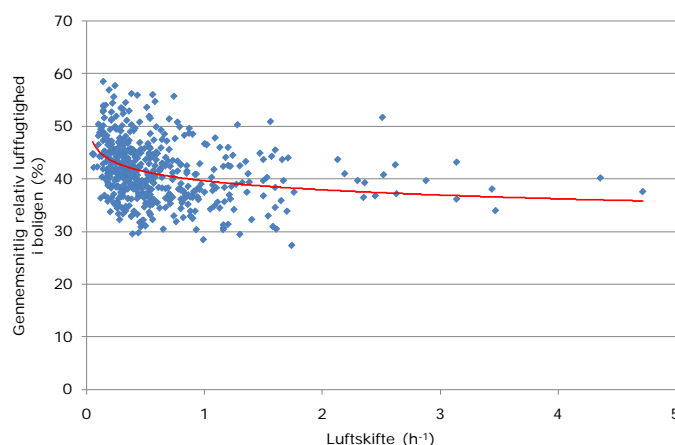
Undersøgelsen (Frontczak et al., 2012), inkluderede data om respondenternes boliger fra BBR. Der har vi brugt til at undersøge sammenhængen mellem bygningens alder, renoveringstidspunkt samt forekomsten af skimmel og kondens på vinduerne. Der var kun fire besvarelser fra ny-renoverede bygninger (to ældre end 40 år og to mellem 10 og 40 år). Resultaterne fra de ny-renoverede boliger (blå søjler i Figur 4) er altså baseret på et meget tyndt datagrundlag, mens der med noget større sikkerhed kan drages konklusioner baseret sammenligninger af u-renoverede boliger og boliger der var renoveret for mere end fem år siden (hhv. grønne og røde søjler i Figur 4).

Bygninger, der ikke var renoveret havde lavere forekomst af skimmel og kondens på vinduerne end renoverede bygninger, uafhængigt af alder. Desuden havde nyere bygninger lavere forekomst af skimmel og kondens end bygninger der var ældre end 10 år. BBR indeholder ikke oplysninger om hvad renoveringerne har bestået i, så det er usikkert om det er selve renoveringen, der har forårsaget den højere forekomst af skimmel og kondens. Men resultatet antyder at renoveringerne ikke i tilstrækkelig grad har afhjulpet eventuelle fugtrelaterede problemer.



Figur 4. sammenhængen mellem boligens alder, ombygningstidspunkt og andelen af besvarelser med skimmel (venstre) og kondens på vinduer (højre).

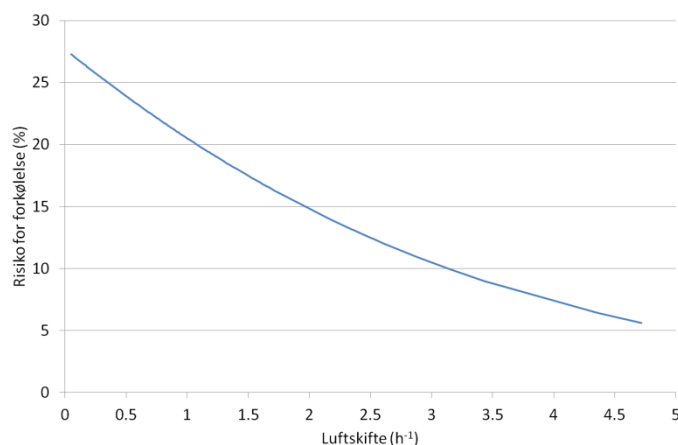
Ifølge Quansah et al. (2012) har privatpersoner tendens til at underestimere deres eksponering for fugt og skimmel, så det er muligt at en endnu større andel af undersøgelsens population havde problemer med disse faktorer. Frontzaks undersøgelse havde en responsrate på 26 % og var ikke egentlig repræsentativ for den danske befolkning. Til trods herfor underbygger undersøgelsen resultaterne af en repræsentativ spørgeskemaundersøgelse fra 2000, der fandt at 17,6 % af boligerne i Danmark havde fugtskjolder eller mugpletter på vægge, lofter eller gulv (Keiding et al. 2003). I en spørgeskemaundersøgelse gennemført i 2008 blandt 11.100 børnefamilier på Fyn, rapporterede 24% af familierne om synlig skimmel i boligen og 28% om synlig fugt (Clausen et al. 2012).



Figur 5. Sammenhæng mellem luftfugtighed og luftskifte målt i 500 danske boliger. Fra (Bekö et al. 2010).

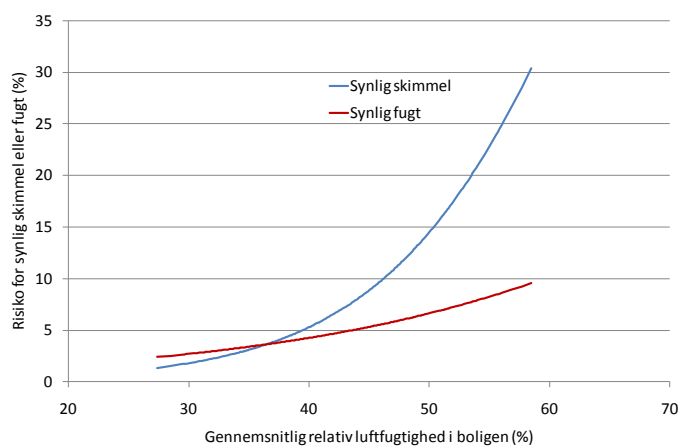
Også hyppigheden af allergi- og astmarelaterede symptomer eller forkølelse blandt børnene i de 500 boliger blev vurderet. Som funktion af boligens luftskifte viser Figur 6 risikoen blandt børnene for at blive ramt af 6 eller flere forkølelser om året (mod færre end 6). Figuren indikerer, at risikoen for at blive ramt af hyppige forkølelser aftager med stigende luftskifte, men sammenhængen var ikke statistisk signifikant ($p = 0.08$). På

trods af at børnene formentlig er udsat for den største smitterisiko i deres institution, indikerer Figur 6 en faldende sammenhæng mellem hyppigheden af forkølelse og boligens luftskifte. Hyppigheden af episoder med hvæsende eller pibende vejtrækning aftog også med stigende luftskifte, men denne sammenhæng var betydeligt svagere end for forkølelse.



Figur 6. Sammenhæng mellem hyppigheden af forkølelse (seks gange eller mere i det foregående år) og boligens luftskifte. Studium beskrevet i Clausen et al. (2012).

Figur 7 viser sammenhængen mellem den målte relative luftfugtighed i boligen og risikoen for at have synlig skimmel eller synlige fugtpletter i boligen. Generelt rapporterede kun få familier om synlig skimmel eller fugt (henholdsvis 7% og 5%), hvilket er i god overensstemmelse med Andersen et al. (2007), men fordelingen af besvarelserne indikerer en sammenhæng med den målte relative luftfugtighed i boligen. For synlig skimmel blev sammenhængen endnu tydeligere, når analysen også blev justeret for det målte luftskifte. Sammenhængen kan bruges til at undersøge betydningen af fugtighed i boligen og beboernes helbred for de i alt 11.100 spørgeskemaundersøgelser fra undersøgelsen (ikke kun de 500 familier, hvor der blev gennemført indeklimaundersøgelser). Spørgeskemaet fokuserede på boligkarakteristika og sygdomsforløbet for familiens ældste barn, der samtidig var yngre end fem år (indeksbarnet). Spørgeskemaundersøgelsen blev gennemført i 2008.



Figur 7. Sammenhæng mellem målt relativ luftfugtighed i 500 danske boliger og risikoen for at boligens beboere har rapporteret om synlig skimmel eller fugt. Studium beskrevet i Clausen et al. (2012).

For de 11.100 familier viser Tabel 5 sammenhængen mellem synlig skimmel eller fugt i boligen og færre eller flere end seks episoder per år med hvæsende eller pibende vejrtrækning, forkølelse eller mellemørebetændelse blandt indeksbarnet i familien. Synlig skimmel var en risikofaktor for både hvæsende eller pibende vejrtrækning og forkølelse, mens synlig fugt kun var en signifikant risikofaktor for forkølelse.

Resultaterne indikerer, at i boliger med høj luftfugtighed er der en højere hyppighed for synlig skimmel og fugt, som påvirker hyppigheden af sygdomsepisoder blandt mindre børn. Analyserne er behæftet med en vis usikkerhed, da der ikke er justeret for øvrige faktorer, der kan påvirke sygdomsfrekvensen (alder, køn, socioøkonomisk status, etc.).

Tabel 5. Ukorrigerede Odds Ratier (cOR) for sammenhængen mellem synlig fugt eller skimmel og hyppigheden af sygdomsepisoder blandt 11.100 danske familier.

Flere eller færre end seks episoder indenfor de seneste 12 måneder	Synlig skimmel	cOR (95% CI)	Synlig fugt	cOR (95% CI)
Hvæsende eller pibende vejrtrækning	Nej	1	Nej	1
	Ja	1,26 (1,04-1,53) ¹⁾	Ja	1,18 (0,93-1,47)
Forkølelse	Nej	1	Nej	1
	Ja	1,25 (1,03-1,5) ¹⁾	Ja	1,5 (1,23-1,89) ²⁾
Mellemørebetændelse	Nej	1	Nej	1
	Ja	1,01 (0,37-2,78)	Ja	1,75 (0,70-4,34)

¹⁾ p < 0.05

²⁾ p < 0.01

Resultaterne i danske boliger støttes af en undersøgelse i en række boliger i New Zealand, hvor Howden-Chapman et al. (2008) afprøvede betydningen for forskellige symptomer blandt børn af at opgradere varmesystemet i boligerne. I New Zealand opvarmes 1/3 af alle boliger ved hjælp af gasbrændere uden aftræk til det fri. Interventionen bestod i at udskifte disse gasbrændere med mere effektive varmekilder (varmepumpe, træpillefyr eller gasfyr med aftræk) og betød, at gennemsnitstemperaturen var 1,1°C højere i boliger med nyt varmesystem sammenlignet med en kontrolgruppe uden ny og mere effektiv opvarmningsform. Børnene i interventionsgruppen havde 1,8 færre sygedage end kontrolgruppen, 0,4 færre lægebesøg grundet astmaanfald og 0,25 færre ture til apoteket for at købe astmamedicin. Endvidere rapporterede børnenes forældre færre søvnforstyrrelser pga. hvæsende vejrtrækning eller hoste om natten og færre respiratoriske symptomer end kontrolgruppen. Effekten af temperaturstigningen kan dog ikke skilles fra effekten af den reducerede NO₂-koncentration, der også fulgte med det renoverede varmesystem, og ligeledes var temperaturniveauet i boligerne en del lavere end det kan forventes i danske boliger.

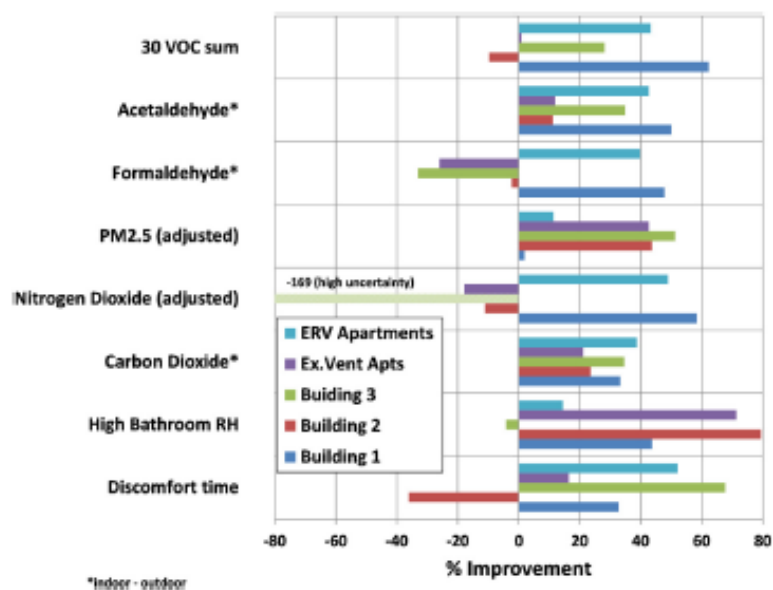
Resultaterne i Tabel 5 bakkes op af et litteraturstudie af sammenhængen mellem skimmel og astma, der fandt en statistisk signifikant sammenhæng mellem forekomsten af skimmel og udbredelsen af astma, hvæsende vejrtrækning og høfeber (Tischer, Chen, and Heinrich 2011). Det blev understøttet af Quansah et al. (2012), der undersøgte studier af fugtrelaterede problemer og astma. Deres analyse viste en statistisk signifikant sammenhæng mellem astma tilfælde og fugt, synlig skimmel og skimmellugt. De fandt at beboere i boliger

med synlig skimmel havde 29 % højere risiko for at udvikle astma, mens fugt og forekomst af skimmellugt førte til en risikoforøgelse på hhv. 33 % og 73 % (Quansah et al. 2012).

Tabel 6. Effektestimater (95 % konfidensinterval) for respiratoriske symptomer blandt børn der var eksponeret for synlig skimmel (Tischer, Chen, and Heinrich 2011).

Synlig skimmel	Astma	Hvæsende vejrtrækning	Løbenæse
Nej	1	1	1
Ja	1,49 (1,28-1,72)	1,68 (1,48-1,90)	1,39 (1,28-1,51)

I et studium i 16 lejligheder i bygninger beliggende i Californien målte Noris et al. (2013) en række indeklimaparametre før og efter energirenovering. Renoveringstiltagene var ikke de samme for alle lejligheder, men omfattede både tætning af klimaskærmen, etablering af mekanisk ventilation, opgradering af udsugning i køkken og baderum, loftsisolering, nye varme- og kølesystemer og luftrensere (partikelfiltre). Luftsifterne efter renoveringen var enten uændrede eller højere end før og perioderne med høj luftfugtighed i baderum færre og kortere. Figur 8 viser ændringen i de tre bygninger i de målte indeklimaparametre før og efter renovering. Figuren er ikke entydig, men især for boligernes CO₂ koncentration og luftfugtighed i baderum var der markant forbedring af renoveringen.



Figur 8. Ændring i indeklimaparametre efter energirenovering af 16 lejligheder i Californien. Fra (Noris et al. 2013).

Støj

En energirenovering vil sjældent ændre væsentligt på de akustiske forhold i boligen.

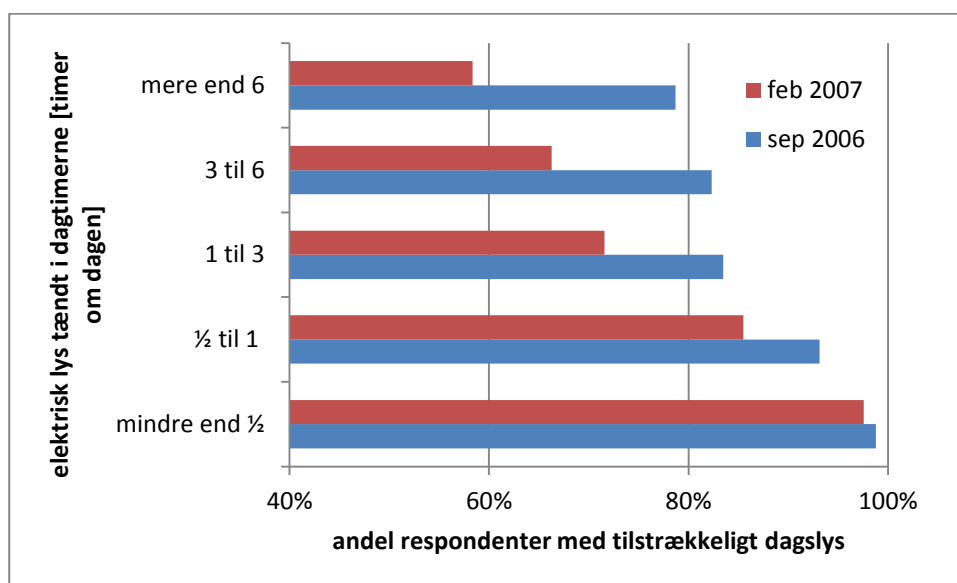
Udefrakommende støj kan reduceres, hvis der tages hensyn til dette, når vinduer udskiftes. Lavenergivinduer har dog ikke nødvendigvis bedre støjdæmpende egenskaber end almindelige termoruder. Derfor vil energirenoveringer ofte ikke ændre radikalt på forholdene vedrørende udefrakommende støj.

Hvis der installeres et mekanisk ventilationsanlæg opnås en kontrolleret udskiftning af luften i boligen og varmegenvinding, men samtidig kan der opstå problemer med støj fra ventilationsanlægget især i soveværelser, hvor baggrundsstøj typisk er lav. I en stor spørgeskemaundersøgelse svarede 7.7 % og 6.2 % af 16.690 respondenter at de havde været lidt eller meget generet af støj fra hhv. naboer og trafik inden for de seneste 14 dage (Keiding et al. 2003). I samme undersøgelse svarede 2,8 % af de havde været generet af støj fra installationer i boligen. Desværre blev der ikke foretaget sammenligning af svarfordelingen blandt respondenter med og uden mekanisk ventilationsanlæg.

Det har ikke været muligt at finde nogen undersøgelser af eventuelle helbredsmæssige konsekvenser af støj fra ventilationsanlæg, men konsekvenser af trafikstøj (som i de fleste tilfælde må formodes at være kraftigere end støj fra ventilationsanlæg) er blevet undersøgt i en række studier. En metaanalyse af data fra 24 studier, fandt en statistisk signifikant forøgelse af risikoen for forhøjet blodtryk på 3,4 % når det gennemsnitlige lydtryk over 16 timer blev forøget med 5 dB(A) (van Kempen and Babisch 2012). Denne sammenhæng blev anvendt i et engelsk studie, der undersøgte samfundsmæssige omkostninger ved at bo i områder hvor lydtrykket i gennemsnit er højere end 55 dB(A) i 16 timer af døgnet (det gjorde 54 % af den engelske befolkning i 2000-2001). De fandt, at de ekstra forekomster af følgesygedomme af forhøjet blodtryk på grund af støjeksponering koster den engelske befolkning 1.09 milliarder pund om året (Harding et al. 2013). Det har ikke været muligt at finde en tilsvarende undersøgelse for den danske befolkning, men det estimeres at halvdelen af befolkningen i byområder med indbyggerantal større end 250.000 er udsat for et gennemsnitligt lydtryk på 55 dB(A) (EEA 2009). Miljøstyrelsen gik i 2007 over til at anvende 58 dB(A) som vejledende grænse for hvornår en bolig er belastet af støj (Miljøstyrelsen 2007). En kortlægning fra 2012 viste at ca. 723.000 boliger i Danmark var udsat for vejstøj, der overskred denne grænse (Miljøstyrelsen 2012).

Lys

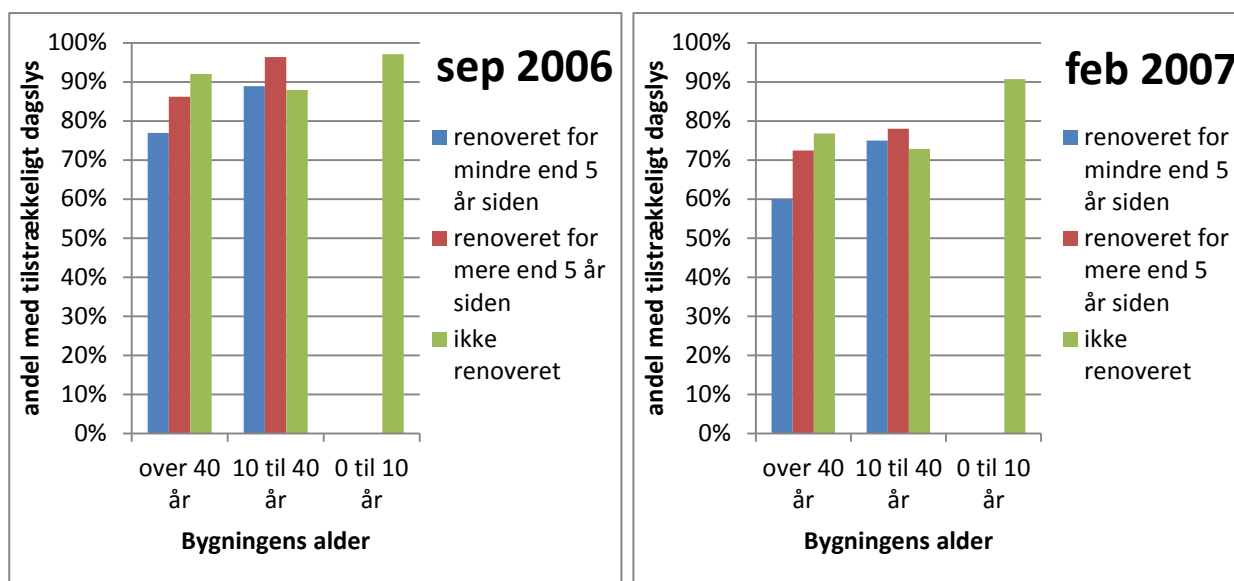
Lys spiller en afgørende rolle for kroppens døgnrytme og har også indflydelse på humøret og symptomer på psykiske lidelser (Czeisler et al. 1999; Partonen & Lönnqvist 2000). Men typisk ændres lysforholdene kun marginalt under energirenoveringer. Små ændringer i dagslysforholdene kan forekomme i forbindelse med efterisolering, der resulterer i tykkere ydervægge og dermed dybere lysninger. Men hvis der ikke ændres på bygningens vinduesareal, vil energirenoveringen kun have lille betydning for dagslysforholdene. Normalt tages elforbruget til belysning ikke med i energiberegningerne i boliger, da belysningsanlægget regnes som en del af inventaret snarere end selve bygningen. Men energiforbruget til belysning bliver påvirket af dagslysforholdene i bygningen.



Figur 9: Sammenhængen mellem respondenternes oplevede dagslysforhold og hvor lang tid lyset var tændt i dagtimerne. Dagtimerne blev i spørgeskemaet defineret som ”de timer, hvor det er lyst udenfor”. Bemærk at X-aksen går fra 40 % til 100 %.

Vi har brugt data fra en dansk spørgeskemaundersøgelse som blev gennemført to gange i de samme hustande (i september 2006 og februar 2007) til at undersøge sammenhængen mellem dagslysforholdene og hvor lang tid det elektriske lys var tændt i de lyse timer af døgnnet (R. V. Andersen et al. 2009). Figur 9 viser at respondenter, der havde lyset tændt i lang tid var mindre tilfredse med dagslysforholdene end respondenter, der havde lyste tændt i kort tid. Der er altså en sammenhæng mellem hvor længe det elektriske lys er tændt og de oplevede dagslysforhold, hvilket kunne medføre et betydeligt elbesparelsespotential, ved at forbedringer af dagslysforholdene i forbindelse med renoveringer. Svarene fra spørgeskemaerne, blev parret med data fra BBR for respondenternes boliger. Ud fra BBR data, var det muligt at opdele bygningerne i seks kategorier ud fra bygningens alder på besvarestidspunktet samt alder for eventuelle ombygninger, registreret i BBR. Figur 10 viser andelen af respondenter, der svarede ja til spørgsmålet: ”Inden for de seneste 14 dage, har der i dagtimerne været tilstrækkeligt dagslys i din bolig på de steder, hvor du har haft brug for det? Dagtimerne er de timer hvor det er lyst uden for.”. Der var færre bygninger med tilstrækkeligt dagslys i februar 2007 end i september 2006. Desuden var tendensen at gamle u-renoverede bygninger (over 40 år) havde dårligere dagslysforhold end renoverede, mens det forholdt sig modsat for bygninger mellem 10 og 40 år. Om vinteren havde tidspunktet for renoveringen stor effekt på dagslysforholdene. Gamle ny-

renoverede bygninger havde bedre dagslysforhold end ikke renoverede, mens det forhold sig modsat for bygninger, der var 10 til 40 år gamle.



Figur 10. Andelen af respondenter, der svarede at de havde haft nok dagslys inden for de sidste 14 dage, fordelt på bygningens alder (opførelstidspunktet) og renoveringstidspunkt.

Radon

Hvis terrændækket i bygningen ikke er tæt kan radonproblemer blive forværret, hvis bygningens klimaskærm tætnes og der ikke sørges for at opretholde et tilstrækkeligt luftskifte på anden vis.

Ifølge en undersøgelse fra 2001 blev det anbefalede radon niveau overskredet i 4,6 % af enfamiliehuse, svarende til 65 000 huse i Danmark og radon er dermed medvirkende årsag til 300 tilfælde af lungekræft om året (C. E. Andersen et al. 2001). Undersøgelsen viste, at der var store forskelle i radonniveauet imellem amterne. Resultaterne påpegede at nyere huse i 2001 havde utætte konstruktioner mod jord. Det må altså formodes at huse som står foran en energirenovering kan være utætte mod jord, hvilket understreger vigtigheden af at sørge for tilstrækkeligt luftskifte efter renoveringen.

PCB

PCB blev hovedsageligt brugt i materialer til bygninger i perioden 1950 til 1977 og findes i dag hovedsageligt i elastiske fuger og i termoruder. PCB er i en række studier blevet associeret med forskellige helbredseffekter, så som lav fødselsvægt (Nieuwenhuijsen et al. 2013), ADHD hos børn (Polańska, Jurewicz, and Hanke 2013) og sukkersyge (Taylor et al. 2013). En kortlægning af PCB i danske bygninger fandt overordnet ikke nogen geografiske forskelle i forekomsten af PCB i bygningerne. I undersøgelsen havde 18 % af en- og tofamiliehuse og 31 % af etageejendomme materialer med så meget PCB at det skal håndteres som farligt affald. 6 % af de undersøgte en- og tofamiliehuse og 11 % af etageejendommene havde så meget PCB at det gav anledning til særlig høj eksponering af mennesker og miljø (Grontmij and Cowi 2013).

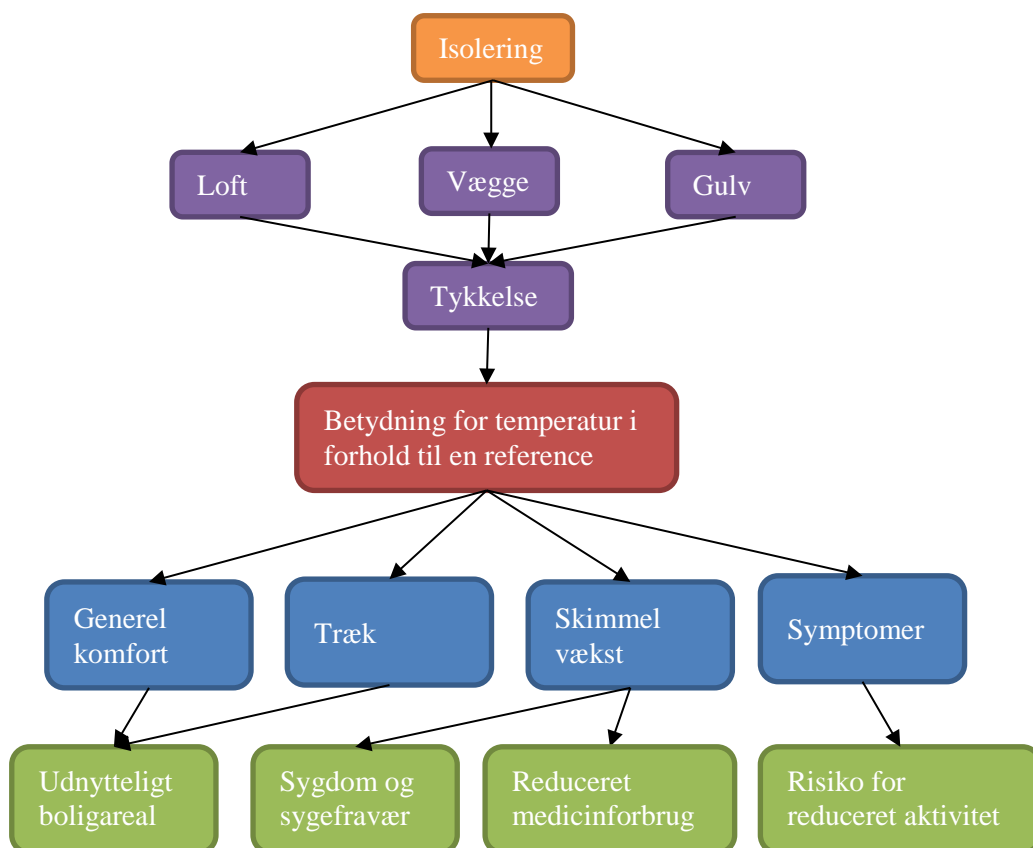
I PCB guiden, som er udarbejdet af fem offentlige myndigheder (Miljøstyrelsen, Arbejdstilsynet, Sundhedsstyrelsen, Energistyrelsen, Ministerium for By, Bolig og Landdistrikter og Bygningsstyrelsen) vurderes det at kun en lille andel af danske bygninger har så meget PCB i indeluften, at der er behov for at renovere (Miljøstyrelsen et al. 2013). Hvis PCB koncentrationen nedbringes ved energirenoveringer, vil det have en positiv indvirkning på de ovennævnte helbredseffekter. På grund af uvished om årsagssammenhænge samt størrelsen på helbredseffekterne er det svært at fastslå hvor store helbredseffekterne vil være.

Dokumentation overfor boligejeren af indeklimaets kvalitet og socioøkonomiske betydning

Der findes allerede værktøjer, der i lægmandstermer dokumenterer indeklimaets kvalitet i forhold til boligen og beboerne, f.eks. som på www.mitindeklima.dk eller www.energitjenesten.dk. Ud fra en række simple spørgsmål om bolig- eller adfærds karakteristika meddeler en skala for hver enkelt besvarelse og akkumuleret en værdi for kvaliteten af indeklimaet (10 = vældig god, -10 = vældig dårlig - www.mitindeklima.dk). Til sidst autogenereres en rapport, der kommenterer på de indtastede oplysninger og giver gode råd. Imidlertid har værktøjet ikke fokus på energirenovering og indeklima.

En procedure som på www.mitindeklima.dk kan med en anderledes og lidt mere teknisk vinkling anvendes til at formidle og dokumentere indeklimaets kvalitet ved energirenovering, f.eks. med udgangspunkt i Figur 1. Nogle boligejere vil ønske at vurdere effekten af forskellige renoveringstiltag, som effekten af øget isolering på loft eller vægge eller nye vinduer. Diagrammet i Figur 1 kan da anvendes med et informationsflow oppefra og ned. Andre vil ønske kendskab til, hvordan de kan forbedre en given indeklimaparameter i boligen, f.eks. lav temperatur om vinteren eller fugt, og ønsker at vide, hvordan ønsket kan imødekommes gennem en renovering af boligen eller dens installationer. I dette tilfælde anvendes diagrammet nedefra og op.

I det første tilfælde vil en person, der ønsker at vurdere en ændring af indeklimaets eksponering af øget isolering således blive ført igennem fra indgangen Isolering til de resulterende effekter. Undervejs stilles der spørgsmål til at betinge den information, der løbende og til sidst returneres til boligejeren.



Figur 11. Diagram for informationsflow, der illustrerer ændringen i indeklima og de resulterende gevinster og ulemper af at øge boligens isolering.

I det følgende skitseres et muligt forløb og en kæde af spørgsmål, der kan anvendes til at vurdere boligen og informere boligejeren om gevinsterne ved øget isolering. Rækkefølge for præsentationen af de forskellige moduler er foreløbig vilkårlig.

Generelle spørgsmål om boligen:

Spørgsmål	Svarmuligheder
Hvordan er boligens ejerforhold?	Ejer, Andel, Lejer
Hvilken type er boligen?	Fritliggende parcelhus, Rækkehus, Lejlighed, Gård, Andet
Har boligen?	Et plan, flere plan
Angiv boligens areal?	Mindre end 50m ² , 50-69 m ² , 70-89 m ² , 90-109 m ² , 110-139 m ² , 140-169 m ² , Større end 169 m ²
Hvornår er boligen opført?	Før 1940, 1941-1961, 1962-1972, 1973-1977, 1978-1995, 1996-2007, 2008-2010, Efter 2010
Hvor er boligen beliggende?	Indtast postnummer

Spørgsmål om boligens konstruktioner:

Spørgsmål	Svarmuligheder
Har boligen?	Fladt tag, Hældning
Har boligen?	Betondæk mod jord, Krybekælder, Kælder
Hvilken type vinduer er der fortrinsvis i boligen?	Etlagsrude, Etlagsrude med forsats, Tolagsrude, Trelagsrude
Hvor stor en andel i forhold til boligens areal udgøres af vinduer og døre?	5%, 10%, 15%, 20%
Kan der om vinteren observeres kondens eller fugt om morgenen indvendigt på den nederste del af vinduesglasset i boligens soveværelser?	Ja (mere end 5 cm), Ja (mindre end 5 cm), Nej
Er boligen hulmursisoleret?	Ja, Nej
Hvor meget isolering findes allerede over den del af huset, der opvarmes (på loftet) ?	Mindre end 100 mm, ca. 100 mm, ca. 150 mm, ca. 250 mm, ca. 300 mm, Mere end 300 mm
Hvor meget isolering findes allerede under den del af huset, der opvarmes (under gulv)?	Mindre end 100 mm, ca. 100 mm, ca. 150 mm, ca. 250 mm, ca. 300 mm, Mere end 300 mm
Er der mistanke om eller er der konstateret skimmelvækst nogle steder i boligen?	Ja, Nej. Hvis ja, så opfølgende spørgsmål om hvor og hvor meget.

Spørgsmål om boligens installationer og forbrug:

Spørgsmål	Svarmuligheder
Hvilken type opvarmning findes i boligen?	Varmtvands radiatorer, Elektriske radiatorer, Gulvvarme, Brændeovn/Pejs, Luftvarme, Gasovn, Petroleumsovn, Andet
Hvilken varmekilde er der i boligen?	Fjernvarme, Naturgas, Elvarme, Varmepumpe, Oliefyr
Ca. hvor stor er din årlige varmeudgift?	Mindre end 5.000 kr, 5.000 kr, 10.000 kr, 15.000 kr, 20.000 kr, 25.000 kr, 30.000 kr, 35.000 kr, Mere end 35.000 kr
Hvordan udluftes boligen fortrinsvis?	Udluftningsventiler, Åbning af vinduer, Emhætte i køkken, Udsugning fra baderum, Mekanisk ventilationsanlæg

Spørgsmål om indeklima før renovering:

Spørgsmål	Svarmuligheder
Er I ofte generet af:	For lav temperatur, Træk (Ved nakke, fødder, andet), Fodkulde. Hvis, så uddybende spørgsmål om eventuelt kendskab til årsager til ubehaget
Er temperaturen i boligen typisk højere end 22°C om vinteren?	Ja, Nej
Er temperaturen i boligen typisk lavere end 20°C om vinteren?	Ja, Nej

Spørgsmål om energirenovering (isolering):

Spørgsmål	Svarmuligheder
Hvor i boligen skal der tilføjes mere isolering?	Hulmursisolering, Indvendig isolering af vægge, Udvendig isolering af vægge, Isolering oven på loftet, Isolering under loftet, Isolering under gulvet
Hvor meget mere isolering ønskes tilføjet?	50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm

Flere spørgsmål og mulige ruter gennem forløbet vil utvivlsomt blive tilføjet under den egentlig udvikling af et formidlingsværktøj.

Ud fra de indtastede værdier og eksisterende nøgletal for boligtypen samt de ønskede renoveringstiltag skønnes en temperaturændring (ved samme forbrug) ved en reference-udetemperatur eller i gennemsnit for fyringssæsonen, en besparelse på varmeregnskabet eller et trade-off mellem disse skøn. Endvidere skønnes ændringen i temperatur på berørte overflader, og boligens luftskifte kan med et par yderligere spørgsmål om beboeradfærd estimeres ud fra en model foreslået af Bekö et al. (2011).

Den forventede betydning for komforten skønnes i første omgang med en PMV værdi og et indeks for trækrisiko beregnet ved temperatursættene før og efter renovering (Fanger 1970, Fanger et al. 1988). Simple sammenhænge som vist i Figur 5, Figur 6 og Figur 7 kan endvidere bidrage med nogle forsigtige skøn om betydningen for f.eks. skimmelvækst af at ændre temperaturen og den relative luftfugtighed i boligen, og i

det omfang det er muligt, at kvantificere de sundhedsmæssige effekter. Er dette ikke muligt kan der i stedet gives en mere generel beskrivelse af de forventede effekter. Er det i stedet bygningsrelaterede symptomer, der ønskes afhjulpet er flowet betydeligt mere komplekst og vil kræve langt flere besvarelser end anført i tabellerne ovenfor.

Værktøjet kan udbygges med yderligere spørgsmål, således at boligejeren eller beboeren tilkendegiver sin villighed til at betale for forskellige renoveringstiltag. Derved kan der over tid opbygges et grundlag til at vurdere værdifastsættelsen af forskellige tiltag indenfor energirenovering.

Ønskes en mere udførlig og teknisk karakterisering af boligens indeklima henvises til den metode, der er beskrevet i DS 3033. Metoden kan, formentlig med nogen tilpasning, udmøntes i en indeklimatekarakterisering af boligen på linje med energimærkningsordningen.

DS 3033 anvender ni parametre til at karakterisere indeklimaets kvalitet og hver parameter tildeles en karakter. Derudover får hele boligen en samlet karakter. De ni parametre er udvalgt af en ekspertgruppe, som vurderede, at disse var de mest betydende for beboernes komfort og sundhed. Målingerne og vurderingerne skal foretages af certificerede specialister. Resultaterne beskrives i en målerapport, hvor også det samlede resultat af indeklimaklassificeringen angives som én værdi.

Referencer

- Andersen, Claus E., Kaare Ulbak, Anders Damkjær, and Peter Gravesen. 2001. *Radon I Danske Boliger - Kortlægning Af Lands-, Amts- Og Kommuneværdier*.
- Andersen, Rune Vinther, Bjarne Olesen, and Jørn Toftum. 2007. "Simulation of the Effects of Occupant Behaviour on Indoor Climate and Energy Consumption."
- Andersen, Rune Vinther, Jørn Toftum, Klaus Kaae Andersen, and Bjarne W. Olesen. 2009. "Survey of Occupant Behaviour and Control of Indoor Environment in Danish Dwellings." *Energy and Buildings* 41(1): 11–16.
- Banfi, Silvia, Mehdi Farsi, Massimo Filippini, and Martin Jakob. 2008. "Willingness to Pay for Energy-Saving Measures in Residential Buildings." *Energy Economics* 30(2): 503–16.
- Bekö, Gabriel, Toste Lund, Fredrik Nors, Jørn Toftum, and Geo Clausen. 2010. "Ventilation Rates in the Bedrooms of 500 Danish Children." *Building and Environment* 45(10): 2289–95.
- Bekö, Gabriel, Jørn Toftum, and Geo Clausen. 2011. "Modeling Ventilation Rates in Bedrooms Based on Building Characteristics and Occupant Behavior." *Building and Environment* 46(11): 2230–37.
- Bornehag, C G, J Sundell, L Hägerhed-Engman, and T Sigsgaard. 2005. "Association between Ventilation Rates in 390 Swedish Homes and Allergic Symptoms in Children." *Indoor air* 15(4): 275–80.
- Brandt, Jørgen, Jeremy Silver, Jesper Christensen, Mikael Andersen, Jacob Bønløkke, Torben Sigsgaard, Camilla Geels, Allan Gross, Ayoe Hansen, Kaj Hansen, Gitte Hedegaard, Eigil Kaas, and Lise Frohn. 2011. *CEEH Scientific Report No 3 : Assessment of Health Cost Externalities of Air Pollution at the National Level Using the EVA Model System*.
- Bräuner, Elvira Vaclavik, Lykke Forchhammer, Peter Møller, Lars Barregard, Lars Gunnarsen, Alireza Afshari, Peter Wåhlin, Marianne Glasius, Lars Ove Dragsted, Samar Basu, Ole Raaschou-Nielsen, and Steffen Loft. 2008. "Indoor Particles Affect Vascular Function in the Aged: An Air Filtration-Based Intervention Study." *American journal of respiratory and critical care medicine* 177(4): 419–25.
- Chau, C K, W K Hui, and M S Tse. 2008. "Valuing the Health Benefits of Improving Indoor Air Quality in Residences." *The Science of the total environment* 394(1): 25–38.
- Clausen, G, a Høst, J Toftum, G Bekö, C Weschler, M Callesen, S Buhl, M B Ladegaard, S Langer, B Andersen, J Sundell, C-G Bornehag, and T Sigsgaard. 2012. "Children's Health and Its Association with Indoor Environments in Danish Homes and Daycare Centres - Methods." *Indoor air* 22(6): 467–75.
- Dick, E C, L C Jennings, K a Mink, C D Wartgow, and S L Inhorn. 1987. "Aerosol Transmission of Rhinovirus Colds." *The Journal of infectious diseases* 156(3): 442–48.
- Dockery, D W, and C a Pope. 1994. "Acute Respiratory Effects of Particulate Air Pollution." *Annual review of public health* 15: 107–32.
- EEA, Copenhagen. 2009. "EEA Draws the First Map of Europe's Noise Exposure." <http://www.eea.europa.eu/media/newsreleases/eea-draws-the-first-map-of-europe2019s-noise-exposure>.

- Fanger, P O, A K Melikov, H Hanzawa, J Ring, and Air Conditioning. 1988. "Air Turbulence and Sensation of Draught." 12: 21–39.
- Fanger, P.O. 1970. *Thermal Comfort*. Copenhagen: Danish Technical Press.
- Fisk, William J. 2000. "HEALTH AND PRODUCTIVITY GAINS FROM BETTER INDOOR ENVIRONMENTS AND THEIR RELATIONSHIP WITH BUILDING ENERGY EFFICIENCY 1."
- Folkesundhed, Statens Institut for. 2007. *Folkesundhedsrapporten, Danmark 2007. Kapitel 10 - Astma Og Allergi*.
- Frontczak, Monika, Rune Vinther Andersen, and Pawel Wargocki. 2012. "Questionnaire Survey on Factors Influencing Comfort with Indoor Environmental Quality in Danish Housing." *Building and Environment* 50: 56–64. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132311003611> (November 29, 2013).
- Grontmij, and Cowi. 2013. *Kortlægning Af Pcb I Materialer Og Indeluft Indelu Ft*.
- Harding, Anne-helen, Gillian A Frost, Aki Tsuchiya, and How M Mason. 2013. "The Cost of Hypertension-Related Ill-Health Attributable to Environmental Noise." *Noise & Health* 15(67): 437–45.
- Harrington, Barbara E, B A Hons, Bob Heyman, Nick Merleau-ponty B A Hons, H Stockton Hons, Neil Ritchie, and Anna Heyman Hons. 2005. "Keeping Warm and Staying Well : Findings from the Qualitative Arm of the Warm Homes Project Correspondence." *Health and Social Care in the Community* 13(3): 259–67.
- Haverinen-Shaughnessy, Ulla. 2012. "Prevalence of Dampness and Mold in European Housing Stock." *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 22(6): 654–654. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22617720> (November 27, 2013).
- Howden-Chapman, Philippa, and Ralph Chapman. 2012. "Health Co-Benefits from Housing-Related Policies." *Current Opinion in Environmental Sustainability* 4(4): 414–19.
- Howden-Chapman, Philippa, Nevil Pierse, Sarah Nicholls, Julie Gillespie-bennett, Helen Viggers, and Malcolm Cunningham. 2008. "Effects of Improved Home Heating on Asthma in Community Dwelling Children : Randomised Controlled Trial." *British medical Journal* 337: 852–55.
- Howden-Chapman, Philippa, Helen Viggers, Ralph Chapman, Des O’Dea, Sarah Free, and Kimberley O’Sullivan. 2009. "Warm Homes: Drivers of the Demand for Heating in the Residential Sector in New Zealand." *Energy Policy* 37(9): 3387–99.
- Jennings, L C, and E C Dick. 1987. "Transmission and Control of Rhinovirus Colds." *European Journal of Epidemiology* 3(4): 327–35.
- Jensen, Kasper L., Jørn Toftum, and Peter Friis-Hansen. 2009. "A Bayesian Network Approach to the Evaluation of Building Design and Its Consequences for Employee Performance and Operational Costs." *Building and Environment* 44(3): 456–62.
- Jensen, Ole Michael. 2013. *Incitamenten Og Virkemidler Til Fremme Af Energibesparelser I Bygninger, SBI 2013:05*.

- Keiding, Lis, Lars Gunnarsen, Nils Rosdahl, Mette Machon, Ralf Møller, and Ole Valbjørn. 2003. *Miljøfaktorer I Danskernes Hverdag*.
- Van Kempen, Elise, and Wolfgang Babisch. 2012. "The Quantitative Relationship between Road Traffic Noise and Hypertension: A Meta-Analysis." *Journal of hypertension* 30(6): 1075–86. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22473017> (December 13, 2013).
- Miljøstyrelsen. 2007. *Støj Fra Veje - Vejledning Fra Miljøstyrelsen Nr. 4 2007*.
- Miljøstyrelsen. 2012. *Notat Om Ny National Støjstrategi*. http://www.mst.dk/Virksomhed_og_myndighed/Stoej/kortlaegning_af_stoej/.
- Miljøstyrelsen, Arbejdstilsynet, Sundhedsstyrelsen, Energistyrelsen, Ministerium for by bolig og landdistrikter, and Bygningsstyrelsen. 2013. "PCB-Guiden." <http://pcb-guiden.dk/forside/0/2>.
- Milne, Geoffrey, and Brenda Boardman. 2000. "Making Cold Homes Warmer : The Effect of Energy Efficiency Improvements in Low-Income Homes." *Energy Policy* 28: 411–24.
- Milton, D K, P M Glencross, and M D Walters. 2000. "Risk of Sick Leave Associated with Outdoor Air Supply Rate, Humidification, and Occupant Complaints." *Indoor air* 10(4): 212–21.
- Myatt, Theodore a, Sebastian L Johnston, Zhengfa Zuo, Matthew Wand, Tatiana Kebabze, Stephen Rudnick, and Donald K Milton. 2004. "Detection of Airborne Rhinovirus and Its Relation to Outdoor Air Supply in Office Environments." *American journal of respiratory and critical care medicine* 169(11): 1187–90.
- Nardell, Edward A, Joann Keegan, Sally A Cheney, and S U E C Etkind. 1991. "Airborne Infection - Theoretical Limits Achievable by Building Ventilation." *Am rev Respri Dis* 144: 302–6.
- Nieuwenhuijsen, Mark J, Payam Dadvand, James Grellier, David Martinez, and Martine Vrijheid. 2013. "Environmental Risk Factors of Pregnancy Outcomes: A Summary of Recent Meta-Analyses of Epidemiological Studies." *Environmental health : a global access science source* 12(1): 6. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3582445&tool=pmcentrez&rendertype=abstract> (December 17, 2013).
- NIRAS, and Bygningsstyrelsen. 2013. *Analyse Af Praktiske Erfaringer Med Energirenovering Af Bygninger I Fire Bygningssegmenter*.
- Noris, Federico, Gary Adamkiewicz, William W. Delp, Toshifumi Hotchi, Marion Russell, Brett C. Singer, Michael Spears, Kimberly Vermeer, and William J. Fisk. 2013. "Indoor Environmental Quality Benefits of Apartment Energy Retrofits." *Building and Environment* 68: 170–78.
- Partonen, T, and J Lönnqvist. 2000. "Bright Light Improves Vitality and Alleviates Distress in Healthy People." *Journal of affective disorders* 57(1-3): 55–61. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10708816>.
- Pirhonen, I, a. Nevalainen, T. Husman, and J. Pekkanen. 1996. "Home Dampness, Moulds and Their Influence on Respiratory Infections and Symptoms in Adults in Finland." *European Respiratory Journal* 9(12): 2618–22.

- Polańska, Kinga, Joanna Jurewicz, and Wojciech Hanke. 2013. "Review of Current Evidence on the Impact of Pesticides, Polychlorinated Biphenyls and Selected Metals on Attention Deficit / Hyperactivity Disorder in Children." *International journal of occupational medicine and environmental health* 26(1): 16–38. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23526196> (December 17, 2013).
- Pope, C. Arden, and Douglas W. Dockery. 2006. "Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines That Connect." *Journal of the Air & Waste Management Association* 56(6): 709–42.
- Quansah, Reginald, Maritta S Jaakkola, Timo T Hugg, Sirpa a M Heikkinen, and Jouni J K Jaakkola. 2012. "Residential Dampness and Molds and the Risk of Developing Asthma: A Systematic Review and Meta-Analysis." *PloS one* 7(11): e47526. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3492391&tool=pmcentrez&rendertype=abstract> (November 27, 2013).
- Sun, Yuexia, Zhigang Wang, Yufeng Zhang, and Jan Sundell. 2011. "In China, Students in Crowded Dormitories with a Low Ventilation Rate Have More Common Colds: Evidence for Airborne Transmission." *PloS one* 6(11): e27140.
- Taylor, Kyla W, Raymond F Novak, Henry a Anderson, Linda S Birnbaum, Chad Blystone, Michael Devito, David Jacobs, Josef Köhrle, Duk-Hee Lee, Lars Rylander, Anna Rignell-Hydbom, Rogelio Tornero-Velez, Mary E Turyk, Abee L Boyles, Kristina a Thayer, and Lars Lind. 2013. "Evaluation of the Association between Persistent Organic Pollutants (POPs) and Diabetes in Epidemiological Studies: A National Toxicology Program Workshop Review." *Environmental health perspectives* 121(7): 774–83. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3701910&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
- Tischer, C., C.-M. Chen, and J. Heinrich. 2011. "Association between Domestic Mould and Mould Components, and Asthma and Allergy in Children: A Systematic Review." *European Respiratory Journal* 38(4): 812–24. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21540311> (November 27, 2013).
- Videncenter for energibesparelser i bygninger. 2011. *Kvik-Tjek Af Husets Energitilstand*.
- Witterseh, Thomas, Lis Winther Funch, Ditte Marie Jørgensen, Vagn Holk Lauridsen, Christian Drivsholm, Christian Grønborg Nicolaisen, Carsten Johansen, and Sven Mortensen. 2013. *Indeklimaforhold Ved Energirenovering - Delrapport*.
- Żukiewicz-sobczak, Wioletta, Paweł Sobczak, Ewelina Krasowska, Jacek Zwoliński, Jolanta Chmielewska-Badora, and Elżbieta M. Galińska. 2013. "Allergenic Potential of Moulds Isolated from Buildings." *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 20(3): 500–503.