

# Sunde Boliger

Performancemålinger

”De ubeboede huse”

**Sunde Boliger performancemålinger**  
© Realdania og Realdania By & Byg 2018

**Tekst og redaktion: MOE A/S og Realdania By & Byg**  
Layout: MOE A/S

**Fotos og illustrationer**

Helene Høyer Mikkelsen, Arkitekturfotograf, arkitekt maa :  
Forside, s. 4, S. 8, s.12, s.16, s.17, s.18th, s. 24, s.32, s.40tv, s.42th, s.46, s.52tv,  
s.55, s.56th, s.57th, s.60, s. 61, s.63, s.67, s.68 & s.71

Henrik Helms dBA MEDIA:  
S.18tv, s.19, s.25tv, s.39 & s.40th

Laura Stamer, Arkitekturfotograf, cand. arch:  
S. 6 & Bagside

Andre illustrationer og billeder: Egne fotografier, Pixabay.com & Unsplash.com

Realdania By & Byg er et helejet Realdaniaselskab

---

# Forord

*Med udsigt over et enestående naturlandskab opførte Realdania By & Byg i perioden år 2016-2017 tre gårdhavehuse i kvarteret Tommelise ved Holstebro - projektet Sunde Boliger. I perioden maj 2017 til primo 2018 blev boligerne gennemtestet i forhold til indeklimaets mange facetter.*

Mens vi stadig jagter energibesparende løsninger i forbindelse med bæredygtigt byggeri, står vi samtidigt over for et paradigmeskift, hvor sundhed for alvor er kommet på dagsordenen. Sunde Boliger er en direkte udløber af Realdanias initiativ 'Et godt indeklima' og udspringer af behovet for at undersøge, om det er muligt at skabe et sundere indeklima uden at fordyre byggeprocessen, og uden at miste de energimæssige landvindinger. Men også for at overveje, om vi i visse tilfælde er gået for langt i vores iver efter at spare energi, så det har kostet på vores sundhed og indeklima.

Sunde Boliger søger veje til et sundere indeklima med afsæt i design, byggematerialer, byggemetoder og teknologi. Foruden at skabe gode, velegnede familieboliger, var formålet med projektet derfor at skabe 1:1 laboratorier til afprøvning og undersøgelse af mulige udbedrende indeklimatiltag, både med og uden beboere.

Denne performancerapport følger op på de indeklimatiltag, som er indarbejdet i Sunde Boliger, og dokumenterer forholdene i de *ubeboede* huse; den indeklimamæssige 'baseline'. Rapporten vil senere blive fulgt op af dokumentation af forholdene i de *beboede* huse, herunder også kvalitative undersøgelser i samarbejde med beboerne selv.

Følgende parter har medvirket i udarbejdelsen af nærværende rapport:

## **Rådgiver og hovedforfattere:**

Projektleder: Steffen E. Maagaard, MOE A/S

Rådgiver: Kasper B. Johannsen, MOE A/S

## **Underrådgivere og medforfattere:**

Professor Werner Osterhaus, Aarhus Universitet – Dagslysafsnit

Lektor Anders Feilberg, Aarhus Universitet – Afgasningsafsnit

Associate Professor Lei Fang, Danmarks Tekniske Universitet – Partikelafsnit og luftskifte

Koncernkompetencechef Akustik Jan Christensen, MOE A/S – Akustikafsnit

## **Bygherre og medforfatter:**

Arkitekt Jørgen Søndermark, Realdania By & Byg

Udviklingen og opførelsen af Sunde Boliger og det dertilhørende måleprojektet er finansieret af Realdania.



# Indhold

Forord.....	3
10 + 1 ting vi har lært.....	7
Fokus på indeklima.....	9
Boligerne .....	11
Ventilationsprincipper .....	12
Afgasning fra materialer .....	25
Afgasning fra mennesker.....	33
Radon.....	34
Partikler .....	36
Støv .....	42
Fugt .....	44
Støj.....	45
Træk .....	52
Temperatur .....	56
Luftfugtighed.....	57
Dagslys.....	61



# 10 + 1 ting vi har lært

Før vi dykker ned i projektets mange resultater, henter vi til en begyndelse nogle hurtige, gode råd frem, som man direkte kan tage med sig i arbejdet med sit eget eller andres indeklima. Nogle er nye, nogle virker indlysende, og nogle er mægt til de klassiske indeklमारåd – men alt sammen er nu dokumenteret og eftervist i projektet og kan studeres grundigere i rapporten:



**Luft ud oftere end du tror!** *Luften påvirkes fra mange sider, og hyppig og grundig udskiftning af luften er helt essentiel. Har man ikke ventilationsanlæg, hedder det stadig mindst tre gange om dagen, og også gerne lige efter bad.*



**Indret dit køkken med omtanke!** *Undgå komfurer midt i rummet, tænd emhætten på max og adskil gerne køkken delvist fra stue.*



**Luk døren under madlavning!** *Kan man ikke lukke en dør til køkkenet, mens der steges og brases, bør man i hvert fald holde dørene til boligens sove- og børneværelser lukkede imens, og i mindst en time efter. Gennemventilér din bolig efter madlavningen.*



**Brug centralstøvsuger eller støvsuger med HEPA-filter!** *En centralstøvsuger kan eftermonteres i mange boliger og sikrer mod den findeling og udledning af partikler, som stort set alle normale støvsugere er årsag til. Alternativt køb en støvsuger med HEPA-filter, hvor gennemstrømningen af partikler er lav.*



**Lad det færdige byggeri afgasse!** *Afgasningskurven for byggematerialer er eksponentielt aftagende. Koncentrationen af farlige VOC'er i indeklimaet er størst i perioden lige efter ibrugtagning af det nye byggeri, så her er det ekstra vigtigt at sikre en god udluftning (naturligt såvel som mekanisk) i de første 3-6 måneder.*



**Mere fokus på støj!** *Boligens tekniske installationer bør placeres, og udføres, så støjgener bedst muligt undgås. F.eks. kan helt enkle tætninger til teknikskabet dæmpe støj fra ventilationsanlæg og dermed forebygge at man slukker pga. irritation.*



**Mere fokus på akustik!** *Indbygget akustikdæmpning i loftet er en robust måde at sikre, at boligen er et sted, man slapper af og lader op uden generende støj.*



**Overvej linolieprodukter i indeklimaet en ekstra gang!** *Trods det naturlige udgangspunkt er linolie et produkt, som kan fastholde sin markante lugt i mange måneder, og som udskiller blandt andet aldehyder mens det hælder; vi har fortrudt anvendelsen i NO-Tech Huset.*



**Brug skrå vinduesfals!** *Ved at skære falsene ved vinduet skrå, øges mængden af dagslys og udsynet på omgivelserne betragteligt uden praktisk betydning for hverken byggeøkonomi eller energiforbrug.*



**Stearinlys forurener boligen – hele boligen!** *Stearinlys frigiver hundredetusindvis af ultrafine partikler i al den tid, lyset er tændt, og de farlige afbrændingspartikler kan vandre ned i lungerne og videre ud i blodbanerne. Hold dørene lukket til soverum og luft ud efterfølgende.*



**Sundt indeklima koster ikke ekstra!** *Projekt Sunde Boliger beviser, hvordan økonomi og sundhed sagtens kan gå hånd i hånd. Med omtanke og planlægning kan nybyggeri sagtens have større fokus på sundt indeklima uden meromkostninger.*







Sunde Boliger er opført inden for en normal anlægsøkonomi, for at gøre det muligt for andre at eftergøre de bedste af løsningerne. Sunde Boliger er derfor ikke 'verdens bedste indeklimaprojekt', men det muliges kunst. Prioriteringer har været nødvendige, og der er navigeret efter at sikre mod de farligste påvirkninger først. Nedenstående prioriteringsskema blev udarbejdet ved projektets start i samarbejde mellem MOE A/S og Torben Sigsgaard, ph.d., Professor på Institut for Folkesundhed, Aarhus Universitet. Prioriteringsscoren er en vægtning mellem farlighed, udbredelse i boliger og eksponeringstid. For de oplevede indeklimaparametre er scoren også vurderet ud fra et komfortmæssigt aspekt. Trods den tilsyneladende høje præcision er der naturligvis tale om subjektive, men oplyste vurderinger. Andre ville måske vægte anderledes, men vi tror, at de fleste nok kan være enige i det viste billede.

Partikelforurening (PM2,5 & PM10) og afgangning fra mennesker og materialer (VOC'er) hører til de usynlige farer og har været i fokus i Sunde Boliger. De er potente risici, og de er som nævnt også stort set fraværende i dagens debat og regulering, og behovet for at gøre opmærksom på disse problemer trænger sig på.

Det har lagt grunden til de to 'eksperimenter' YES og NO, som repræsenterer hver sin strategi; ventilation og kildekontrol. Med andre ord; På den ene side én løsning, som løbende sørger for at udskifte forurenede luft med ren luft, og på den anden side et byggeri, hvor omhuen er lagt i at undgå, at problemerne overhovedet opstår.

Et andet fokus har været på dagslys, som også spiller en stor rolle for menneskets sundhed, men som i dag kan overholde bygningsreglementet på et relativt beskedent grundlag. Sunde Boliger undersøger, hvordan der enkelt kan skaffes mere dagslys, og om man med de moderne trelagsruder er gået på kompromis med kvaliteten af dagslyset for at spare energi.

Sundhedsskadelige indeklimaparametre	Prioritering
Radon	3,95
Flygtige organiske forbindelser (VOC)	3,95
PM2.5µm	3,90
Synligt støv	3,50
PM10µm	3,30
Polyaromatiske kulbrinter	3,15
Formaldehyd	3,15
Plastblødgørere (PVC)	2,55
Ozon (O3)	2,50
Ozon (O3) som kemisk cocktail	2,50
Kvælstofdioxid (NO2)	2,25
Carbonmonoxid (CO)	2,00
Svovldioxid (SO2)	1,75
Dioxiner	1,75
Bly	1,75
PCB	1,50
Xylen	1,50
Trichlorethylen	1,50
Svampesporer/bakterier	1,00
Fugt	1,00
Pollen	1,00

Oplevede indeklimaparametre	Prioritering
Dagslys (belysning)	3,90
Lugt	3,65
Temperatur	3,65
Støj	3,25
Kondens	2,65
Træk	2,25

# Boligerne

De 3 sunde boliger syner udadtil ens og kan tilnærmelsesvist sammenlignes planmæssigt, men indeklimateknologisk er husene vidt forskellige. NO- og YES-Tech repræsenterer to forskellige veje til et sundere indeklima, mens NOW-Tech, der er opført som et standard dansk hus efter BR2015, er referencen som resultaterne sammenholdes med. NO-Tech bygger på passive strategier og så lidt teknologi som muligt, mens YES-Tech imødegår sundhedsskadelige indeklimaparametre gennem nutidige, avancerede teknologiske løsninger.

Ét er teori og ambition om et sundt indeklima, noget andet er den reelle udførelse, indregulering og effekt. Måleprojektets omfattende undersøgelser og forsøg har belyst, hvordan de sunde boliger performer i forhold til de bagvedliggende hypoteser. Til dette har vi fået hjælp og faglig kompetence fra en række forskere fra blandt andet Aarhus Universitet og DTU. Måleprojektet har primært sigtet mod at kortlægge *forskellene* mellem det gennemsnitlige referencehus (NOW-Tech) og de høj- eller lavteknologiske boliger YES- og NO-Tech.



## YES-Tech

I YES-Tech er der brugt højteknologiske tiltag for at skabe et godt indeklima. Boligens planindretning og materialer er mægtige til NOW-Techs, men har et ekstra lag teknik: Huset indeholder blandt andet forøget ventilation, udført som diffus loftsventilation, og behovsstyret af sensorer i hvert rum. Der er centralstøvsuger og en avanceret emhætteløsning med f.eks. et lufttæppe, der 'indfanger' stegepartiklerne fra panden. Vinduesåbninger er udført med skrå false for at øge dagslysindtag, og teknikrummet er støjskærmet.

## NOW-Tech

NOW-Tech huset repræsenterer den gennemsnitlige danske bolig opført efter Bygningsreglement 2015, som var gældende ved opførelsen. Alt fra planindretning og valg af byggematerialer til ventilationsrater og generelle valg af installationer stemmer overens med normalen i nybyggeri. Huset fungerer som reference for de to andre.

## NO-Tech

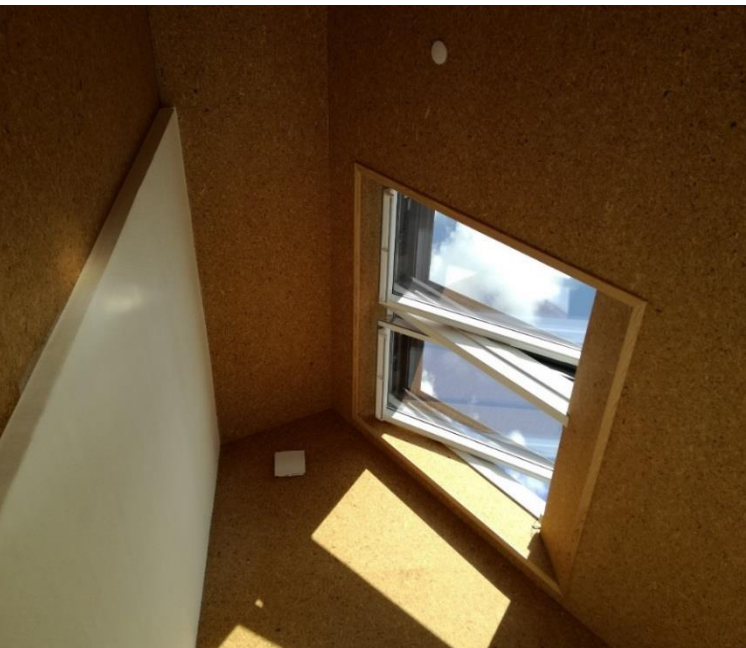
NO-Tech boligen har fundet sin form ud fra ønsket om lavteknologisk design og 'passive' tiltag til opretholdelse af et godt indeklima. NO-Tech har naturlig ventilation med høje solskorstene, som driver en naturlig luftstrøm igennem boligen, diffuseret gennem det perforerede loft. Der er valgt lavemitterende byggematerialer, diffusionsåben facadeopbygning samt zoneopdeling, så partikel- og fugtskabende aktiviteter bliver adskilt fra opholdszonen i separate rum (køkken, legerum og bryggers) eller flyttet helt udenfor (udebad og udekøkken). Med fokus på dagslys er der to-lags ruder med jernfrit glas og skrå false.

# Ventilationsprincipper

Mange sundhedsskadelige indeklimate-metre afhænger af luftskiftet, hvad enten det drejer sig om det 'usynlige' eller det oplevede indeklimate. De tre Sunde Boliger adskiller sig derfor ikke mindst på ventilationsprincipperne, så fordele og ulemper kan belyses. Det gælder både overordnet ventilationsprincip og emhætteløsning. Sidstnævnte er angivet i nedenstående tabel.

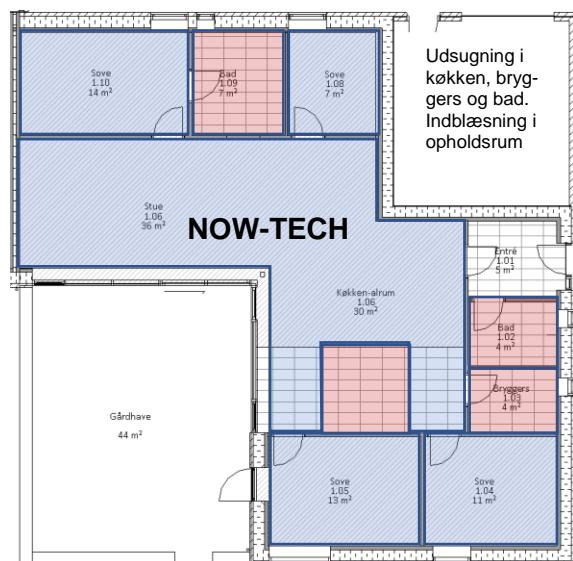
Selv om der er mekanisk ventilation i både NOW- og YES-Tech, er principperne ikke ens. De har forskellige luftmængder og deraf følgende energiforbrug (SEL-værdier). Ydermere medfører intelligent styring i YES-Tech, at friskluften flyttes hen, hvor beboerne opholder sig, mens NOW-Tech's referenceventilation blot opretholder en standardbalanceret ventilation.

	NO-Tech	NOW-Tech	YES-Tech
Ventilationsprincip	Naturlig/Hybrid	Mekanisk	Mekanisk
System	4 solskorstene i forurenede rum (toilet/bad, bryggers og legerum) med indbyggede "Vort Notus" ventilatorer. Bag ovenlysvinduer er udført tung bagmur til lagring af solvarme og øgning af termisk opdrift.	Nilan Comfort 302 Top	Flexit Nordic S4REL 230
Filter (ind / ud)	F7 / Intet	G4 / G4	F7 / F7
Generel luftmængde [l/s]	4 x 8 (CAV)	51	72
Maksimum luftmængde [l/s]	4 x 15 (Forceret)	96	110



# Styringsstrategier for ventilationen

Det er nødvendigt med en robust styringsstrategi for at opnå en effektiv ventilation. Desværre ses det ind imellem, at ventilationsanlæg ikke virker 100 % efter hensigten, og det går ud over beboerne. Typiske årsager kan være luftvejskortslutning mellem indblæsning og udsugning, u hensigtsmæssig brugeradfærd eller forkert indregulering. Forhold, som kan resultere i dårligt indeklima og dermed sundhedsskadelige boligforhold. I Sunde Boliger har der været stort fokus på ventilationsstyringsstrategier og indregulering.



## NOW-Tech

Ventilationsaggregatet Nilan comfort 302 top leverer standard luftmængder til boligen gennem traditionelle friskluftventiler i NOW-Tech huset. I forbindelse med indregulering af ventilationssystemet var der fokus på at sikre en konstant lufttilførsel for at kunne vise forskellen mellem YES- og NOW-Tech, hvad angår afgasning fra byggematerialer. Det viste sig overraskende, at Nilan aggregatets standardventilationsprogram 'for udearbejdende familier' reducerer luftskiftet i boligen, mens beboerne sover, som det fremgår af tabellen.

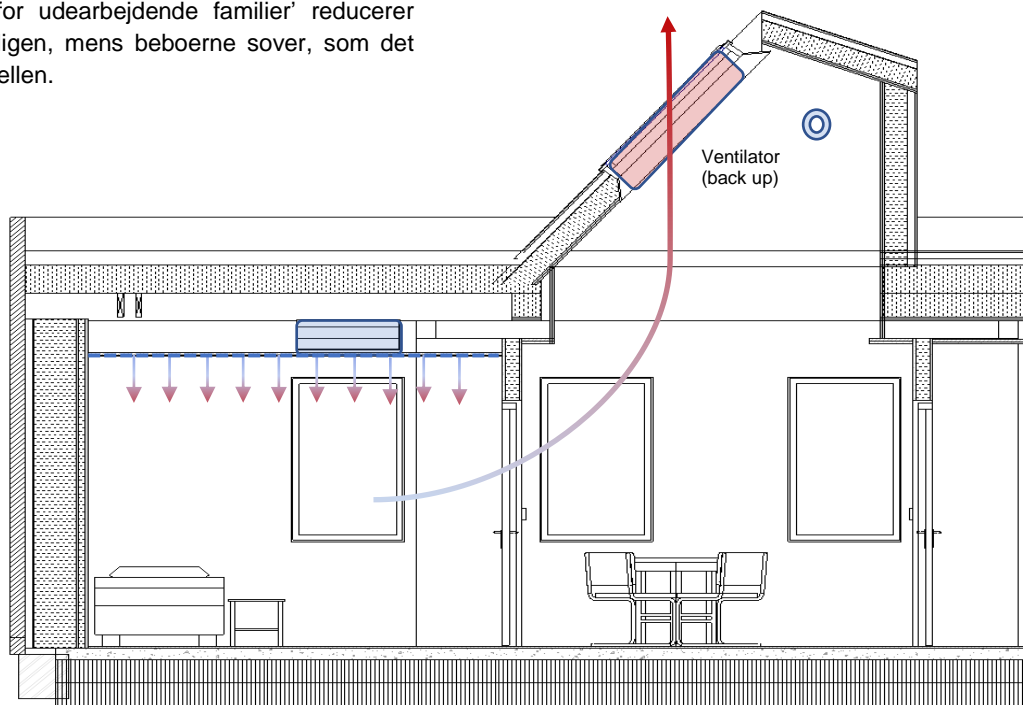
Nilan forklarer, at de har valgt at reducere luftmængderne om natten på grund af kunders tilbagevendende klager over ventilationsstøj. I NOW-Tech huset er vi gået væk fra denne styringsstrategi og har i stedet valgt at køre ventilationen med basisluftskifte og fugtstyring.

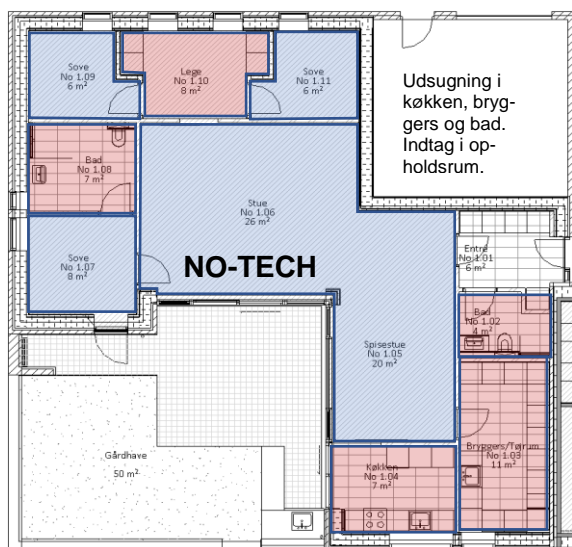
## Nilan aggregatets standard ventilationsprogram for udearbejdende familier

Ugedag	Tidspunkt	Indblæsning	Udsugning
Mandag Fredag	6.00 – 8.00	60 %	57 %
	8.00 – 15.00	25 %	25 %
	15.00 – 22.00	60 %	57 %
	22.00 – 6.00	25 %	25 %
Lørdag Søndag	8.00 – 23.00	60 %	57 %
	23.00 – 8.00	25 %	25 %

## NO-Tech

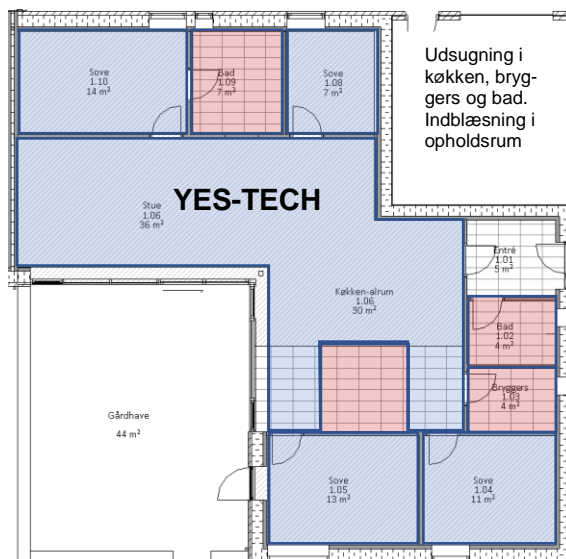
Ventilationsprincippet i det lavteknologiske hus bygger hovedsageligt på naturlig ventilation, hvor solskorstene er drivkraft til at udskifte luften. Solskorstenene har tunge bagmure, opmuret i ubrændte lersten, som med deres høje varmekapacitet kan lagre solvarme og forbedre den termiske opdrift. Dog rummer NO-Tech også nogle små back-up ventilatorer, som kan sikre husets grundluftskifte i tilfælde af svigtende naturlige forhold som f.eks. sol og/eller udendørs vindtryksforhold. Som nedenstående figur illustrerer, trækkes frisk luft ind over et nedhængt loft gennem indtag i facaden, udstyret med tætte højkvalitets F7 filtre. Gennem korte kanalstykker forvarmes luften, før den 'falder ned' gennem de perforerede loftplader som diffus loftindblæsning.





Ellers fungerer NO-Tech som andre BR15 byggerier, hvor overførsel af luft fra et rum til et andet sker fra 'rene' til luftforurenede rum. Der udsuges således fra køkken, bad/toiletter og bryggers, og i NO-Tech desuden også fra legerummet, som her også anses for at være et forurenede rum og derfor indgår på lige vilkår i ventilationsstrategien.

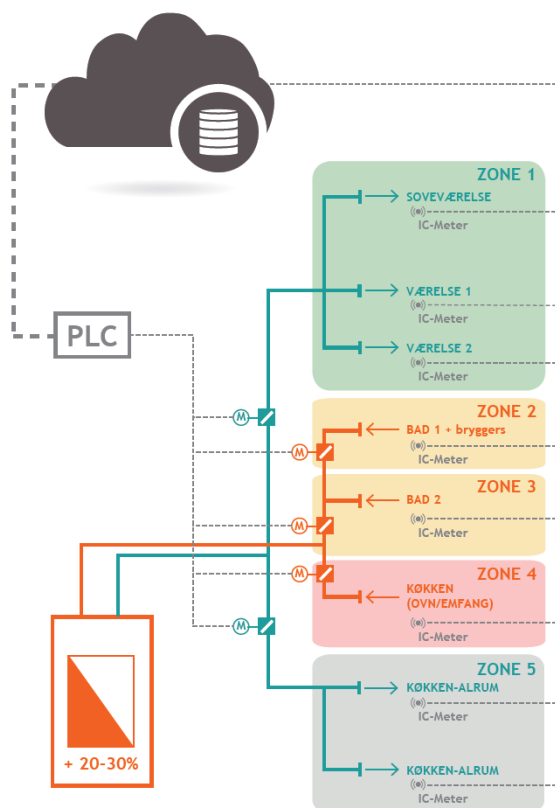
indstilling af spjældet, som effektueres kortvarigt her-efter. Måles der eksempelvis forhøjet CO<sub>2</sub>-niveau i soveværelset, opjusteres luftmængden til værelserne, således koncentrationen bringes ned til et acceptabelt niveau igen.



### YES-Tech

Den højteknologiske bolig imødekommer ventilations-behovet gennem en intelligent styring, hvor luften flyt-tes efter brugerens behov. På baggrund af indeklima-målere, som agerer "sladrehanke", justeres luftmængden til de relevante rum afhængig af, om be-boerne går i bad, laver mad, opholder sig i stuen, so-ver eller andet. I alle rum er installeret indeklima-sensorer, som styrer ventilationen efter både temperatur, CO<sub>2</sub>, støj, relativ luftfugtighed og partikler.

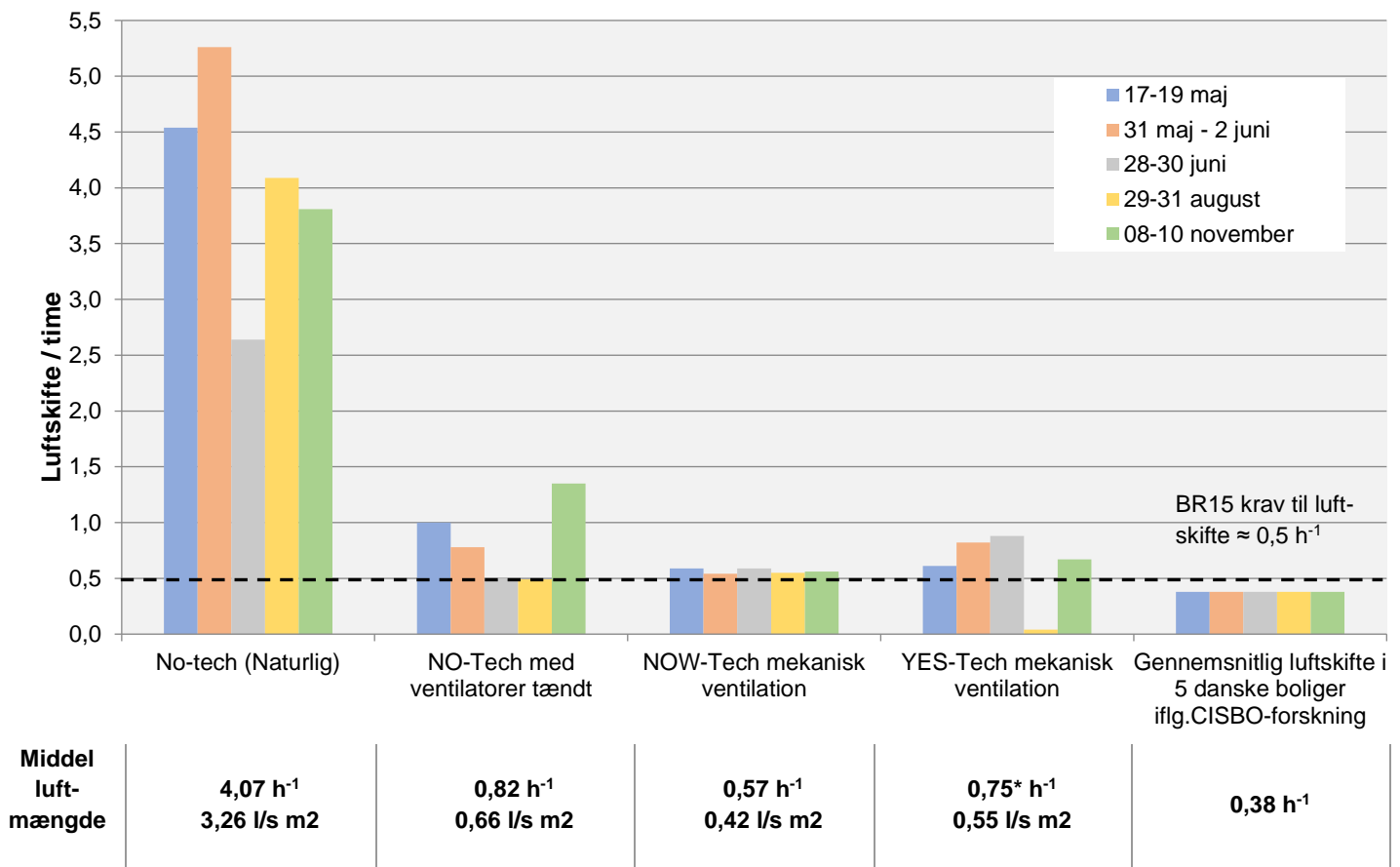
I YES-Tech er der mulighed for at opjustere den ge-nerelle luftmængde med op til 100 % i den enkelte zone. Styringen, som hvert femte minut vurderer de aktuelle indeklimaforhold i opholdszonen, regulerer hermed på luftmængden ud fra den lokale forurening. Som illustreret i styringsdiagrammet, er huset delt op i 5 zoner med individuelle VAV-spjæld, som regulerer indblæsning og udsugning. Reguleringen sker på bag-grund af feedback fra sensorernes afrapportering til styreboksen (PLC). Via algoritmer beregnes den nye



# Luftskiftemålinger

Som indledende del i måleprojektet blev luftskifterne i boligerne kortlagt under standard driftsforhold via dosering af sporgasser, hvis fortynding over tid angiver luftskiftet (PFT-metode). Luftskiftet blev målt med INNOVA 1312 multi-gas monitor og 1303 multiplexer med sporgas R134a. Henfaldsmetoden blev anvendt til at bestemme luftskiftet i husene. For at sikre at den doserede gas var godt opblandet i luften i husene, blev der placeret tre ventilatorer i stuen og én ventilator i hvert af de øvrige rum. Resultaterne, som ses i nedenstående grafer, viser, hvordan YES-Tech ventilationen leverer ca. 50 % mere luft end ventilationen i

NOW-Tech, mens NO-Techs solskorstene og tilhørende ventilatorer generelt viser en høj funktionalitet. Solskorstene i NO-Tech var 50% åbne i forbindelse med luftskifte målinger. Foruden luftskifterne i de 3 boliger, ses også det gennemsnitlige luftskifte målt i 5 forskellige danske boliger i forbindelse med CISBO-forskning. Luftskiftemålingerne understreger, at de ventilationsmæssige forhold grundlæggende var opnået ved måleprojektets begyndelse. Foruden indledende luftskiftemålinger, blev luftskiftene kontrolleret i forbindelse med alle afgasningsmålinger (5 gange).



\*Målinger fra d. 29-31 august er taget ud af gennemsnitsberegningen.







# Emhætters effektivitet

At stege kød på en brandvarm pande frigiver en masse partikler til omgivelserne. Ofte spredt partikler sig mere end nødvendigt. Specielt fine og ultrafine partikler har aerodynamikken til at bevæge sig vidt omkring i hele boligen og udsætte vores helbred for risiko. I YES-Tech huset er kogepladen placeret ind mod væggen, og der er installeret en avanceret emhætte, mens NOW-Tech har en traditionel fritstående kogeø, som vist på nedenstående figur. YES-Tech emhætten, som er koblet på centralventilationsaggregatet, er bygget op af to Thermex Airgrip samt et nyudviklet, indblæst 'lufttæppe', som har til hensigt at afskærme og indfange partikler, der ellers havde undvejet emhættesuget. I NOW-Tech er der installeret en almindelig frithængende emhætte, Thermex Cardiff, med direkte indbygget motor.



Avanceret emhætteløsning fra YES-Tech (til højre) i forhold til standard emhætteløsningen med kogeø i NOW-Tech (til venstre).



NO-Tech husets afskærmede køkken samt udgang til udekøkken.

I NO-Tech er selve indretningen brugt som et middel til kontrol af partikler. Køkkenet er afskærmet fra spise/opholdsområdet via glasdør, som vist på ovenstående billeder. Princippet er at isolere partikelemissionerne i køkkenet, og lade resten af boligen undgå partikelpåvirkningerne. Emhætten installeret i NO-Tech er Thermex Metz Mini.

## Luftmængder

Emhættterne blev indledningsvist undersøgt i forhold til deres udsugningsevne. Via Testo måleudstyr registreres luftstrømme, som illustreret på billedet, hvor den forurenede luft ledes igennem tragten, som i kombination med en lufthastighedsprobe kan angive det specifikke luftflow.

Både NOW- og NO-Tech emhættterne er udført med interne ventilatorer og direkte afkast. I YES-Tech er der installeret VAV-spjæld med indreguleringsmulighed på emhætte, som er koblet på centralaggregatet.

I nedenstående tabel ses typerne af emhætter med tilhørende teoretiske luftmængder versus de målte luftmængder. Mest overraskende var emhætten i NOW-Tech, som leverede langt under forventet niveau.



Måling af luftmængde

### No-Tech

### NOW-Tech

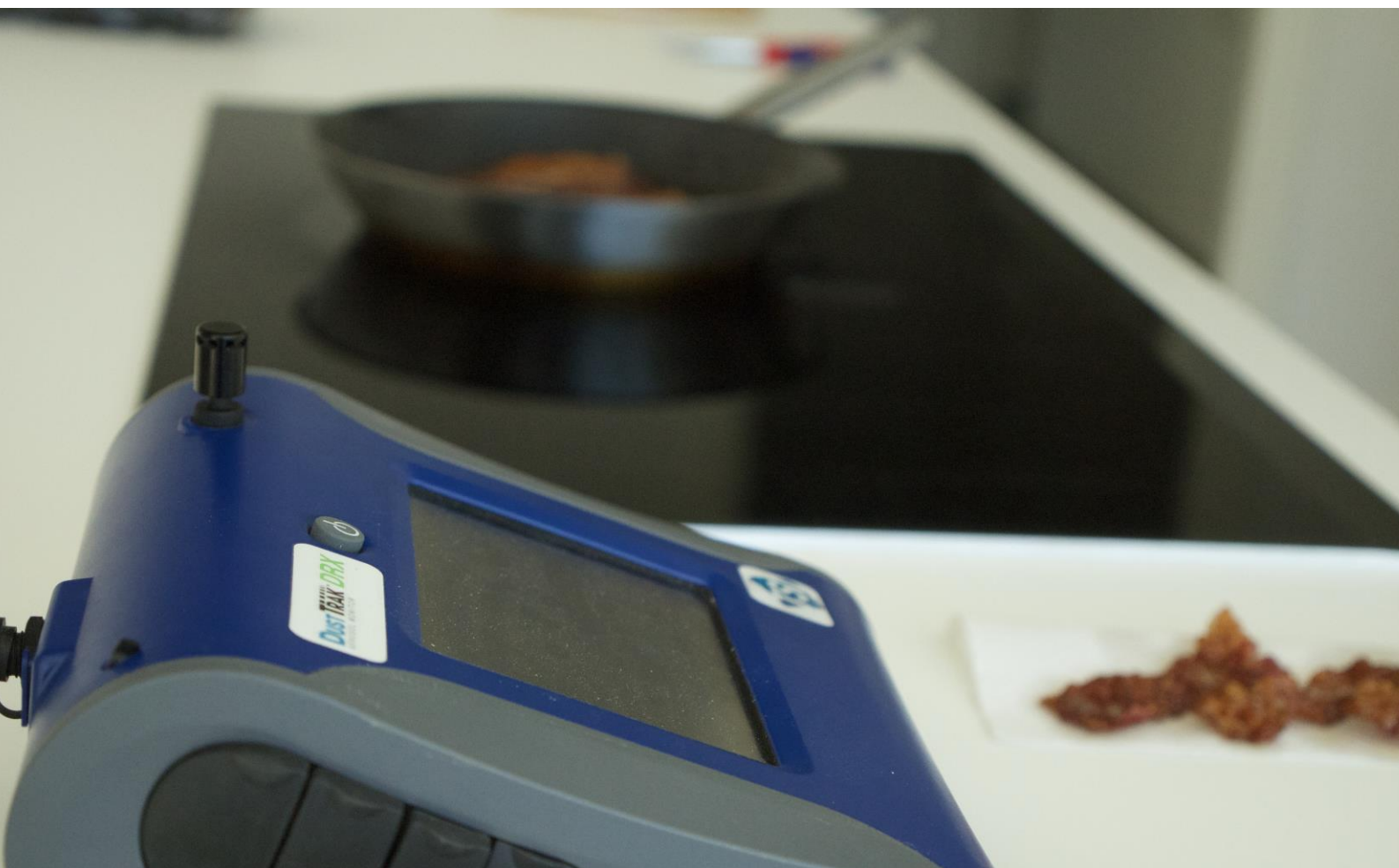
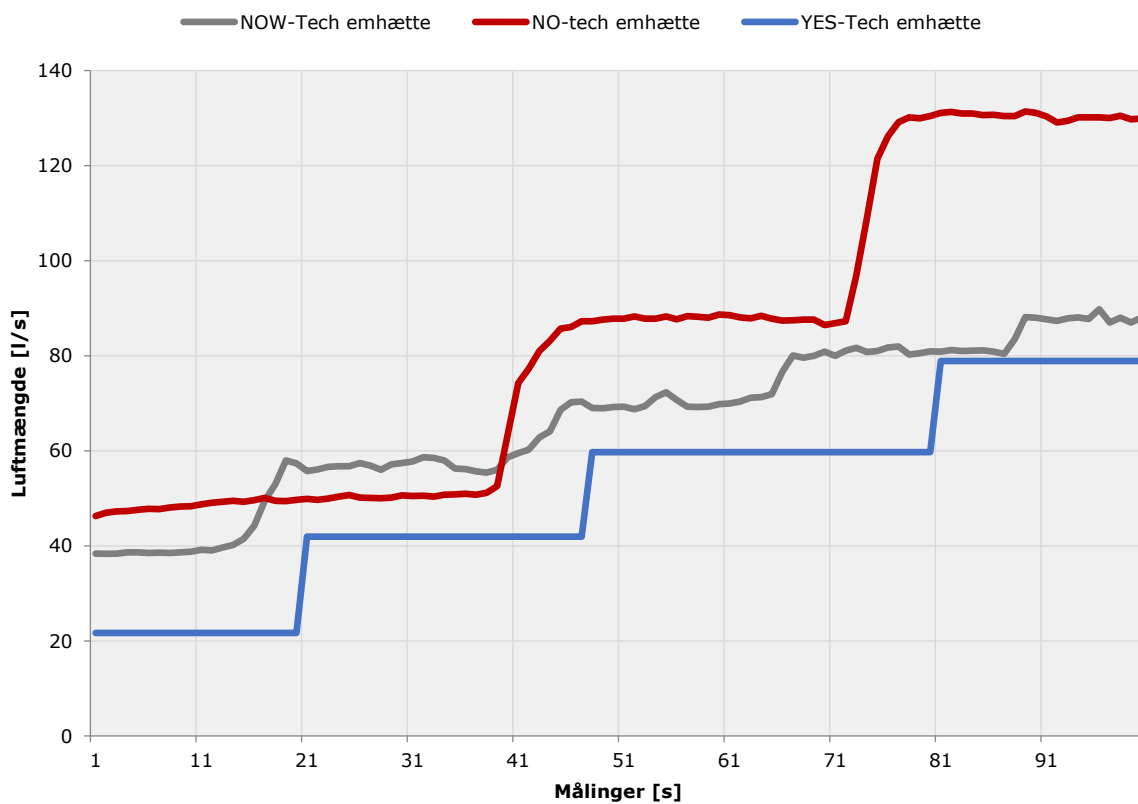
### YES-Tech

Emhættetype	Thermex – Metz Mini	Thermex – Cardiff	Thermex – 2 x Airgrip (central)
	<b>Teoretiske luftmængder (datablad)</b>		
Min luftmængde [l/s]	33	74	40
Maks luftmængde [l/s]	85	170	80
	<b>Målte luftmængder</b>		
Min luftmængde [l/s]	50	39	40
Maks luftmængde [l/s]	130	90	80



Nedenstående graf viser emhætternes trinvisse performance i NOW- og NO-Tech til sammenligning med YES-Tech emhætten, som eksempelvis kan indreguleres til at levere præcis 80 l/s. Som det fremgår af grafen, er NO-Tech testet ved 3 indstillinger, hvor performanceevnen stiger fra ca. 50-130 l/s. NOW-Tech

emhætten flader en del mere ud og kan ved alle 5 steps performe mellem 40-90 l/s, altså en del mindre end forventet. Målingerne af emhætternes flow var, foruden en kontrol af emhætternes teoretiske ydeevne også en nødvendig indledende manøvre for at kunne sammenholde forsøgene med stegepartikler.



# Ventilationsprincippernes energiforbrug

De tre forskellige ventilationsstrategier repræsenterer også fordele og ulemper, hvad angår energiforbrug. At variere på eller til/fravælge parametre såsom ventilationsfilter, varmegenvinding, kanalstørrelser eller ventilationsmængder har stor betydning for bygningens elforbrug, men også varmeforbruget. De tre ventilationsløsningers reelle indflydelse på energiforbruget er blandt andet afhængig af brugeradfærd, hvorfor der ikke entydigt kan svares på meromkostningernes størrelse. Ikke desto mindre indikerer nedenstående tabeller nogle umiddelbare forskelle på ventilationsløsningernes el- og varmeforbrug.

## Elforbrug

SEL-værdien angiver energiforbruget pr. m<sup>3</sup> luft, som tilføres boligen. Det er vigtigt at understrege, at der kun er tale om elforbrug i nedenstående tabel, hvorved der ikke er taget hensyn til varmevekslerens indvirkning over tid og omkostningerne hertil. En af de vigtigste pointer fra nedenstående tabel er, at det ikke nødvendigvis koster en hel masse at øge ventilationsmængden 50 % samt sikre en bedre luftkvalitet med brug af finere luftfiltre. Den endelige styring af YES-Tech aggregatet er stadig under udvikling, hvorfor energiforbruget forventes at blive endnu mindre, fordi aggregatet dermed lukker ned i perioden, hvor beboerne ikke er hjemme. Med overvågning af indeklimaet, således at der ikke forekommer skade på konstruktionerne, samt en dispensation fra kommunen til at gå

under de obligatoriske 0,3 l/s m<sup>2</sup> bolig, går ventilationsaggregatet på "standby" indtil beboerne vender tilbage sammen med belastningen. I YES-Tech vil der være situationer, hvor boligen kalder på mere luft, hvilket resulterer i et eksponentielt stigende tryktab i kanaler. Som det ses i tabellen, stiger SEL-værdien for YES-Tech aggregatet, lige så snart der forceres op til fuld kraft. Det skal dog understreges, at ventilationen kun vil yde maksimum, når der forekommer store belastninger i flere af boligens opholdsrum samtidig. Dermed forventes den samlede årlige omkostning for ventilation i YES-Tech at være stærkt afhængig af brugernes tilstedeværelse og brugeradfærd.

	NO-Tech	NO-Tech (forceret)	NOW-Tech	YES-Tech	YES-Tech (forceret)
<b>SEL-værdi [J/m<sup>3</sup>]</b>	382	457	681	811	2235
<b>Øre pr. time luft</b>	0,8	1,1	7,0	13,3	50,5
<b>Omkostning ved drift i 1 år [DKK]</b>	71	99	609	1.165	4.427

## Varmeforbrug

Når NO-Tech husets ventilatorer bruger meget lidt el, er det på bekostning af noget andet. Naturlig ventilation eller udsugningsventiler uden varmegenvinding resulterer i ekstra omkostninger til opvarmning. I nedenstående skema ses varmeforbruget til de 3 boliger

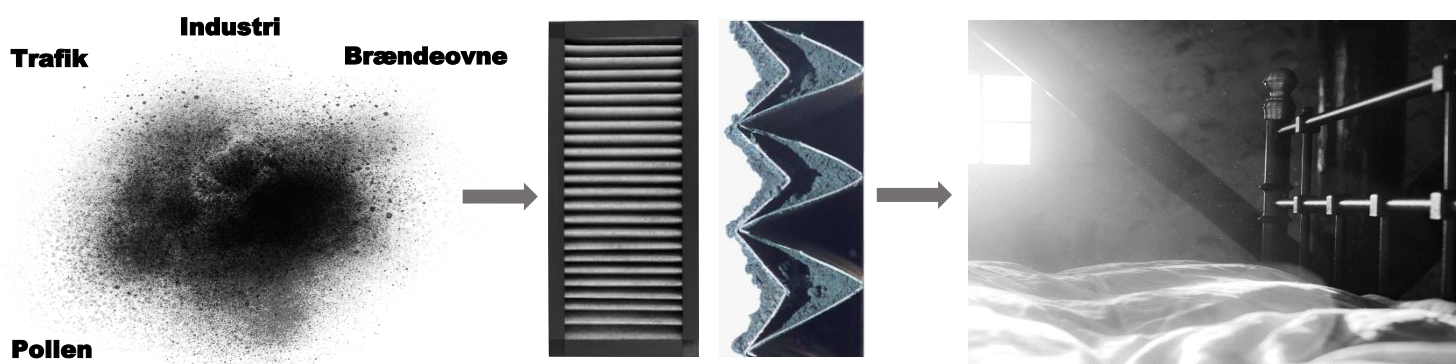
i december måned, hvor det er tydeligt, at valget af udsugningsventilator uden varmegenvinding koster på varmeregningen.

	NO-Tech	NOW-Tech	YES-Tech
<b>Varmforbrug i december måned 2017 [kWh]</b>	2.278	1.301	1.277
<b>Cirka varmeregning for december 2017 [DKK]</b>	1.595	911	894

# Ventilationsfilterets betydning for indeklima og energiforbrug

Ventilationsfiltrets tæthed betyder en verden til forskel for kvaliteten af den luft, vi indånder. Den udendørs partikelkoncentration og den kemiske sammensætning heraf varierer geografisk, så der ikke overraskende forekommer højere niveauer i bymidter og oftest mildere partikelkoncentrationer i naturområder væk fra industri og trafik. Ventilationsfilteret er det eneste, som beskytter beboere fra eksempelvis dieselskøretøjers udstødning; en kemisk cocktail, hvor flere af stofferne kategoriseres som kræftfremkaldende.

I forbindelse med den stadigt igangværende jagt på energieffektivitet i nybyggeriet er der et stort behov for at genoverveje, hvorvidt det kan betale sig at spare energi ved at anvende en lavere filterkvalitet. Et dårligt filter kan have indflydelse på en vekslers virkningsgrad, hvorfor man ikke direkte kan sige, at det mindre tryktab gennem eksempelvis G4-filter er en gevinst i det samlede energiregnskab. En belægning på lamellerne i en varmeveksler skaber nærmest et isolerende lag, som mindsker varmegenvindingen. Ifølge specialist hos filterfirmaet Camfil A/S er omkostningerne ved brug af G4-filtre i forhold til F7-filtre ofte større som følge af vekslerens dalende funktion over tid.



## Ventilationsfiltre i Sunde Boliger

I NO-Tech huset er der placeret specialfremstillet kompaktfilter i indtagene bag ristene, som leder udeluften ind over loftet. Filterne er fremstillet ekstra store for at sikre en lav lufthastighed og dermed et lavt tryktab, så ventilationen af huset kan ske naturligt.

I NOW-Tech har ventilationsaggregatet en almindelig modstrømsveksler med G4-panelfiltre på hver side af veksleren til at opsamle det værste snavs. En typisk løsning som ses i langt de fleste nye boligbyggerier.

Aggregatet i YES-Tech har rotorveksler samt finere/tættere F7-kompaktfiltre monteret på både indtag og udsugning.

For at sammenligne ventilationsfiltrenes betydning for SEL-værdien viser nedenstående tabel, hvordan forskellige luftmængder og filtre har indflydelse på det samlede system. Det betyder med andre ord marginalt at opgradere fra et dårligt til et godt filter rent energimæssigt.

Beskrivelse	Filterklasse	Filtertype	Tryktab gennem filtre	SEL-værdi	Drift omkostninger	Ekstra drifts udgifter	Vurderet Filterpris
	Ind/ud	(Tykkelse)	Pa	J/m <sup>3</sup>	Kr. pr. år	Pr. år	pr. skift
Luftmængde gennem aggregat: 184 m <sup>3</sup> /h							
Standard filter	G4/G4	Planfilter (25 mm)	12+12	681	609	0 kr. (0%)	55 kr.
Pollenfilter i indtag	F7/G4	Panelfilter (48 mm)	19+12	715	640	+ 31 kr. (+ 5,1%)	350 kr.
Pollenfilter i indtag	F7/G4	Panelfilter (96 mm)	10+12	671	600	- 9 kr. (- 1,5%)	450 kr.
Pollenfilter i indtag + udsugning	F7/F7	Panelfilter (96 mm)	10+10	662	593	- 16 kr. (- 2,6%)	800 kr.

# Indeklimahjulet

**Indeklimahjulet** er et resultat af de indledende arbejder med Sunde Boliger. Det er et bud på en kortlægning af de komfort- og helbredscompromitterende indeklimaforhold, som vi møder i vores boliger, hvor vi opholder os en stor del af vores tid.

Hjulet har særligt fokus på at vise, at indeklimapåvirkningerne ikke blot består i de forhold, vi oplever med vore sanser, men også 'usynlige' – men nogle gange farligere – forhold: Farlig radongas fra undergrunden, aktivitetsskabte partikler og afgasninger fra byggematerialer er blandt nogle af de usynlige påvirkninger, som vores kroppe udsættes for dagligt.

Med udgangspunkt i indeklimahjulet er der udført en lang række målinger og forsøg, som tester Sunde Boligers indeklimateknologiske styrker og ulemper. I det følgende gennemgås uddrag af de mange resultater.









# Afgasning fra materialer

Eksposering for byggematerialers afgasninger er mere eller mindre uundgåeligt i en moderne hverdag. Vi udsættes konstant for diverse kemiske cocktails i vores boliger. Kompositionerne af afgasninger afhænger af vores valg af byggematerialer og inventar, som individuelt kan have indflydelse på rumluftens koncentration af flygtige organiske stoffer. I Sunde Boliger har der været fokus på at imødegå afgasninger fra byggematerialer på forskellig vis. Forsøgene etablerer en 'baseline' for de ubeboede huse, som vil blive spændende på sigt at sammenligne med boligerne i fuld beboet funktion med inventar, legetøj og alle de andre ting, der hører til et hjem. Hvad fylder mest?

## Udfordring

Afgasninger fra byggematerialer kan påvirke vores helbred og velvære. Flygtige organiske stoffer (Volatile Organic Compounds; VOC'er) afgives fra diverse byggematerialer ud i rumluften, vi som beboere indånder. VOC'erne kan også optages i støvpartikler, der siden deponeres i lungerne. Forskellige stoffer i kombination kan medføre såkaldte cocktaileffekter; de kan reagere med hinanden og potentielt skabe nye, farlige enkeltstoffer. Eksposering for VOC'er kan resultere i symptomer som høfeber, astma og forværring af børneeksem. I nogle tilfælde kan tilstrækkelige mængder af de luftbårne kemikalier endda medføre fatale sygdomme som kræft. Udfordringen ligger blandt andet i, at de fleste farlige enkeltstoffer, som florerer i rumluften, sagtens kan være til stede, uden at brugeren kan fornemme eller lugte det. Omvendt finder man ofte nogle ufarlige enkeltstoffer i helt nyt byggeri, som medfører lugtgener, der kan give anledning til kvalme og hovedpine.

## Løsning

I YES-Tech huset er der indbygget zoneopdelt mekanisk ventilation, og her tilstræbes en bedre, samlet luftkvalitet – og dermed også stoffer fra afgasninger – ved hjælp af en forøget udskiftning af luften. I NO-Tech huset anvendes naturlig ventilation (solskorstene) og kildekontrol, hvilket med andre ord er et forsøg på at eliminere problemet, før det overhovedet opstår. I dette hus er byggematerialer valgt, så de så vidt muligt er fri for afgasning af skadelige stoffer og i vid udstrækning er 'naturlige', f.eks. træ, sten, ler og naturmaling, hvorved den kritiske afgasning af skadelige kemiske stoffer er minimeret. Desuden søger NO-Techs indretning at fremme en mere indeklimavenlig anvendelse. Eksempelvis er børneværelser opdelt i separate rum, hvor der henholdsvis soves og leges. Med potentielt farlige forbrugerprodukter som legetøj og elektronik anbragt i legeværelset uden for soverummene, undgår børnene at indånde afgassende kemikalier som ftalater, flammehæmmere eller kemiske reaktionsprodukter, som eksempelvis opstår mellem støv og duftstoffer fra rengøringsmidler.



# Afgasning fra materialer

Afgasninger og kemikalier optræder i mange facetter af vores hverdag, hvor de påvirker vores sundhed og velvære. Hvad end det drejer sig om uorganiske gasser eller flygtige organiske stoffer, er det uundgåeligt at blive udsat for afgasninger, som stammer fra alverdens forbrugervarer og byggematerialer, såvel som brugerstyrede aktiviteter som f.eks. madlavning eller

print på papir. Byggematerialer er ofte behandlet med diverse kemikalier i bestræbelse på at optimere produktets holdbarhed, styrke eller udseende. Byggematerialernes indhold af diverse kemiske sammensætninger afgasser derfor i langt de fleste nybyggerier stadig lang tid efter indflytning – også i boliger.

## Afgasningsforsøgene i Sunde Boliger

Der blev i perioden fra medio maj 2017 til primo november 2017 udført målinger af indendørs afgasninger fra byggematerialerne i Sunde Boliger. Der blev udført 5 målinger med følgende intervaller:

- 1) Ved aflevering
- 2) Efter 14 dage
- 3) Efter 42 dage
- 4) Efter 107 dage
- 5) Efter 175 dage

For alle tre huse blev der målt afgasninger i stue, soveværelse, bad, entré, bryggers og køkken, så alle rumtyper blev repræsenteret.

### Formål og hypoteser:

I Sunde Boliger har der været et udvidet fokus på afgasninger, blandt andet for at belyse, hvorvidt den gængse nybygger i virkeligheden har et problem ved brugen af almindelige byggematerialer, eller om det i realiteten er lige gyldigt, hvorvidt man tilvælger "øko-logiske" byggematerialer. Følgende *hypoteser* lå forud for måleprojektets igangsættelse:

- Afgasningerne fra byggematerialer i husene er generelt lavere i NO-Tech, fordi der har været udvidet fokus på valg af mindre afgassende og færre byggematerialer.
- De allergene stoffer MI kan måles i både NOW-Tech og YES-Tech, fordi der er anvendt standard-maling i husene. Modsat forventes det ikke at finde MI i NO-Tech, fordi der er anvendt en speciel linoliebaseret naturmaling.
- Den forøgede ventilation i YES-Tech vil resultere i et lavere belastningsniveau fra afgasninger, sammenlignet med NOW-Tech, som er bygget af lignende materialer, men har et lavere luftskifte.

- Den generelle belastning fra afgassende byggematerialer falder over tid.

### Målemetode

Afgasning fra byggematerialerne blev målt med PTR-MS (proton-transfer-reaction mass spectrometry). Forud for de første målinger med PTR-MS blev der udtaget adsorptionsrør til analyse på TD-GC-MS (thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry) med henblik på identificering af kemiske forbindelser målt med PTR-MS. På hver måledag blev der over en periode på 20 minutter foretaget en scanning i hvert rum, uden for husene og på et kulfilter. Målingerne på kulfilteret blev anvendt til at estimere den instrumentelle baggrund og blev fratrukket målingerne i hvert rum samt udenfor. Målingerne på kulfilteret blev endvidere anvendt til at estimere detektionsgrænse for hver masse. Målingerne uden for husene blev anvendt til at vurdere baggrundsbidraget i indsugningsluften til husene.



PTR-MS instrumentet blev placeret i stuen og var forbundet til de enkelte rum, udenfor og kulfilteret ved hjælp af 1/8" Teflon slanger. I rummene blev slangerne placeret midt i rummet ca. 0,5 m over gulvet. Teflonslangerne blev samlet i en 10-vejs ventil (VICI, Houston, TX, USA), som sørgede for at skifte mellem målepunkterne. Flowet i slangerne var ca. 200 ml/min. I forbindelse med målinger blev dørsprækkerne forseglet med tape for at opnå uafhængige målinger for det enkelte rum. Forseglingen blev fjernet efter hver måledag.

## Resultater

På baggrund af de indledende GC/MS målinger blev der identificeret en række kemiske forbindelser i de tre huse. De kemiske forbindelser, der blev identificeret i de tre huse var generelt de samme og var primært tilhørende de stofgrupper, som er angivet i nedenstående tabel. Det bør understreges, at der kan have forekommet kemiske forbindelser i husene, som ikke er opsamlet i en tilstrækkelig kvantitativ mængde på

adsorptionsrørene. Overordnet set repræsenterer listen i nedenstående tabel de kemiske forbindelser, man kan forvente at finde i Sunde Boliger. Blandt andet på baggrund af Astma Allergi Danmarks øgede fokus på MI, som værende storsynder i forhold til udvikling af allergi hos mennesker, blev boligerne endvidere kontrolleret for MI i husene, men disse kemiske forbindelser blev ikke detekteret.

Tabellen viser, foruden de identificerede stoffer, også nogle forskellige grænseværdier for luftens indhold af de kemiske forbindelser: *Arbejdstilsynets* grænseværdier anses som værende fastsat ud fra sundhedsmæssigt hensyn, der er baseret på aktuel viden om stoffernes virkning. *Yoshio Nagata* har gennem et større studie fastsat lugttærskelværdier, som ikke nødvendigvis er højere end grænseværdierne for de sundhedsmæssige hensyn. Endelig nævnes sundhedsmæssige grænseværdier fastsat af den tyske miljømyndighed *Umweltbundesamt* og af *Europa-kommissionen*.



STOFGRUPPE	KEMISK FORBINDELSE	ARBEJDS-TILSYNET	YOSHIO NAGATA	UMWELTBUNDE-SAMT	EU - LCI VALUES
		Grænseværdi <sup>a</sup> µg/m <sup>3</sup>	Lugttærskelværdi <sup>b</sup> µg/m <sup>3</sup>	Guide Value I <sup>c</sup> µg/m <sup>3</sup>	Grænseværdi <sup>d</sup> µg/m <sup>3</sup>
ALDEHYDER	Formaldehyd	400	613	100	100
	Acetaldehyd	45.000	3	100	1.200
	Furfural	7.900		10	N/A
	Benzaldehyd			20	N/A
ALKOHOLER	Methanol	260.000	43.183	N/A	N/A
	Ethanol	1.900.000	978	N/A	N/A
	1-butanol	1.500	33	700	N/A
	Benzylalkohol			400	440
	2-butoxy-ethanol	97.000	207	100	1.600
BENZENER	2-phenoxy-ethanol			N/A	60
	2-(2-butoxy-ethoxy)-ethanol			400	600
	Benzen	1.600	8.612	N/A	N/A
	Toluene	94.000	1.242	300	2.900
	Styren	105.000	149	30	250
	Naphthalen	50.000		10	10
	2-methylnaphthalen			10	N/A
CARBOXYLSYRER	1,4-dichlorobenzen	60.000		N/A	150
	Eddikesyre	25.000	15	N/A	1.200
	Pentansyre			N/A	N/A
KETONER	Acetone	600.000	99.616	N/A	N/A
	2-butanon	145.000	1.295	N/A	20.000
	Cyclohexanon	40.000		N/A	410
	Benzophenon			N/A	N/A
PHENOLER	Phenol	4.000	22	20	N/A
TERPENER	Terpener (α-pinen, camfen)	145.000		1.000	2.500

Identificerede kemiske forbindelser i NO-, NOW- og Yes-Tech husene ved brug af GC/MS. <sup>a</sup>At-Vejledning, stoffer og materialer – C.0.1. Grænseværdier for stoffer og materialer. Arbejdstilsynet, august 2007; <sup>b</sup>Yoshio Nagata (2003): Measurement of odor threshold by triangle odor bag method. Udgivet i: Odor measurement review, Ministry of the Environment, Government of Japan. <sup>c</sup><DL>: Under detektionsgrænse. <sup>d</sup>Guide values er angivet med udgangspunkt i den tyske miljømyndighed "Umweltbundesamt". <sup>e</sup>Europa kommissionen "Agreed EU-LCI values (December 2016)"

## Måleperiodens indvirkning

Byggematerialer afgasser generelt over tid, og nedenstående afgasningsgraf er selvfølgelig afhængig af, hvornår husene er blevet færdige til aflevering. Det kan betyde meget, hvornår der eksempelvis er malet eller lagt sidste hånd på fugearbejdet. Grafen har derfor forskudte måletidspunkter, da husene af logistiske årsager ikke kunne afleveres på præcist samme tidspunkt; der har på den baggrund været udvidet fokus på, hvornår de forskellige bygningsdele stod færdige, så afgasningsmålingerne kunne sammenlignes bedst muligt.

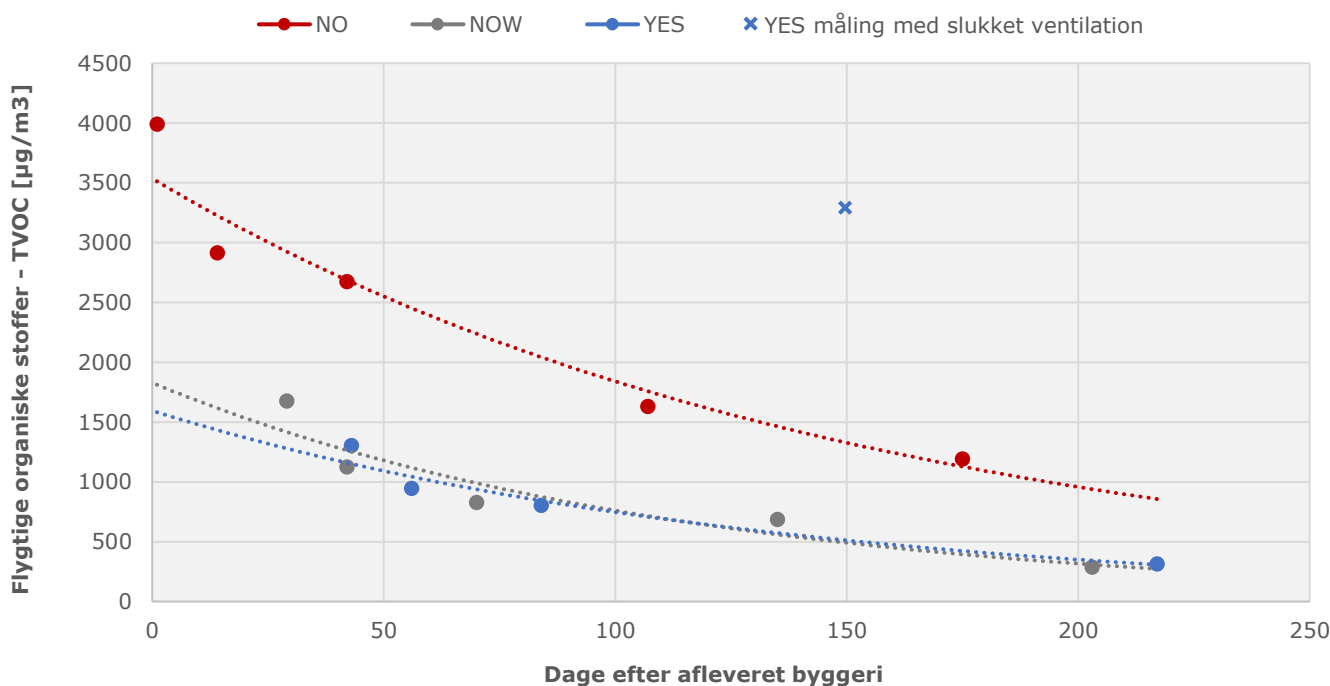
I forbindelse med måleforsøgene stod husene tomme, og det har unaturligt forlænget perioden før indflytning. Normalt vil beboerne flytte ind allerede inden for den første måneds tid og ikke efter 175 dage, hvor mange enkeltstoffer efterhånden er på så lavt niveau, at de ikke længere kan registreres. Vi har derfor – set i forhold til en realistisk situation - manglet beboernes hverdagsliv i husene, hvor de åbner vinduer og døre osv., hvilket formentlig ville have fået afgasningerne til at forekomme noget hurtigere. Alligevel kan nedenstående graf bekræfte, at byggematerialer i stor grad fortsat afgasser i perioden, *efter* man normalt flytter ind i et nybyggeri. Derimod står det stadig uklart, hvordan afgasningskurverne ser ud, når beboerne flytter ind med diverse inventar og forbrugerprodukter. Måske er denne betydning langt større.

## Flygtige organiske stoffer i Sunde Boliger

Indledningsvist skal det understreges, at nærværende resultater ikke kan sammenholdes med en standard GC/MS måling af VOC'er, fordi der i nærværende projekt blev anvendt PTR/MS til målingerne, som generelt identificerer en bredere mængde af flygtige organiske stoffer. I nedenstående figur ses de samlede mængder af VOC'er registreret på de forskellige måledage. Overraskende var der langt flere flygtige organiske stoffer at spore i NO-Tech sammenlignet med de andre boliger.

Den generelle tendens viser, at emissionerne falder over tid som forventet. Ventilationen i YES-Tech var på måledag 149 ude af funktion, hvilket illustrerer vigtigheden af ventilation i forhold til bortskaffelse af emissioner.

På alle måledage var der kun et begrænset baggrundsbidrag, og det var primært methanol, ethanol, acetaldehyd, acetone og eddikesyre, der blev målt i baggrundsluften. Resultaterne for afgasning i husene viser generelt, at koncentrationen af de kemiske forbindelser var faldende fra måledag 1 ved aflevering af huset og frem til måledag 5 efter ca. 6 måneder. Dog ses tydeligt den markante stigning i koncentrationen for YES-TECH på 4. måledag, hvor ventilationssystemet var ude af drift (markeret i nedenstående med kryds).



Total antal flygtige organiske stoffer i de individuelle boliger på de forskellige måledage.

## Registrerede enkeltstoffer i Sunde Boliger

Nedenstående fire grafer viser nogle udvalgte enkeltstoffers afgasningskurver. TVOC-værdien (totalt indhold af VOC'er) for boliger kan give et overordnet billede af indeklimaet, mens enkeltstoffer giver den specifikke indikation af, hvor sundheds-kompromitterende emissionerne i virkeligheden er. Hver søjle i nærværende grafer afspejler gennemsnittet for de individuelle boliger baseret på 6 målinger i diverse rum.

Udover 1-Butanol og eddikesyre var også pentansyre, terpen og acetaldehyd over lugttærskelværdien i alle tre huse på måledag 1. På sidste måledag var det dog kun acetaldehyd og eddikesyre, som lå over lugttærsklen i alle boliger. At lugttærsklen er overskredet, betyder ikke nødvendigvis at niveauet er sundhedsskadeligt, men lugtgener kan give anledning til hovedpine og svimmelhed og dermed ringere komfort.

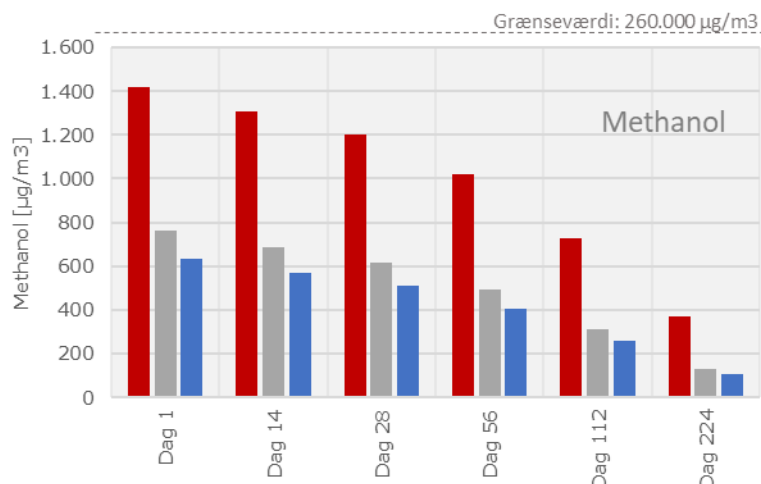
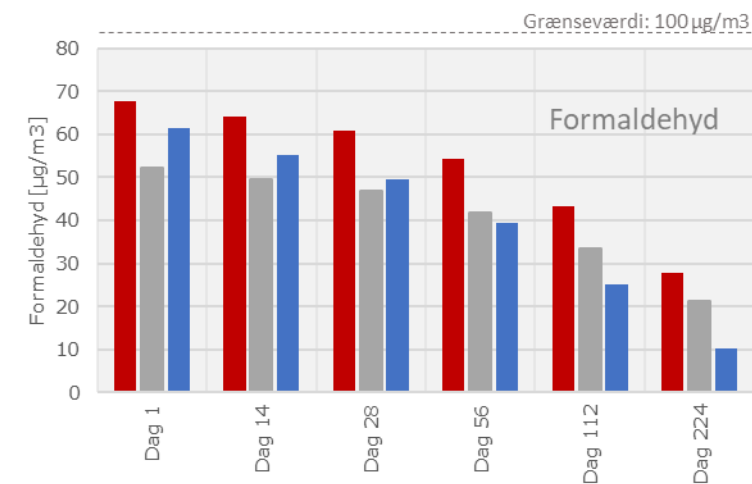
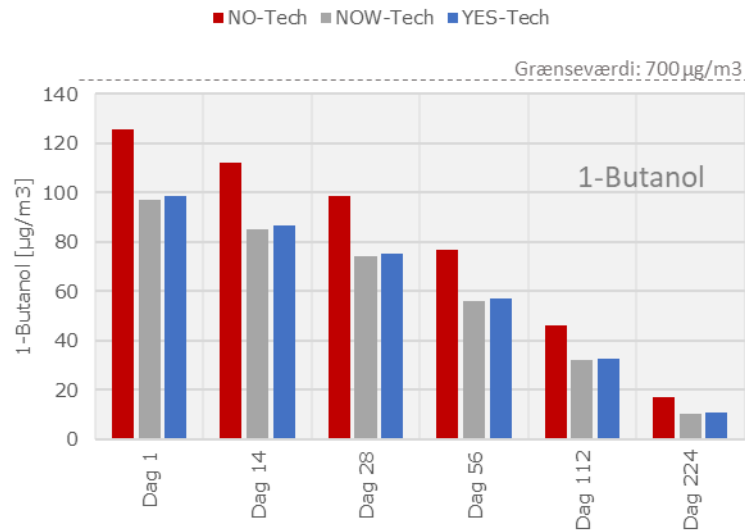
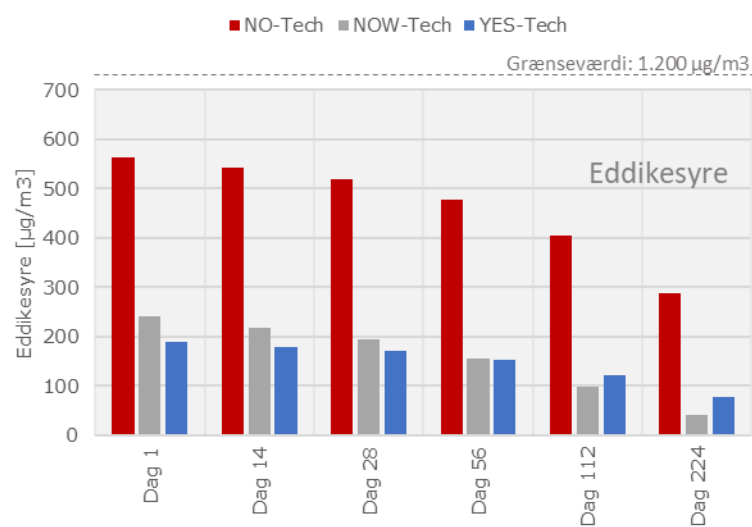
Ingen af koncentrationerne i de tre huse overskrider de sundhedsmæssige grænseværdier fra Arbejdstilsynet, og kun i NO-Tech husets ene værelse var koncentrationen af formaldehyd i nærheden af grænseværdien på måledag 1 (ca. 50 % af Arbejdstilsynets grænseværdi). Sammenlignes der til gengæld med kommissionens EU LCI liste og de tyske ret-

ningslinjer, var grænseværdierne for nogle enkeltstoffer overskredet. Formaldehydniveauet i NO-Tech var eksempelvis overskredet med 78 % i værelse 1.09 på måledag 1.

## Afgasningsforløb for udvalgte kemiske forbindelser

I nedenstående skema er afgasningerne vist for de kemiske forbindelser formaldehyd, eddikesyre, 1-Butanol og methanol. Mod alle forventninger var der større afgasning at spore i NO-Tech i forhold til de andre huse. Der var højere koncentrationer af de kemiske forbindelser i alle seks rum i NO-Tech huset sammenlignet med NOW- og YES-Tech huset. For alle tre huse er det dog tydeligt, at der sker et fald i koncentrationen over måleperioden. For NO-Tech huset er niveauet på måledag 5 i flere tilfælde omtrent på niveau med de andre huse ved måledag 1.

I NO-Tech huset var det særligt i soveværelset, badeværelset og entreen, hvor der var høje koncentrationer af disse kemiske forbindelser. I køkkenet i NO-Tech huset var der endvidere høje koncentrationer af methanol og eddikesyre. På denne baggrund er der igangsat yderligere undersøgelser af materialernes afgasning.



# Materialeafgasningers betydning

Man ser generelt forholdsvis få målinger af methanol i indeklimaet, hvilket skyldes, at de typiske målemetoder til indeklima, i modsætning til PTR-MS (som er anvendt i Sunde Boliger), ikke er velegnet til kvantificering af methanol. Methanol afgives bl.a. fra træ og træbaserede produkter, men kilderne er ikke så grundigt kortlagt. I målingerne foretaget i Sunde Boliger er eddikesyre det stof, der har den næsthøjeste koncentration. Acetone forekommer ligeledes i forholdsvis høje niveauer, men udgør hverken en sundhedsrisiko eller en lugtgene.

Koncentrationerne af stoffer faldt generelt i rækkefølgen NO-Tech > NOW-Tech > YES-Tech. Dette er i nogen grad overraskende, da NO-Tech huset både er udført med byggematerialer valgt ud fra netop fokus på lav eller ingen afgasning, og har det højeste målte luftskifte. Dermed er afgivelsen af VOC'er for NO-Tech reelt endnu højere i forhold til de øvrige to huse, idet afgivelsen (emissionen) er lig koncentrationen ganget med luftskiftet.

## Evaluering af enkeltstoffernes oprindelse

Koncentrationerne af eddikesyre i NO-Tech var også langt under grænseværdien for arbejdsmiljø, men til gengæld, i de fleste tilfælde, over lugttærskelværdien, hvilket betyder, at eddikesyre kan bidrage til lugtgener. Koncentrationen var i flere tilfælde mere end 10 gange over lugttærskelen, der defineres som den koncentration, hvor stoffet lige nøjagtigt kan erkendes af halvdelen af en gennemsnitsbefolkning. Eddikesyre frigives bl.a. fra træplader, visse typer plast og træ, herunder varmebehandlet træ. Eddikesyre anvendes desuden i visse typer fugemasse. Da eddikesyre forekommer i kombination med andre lugtstoffer (se nedenfor), kan man ikke forvente, at man kan genkende den karakteristiske lugt af eddikesyre som rent stof. Eddikesyre forekommer i alle typer rum, og afgivelsen aftager kun langsomt over tid. Af andre stoffer, der bidrager til lugtgener, bør nævnes enkeltstoffet pentansyre, som forekom i koncentrationer væsentligt over den forholdsvis lave lugttærskelværdi. Kilderne til pentansyre er mindre velkendte.

## Linolie i indeklimaet

Linolie er et naturprodukt, som udvindes fra hørplanten via presning eller ekstraktion. Man anvender blandt andet linolie, som træbeskyttende middel, fordi molekylerne i linolie kan trænge ind i træets porer. Når linolie hærdner, udvider det sig op mod 20 %, hvilket presser træets porer sammen og skaber en stærk træoverflade, der har sværere ved at optage fugt. Spørgsmålet er så, om naturproduktet er det rigtige valg i forhold til indeklimaet. I Sunde Boliger blev der anvendt linoliebaseret maling og koldpresset linolie til vinduesbundplader og lister i NO-Tech huset.

### Linolie i NO-Tech huset

Produkter, der indeholder linolie, afgiver små mængder af VOC til omgivelserne. Det drejer sig bl.a. om aldehyder som formaldehyd og acetaldehyd og om carboxylsyrer. Disse VOC'er giver for eksempel linolieprodukter en karakteristisk lugt. Der er imidlertid brug for mere viden om afgivelsen af VOC fra linolieprodukter over et længere tidsinterval – lige fra anvendelsen af produktet og til det tørre/hærdede produkt. Undersøgelser har vist forhøjede koncentrationer af f. eks. aldehyder kort efter anvendelse, hvorimod koncentrationerne bliver lave efter nogen uger. Et stof som formaldehyd kan imidlertid også dannes sekundært ud fra andre VOC'er under indflydelse af dagslys og atmosfærisk ozon, hvilket gør det komplekst at henføre forekomsterne til bestemte kilder. Det kan på nuværende tidspunkt ikke konkluderes entydigt, at de højere koncentrationer af VOC i NO-Tech skyldes anvendelsen af linolie og linoliemaling, men det er sandsynligt, at disse produkter giver et væsentligt bidrag.



Formaldehyd og acetaldehyd har pådraget sig en del opmærksomhed i indeklima-sammenhænge, da begge stoffer er mulige årsager til kræft. Den akut-toksiske grænseværdi overskrides ikke i målingerne, men pga. stoffernes kræftfremkaldende egenskaber, bør koncentrationerne i indeklima minimeres. For NO-Tech husene ses, at koncentrationerne i visse målinger overstiger den tyske Guide Value I for indeklima, hvorimod dette ikke er tilfældet for NOW-Tech og YES-Tech. Acetaldehyd bidrager desuden til lugtgenerne i de nye huse, idet (den meget lave) lugtærskelværdi i samtlige målinger er overskredet. Stofferne indgår ofte som opløsningsmidler i eksempelvis maling eller til behandling af træ og træbase-rede produkter.

En anden stofgruppe, der blev registreret i forholdsvis store mængder, var de såkaldte terpener, der er plantebaserede umættede kulbrinter med 8 kulstofatomer. Det drejer sig om stoffer som  $\alpha$ -pinen,  $\Delta$ -caren og limonen. Disse stoffer udgør hovedbestanddelen i vegetabilsk terpentin, men kan også afgives fra træbaserede produkter. I de målte koncentrationer udgør stofferne ikke i sig selv et sundhedsproblem. Imidlertid reagerer stofferne hurtigt med ozon, der tilføjes indeklimaet fra udeluft, hvilket fører til dannelse af sekundære aerosoler. Graden af aerosoldannelse kan ikke umiddelbart vurderes ud fra målingerne, men forekomsten af terpener øger potentialet for dannelse af helbredsmæssigt problematiske aerosoler.

Endelig bør det nævnes, at stofferne phenol og furfural i flere tilfælde forekommer i koncentrationer, der er højere end den tyske Guide Value I. Koncentrationerne er dog væsentligt under grænseværdierne for akutte sundhedseffekter. Furfural står på Arbejdstilsynets liste over kræftfremkaldende stoffer. Stofferne nævnes typisk i forbindelse med varmebehandling af træ.

Der blev yderligere registreret lave koncentrationer af følgende enkeltstoffer fra Arbejdstilsynets liste over kræftfremkaldende stoffer: Benzen, styren, naphthalen og 1,4-dichlorobenzon. Stofferne registreres typisk fra kilderne maling og i antimikrobielle tilsætningsstoffer.

### Afgasninger opsummeret

Sammenfattende kan man sige, at der ikke knytter sig reelle sundhedsrisici til de målte huse. De forekomster, som dog alligevel registreres, er primært relateret til stoffer, der udgør en kræftisiko. Her kan det være en god ide at rette fokus på aldehyder, der forekommer i højeste koncentrationer blandt de kræftfremkaldende stoffer. Samtidig bør der også være opmærksomhed på terpener, der kan bidrage til dannelse af aerosoler.

## MI i indeklimaet

MI er et konserveringsmiddel, som anvendes i alverdens produkter for at forhindre vækst af bakterier og andre mikroorganismer. Stoffet findes blandt andet i kosmetik, husholdningsprodukter, produkter til personlig hygiejne og byggematerialer, f.eks. maling. MI forbindes med allergi, som kommer til udtryk i form af varig eksem, der dog kan svækkes med tiden. I Sunde Boliger blev der malet med linoliebaseret maling i NO-Tech (uden MI) og almindelig vandbaseret maling (med tilsat MI) i de andre to huse.

### Evaluering af MI i Sunde Boliger

I forbindelse med måleprojektet er det undersøgt, om MI kunne detekteres i indeklimaet i de tre huse. Et målesignal, der kan henføres til MI, er primært på første måledag detekteret i ganske små mængder ved hjælp af PTR-MS, men MI blev ikke detekteret i de tilhørende GC/MS analyser. Detektion af MI kan derfor ikke verificeres endegyldigt ud fra de udførte målinger. Detektionsgrænsen for PTR-MS i forhold til at måle MI er vurderet til 0,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , og laboratorieundersøgelser har vist, at koncentrationen af MI i luft typisk er  $<1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  efter påføring af maling, der er konserveret med MI. Det er derfor muligt, at MI var til stede i rummene i små mængder tæt på eller under instrumentets detektionsgrænse. Dette bør undersøges nærmere ud fra målinger, der er mere specifikt rettet mod detektion af MI. En kontakt til Flügger gjorde det klart, at man hos firmaet tilsætter små mængder MI til den maling, som er anvendt i NOW- og YES-Tech husene, og at man herfra er overraskede over, at intet registreres i målingerne.

Den subjektive vurdering i forbindelse med målingerne var, at lugten af "nyt hus" var mest markant i NO-Tech huset, hvor der blev målt de højeste koncentrationer af lugtstoffer: Acetaldehyd, eddikesyre, pentansyre og (i mindre grad) 1-Butanol. Disse stoffer forekommer dog også i de andre huse.

Kilderne til de forskellige målte stoffer er generelt ikke særligt veldefinerede, og resultaterne viser da også et stort behov for mere viden om hvilke stoffer, der afgives fra forskellige byggematerialer. Dette tydeliggøres af resultaterne fra NO-Tech huset, hvor man havde forsøgt at udvælge materialer med lav emission. En udbygning af dette vidensgrundlag er essentielt for at kunne udvikle nye boliger med lav afgivelse af stoffer. I den forbindelse er det vigtigt at anvende state-of-the-art målemetoder, der omfatter alle relevante stofgrupper, og her er PTR-MS anvendt i kombination med GC-MS det bedste værktøj, der kan bruges til flygtige stoffer (VOC). Målingerne bør dog i fremtiden udvides til også at omfatte semi-flygtige stoffer, der er sorberet til aerosoler og dermed kræver andre målemetoder, f.eks. flammehæmmere og blødgørere (ftalater), der potentielt udgør en sundhedsrisiko.

Sammenlignes boligernes totale afgangninger med andre TVOC-målinger (hvor der tages hensyn til PTR/MS'en udvidede måling af VOC'er), performer Sunde Boliger dog generelt bedre end mange andre nybyggerier.

## Fremtidens målinger

Vi har med nærværende projekt kortlagt en typisk udvikling af afgangninger fra byggematerialer i nybyggeri med standard byggematerialer og boligventilation, men uden beboeraktivitet. Dermed afspejler nærværende afgangningskurver formentlig ikke virkeligheden af de reelle indeklimate, som de kommende beboere kommer til at opholde sig i.

Fremtidige målinger skal kortlægge, hvordan beboernes indretning med inventar og diverse forbrugsprodukter påvirker indeklimaet. Selvom der findes en omfattende lovgivning, som regulerer brug af diverse kemiske stoffer, finder mange kemikalieholdige forbrugsprodukter alligevel indpas på det europæiske marked og ender i vores hjem.

Der viser sig i byggeriet de første tegn på et paradigmeskifte, hvor et udvidet fokus på sundt indeklima kommer på dagsordenen efter årtiers snævre interesse for energibesparelser og nulenergi-byggeri. Nærværende målinger vil forhåbentlig bidrage til større opmærksomhed på afgangninger fra byggematerialer og til en diskussion af, hvilke stoffer vi ønsker i vores huse og ikke mindst i vore boliger. Måske er tiden moden til at udfase de kræftfremkaldende og hormonforstyrrende enkeltstoffer.







# Afgasning fra mennesker

Vi mennesker trækker vejret 12-18 gange i minuttet og udskiller i den forbindelse CO<sub>2</sub> til vores omgivelser. Vi har, som bekendt, også andre luftbårne 'afsondringer' fra vores kroppe. Alt i mens vi opfører os normalt i vores bolig, afgasser vi derfor konstant til det omkringliggende miljø og risikerer selv at skabe et dårligt indeklima, hvis ikke luftskiftet er tilstrækkeligt. Et forøget CO<sub>2</sub>-niveau er i store træk en af de bedste indikatorer på, at rummet er forurenede. I Sunde Boliger har man forsøgt at imødegå afgasninger fra mennesker på forskellig vis.

## Udfordring

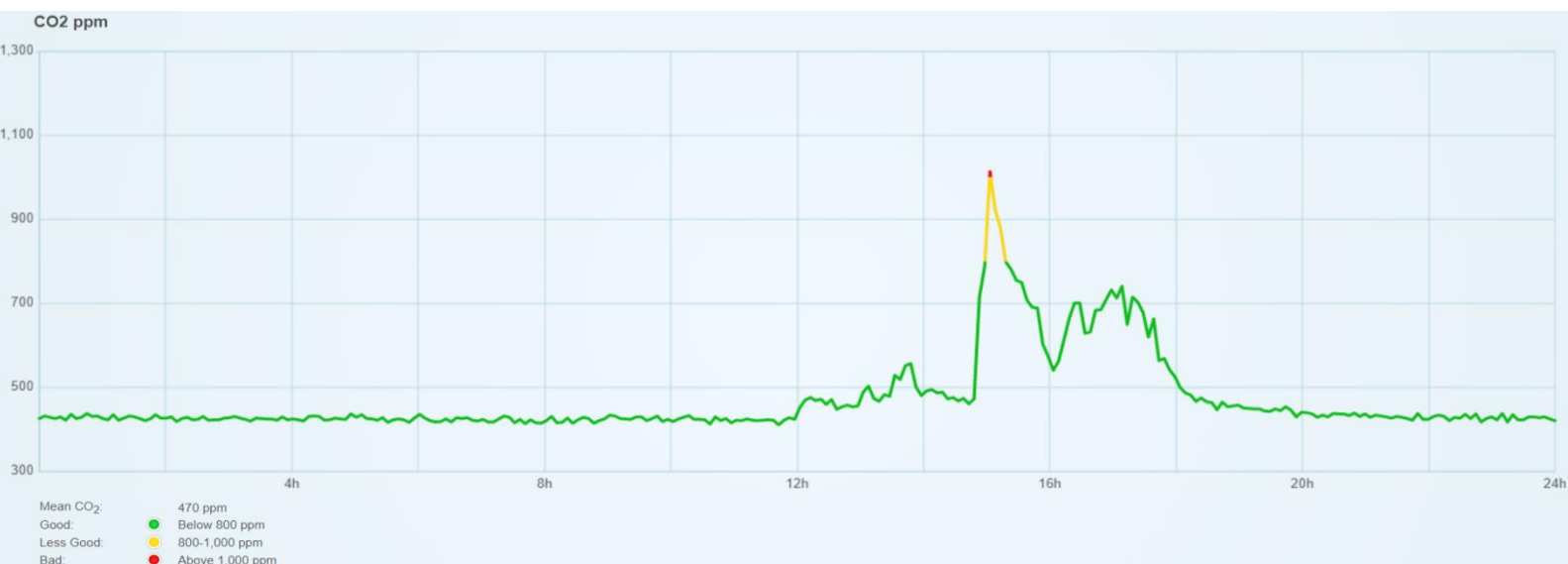
Afgasninger fra mennesker kan langt hen ad vejen registreres via CO<sub>2</sub>-målinger, mens der dog kan være nogle aktiviteter såsom toiletbesøg, der forurener indeklimaet, uden at det nødvendigvis kan registreres udover med næsen. Derfor er det vigtigt at udtænke en strategi for luftskiftet, således at den dårlige forurenede luft ikke vandrer videre over i tilstødende rum. Et højt CO<sub>2</sub>-niveau kan være en kilde til dårlig søvn, ubehag og koncentrationsbesvær, som ligeledes kan gå ud over det sociale samvær i boligen.

## Løsning

I YES-Tech huset sørger sensorerne i soverummene for at 'kalde' på forøget ventilation, hvis CO<sub>2</sub>-niveauet stiger. CO<sub>2</sub>-niveauet ses som et generelt udtryk for det samlede niveau af forskellige menneskelige afgasninger. I NO-Tech huset er der et stabilt naturligt ventilations flow, og alle soverum står i umiddelbar forbindelse med rum med store loftshøjder, således at den samlede volumen er væsentlig større end i normale soverum - og 'den dårlige luft' kan derfor fordeles tyndere.

## Fremtidige målinger

Der er ikke foretaget målinger i forhold til afgasninger fra mennesker, eftersom beboerne endnu ikke er flyttet ind. Via de opsatte sensorer i hvert rum, vil CO<sub>2</sub>-niveauet i boligerne fremadrettet blive monitoreret under reelle belastninger. Her vil det eksempelvis vise sig, om det normale BR15-byggeri, NOW-Tech, via lovkravsmæssige ventilationsmængder kan holde CO<sub>2</sub>-niveauet nede i opholdsrum og soveværelser. Nedenstående graf illustrerer et eksempel på CO<sub>2</sub>-niveauet i et rum, hvor der kortvarigt forekom overbelastninger mellem kl. 14-16, efterfulgt af grundig udluftning.





# Radon

Radon er en lugtfri gas, som stammer fra aflejringer af radioaktive stoffer i undergrunden. Gassen siver op gennem jorden og kan binde sig til støvpartikler i hjemmet. Over tid transporteres det nu "radioaktive støv" ned i lungerne på beboere i hjemmet, hvor der udskilles kortrækkende alpha-stråling, som kan give celledskader og dermed føre til kræft. Radon menes at være skyld i ca. 300 dødsfald om året som følge af radonrelateret lungekræft. I Sunde Boliger har man forsøgt at imødekomme radon fra undergrunden gennem traditionel radonsikring, som Bygningsreglementet foreskriver.

## Udfordring

Gassen, der siver op gennem undergrunden, samles under boligens terrændæk og skaber et overtryk, som udlignes gennem revner og sprækker i gulvkonstruktionen, hvis ikke denne er radonsikret. Radonproblematikken er typisk på sit højeste i vinterhalvåret, hvor trykforholdene mellem ude og inde er størst, og hvor kulden udenfor betyder, at man i boliger uden mekanisk ventilation ikke får åbnet vinduerne så ofte.

## Løsning

I Sunde Boliger er der udført radonsikring som vanligt i nybyggeri. Der har dog været et særligt tilsynsfokus på tætte samlinger i terrændækkets detaljer, i teknikskabets bund og andre steder, hvor man ind imellem ser indtrængning af radon på grund af ukorrekt eller sjustet udførelse. Herudover har YES-Tech en forøget ventilationsrate, som resulterer i et større luftskifte og dermed et forventeligt lavere radonniveau i boligen.

radonfrithjem

# For meget radon?

Få styr på dit radonniveau og sov trygt



# Radon

Der blev udført radonmålinger i Sunde Boliger for at undersøge, hvorvidt de konstruktionsmæssige passive tiltag medfører tilfredsstillende indendørs koncentrationer af radon. Nærværende afsnit opsummerer resultater for udførte radonmålinger. BR15/BR18 kræver, at nybyggeri skal udføres, så det sikres, at radonindholdet ikke overstiger 100 Bq/m<sup>3</sup>.

## Metode og udstyr

Til måling af radon anvendes typisk små stationære målebokse (dosimeter), som placeres i boligen henover vintersæsonen. Radon måles om vinteren, hvor niveauerne typisk er højest, bl.a. på grund af trykforholdene, hvor radon søger ind i boligen, men også på grund af brugeradfærd, som normalt resulterer i begrænset udluftning som følge af de lave temperaturer udendørs.

I forhold til måleprojektets sæsonmæssige opstart blev der indledningsvist udført radonmålinger uden for vinterperioden. Elektroniske målinger over to uger blev introduceret som indikation af de generelle radonniveauer med overvejelserne om at der ingen brugere var i husene. Brugernes fravær betød, at der ikke blev pulsventileret under målingerne, som hvis beboere eksempelvis gik ind og ud af boligen. Øverste billedserie viser de anvendte typer radonmålere Ramon Radon monitor 2.2. Der blev målt kontinuerligt i to uger i alle tre boliger. Som opfølgning på de indledende radonmålinger blev der udført kontrolmålinger henover fyringssæsonen. Ved kontrolmålingerne blev der anvendt standard dosimeter med sporfilm.

## Resultater

Nedenstående tabel viser, at alle tre Sunde Boliger overholder Bygningsreglementets krav til radonniveau i nybyggeri. Både målt med elektronisk og med dosimeter overholder boligerne klart radonniveauet på trods af brugernes fravær og dermed den manglende pulsventilering.



Ramon Radon monitor 2.2 - Elektronisk radonmåler anvendt uden for fyringssæsonen



Dosimeter med sporfilm anvendt til måling af radon i fyringssæsonen

Målemetode	Rumbetegnelse	Rumtype	Måleperiode	Resultat
Elektronisk	NO-Tech 1.07	Sove	27/4/17 – 11/5/17	36 Bq/m <sup>3</sup>
Dosimeter	NO-Tech 1.03	Bryggers	29/11/17 – 1/3/18	47 Bq/m <sup>3</sup>
Dosimeter	NO-Tech 1.06	Stue	29/11/17 – 1/3/18	38 Bq/m <sup>3</sup>
Dosimeter	NO-Tech 1.07	Sove	29/11/17 – 1/3/18	38 Bq/m <sup>3</sup>
Elektronisk	NOW-Tech 1.10	Sove	27/4/17 – 11/5/17	50 Bq/m <sup>3</sup>
Dosimeter	NOW-Tech 1.03	Bryggers	29/11/17 – 1/3/18	37 Bq/m <sup>3</sup>
Dosimeter	NOW-Tech 1.06	Køkken-alrum	29/11/17 – 1/3/18	40 Bq/m <sup>3</sup>
Dosimeter	NOW-Tech 1.10	Sove	29/11/17 – 1/3/18	35 Bq/m <sup>3</sup>
Elektronisk	YES-Tech 1.10	Sove	27/4/17 – 11/5/17	17 Bq/m <sup>3</sup>
Dosimeter	YES-Tech 1.03	Bryggers	29/11/17 – 1/3/18	30 Bq/m <sup>3</sup>
Dosimeter	YES-Tech 1.06	Køkken-alrum	29/11/17 – 1/3/18	30 Bq/m <sup>3</sup>
Dosimeter	YES-Tech 1.10	Sove	29/11/17 – 1/3/18	33 Bq/m <sup>3</sup>



# Partikler

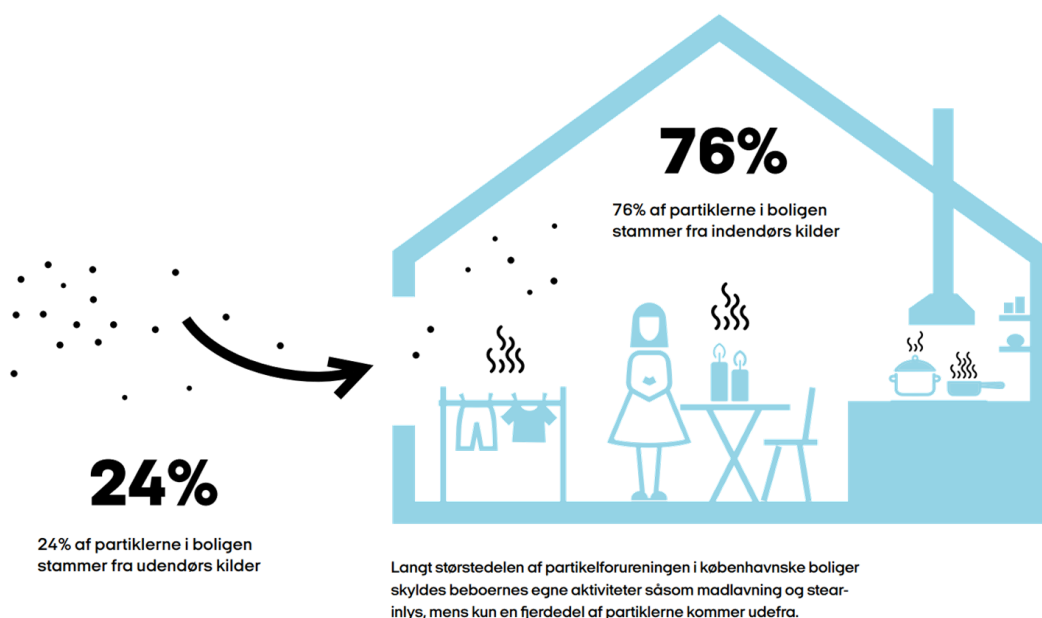
Partikelforurening i boligen kan være svær at forholde sig til, hovedsageligt fordi vi i langt de fleste tilfælde ikke kan se eller umiddelbart mærke den. CISBO offentliggjorde i 2016 forskningsresultater, som viste, hvordan partikeleksponering i vores hjem er et langt større problem end hidtil antaget, og at vi primært har vores egen aktivitet i hjemmet at 'takke' for det: Op mod tre fjerdedele af de partikler, vi udsættes for, er typisk nogle, vi selv genererer i boligen i forbindelse med blandt andet madlavning, brug af stearinlys og støvsugning – partikler som, alt efter størrelse, kan vandre ned i vores lunger og potentielt ud i blodbanen. Der findes i dag herhjemme ikke nogen specifikke krav til partikelniveauet i indeklimaet. I Sunde Boliger er der udført flere forskellige tiltag mod netop partikelforurening.

## Udfordring

Luftbårne partikler udskilles fra mange forskellige aktiviteter i hjemmet. Udfordringen ligger hovedsageligt i at håndtere disse situationer, således at spredningen af de sundhedsfarlige partikler minimeres. Blandt de helt store syndere findes – udover rygning, som vel er indlysende - brugen af stearinlys og madlavning, hvilket medfører afbrændingspartikler, som i store træk ligner dieselpartikler. Afbrændingspartiklerne kan være svære at undgå fuldstændig i boligerne; madlavning giver sig selv, men også afbrænding af stearinlys er et stort ønske for mange, da det er indbegrebet af 'hygge', mens brug af gasblus eller brændeovn nok giver en merværdi, som gavner vores psykiske velvære, men som oftest kan undværes i en moderne bolig, når man holder værdien op mod omkostningen på indeklimaet.

## Løsning

I Sunde Boliger har der været et udvidet fokus på partikler. I NO-Tech forsøges partikelspredningen begrænset ved kilden. Køkkenet er placeret bagerst i huset og har en glasdør, der kan lukke rummet af fra resten af boligen. Der er suppleret med et udekøkken, så man har mulighed for at rykke helt ud af boligen med stegning, grill osv. I YES-Tech er der installeret et særligt sug over ovnen, en nyudviklet emhætte med 'lufttæppe' og et forbedret mekanisk ventilationssystem, som blandt andet reagerer på forøget partikelforekomst ved at øge luftskiftet lokalt. Ydermere har huset et generelt forøget luftskifte, som forbedrer den samlede luftkvalitet og blandt andet forventes at fjerne mange partikler fra for eksempel afbrænding af stearinlys. Løsningen består samlet set af at gøre aktive fravalg af eksempelvis brændeovn, men samtidig sørge for aktive innovative tiltag mod de uundgåelige partikler fra blandt andet madlavning og stearinlys.



# Hvad er partikler?

For at skabe bedre overblik over resultaterne i måleprojektet beskriver nedenstående tabel de typiske anvendte partikelbenævnelser i videnskabelige sammenhænge. Især fine og ultrafine partikler kan relateres til potentielt dødelige og livsforringende sygdomme. Disse er usynlige for det menneskelige øje; vi kan først se en partikel på ca. 50µm. De fine og ultrafine partikler kan ydermere holde sig svævende i mange timer efter frigivelse fra diverse processer. Almindelig støvsugning skaber derfor formentlig et stærkt forurenset indeklima, hvor det findelte støv hænger frit i rummet klar til indånding og optagelse igennem synkning og inhalering, fordi filtrene ikke tilbageholder de fineste – og farligste – partikler, men hvirvler dem op i luften.

Til måling af partikelniveauer i forsøgene blev der anvendt to forskellige partikelmålere. Set i lyset af, at en partikel på 10 µm vejer 1 milliard gange så meget som en partikel på 0,01 µm, skelnes der ydermere mellem, *hvordan* man måler partikler. Er den målte forurening fine partikler eller større, benævnes resultatet derfor i µg (vægt), hvorimod målinger af UFP benævnes med antal.

Partikler	Opgørelsesenhed
Grove partikler	µg/m <sup>3</sup>
Fine partikler	µg/m <sup>3</sup>
Ultrafine partikler	antal/m <sup>3</sup>

## Sundhedsrisici

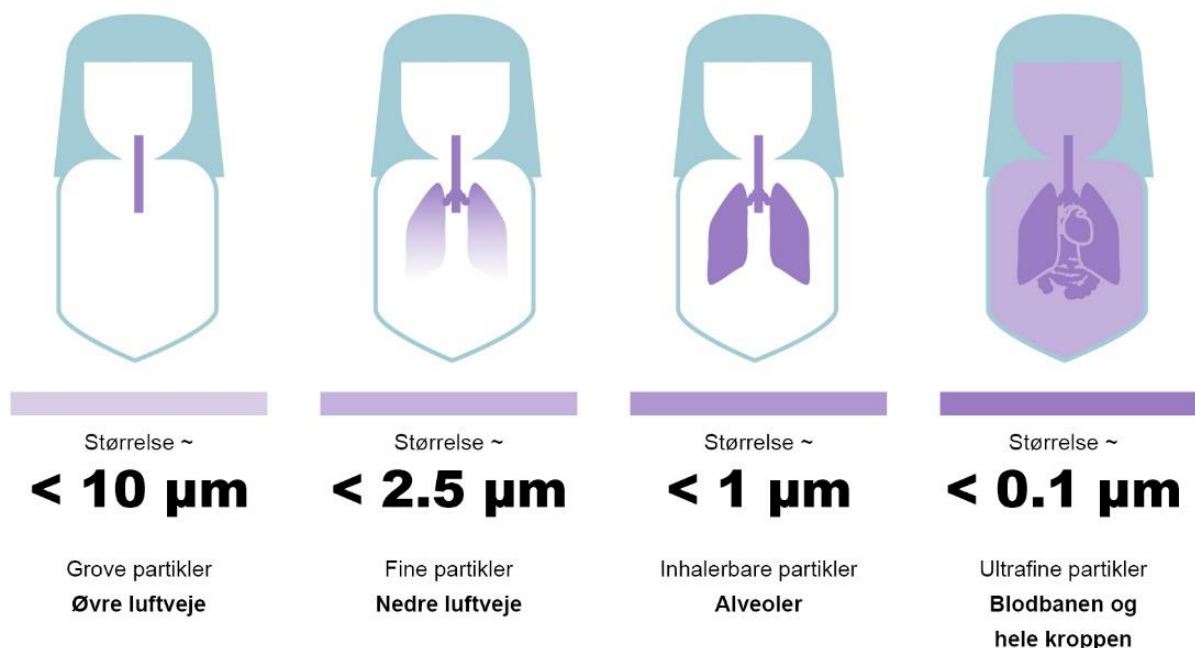
Langvarig eksponering for partikler fra udendørs kilder såsom trafik kan bidrage til luftvejssygdomme, hjerte-

kar sygdomme og potentielt dødelighed. Eksponeringer over for høje partikelkoncentrationer, der varer et par timer eller dage, er blevet sammenkoblet med højere rater af hospitalsindlæggelse og dødelighed på grund af hjerte- og lungesygdomme. De kropslige mekanismer, som igangsættes ved partikeleksponering, kan blandt andet være systemisk inflammation, oxidativ stress og endotel- og mikrovaskulær dysfunktion. CISBO har også påvist, at nogle partikler produceret indendørs også kan være skadelige, for eksempel gennem reduceret lungefunktion og inflammation. Ultrafine partikler, især dem fra forbrænding, vurderes at være mere sundhedsskadelige end større partikler på grund af deres store overfladeareal, kemiske sammensætning, deponering i lungernes alveoler og deres potentiale for at passere lungevæggen og trænge ind i blodbanerne. I Sunde Boliger er der udført flere forskellige tiltag mod netop partikelforurening.

## Anbefalinger og retningslinjer

Verdenssundhedsorganisationen (WHO) har udarbejdet retningslinjer for partikelkoncentrationer, som ikke bør overskrides, for at beskytte folkesundheden. De anbefalede maksimale koncentrationer er gældende både indendørs og udendørs. For PM10 anbefaler WHO, at den kortvarige (24 timer) gennemsnitskoncentration ikke overstiger 50 µg/m<sup>3</sup>. Det anbefalede maksimale årlige gennemsnit er 20 µg/m<sup>3</sup>. De anbefalede maksimale gennemsnitsværdier for PM2.5 er henholdsvis 25 og 10 µg/m<sup>3</sup>.

Ultrafine partikler har de seneste år tiltrukket sig stor videnskabelig og sundhedsmæssig opmærksomhed. Men selvom flere og flere undersøgelser dokumenterer sundhedsskadelige effekter ved udsættelse for ultrafine partikler, er vidensgrundlaget stadig utilstrækkeligt til at fastsætte anbefalede maksimalværdier.



# Afbrændingspartikler i Sunde Boliger

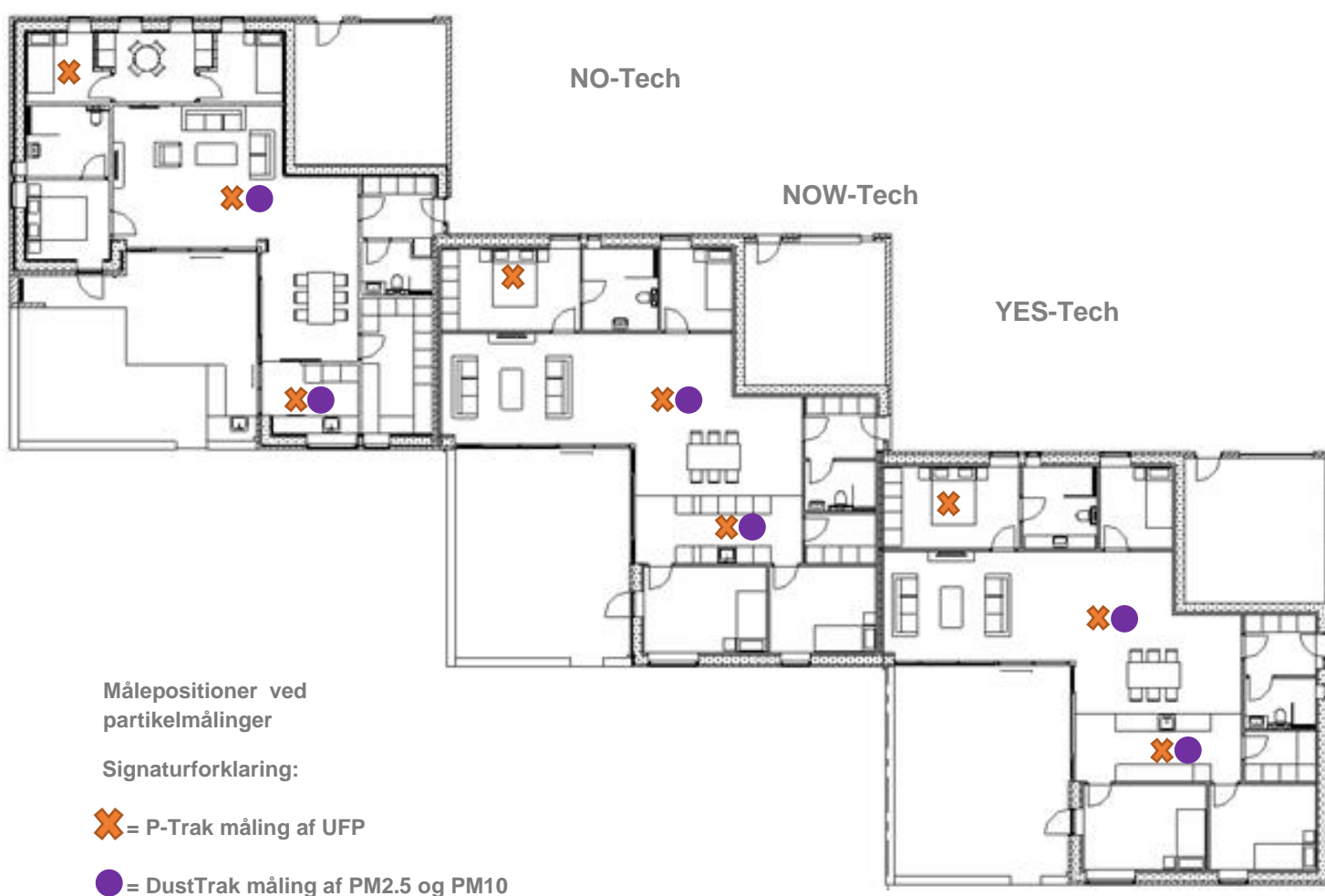
Der blev udført virkelighedstro stege- og stearinlysfor-søg i alle 3 boliger med målinger i 3 forskellige posi-tioner. Fintfølede udstyr monitorerede udviklingen af partikkelkoncentrationer, mens der blev stegt bacon og entrecotes på pande eller afbrændt stearinlys i køkkenerne. I nedenstående figur illustreres måleposi-tionerne under måleforløbene. For at få en idé om partiklernes vandring gennem boligen, blev der målt samtidig med tre måleinstrumenter; hhv. lige ved kom-furet, midt i boligen og i det fjerneste børneværelse. Spredningen af stegepartikler til rumluften viste sig generelt svingende både i forhold til mængder, men også variationen af partikkelstørrelser.

Til forsøgene blev der anvendt følgende instrumenter: TSI 8533 DustTrak Aerosol Monitor, som måler aero-sol koncentrationer svarende til PM 1, PM 2,5, PM 10 eller størrelses fraktioner, TSI 3330 Optical Particle Sizer, som måler partikel koncentrationer i størrelses-ordenen fra 0,3 til 10 µm og TSI 8525 P-Trak Ultrafine

Particle Counter (UPC), som tæller partikler på stør-relser mindre end 1 µm.

## Den ufuldstændige forbrænding

Udover at PM2.5 og UFP har størrelser, som gør, at partiklerne kan vandre helt ned i vores lunger, indeholder afbrændingspartiklerne ofte stofgruppen PAH'er (polycykliske aromatiske hydrocarboner), som er tjærestoffer, der dannes under ufuldstændig for-brænding. Blandt PAH'erne findes flere enkeltstoffer, som eksempelvis Benzo[a]pyrene eller cyclo-penta[cd]pyrene, der begge er kategoriseret på Inter-national Agency for Research on Cancer - IARC's klassifikationsmonografi over kræftfremkaldende stof-fer. Med andre ord bliver det stadig mere åbenbart, at brugernes sundhed og velvære for alvor er afhængig af effektiv ventilation samt optimerede emhætteløs-ninger – desværre forhold, som langt fra er at finde i tusindvis af boliger.

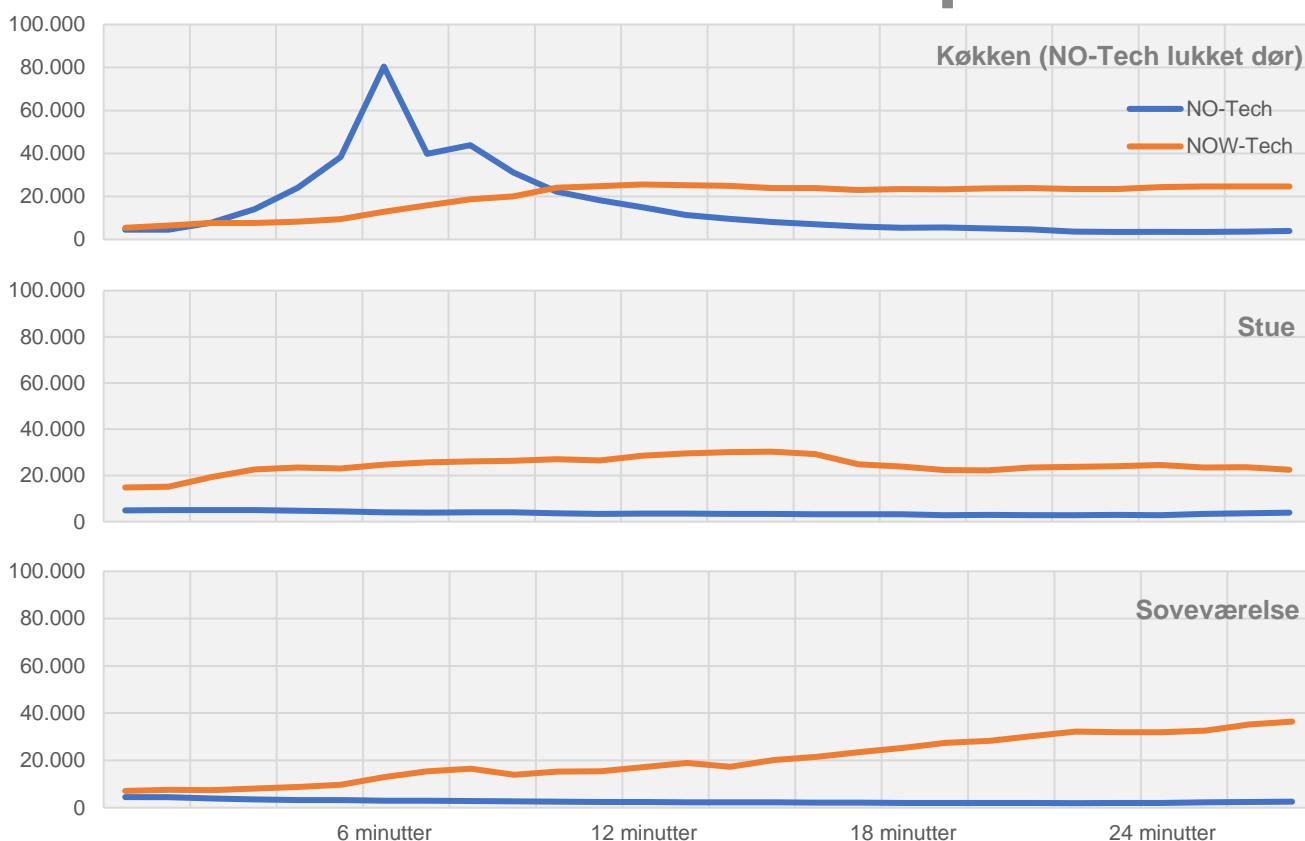


# Spredning af stegepartikler

Med udgangspunkt i tendenser fra alle stegeforsøg ses i nedenstående 3 udvalgte grafer spredningen af ultrafine partikler (UFP) fra stegning af bacon i både NOW- og NO-Tech. Koncentrationen af UFP i NO-Tech køkkenets indendørs luft, hvor glasdøren til resten af boligen var lukket, viste sig tydeligt forhøjet umiddelbart i starten af forsøget. Relativt hurtigt aftog partikelkoncentrationen i det zoneafgrænsede køkken, og der blev ikke registreret nogen spredning til de omkringliggende lokaler. Tværtimod var spredningen af UFP i NOW-Tech at spore i hele boligen, hvor partikelkoncentrationen i soveværelset kun var støt stigende under hele målforsøget. Selvom NO-Tech

boligen opnåede en langt højere spidsbelastning, tyder den gradvise stigning af partikler i NOW-Tech på, at kogeøen og emhætten i boligen ikke var tilstrækkelig i forhold til indfangning af de ultrafine partikler i stegeosen. Der forekom nærmere en direkte fortynding ud i hele NOW-Tech, som potentielt ville blive indåndet af andre beboere i boligen. F.eks. det legende barn på børneværelset. Nedenstående grafer repræsenterer blot et udsnit af målingerne foretaget i boligene, men formidler den generelle observation af spredning af partikler.

## NO vs. NOW – Ultrafine partikler



### Avanceret emhætte i YES-Tech

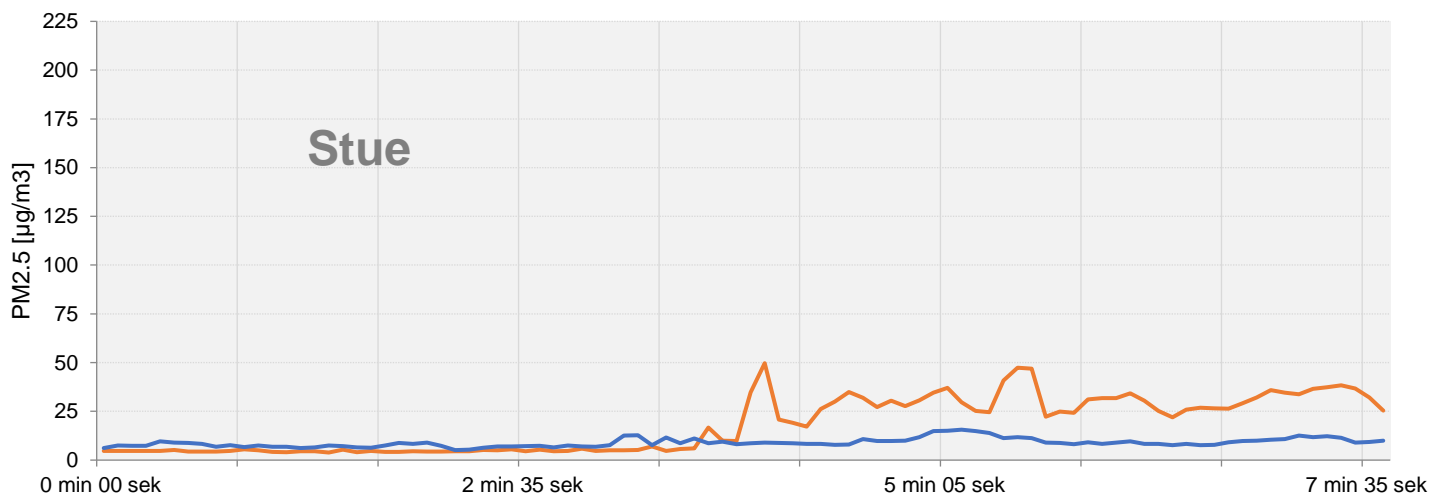
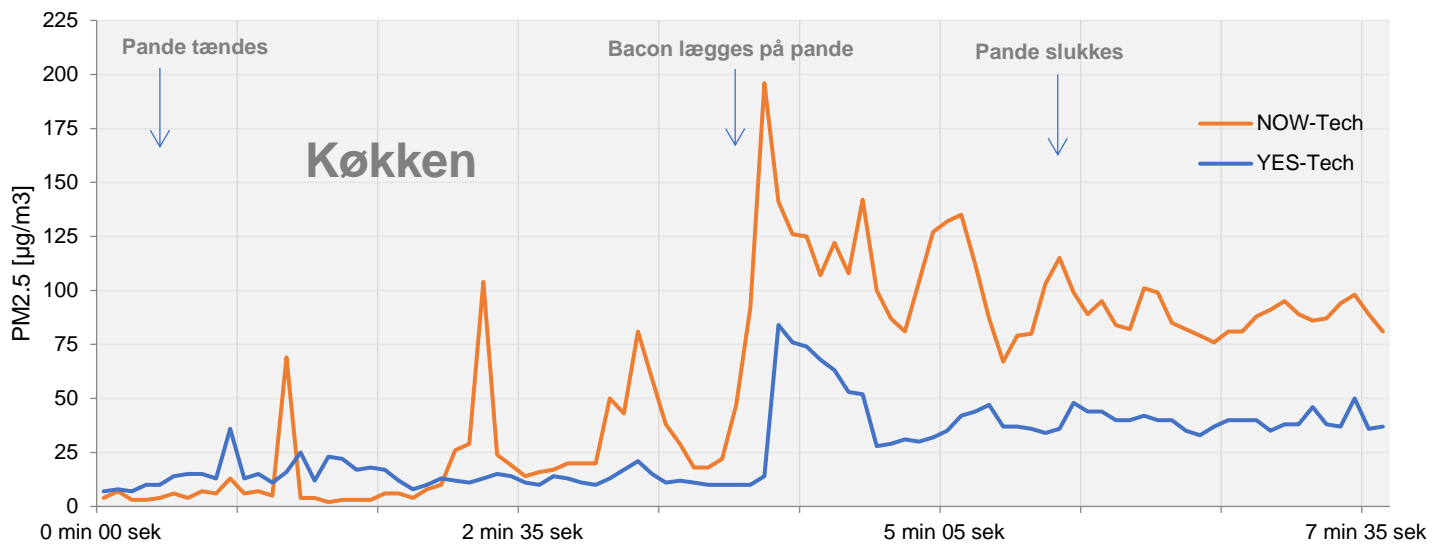
For at undersøge effektiviteten af den specialdesignede emhætteløsning, blev der stegt fedtholdigt kød på pande i både YES- og NOW-Tech huset. Med fintmålende udstyr (DustTrak) blev luftens indhold af PM2.5 registreret i løbet af stegeprocessen.

### Spredning af PM2.5

Hypotesen var, at det indblæste lufttæppe i kombination med indkapslingsgraden ville opnå en langt højere os-opfangningsgrad. Hypotesen viste sig at holde

stik som illustreret i nedenstående grafer. Partikelniveauet blev hurtigt forøget i nærområderne omkring emhættene, mens den generelle belastning dog var betydeligt mindre i YES-Tech. Nederste graf, som illustrerer partikelniveauet i stuen, understreger, at stegepartiklerne, trods boligventilation og funktionelle emfang, spredes til andre opholdszoner. Partikelkoncentrationerne i stuerne var dog ikke nær så høje som i køkkenerne. Det ses ydermere, at spredningen af PM2.5 til stuen er langt mindre i YES-Tech sammenlignet med NO-Tech.

## YES vs. NOW – PM2.5 partikler





# Evnen til at fjerne stearinlyspartikler

Stearinlys er en af de helt store syndere i forhold til partikelfrigivelse ud i det omkringliggende rum. Farlige diesellignende partikler spredes til omgivelserne, hver gang vi tænder stearinlys i opholdszonen, hvorefter vi påvirkes gennem indånding, synkning eller optagelse gennem huden. Sunde Boliger har skabt forudsætningerne for at mindske påvirkningen af sundhedsskadelige partikler gennem to mulige indeklimatiltag; Zoneopdeling og forøget ventilation. I YES-Tech blev ventilationsraten opjusteret med ca. 50 % i forhold til almindelig ventilation som i NOW-Tech. Ydermere er der indarbejdet smartstyring, som via sensorer justerer tilførslen af luft til belastede rum. Dette betyder, at ventilationsluften flyttes rundt sammen med beboerne og doseres, hvor de har brug for det. I NO-Tech ser man især, at det naturlige luftskifte er meget effektivt til at skifte luften tilpas hurtigt, så koncentrationen holdes lav.

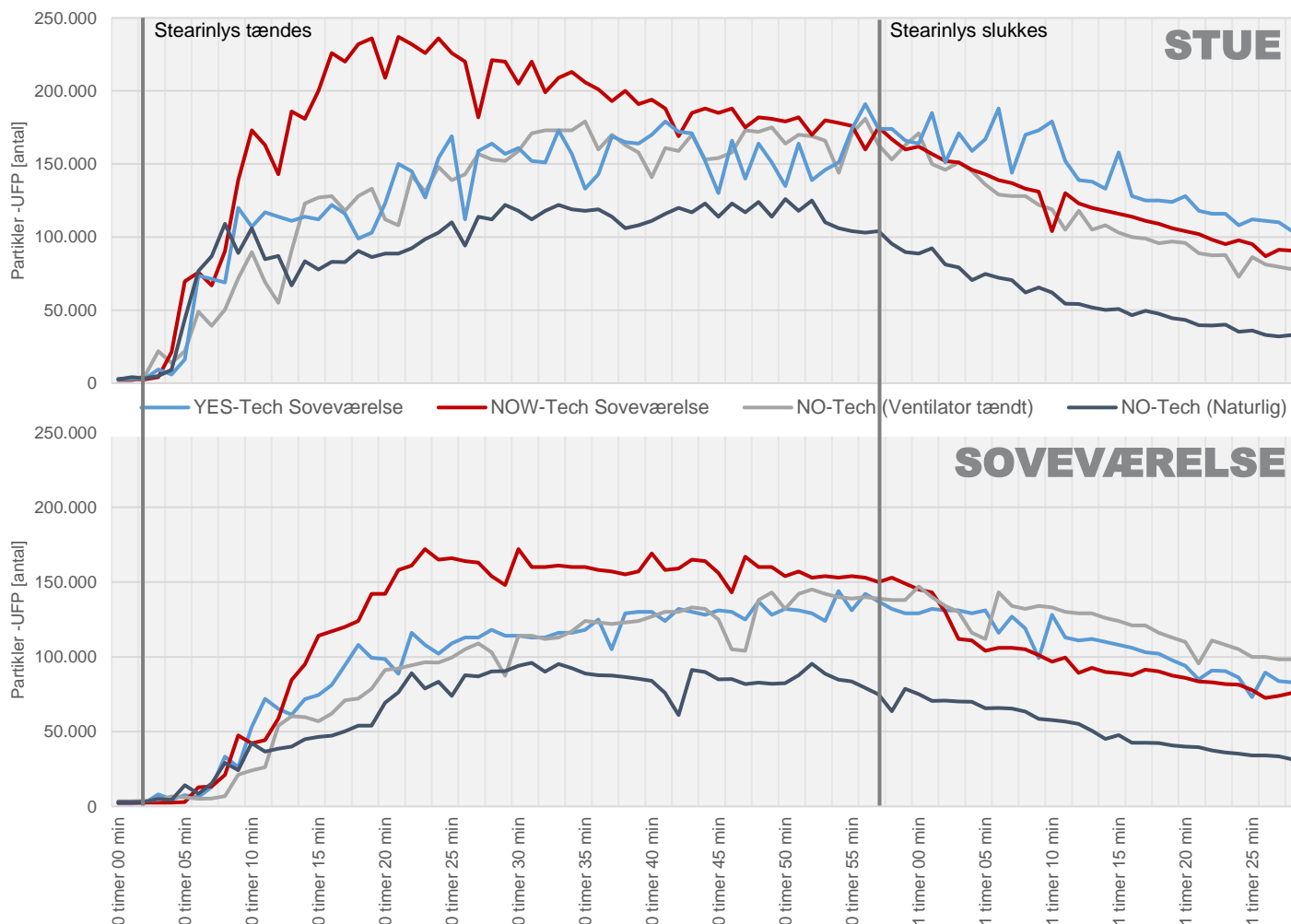
## Ventilationens indvirkning på UFP

Ultrafine partikler (UFP) er den primære forureningskilde fra stearinlys under forbrænding. Under forsøgene i Sunde Boliger blev der anvendt både DustTrak og P-Trak måleinstrumenter, som tilsammen kan identificere UFP, PM2.5 og PM10. I nedenstående

grafer ses forsøgsresultaterne fra afbrænding af stearinlys i alle 3 boliger. Det er tydeligt, at den forøgede ventilation i YES-Tech fjerner spidsbelastningerne i forbindelse med afbrænding af stearinlysene. En generel reduktion af UFP i rumluften på ca. 27% under spidsbelastningerne bekræfter, at YES-Tech ventilationsprincippet gør en forskel.

## Er det farvel til stearinlyset?

Undersøgelserne i Sunde Boliger blev udført med henblik på at belyse, hvordan vi kan designe os ud af potentielle helbredscompromitterende indeklimasituationer. I sagens natur ville det være bedst for indeklimaet ikke at tænde stearinlys i første omgang, men her bevæger vi os ud i et spørgsmål om kompromis mellem sundhed og velvære/hygge. Med nedenstående resultater har måleprojektet vist, at et forøget luftskifte uden tvivl gør en forskel for indeklimaet, men at vi stadig bliver stærkt udsat for ultrafine partikler, hver gang vi tænder stearinlys i vores hjem – ikke kun i vores stue, hvor vi typisk tænder lys ved aftenstid, men også i sove- og børneværelset, hvor vi ligger og sover, fordi partiklerne så let og hurtigt spredes sig i hele boligen.





# Støv

Støv ophobes i boligens kroge og indeholder alt fra bakterier og kemikalier til svampesporer og afføring fra husstøvmider. Størstedelen af boligens støv består dog af døde, afstødte hudceller fra mennesker og dyr, tøjfibre, papirfibre og byggematerialer. De tusindvis af partikler, som florerer i støvet, kompromitterer vores sundhed og kan medføre flere livsføringende og endda livstruende følgesygdomme. I Sunde Boliger blev der udført flere forskellige tiltag mod netop støvpartikler.

## Udfordring

Rengøring besværliggøres ofte af mangel på rengøringsvenlige overflader, dårlig indretning og mangel på luftfiltrering, som ellers kunne begrænse ophobningen af støv. Problemet forstærkes ofte af støvsugere, der blot findeler støvet og blæser det ud igen, så det er endnu mere skadeligt at indånde. Det findelte støv kan gøre indeklimaet i boligen dårligere, da det kan indeholde kemiske cocktails, der påvirker kroppen, både via luftvejene og via dermalt optag gennem huden. Manglende luftfiltrering, kemikalieholdige forbrugerprodukter og manglende rengøring kan tilsammen føre til både allergi, astma og kræft.

## Løsning

I Sunde Boliger har der været et udvidet fokus på partikler. I stedet for at støvsuge med almindelig støvsuger i YES-Tech, er der installeret centralstøvsuger, som filtrerer støvet i garagen og altså ikke inde i boligen. I NO-Tech forsøges partikelspredningen begrænset fra kilden. Dette betyder blandt andet, at legetøj flyttes ud af soveværelset og ind i et tilstødende legerum, hvilket hypotetisk samler den kemiske cocktail fra legetøj uden for børnenes soveværelser. Materiale-mæssigt er der valgt rengøringsvenlige overflader så vidt muligt.



# Støvsugnings betydning for indeklimaet

Hustøv består normalt af hudceller, pollen, svampesporer, bakterier, kemikalier, menneske- og dyrehår, tekstilfibre, papirfibre, mineraler fra udendørsjord og mange andre kilder, som findes i det lokale miljø. Ved sammensætning af disse kilder på kryds og tværs kan der opstå såkaldte cocktaileffekter, hvor nye helbredskompromitterende stoffer dannes. F.eks. kan der i støvet ofte ses stoffet limonen (det citrusduftene kemikalie i mange rengøringsmidler), som, når det reagerer med ozon frigivet fra eksempelvis printere, omdannes til 4-OPA, der kan give akutte vejrtrækningsproblemer pga. indsnævring af øvre luftveje. Det er generelt godt at gøre rent, hvorved ansamlinger af støv fjernes, men undersøgelser viser, at timerne efter støvsugning kan være sundhedsskadelige, såfremt man går på kompromis med filtreringen gennem støvsugeren.

## Centralstøvsuger vs almindelig støvsuger

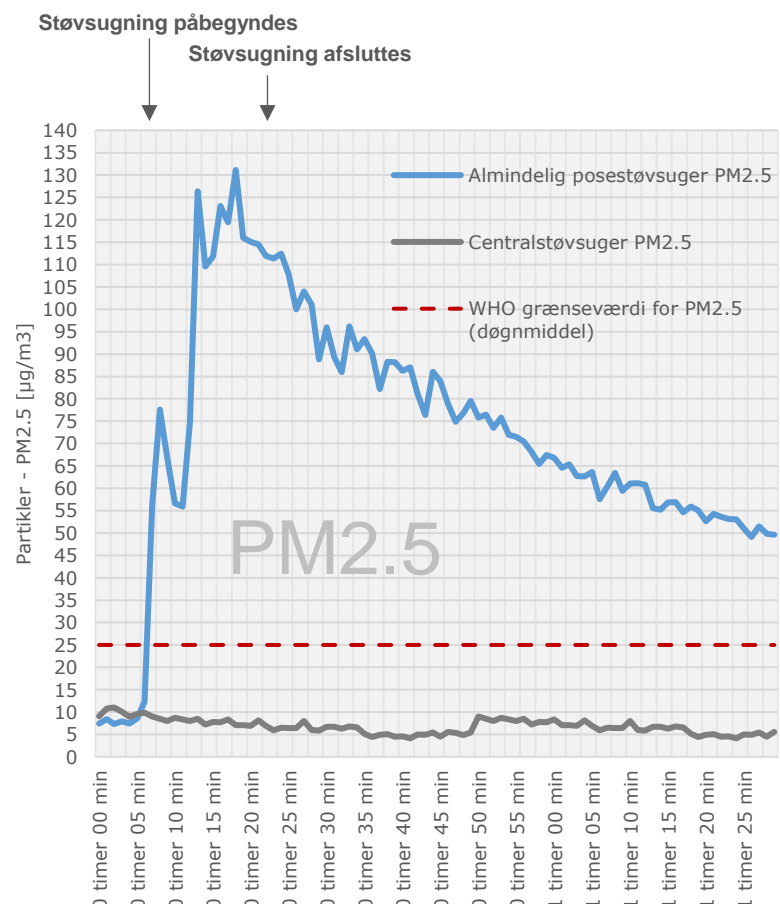
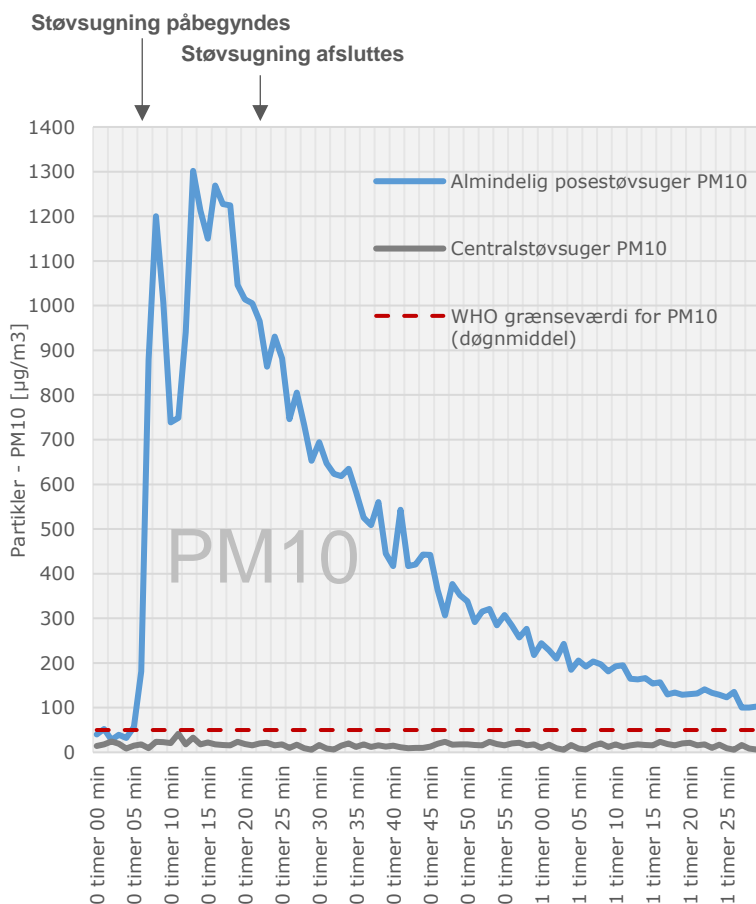
En dårlig støvsuger kan findele støvet således, at partikler spredes ud i rummet til gene for beboerne. De aerodynamiske partikler kan herefter hænge i luften flere timer efter støvsugningen, hvor beboerne indånder dem. Centralstøvsugeren suger det synlige støv såvel som de fine og ultrafine partikler ud i en støvsugerpose placeret i garagen med udkast over taget, fuldstændigt afskærmet fra indeklimaet.

## Måleforsøget i Sunde Boliger

Måleforsøget blev udført med Arizona Road dust, som er en standardiseret støvblanding bestående af en specifik sammensætning af forskellige partikler. Der blev skiftevis støvsuget med centralstøvsugeren og den helt almindelige posestøvsuger. Med en DustTrak blev luftens partikelindhold monitoreret under begge forsøg. I nedenstående grafer ses forsøgsresultaterne, hvor støvsugning med den almindelige støvsuger tydeligvis skaber et langt mere forurenede indeklima i over en time efter rengøring. Støvsugning med centralstøvsuger gav absolut intet udslag på partikeltælleren. Den almindelige posestøvsuger kunne i nærværende undersøgelser sammenlignes med en kødhakker. Den indgående synlige støv blev fundet til usynlige PM10- og PM2.5-partikler, som kan kompromittere vores helbred.

## Valget af støvsuger

Måleprojektet i Sunde Boliger bekræfter, at centralstøvsugere kan give en stor sundhedsmæssig gevinst. Omvendt ses, at en standard posestøvsuger kan skabe en potentiel sundhedskompromitterende indeklimasituation og bør overvejes. Det skal dog nævnes, at den almindelige posestøvsuger ikke var udstyret med HEPA-filer. Undersøgelser tyder på, at en almindelig posestøvsuger med HEPA-filer kan være mere effektiv i forhold til at frasortere partikler i rumluften, men der er generelt brug for yderligere undersøgelser af forskellige støvsugeres effektivitet.



# Fugt



Vandskader, kuldebroer og manglende ventilation er blandt de kilder, der kan medføre et fugtigt indeklima, som potentielt kan kompromittere vores sundhed og velvære. Jo højere den relative luftfugtighed er, desto bedre vækstbetingelser får bakterier og svampesporer. Derfor er det vigtigt at holde den relative luftfugtighed nede, og hertil er der i Sunde Boliger indarbejdet konstruktions- og indeklimamæssige tiltag.

## Udfordring

Der er i dagens byggeri et øget fokus på klimaskærmens tæthed. Det giver energieffektivitet og styr på, hvordan luftsiftet sker. Til gengæld kan man ikke længere regne med det ukontrollerede luftsifte fra revner og sprækker. Såvel et utæt hus som et tæt hus, hvor der sker brud på den tapede og folierede membran, rummer dog en risiko, hvis man har et fugtigt indeklima: møder den fugtige luft en blot få grader koldere flade, f.eks. inde i konstruktionen, kan der skabes kondens. Kondens og generel høj luftfugtighed giver bedre vækstbetingelser for blandt andet skimmelsvamp. Udfordringen er derfor hovedsageligt at holde den relative luftfugtighed nede gennem tilstrækkelig ventilation.

## Løsning

I Sunde Boliger har der været et udvidet fokus på ventilation og byggematerialers fugtregulerende evne. I YES-Tech er luftsiftet forøget, samtidig med at luften bringes til de rum, som har mest brug for det. Dette sker gennem en intelligent styringsstrategi, hvor VAV-spjæld indregulerer luftmængder på baggrund af sensorernes målinger af blandt andet fugt. I NO-Tech er der ud over ventilation også set på konstruktionernes og overfladernes mulighed for optag og frigivelse af fugt med henblik på at balancere fugtindholdet ad denne vej. Beboernes aktiviteter som bad og kogning af kartofler kan belaste NO-Tech konstruktionerne kortvarigt, hvorefter den ophobede fugt frigives under mere belejlige forhold. Derudover har NO-Tech udebåd og udekøkken, som helt kan fjerne fugtbelastningen inde i huset.

## Fremtidige målinger

Belastning af indeklimaet opstår først for alvor, når beboerne flytter ind. Da begynder monitoreringen af blandt andet den relative luftfugtighed. Målingerne skal blandt andet undersøge, om de tiltænkte indeklimaløsninger rent faktisk gør en forskel for indeklimaet og dermed sundheden hos brugerne.





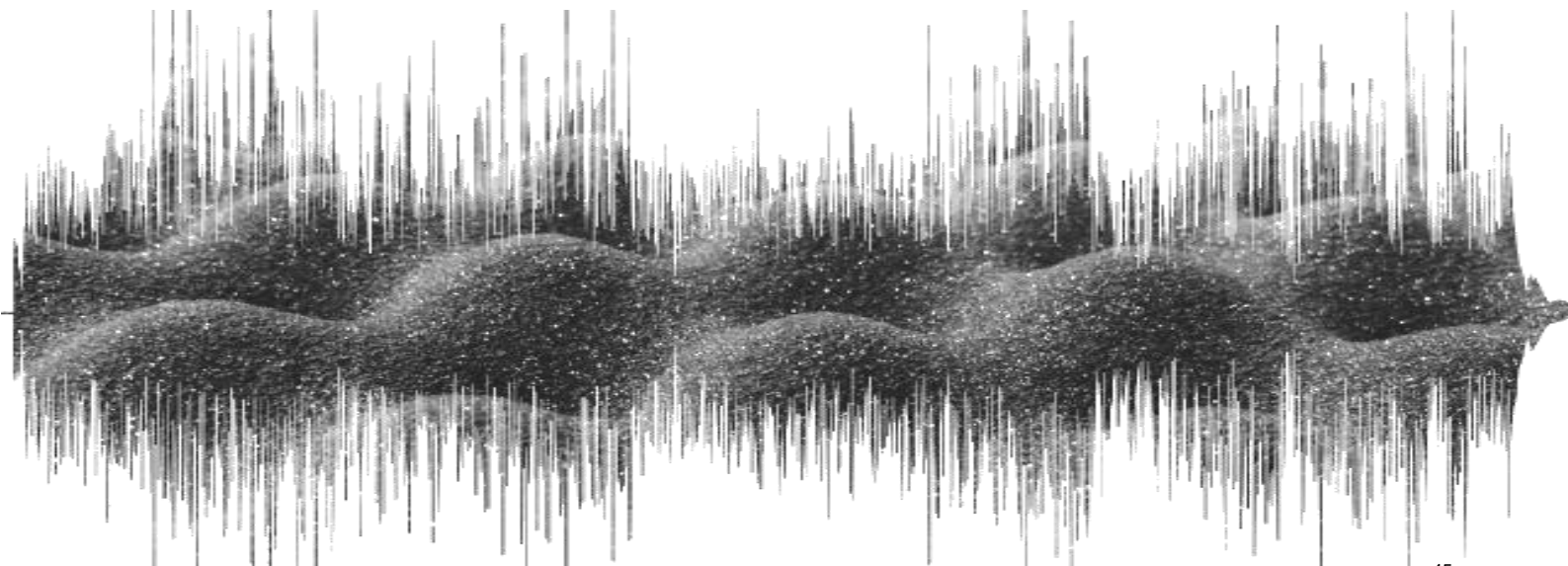
Et dårligt akustisk indeklima har vist sig at være langt mere risikobetonet end tidligere antaget. Undersøgelser viser, at støj kan medføre f.eks. hjertekarsygdomme, og Miljøstyrelsen vurderer, at der forekommer op mod 200-500 dødsfald om året på grund af trafikstøj. Støj fra installationer og trafikstøj samt lange efterklangstider er nogle af de umiddelbare kilder i hjemmet, som påvirker beboere og deres dagligdag. Akustik bør tænkes ind i byggeprojektets tidlige fase for at opnå tilfredsstillende indeklima. I Sunde Boliger har der været fokus på flere akustiske parametre.

## Udfordring

Vores hørelse opfatter selv meget lave lyde fra tekniske installationer som støj. En af de største udfordringer i boliger består i at undgå støjgener i opholds- og soverum. Før i tiden indrettede vi os med væg-til-væg tæpper, tykke gardiner, polstrede møbler og bunker af puder. Dette var måske mindre heldigt i forhold til bakterier og partikelforurening, men fint for akustikken. I dag indretter vi os typisk langt mere minimalistisk, og dette betyder, at vi mangler effektive lyddæmpere og derfor må stille ekstra store krav til den akustiske performance i de boliger, vi bygger eller renoverer. De hårde overflader reflekterer lyden, så efterklangstiden forlænges og dermed hæver støjniveauet. Manglen på integreret akustisk design resulterer ofte i eftermontering af akustikplader, som både er dyrt og sjældent pynter arkitektonisk.

## Løsning

Støj kan være en ulempe ved mange ventilationsanlæg. Især i moderne boliger, hvor isolerende tre-lags ruder holder en stor del af støj fra omgivelserne ude, hvorved vores logaritmiske hørelse lægger ekstra meget mærke til de indendørs lydtrykniveauer. I YES- og NO-Tech husene skaber et perforeret loft med tusindvis af huller ikke blot mere og bedre ventilation, men mindsker også efterklangstiden og skaber generelt et bedre akustisk miljø. Det lavere støjniveau skyldes især, at arealet, der blæses luft ind gennem, er gjort markant større. Større areal giver lavere lufthastighed og dermed mindre indblæsningsstøj. For at reducere støjgener fra emhættedrift er YES-Tech emhætten koblet på ventilationsanlægget i teknikskabet i entreen. En løsning som hypotetisk vil reducere støjproblemet fra emhætten, idet den typiske selvstændige emhættemotor undgås, hvor man laver mad og taler sammen.



# Efterklangstid i boligerne

Et af de vigtigste akustiske rumparametre er efterklangstiden, som angiver, hvor lang tid det tager fra en lydkilde afbrydes, til at lydniveauet er faldet med 60 dB. Såvel rummets geometriske udformning som overfladernes lydabsorberende evne har indflydelse på efterklangstiden. Derfor spiller beboernes indretning i form af f.eks. sofa, gardiner og bogreoler også en væsentlig rolle i forhold til akustik. Lyd måles i hertz (Hz), som betyder svingninger per sekund. Øret opfatter få hertz som dybe toner og modsat mange hertz som høje toner.

Efterklangstiden måles over et jævnt fordelt frekvensbånd. Bygningsreglementet anbefaler en opnået efterklangstid i boliger, som ikke overstiger  $T=0,6s$  i møblerede opholdsrum, men dette er dog ikke et krav. I Sunde Boliger er efterklangstiden undersøgt uden møblement og brugerindflydelse for at belyse, om den akustiske designproces har givet et reelt resultat. På næste side illustreres, hvilke rum, der er undersøgt for efterklangstid. De undersøgte rum er valgt ud fra deres sammenlignelighed boligerne i mellem, samt ud fra mulige, særlige udfordringer, som f.eks. forældresoveværelset i NOW-Tech, hvor der generelt kun er hårde overflader.

## NOW-Tech

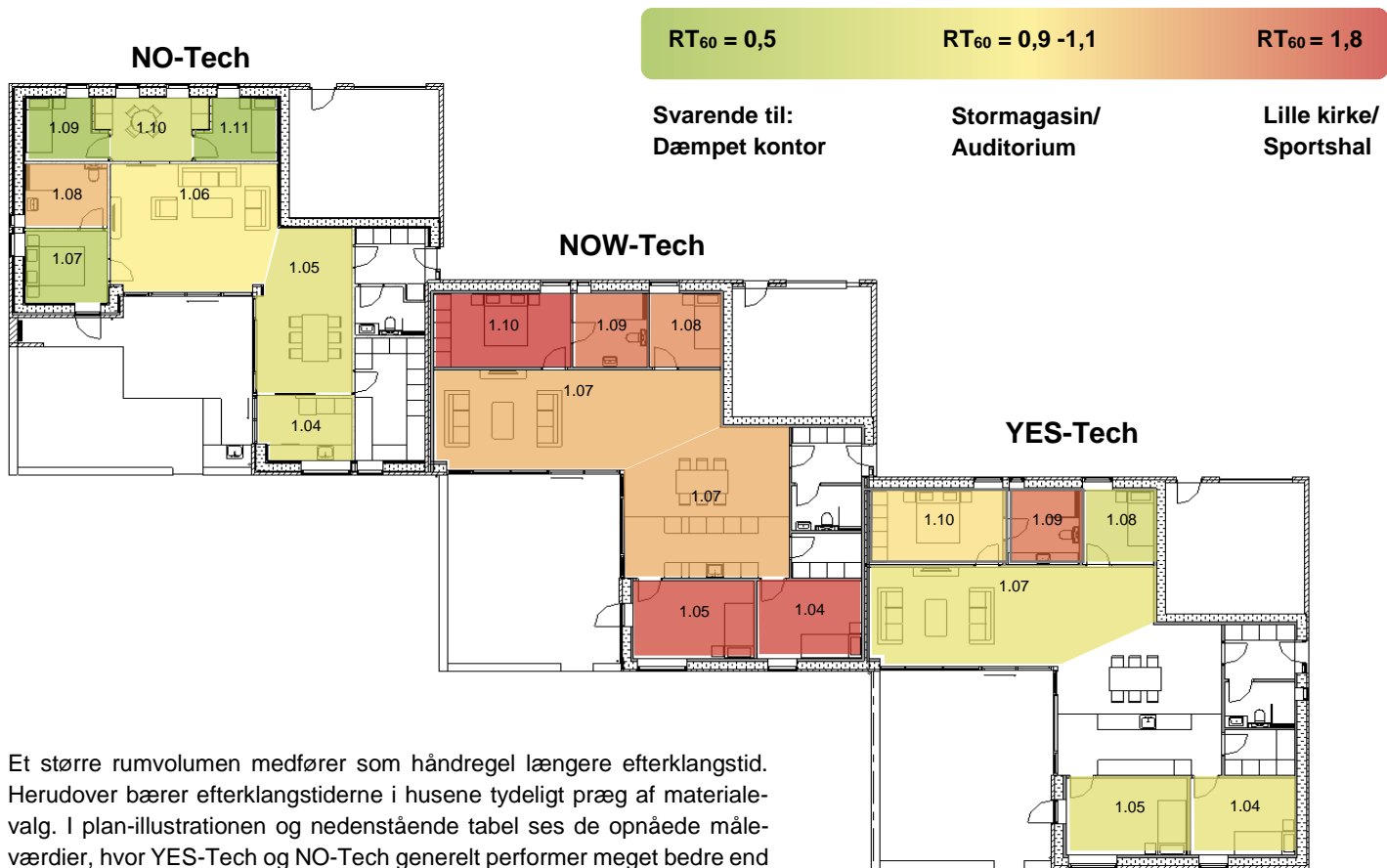
Lofterne i Sunde Boliger varierer i forhold til absorptions effektivitet. I NOW-Tech er der monteret nogle klassiske perforerede Gyproc Big Quattro 71 loftsplader (perforeringer på  $3 \times 3$  mm) med 30mm bagvedliggende mineraluldsisolering. Der er på lige vilkår med de fleste andre nybyggerier monteret gipsvægge og trægulve uden megen lydabsorption.



## YES- & NO-Tech

I YES- og NO-Tech er der installeret et nedhængt Gyptone Quattro 20 akustikloft (perforeringer på  $9 \times 9$  mm). De større perforeringer medvirker til en bedre lydabsorption, mens den bagvedliggende dug dæmper lydtrykket yderligere. Luftrummet over akustikpladerne er tomt.





Et større rumvolumen medfører som håndregel længere efterklangstid. Herudover bærer efterklangstiderne i husene tydeligt præg af materialevalg. I plan-illustrationen og nedenstående tabel ses de opnåede måleværdier, hvor YES-Tech og NO-Tech generelt performer meget bedre end NOW-Tech. Det skal understreges, at boligerne er målt **uden møbler**. Hvorvidt det reelt betyder noget for beboerne afhænger fuldstændigt af deres indretning og valg af møblement. Fremtidige målinger vil belyse situationen efter indflytning.

Målepositioner for efterklangstid i de forskellige boliger. Nummereringen på figuren henviser til nedenstående rumnumre.

### Opholdsrum

NO-Tech		NOW-Tech		YES-Tech	
Rum nr.	Efterklangstid RT <sub>60</sub> [s]	Rum nr.	Efterklangstid RT <sub>60</sub> [s]	Rum nr.	Efterklangstid RT <sub>60</sub> [s]
1.06 Stue	0,92	1.07 stue	1,23	1.07 stue	0,84
1.07 Sove	0,64	1.04 sove	1,78	1.04 sove	0,83
1.09 Sove	0,53	1.05 sove	1,77	1.05 sove	0,81
1.11 Sove	0,52	1.08 sove	1,44	1.08 sove	0,75
1.05 Spisestue	0,82	1.10 sove	1,86	1.10 sove	1,00
1.04 Køkken	0,80	1.07 Køkken-alrum	1,25		
1.10 Lege	0,76				

### Andre rum

NO-Tech		NOW-Tech		YES-Tech	
1.08 Bad	1,21	1.09 Bad	1,57	1.09 Bad	1,57

# Støj fra installationer

Installationsstøj kan give anledning til kommunikationsvanskeligheder og forringet nattesøvn. Der er gennem tiden blevet etableret mange emhætter eller ventilationsenheder i boliger uden nærmere tanke på støj. Ydermere har mange boliger teknikskakte placeret tæt op ad soverum uden støjreducerende indkapsling med risiko for, at f.eks. vandførende rør som faldstammer giver anledning til brugsstøj. Kravene til støj i boliger jf. bygningsreglementet er i nedenstående tabel suppleret med MOE's anbefalinger, hvor støjniveauet fra installationer ikke bør overstige 25dB i soverum. Kravet stilles til tekniske installationer og nabostøj.

<b>Støjniveau fra installationer</b>	<b>L<sub>Aeq</sub> ≤ [dB]</b>	<b>Reference</b>
<i>I beboelsesrum, fælles opholdsrum og køkkener</i>	30	BR 2015/DS 490
<i>I soverum (supplerende MOE anbefaling)</i>	25	MOE Anbefaling
<i>I beboelsesrum og fælles opholdsrum, fra erhverv i dag/natperioden</i>	30/25	BR 2015
<i>Udendørs i dag/natperioden</i>	40/35	BR 2015

Formålet med støjmålingerne var at kortlægge, om man gennem integreret akustisk design kunne skabe sunde boliger trods andre, potentielt støjende indeklimatiltag, uden at gå på kompromis med akustikken. Partikelmålerne i indeklimasensorerne og centralstøvsuger blev målt for at have det totale overblik over typiske mulige støjgener i boligen. Ydermere blev forskellen mellem emhætter koblet på ventilationsanlægget versus emhætter med indbyggede ventilatorer testet i forhold til støj i nærområdet, samt spredningen i forbindelse med forcering af udsuget.

## Målemetode

Støjmålingerne i Sunde Boliger blev foretaget med Sound Analyser Nor140. Følgende kilder blev registreret i forbindelse med de akustiske målinger:

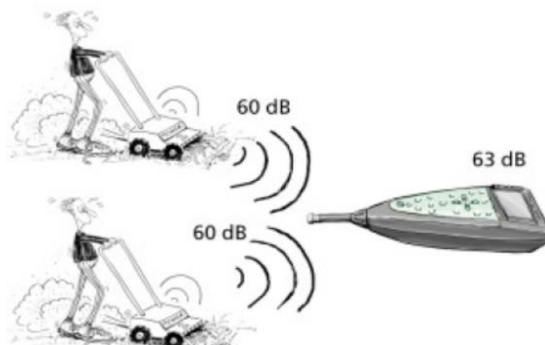
- 1) Baggrundsstøj
- 2) Ventilationsmedier
- 3) Ventilationskanalstøj
- 4) Partikelmålere
- 5) Emhætter
- 6) Centralstøvsuger
- 7) Almindelig støvsuger





## Baggrundsstøj

Alle støjmålinger bør korrigeres for baggrundsstøj. Dette skyldes den akustiske forstærkning af et lydtrykniveau ved tilstedeværelse af flere støjkloder. Som illustreret i figuren kan 2 x samme lydtryk registreres 3 dB højere end lydtilstedeværelse af en enkelt støjklode. Det vil sige, at de målte støjkloder i Sunde Boliger skal korrigeres for baggrundsstøj for at give et reelt billede af støjklodens lydtrykniveau. Alle resultater for støjmålinger præsenteres i  $L_{Aeq,v}$ , hvilket betyder, at der er korrigeret for baggrundsstøj.



## Ventilationsanlæg

Ventilationsanlæg flytter ofte mange kubikmeter luft og risikerer dermed at støjforurene i nærområdet omkring aggregatet. Derfor placeres boligaggregater typisk i bryggers eller entré, som ikke anses for opholdsrum, og hvor støjkrav derfor ikke er gældende.

I Sunde Boliger er ventilationsanlæggene i NOW- og YES-Tech placeret i entreen, mens NO-Tech har udsugningsventilatorer placeret i toppen af de 4 solskorstene. I forbindelse med støjmålingerne i NOW- og YES-Tech blev lydtrykniveauerne registreret med både åbne og lukkede garderobeskabe, som inddækker aggregaterne. Som en ekstra detalje blev garderobeskabene udstyret med gummilister langs samlinger for at dæmpe støj yderligere. I NO-Tech blev støj fra udsugningsventilerne kontrolleret, også i hovedhøjde. Det skal nævnes, at YES-Tech aggregatet leverede 50 % mere luft end NOW-Tech aggregatet under måling.

Ventilationsenhed placering	Lydtrykniveau [ $L_{Aeq,v}$ ]
NO-Tech	42,3
NO-Tech (forceret)	55,5
YES-Tech åbent skab	44,1
YES-Tech lukket skab	35,2
NOW-Tech åbent skab	42,4
NOW-Tech lukket skab	31,2

## Kanalstøj

Støj gennem kanaler er uundgåeligt. Det er blot et spørgsmål om, hvor meget støj som genereres, hvilket i høj grad afhænger af hastigheden i kanalen. I nedenstående tabel ses støjmålingerne for NOW-Tech versus YES-Tech. Den diffuse loftsindblæsning i YES-Tech performer markant bedre end den traditionelle indblæsning i NOW-Tech.

	NOW-Tech værelse 1.08	YES-Tech værelse 1.08
<i>Indblæsningstype</i>	Loftarmaturer	Diffus loftsindblæsning
<i>Luftmængde [l/s]</i>	7,0	15,0
<b><i>Lydtrykniveau ventilationsindblæsning</i></b> <i>[<math>L_{Aeq,v}</math>]</i>	<b>33,9</b>	<b>29,2</b>

## Partikelmåler

Prototype-partikelmålerne i Sunde Boliger måler mængden af PM2.5 partikler i alle rum. Partikelniveauet registreres med en sensor kombineret med en lille ventilator, som trækker luft igennem måleren. Udfordringen ved partikelmålinger er derfor at begrænse størrelsen på selve målerenheden og samtidig holde støjniveauet nede. I nærværende tilfælde lykkedes det ikke firmaet at producere måleenheder, som overholder kravene til tekniske installationer.

<i>Partikel målerenhed</i>	Lydtrykniveau [ $L_{Aeq,v}$ ]
<i>I NO-Tech soverum</i>	34,6



## Almindelig vs. centralstøvsuger

At støvsuge boligen fri for synligt støv med en ganske almindelig støvsuger kan både forurene luften med sundhedsskadelige partikler, men også støjforurene det omkringliggende miljø. Der findes ikke krav til støj fra støvsugere, eftersom det ikke er en teknisk installation. Ikke desto mindre påvirkes alle beboere i forbindelse med rengøringen. Derimod gælder der lydkrav i forhold til støj mellem boligenheder fra f.eks. vaskemaskiner, og man kunne derfor argumentere for, at en løsning med centralstøvsuger, på lige vilkår, bør ses som en teknisk installation, og dermed også bør efterleve lydkrav.

For at undersøge potentielle gener ved brug af centralstøvsuger blev der udført støjmålinger af de forskellige støvsugningsmetoder. Nedenfor ses, at centralstøvsugeren performer bedre end støvsuger 1, men ringere end støvsuger 2. Undersøgelsen viser således blot, at centralstøvsugere i nærværende tilfælde støjforurener på lige fod med andre støvsugere, og derfor ses et potentiale i at udvikle på teknologien. I forhold til partikelforurening er centralstøvsugere, som tidligere vist, dog stadig klart anbefalet.

Støvsuger	Lydtrykniveau [ $L_{Aeq,v}$ ]
<i>Almindelig Støvsuger 1</i>	85,4
<i>Almindelig Støvsuger 2</i>	63,6
<i>Centralstøvsuger</i>	70,3

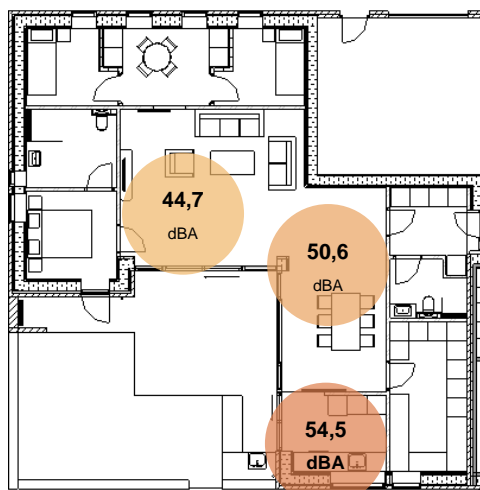


## Emhætter

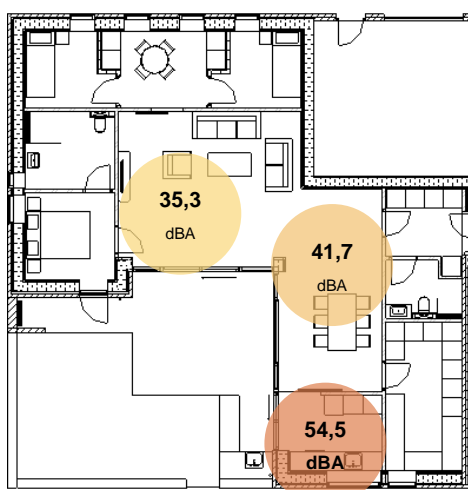
Emhætten er en stor synder i forhold til støjforurening af boligen, hvor den blandt andet påvirker det sociale samvær. Madlavning med tændt emhætte foregår ofte i eftermiddags- og aften timerne, hvor beboerne er kommet hjem fra arbejde og har muligheden for at snakke sammen og slappe af. Derfor ses der et stort potentiale i at reducere støj fra emhætter. Der findes ikke lovkrav til støjniveauer fra emhætter, med mindre de er koblet på ventilationsanlægget og indgår i boligens grundlæggende basisventilationsstrategi.

I YES-Tech blev emhætten koblet på ventilationsanlægget blandt andet for at varmegenvinde, men også for at reducere de støjgener, som ofte opstår med ventilatorer placeret i emhætten. I NOW-Tech var emhætten placeret over kogeø midt i køkkenet. I NO-Tech medførte ideen om kildekontrol, at emhætten blev placeret i køkkenet, hvor en glasdør adskiller køkkenet fra resten af boligen. Støj fra emhætterne blev både målt lokalt, men også i fjernere dele af boligen. I nedenstående figur ses spredningen af støj fra emhætte til resten af boligen. Det er tydeligt, at både opkoblingen til ventilationsaggregatet i YES-Tech og kildekontrollen i NO-Tech har en stor indvirkning på støjens spredning. Figureerne er baseret på baggrund af lydmålinger foretaget ved emhætter, som omtrentlig leverede 80 l/s i udsugning under støjmålingerne.

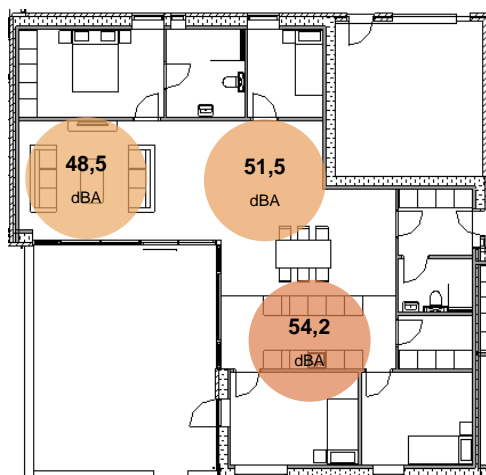
NO-Tech  
med åben  
glasdør



NO-Tech  
med lukket  
glasdør



NOW-Tech



YES-Tech



Resultater for måling af støj fra emhætter i Sunde Boliger. Der var ingen møbler til stede under målingerne. Øverste to figurer illustrerer forskellen mellem åben og lukket glasdør i NO-Tech, mens de nederste to figurer generelt illustrerer forskellen mellem emhætte tilkoblet ventilationsaggregat og emhætte med selvstændig ventilationsenhed.

# Træk



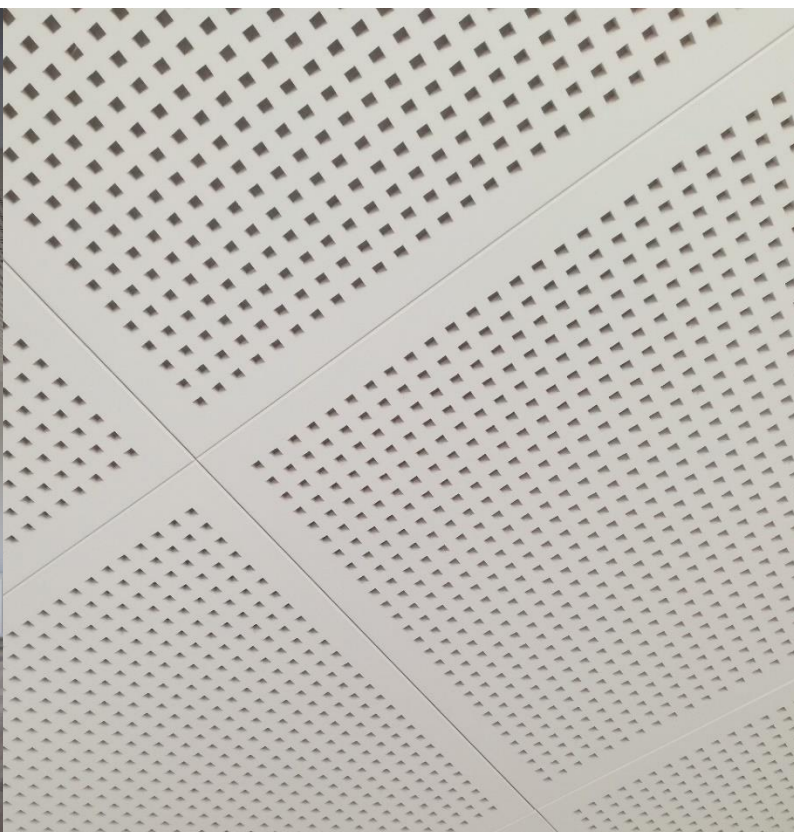
For høj lufthastighed i opholdszonen kan nemt resultere i træk og dermed dårlig komfort. Typiske kilder til trækgener er blandt andet forkert ventilationsdesign og kuldnedfald ved vinduer. Bygningsreglementet anbefaler en max lufthastighed på 0,15 m/s i opholdszonen i lokaler med stillesiddende aktivitet. Dog kan en højere lufthastighed accepteres, når temperaturen overskrider 24 °C om sommeren.

## Udfordring

Træk føles ubehageligt og kan blandt andet føre til stivhed og spændinger i nakken, der giver hovedpine. I Sunde Boliger er der eksperimenteret med flere forskellige ventilationsløsninger, og boligerne er derfor hver især undersøgt for mulige trækgener. En af udfordringerne var blandt andet at tilføre mere luft til en bolig uden at skabe trækproblemer.

## Løsning

I YES-Tech huset og NO-Tech huset kommer luften ind i sove- og opholdsrummene gennem tusindvis af små huller, spredt ud over loftet. De mange huller giver tilsammen et meget stort indblæsningsareal, hvilket alt andet lige betyder, at luften bevæger sig langsommere og derfor ikke giver samme anledning til træk og støjgener. Arealet er så meget større, at det faktisk samtidig er muligt at øge luftskiftet sammenlignet med et normalt anlæg. Ydermere giver de mange ventilationshuller en bedre reducere af efterklangstiden.



# Træk og lufthastigheder

Følelsen af træk opstår, når lufthastigheden i opholdszonen er for høj og temperaturen af luftstrømmen for lav. Bygningsreglementet foreskriver, at der i forbindelse med planlægning af ventilationsstrategi bør beregnes på antallet af forventede utilfredse på grund af træk. Jævnfør DS/EN ISO 7730 beregnes den såkaldte "draught rate", som ikke bør overstige 20 %:

Man måler typisk opholdszonens lufthastigheder i højderne 0,1m og 1,1m over gulv for at imitere ankler og hovedets placering i en siddende position (eksempelvis i indeklima standarden DS/CEN/CR 1752:2001). Ydermere kan man i nogle tilfælde måle lufthastigheden i 1,7m højde, hvor hovedet og nakken typisk befinder sig i en stående position.

## Kuldenedfald ved vinduer og træk fra ventilation

De iværksatte måleforsøg i Sunde Boliger blev udført for at understøtte nogle af boligernes innovative indeklimatiltag. Overordnet var målet at undersøge 2 potentielle trækgener i opholdszonen:

### 1) Træk fra ventilation

I YES-Tech søges indblæst 50% mere luft i hele huset i forhold til NOW-Tech huset, og derfor er der valgt et diffust loftindblæsningssystem. Her skabes et trykkammer over det nedhængte loft, hvorfra luften vil sive jævnt ned gennem loftspladerne. På denne måde vil overfladearealet for indblæsningsluften øges, og lufthastigheden sænkes. I NO-Tech trækkes indblæsningsluften direkte ind over det nedhængte loft, hvor det forvarmes i kanalen af rumvarmen, før det trænger ned gennem loftsplader. Derfor blev det også undersøgt, om indblæsningsluften blev tilstrækkelig opvarmet på kolde dage.

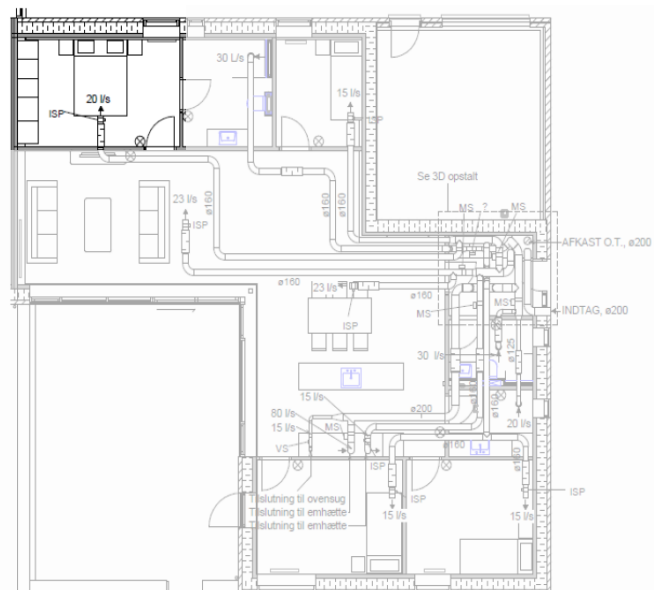


### 2) Træk som følge af kuldenedfald ved vinduer

I NO-Tech blev der monteret tolags-ruder med jernfattet glas for at trække mere dagslys ind og for at undersøge indtrængningen af UV-A og UV-B stråler. Tolags-ruder giver risiko for kuldenedfald ved større vinduesfacader, så der er også undersøgt for denne mulige gene.

### Måleforsøg

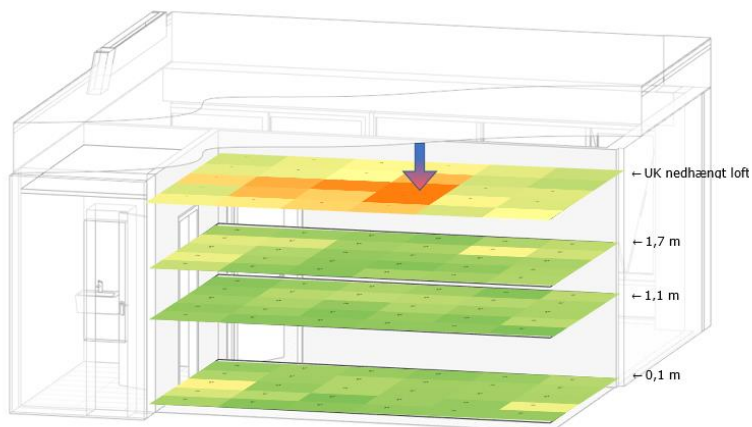
Til måling af potentielle trækgener i YES-Tech versus NOW-Tech blev der opstillet fintfølende udstyr i boligernes soveværelse 1.10. I et gitter svarende til 5 x 6, blev der målt på lufthastigheder i højderne 0,1 meter, 1,1 meter, 1,7 meter og 10 centimeter under loft. Alle målinger blev udført under normale ventilationsdriftsforhold med standard luftsikter i soveværelserne, dog både med åben og lukket dør ud til badeværelset, hvor udsugningen kørte på normal drift. Ved måling af kuldenedfald foran vinduer i NO-Tech, blev der ligeledes målt i forskellige afstande til vinduet samt i forskellige højder.



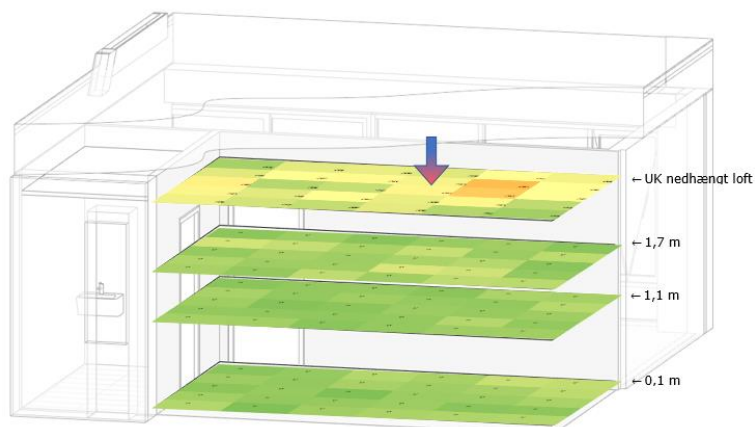
# Træk fra ventilation

## NOW-Tech målinger

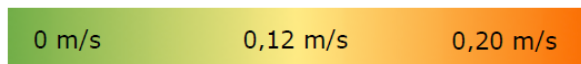
NOW-Tech har standard balanceret ventilation med luftmængder svarende til Bygningsreglementets minimumskrav. Nedenfor ses de to måleforsøg i NOW-Tech soveværelset, hvor der generelt ikke anses at være ventilationsrelaterede trækproblemer. I højre figur ses lufthastigheden i de forskellige luftlag, i mens badeværelsesdør og dør til stue står lukket, i venstre med åbne døre.



Åbne døre

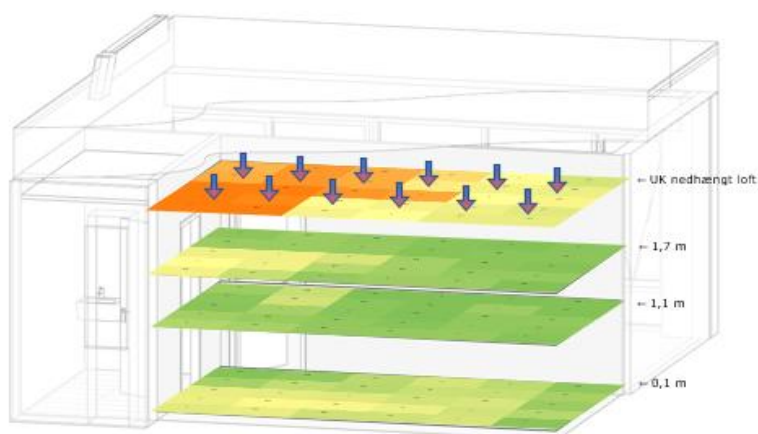


Lukkede døre

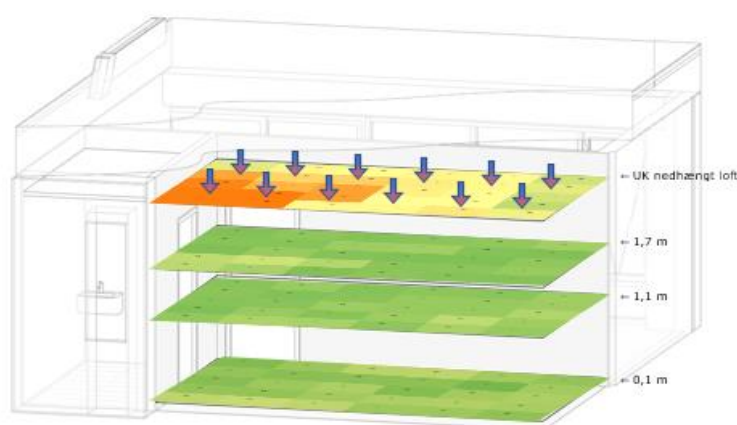


## YES-Tech målinger

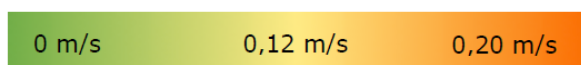
Lufthastighederne i YES-Tech soveværelset nærmer sig ikke lufthastigheder, som kan give anledning til trækgener. Af nedenstående fremgår det, at luftstrømningen i opholdszonen overholder kravene til træk, trods den væsentligt forøgede luftmængde. Lufthastighederne er relativt høje 10 cm. under loftet, og det lader til, at luften trækkes mere ned gennem loftspladerne i området tættest på badeværelset. Det skyldes, at indblæsningsluften søger korteste vej mod udsugningen. Med lukkede døre syner lufthastigheden mere jævn i opholdszonen.



Åbne døre

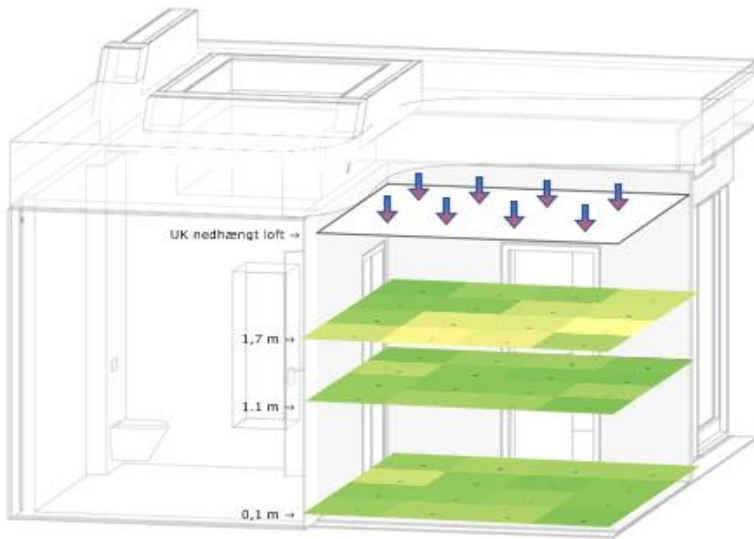


Lukkede døre

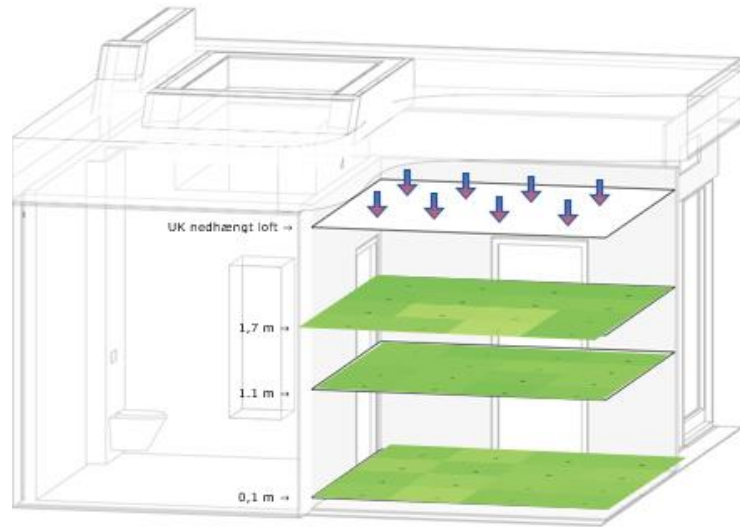


## NO-Tech målinger

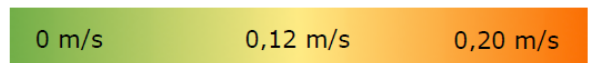
Generelt er der ikke nogen trækproblemer i opholdszonen. Lufthastigheden i NO-Tech kan variere på baggrund af trykforhold mellem inde og ude. Hastigheden i opholdszonen blev større med åbning af døre ind til rummet med udsugning.



Åbne døre



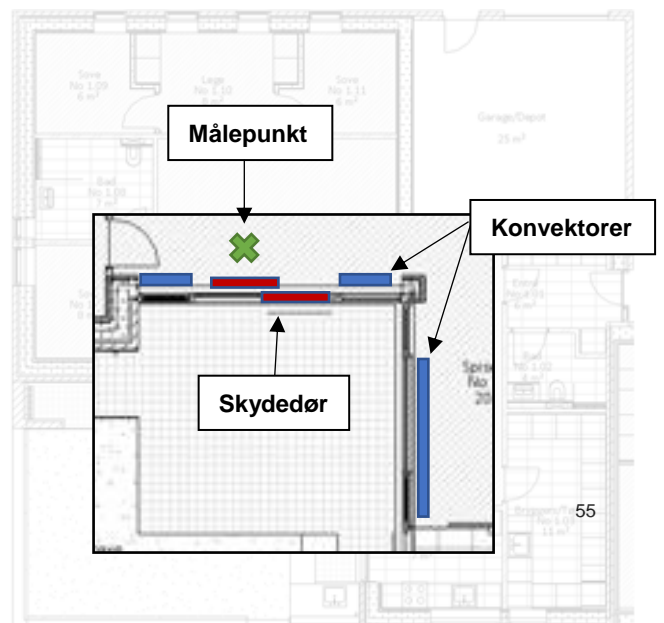
Lukkede døre



## Kuldenedfald

Der blev målt på kuldenedfald ved det største glasparti i NO-Tech for at undersøge trækgener i vinterhalvåret. Glaspartiet er udstyret med lave radiatorer underneenden til at modvirke eventuel kuldenedfald. Normalt dimensioneres bygninger til en minimumtemperatur på  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Det er også ved denne temperatur, man beregner det potentielle kuldenedfald. Der har i måleperioden ikke været  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  udendørs, og dermed ingen mulighed for at teste kuldenedfald i en én-til-én sammenligning. Der blev dog målt på en dag med  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  udendørs. Alle beregninger og målinger er udført ved en inde temperatur på  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Glasfacaderne i NO-Tech giver ikke anledning til træk, og det kan diskuteres, om man kunne undgå lave radiatorer foran vinduerne og i stedet have placeret dem ved væggene.

	Ude-temperatur	Middel-lufthastighed
Teoretisk kuldenedfald	$-12\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,16 m/s
BR18 krav til lufthastighed	$-12\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 0,18\text{ m/s}$
Teoretisk kuldenedfald	$-2\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,13 m/s
Målt kuldenedfald	$-2\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,07 m/s





# Temperatur

For høj eller lav temperatur kan give anledning til ubehag. Ved for høje indendørstemperaturer bliver vi ofte sløve og trætte, mens vi ved for kolde temperaturer bliver anspændte, i og med at kroppen forsøger at holde varmen. Selvom vores komforttemperatur er afhængig af andre parametre som luftfugtighed og lufthastighed, har der i Sunde Boliger været fokus på at opretholde jævne temperaturer tilpasset årstiden.

## Udfordring

Et facadedesign har stor betydning for indreguleringen og opretholdelse af en tilstrækkelig komforttemperatur. I kombination med et stigende ønske om større glaspartier, bliver det ofte svært at indregulere temperaturen uden at bruge store mængder energi. Samtidigt har langt de fleste boliger termostatventiler med manuel indregulering af temperaturen. De reagerer meget langsomt, og det får mange til at indstille termostatventilen på yderpunkter, som på sigt giver enten for lave eller for høje temperaturer.

## Løsning

I YES-Tech huset sikrer det højteknologiske, zoneopdelte ventilationssystem, at luften skiftes ud efter behov. Til styring af temperaturen er der installeret Danfoss Living termostatventiler, som opretholder en ønsket temperatur i boligen. Her registrerer sensorer blandt andet temperaturen, og der reguleres op eller ned for varmen efter behov. I det lavteknologiske NO-Tech hus udgør de såkaldte solskorstene et naturligt ventilationssystem, som ved øget varme inden døre naturligt vil øge luftskifte og lufthastighed, idet varme stiger opad, og naturens egne drivkræfter dermed aktiveres yderligere. I NO-Tech huset er der desuden etableret et øget udhæng for at afskærme mod solen, der ellers kan skabe en overophedning i huset.

## Fremtidige målinger

Der er endnu ikke flyttet beboere ind i Sunde Boliger, men fremadrettet registrerer de opsatte sensorer blandt andet temperatur i alle boligernes individuelle rum. Dermed vil det vise sig, hvordan temperaturen reguleres henover året. Om beboerne er i stand til at opretholde et tilstrækkeligt termisk indeklima, er i høj grad også afhængigt af brugeradfærd og den generelle interne belastning fra apparater mm.







# Luftfugtighed

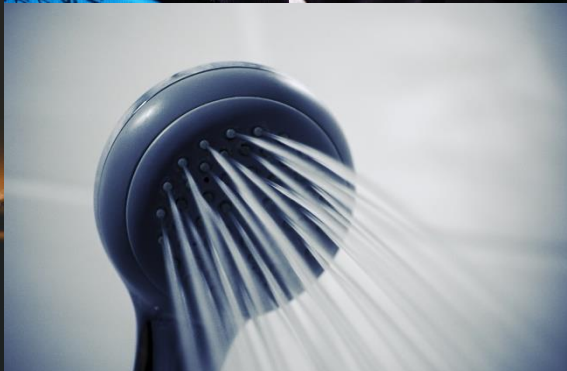
For høj luftfugtighed kan give skader på bygningens konstruktioner og have negativ påvirkning af beboernes sundhed og velvære. Generelt fremmes mikrobiologiske vækster i takt med forøget relativ luftfugtighed, hvor bakterier og svampesporer finder bedre forhold til at formere sig. Bad og tøjvask er blandt de typiske hjemlige aktiviteter, som kan give forøgede relative luftfugtigheder. Ophobning af fugt sker, hvor luftskiftet ikke er tilstrækkeligt. I Sunde Boliger er der udført tiltag, som sigter mod at være mere robust over for brugeradfærden og dens betydning for indeklimaets luftfugtighed.

## Udfordring

Madlavning, fugtigt vasketøj, sved, bad, ja selv vores åndedræt. Listen er lang over de aktiviteter, som beboere foretager sig indendørs, der er med til at skabe et fugtigt indeklima. Ofte spreder fugten sig rundt i boligen og til konstruktionerne.

## Løsning

NOW-Tech har, som almindeligt standard nybyggeri, ventilation med udsug i køkken, bryggers og badeværelser og erstatningsluft/friskluft i opholdsrum. For hurtigt at bortskafe for høj luftfugtighed er luftskiftet i YES-Tech forøget med 50 %. I NO-Tech er konstruktionen bygget uden dampspærre og med hygroskopiske overflader, som kan optage fugten, hvor belastningen er høj, for at senere at kunne frigive fugten. På den måde afbalancerer konstruktionen brugerens aktivitetsbaserede fugtbelastning.

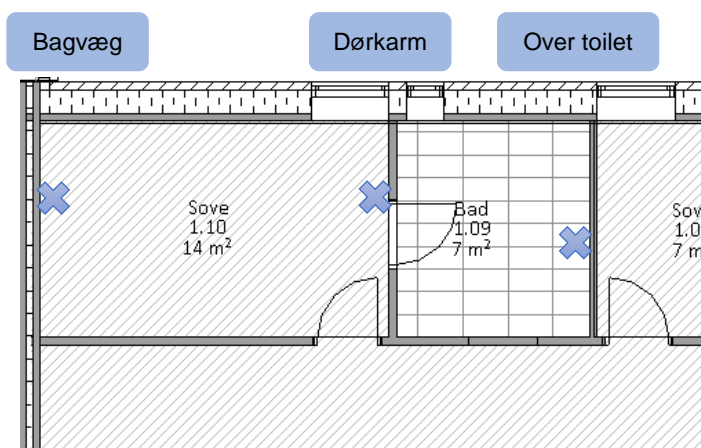


# Håndtering af badeværelsesdamp

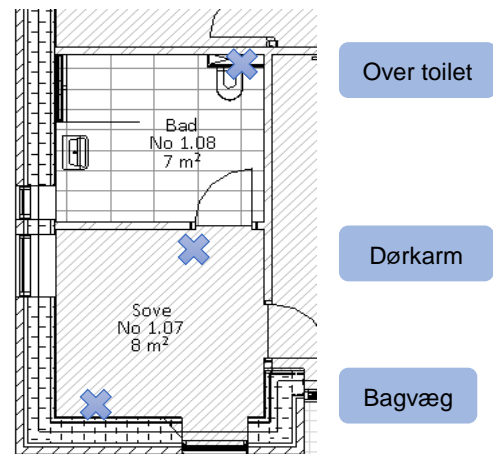
Vi danskere bruger typisk mellem 5-15 minutter i badet. I Sunde Boliger blev det undersøgt, hvordan badet egentlig forurener indeklimaet og særligt de omkringliggende opholdsrum. Gennem forsøg, hvor bruserne var tændte i 7 kontinuerlige minutter, blev der registreret relative luftfugtigheder i boligens tilstødende rum for at undersøge vandringsen af aktivitetsbaseret fugt. Formålet med forsøget var at undersøge, hvordan en forøget luftfugtighed i boligerne håndteres gennem ventilationsstrategierne.

## Måleforsøg

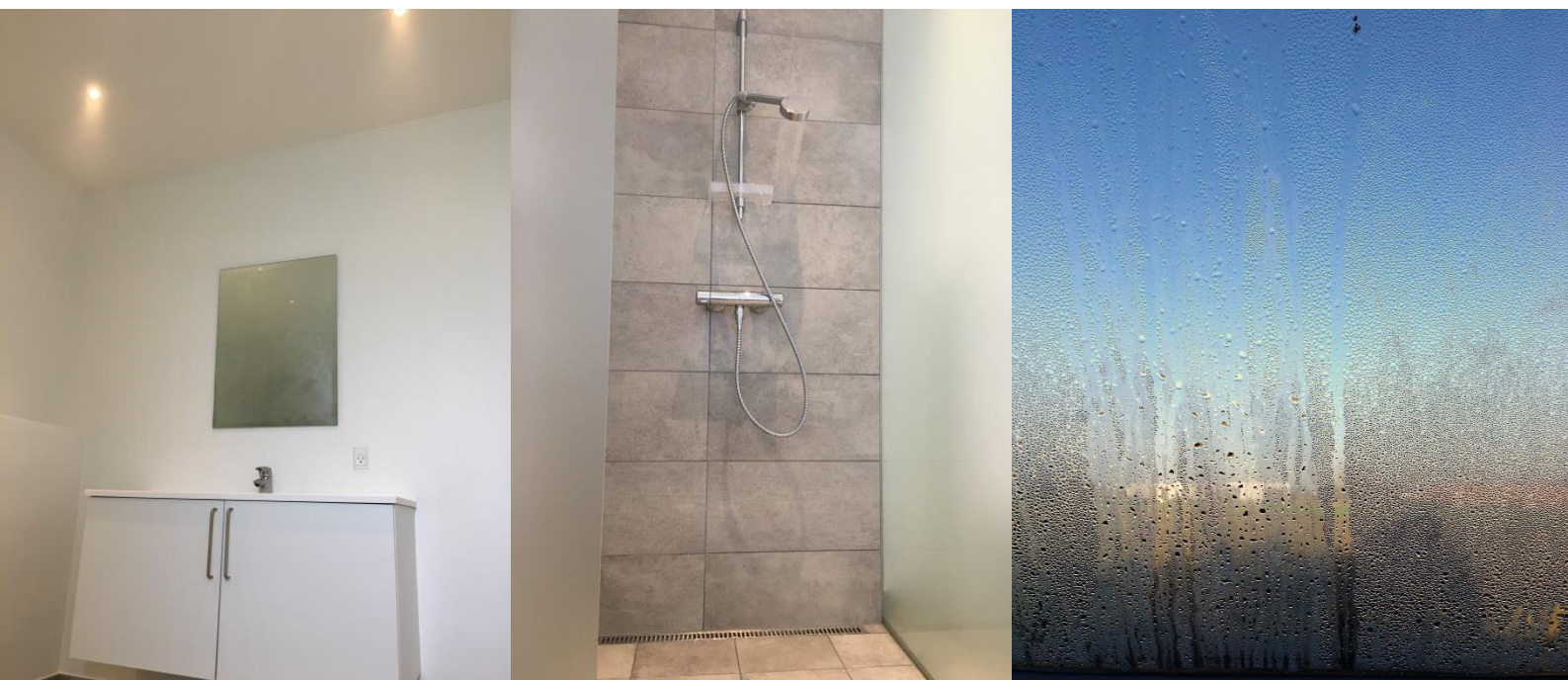
Alle målinger blev foretaget på samme tid, hvor udendørsforhold var ens. Under forsøget blev der monitoreret på luftfugtigheden i 3 positioner, som illustreret i nedenstående figurer. Under det 7 minutters brusebad, og yderligere 1 minut efter endt bad, blev dørene til badeværelser holdt lukket, hvorefter badeværelsesdørene blev åbnet, og boligerne blev sat på prøve i forhold til at håndtere den ophobede luftfugtighed. Måleenhederne var placeret som illustreret på nedenstående figur i 1,1 meters højde.



YES-Tech / NOW-Tech



NO-Tech



# Ventilationens betydning for fugt

Den relative luftfugtighed i boligerne viste sig i høj grad at være afhængig af ventilationsstrategien og luftskiftet. I nedenstående grafer ses resultaterne af måleforsøgene, hvor både det høj- og lavteknologiske hus formår at vise fordele ved sammenligning med BR15-huset NOW-Tech.

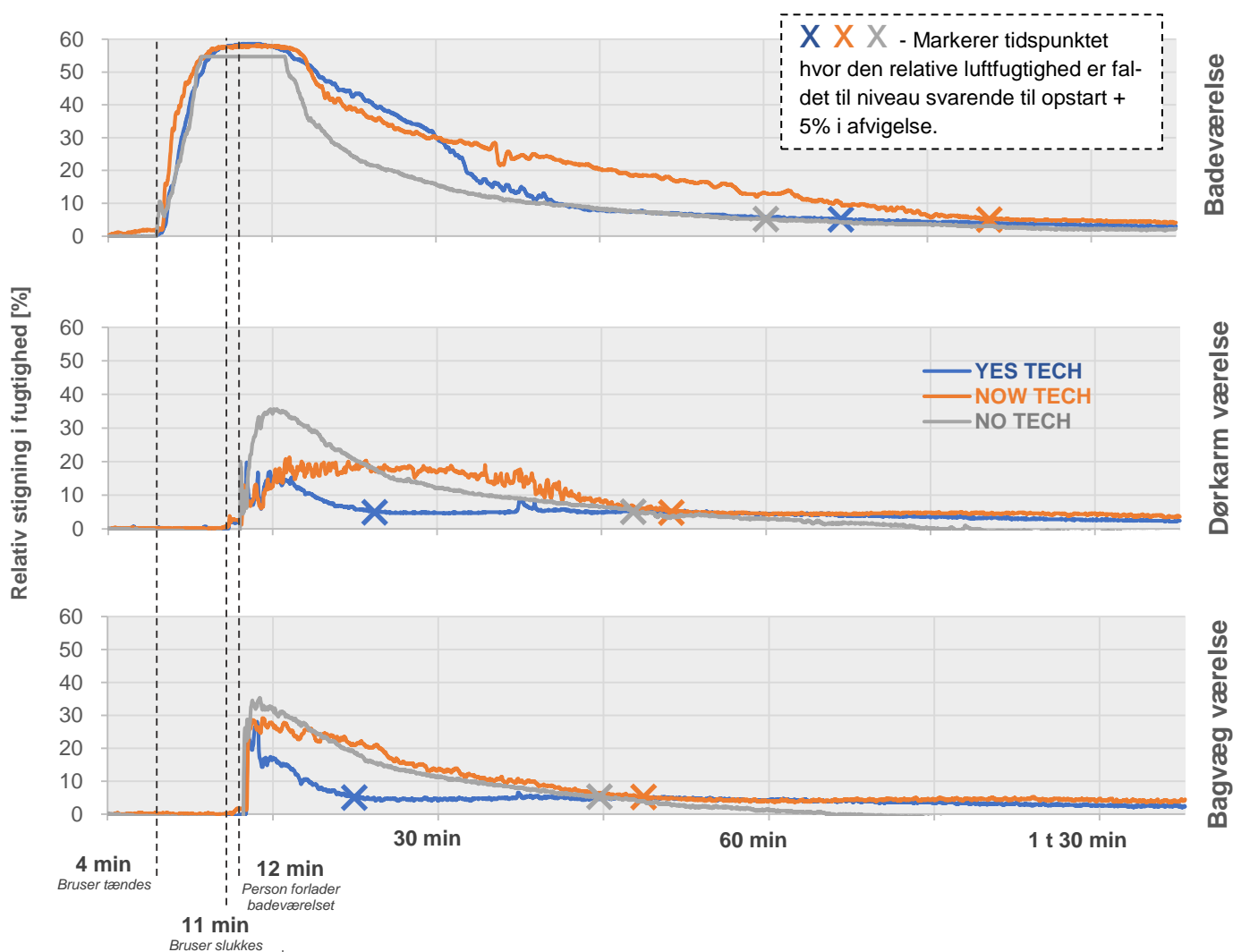
## Afskaffelse af spidsbelastende fugt

I nedenstående grafer ser vi blandt andet en tydelig tendens til, at YES-Tech ventilerer fugten hurtigere væk end NOW-Tech boligen. Luftfugtigheden genoprettes generelt langt hurtigere til normal i både YES- og NO-Tech, sammenlignet med NOW-Tech. I graferne markerer krydserne, hvornår nærområdet har en relativ luftfugtighed, som afviger max 5% fra begyndelsessværdien. Sammenlignet med NOW-Tech som

reference er der i YES-Tech kun den forøgede luftmængde og i NO-Tech blot det forøgede volumen samt diffusionsåbne overflader, til forskel. På øverste graf illustreres, hvordan NO-Techs diffusionsåbne materialer og det forøgede volumen relativt hurtigt genopretter fugtbalancen på badeværelset. Herefter tager det tid for de diffusionsåbne materialer at frigive fugten igen.

## Spredning til omkringliggende rum

Kan man undgå spredning af fugt til omkringliggende opholdsrum, er dette selvfølgelig at foretrække. Ikke desto mindre viser nedenstående grafer, at en åben badeværelsesdør hurtigt overfører fugt til tilstødende opholdsrum trods udsugning på badeværelserne. I tabellen ses, hvordan YES-Tech langt hurtigere genopretter fugtbalancen i det tilstødende soverum.



	Badeværelse	Dørkarm værelse	Bagvæg værelse
<b>YES-Tech</b>	01 t 06 min 52 sek	00 t 24 min 16 sek	00 t 22 min 21 sek
<b>NOW-Tech</b>	01 t 22 min 34 sek	00 t 51 min 21 sek	00 t 48 min 31 sek
<b>NO-Tech</b>	01 t 00 min 13 sek	00 t 47 min 57 sek	00 t 45 min 12 sek





# Dagslys

Tilstrækkeligt dagslys er essentielt for vores velbefindende. Eftersom vi i gennemsnit opholder os inden døre omkring 90 procent af tiden, er det vigtigt, at vi modtager dagslys i de rette mængder og rette bølgeområder for bl.a. at styre vores biologiske ur, som har betydning for søvnrytme, appetit, humør mv. I Sunde Boliger har der været fokus på innovative løsninger og materialevalg i forhold til at løfte standarden for dagslys.

## Udfordring

Dagens energikrav medfører oftest tykke vægge og dybe vindueshuller, som indsnævrer lysets vej ind i rummene og derfor resulterer i mindre lysindfald, end man kunne have fået med samme vinduesareal og samme varmetab. Samtidigt er der andre steder i arkitekturen en tendens til store glasarealer, som derimod kan give udfordringer med overophedning og blænding. Endelig har energihensyn også ført til et næsten udelukkende brug af jernholdige 3-lags ruder, som - i forhold til 2-lags ruder med jernfattigt glas - reducerer det indtrængende dagslys og lukker af for UV-strålinger. Om sidstnævnte er et problem, er der ikke konsensus om - på den ene side aktiverer dagslysets UV-strålinger D-vitaminproduktion i huden i sommerhalvåret, men skaber også fare for hudkræft.

## Løsning

I NO-Tech huset er der valgt 2-lags ruder med jernfattigt glas i stedet for 3-lags ruder med jernholdigt glas. Først og fremmest skal de færre lag glas sikre, at en større mængde dagslys trænger ind i boligen. For hvert lag glas reflekteres en del af dagslyset bort. Jernindholdet i mange glastyper grønfarver lyset og hindrer UV-strålingens gennemtrængning. Målet med at isætte jernfattigt glas var at sikre selve farvekvaliteten; dvs. at hjemmets ting ses så tæt på samme farve som udendørs i dagslys, samt eventuelt også at øge UV-strålernes gennemtrængning.

For at imødegå de dybe vindueshuller, som sluger lyset, har man i YES- og NO-Tech husene lavet afskærne false, dvs. vinduesnicher, som bringer mere lys ind i boligerne.



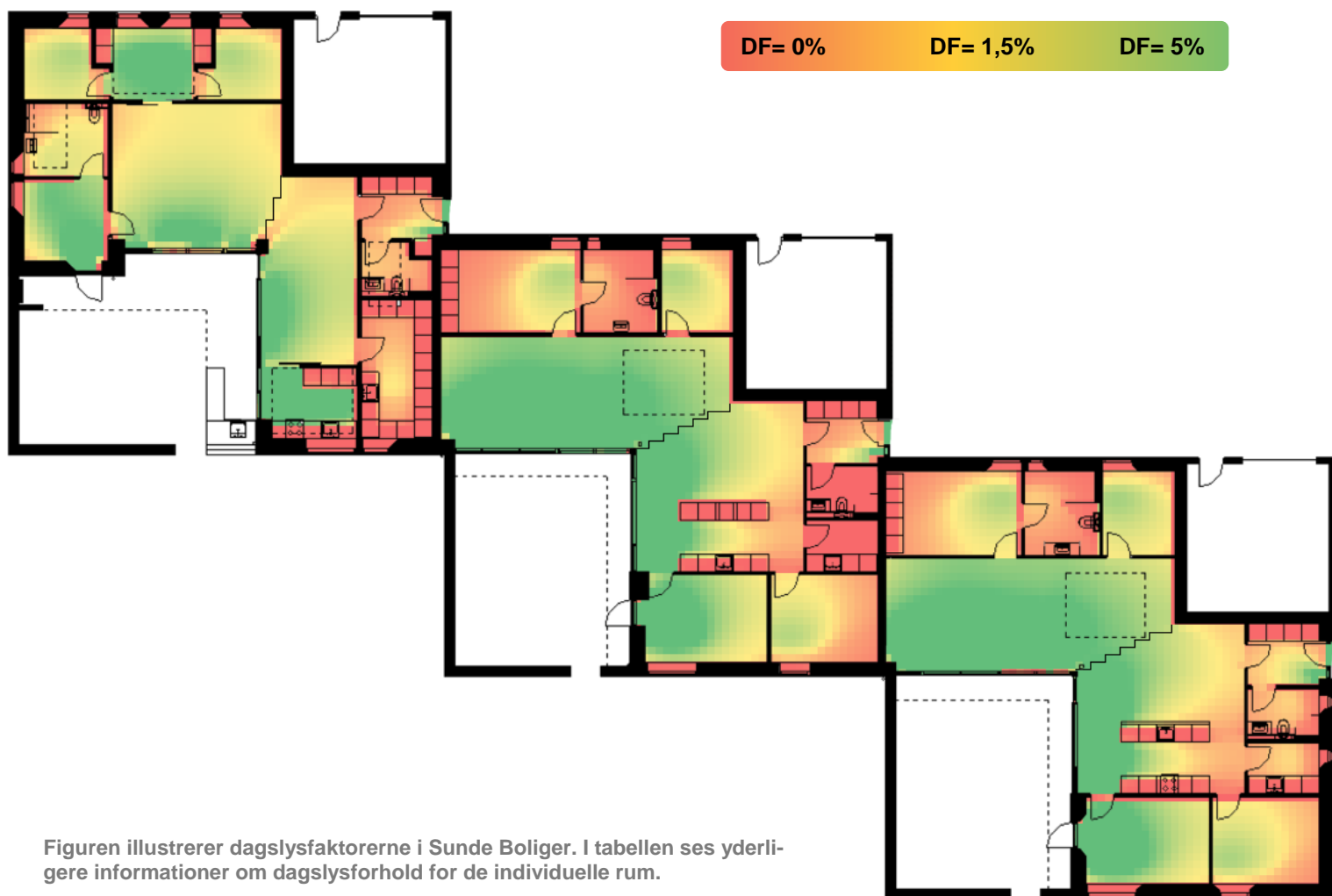
# Dagslys i Sunde Boliger

Ifølge Bygningsreglementet 2015 anses dagslyset for at være tilstrækkeligt, når glasarealet ved sidelys svarer til mindst 10 % af det indvendige gulvareal eller ved ovenlys mindst 7 % af det indvendige gulvareal, forudsat at ruderne har en lystransmittans på mindst 0,75. Alternativt kan man jf. BR15 dokumentere ved beregning, at der er en dagslysfaktor på mindst 2 % i halvdelen af rummet.

## Dagslysfaktor i Sunde Boliger

I nedenstående planer ses dagslysfaktorerne for Sunde Boliger. Generelt er opholdszonerne godt oplyste af dagslys, mens der i soverum opnås lidt mørkere områder, hvor sovepladser er tiltænkt. Ovenlys i NOW- og YES-Tech boligerne resulterer i en høj dagslysfaktor bagerst i stuerum. Generelt blev YES-Tech-huset, selvom det har samme layout som NOW-Tech huset, vurderet af

AU til at levere den bedste dagslysoplevelse og generelle rumlige kvalitet. Alle rum i YES-Tech huset har adgang til dagslys. Rummene viste sig også lysere end de tilsvarende i NOW-Tech huset. De afskårne vinduesfalte hjalp dette indtryk og gav mindre, mere komfortable luminanskontraster mellem vinduerne og tilstødende vægoverflader. Ved et snævert fokus på dagslys kunne man dog nemt have foreslået yderligere forbedringer uden betydelige ekstra omkostninger, især ved at placere dagslysåbninger i mere centrale positioner i deres respektive vægge. Dette ville dog have haft ulemper set ud fra andre forhold som f.eks. indretningsmuligheder og privathed. Da NO-Tech huset har en væsentligt anderledes indretning og mørkere overflader, kan man ikke sammenligne YES og NO direkte. Derimod diskuteres senere de forskellige valg af rudetype.



Figuren illustrerer dagslysfaktorerne i Sunde Boliger. I tabellen ses yderligere informationer om dagslysforskel for de individuelle rum.

Rumnavn	DF middel	DF min	DF Max	%-andel DF > 2%
<b>NO-Tech</b>				
1.01 Entré	1,2	0,3	6,3	12%
1.02 Bad	0,8	0,1	1,1	0%
1.03 Bryggers	0,9	0,3	1,5	0%
1.04 Køkken	8,8	4,8	13,6	100%
1.05 Spisestue	3,0	1,0	9,9	69%
1.06 Stue	2,5	0,5	7,3	51%
1.07 Sove	4,7	1,1	16,3	90%
1.08 Bad	1,5	0,4	2,3	19%
1.09 Sove	2,1	0,6	3,3	53%
1.10 Lege	4,7	1,9	6,0	99%
1.11 Sove	2,1	0,6	3,3	56%
<b>NOW-Tech</b>				
1.01 Entré	1,1	0,3	5,5	11%
1.02 Bad	0,0	0,0	0,0	0%
1.03 Bryggers	0,0	0,0	0,0	0%
1.04 Sove	1,5	0,4	3,1	24%
1.05 Sove	5,0	1,4	21,0	91%
1.06 Køkken-alrum	4,1	0,3	15,3	60%
1.07 Stue	6,2	2,0	18,8	100%
1.08 Sove	1,9	0,7	3,3	39%
1.09 Bad	0,5	0,1	1,1	0%
1.10 Sove	1,3	0,3	3,2	19%
<b>YES-Tech</b>				
1.01 Entré	1,8	0,6	7,1	23%
1.02 Bad	0,7	0,1	1,2	0%
1.03 Bryggers	0,9	0,3	1,3	0%
1.04 Sove	1,7	0,5	3,4	32%
1.05 Sove	5,2	1,6	18,8	96%
1.06 Køkken-alrum	5,4	0,0	25,5	81%
1.07 Stue	6,1	2,0	18,0	100%
1.08 Sove	2,1	0,8	3,5	50%
1.09 Bad	0,5	0,1	1,1	0%
1.10 Sove	1,4	0,3	3,2	22%



# Lysets kvalitet

Dagslysets kvalitet er påvirket af mange faktorer, såsom lysets tilstrækkelighed, lysets retning og fordelingen i rummet, den visuelle komfort (som bl.a. afhænger af fladernes reflektans, fladernes luminanskontraster ift. hinanden, samt fraværelse af ubehags- og synsnedsettende blænding), lysets farvespektrum, lysets farvegengivelse og lysets forandringer og forskellige stemninger igennem dagen og året.

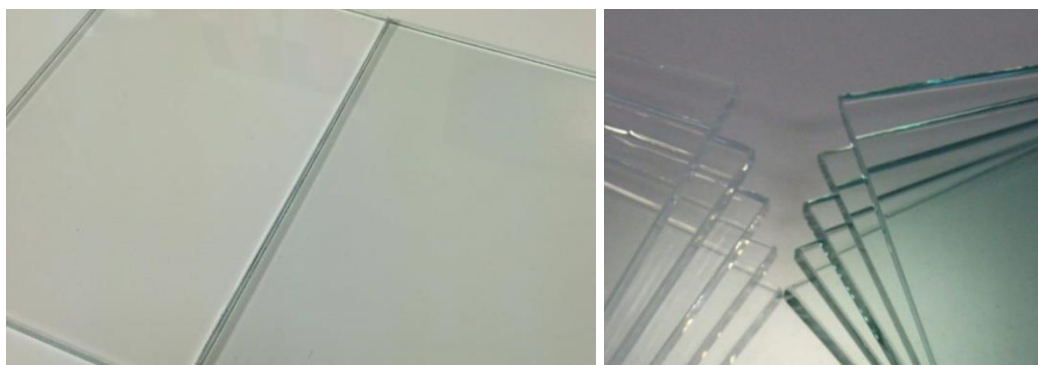
## Farvegengivelsesindeks

Farvegengivelse relaterer sig til lysets evne til at gengive farver. Farvegengivelsen angives ved et farvegengivelsesindeks, også kaldet  $R_a$ -indeks, som ligger mellem 0 og 100, hvor 100 er bedst. Opfattelsen af farver afhænger både af belysningens styrke og af den spektrale sammensætning af lyset. I svagt lys bliver alt gråt, fordi vores farveopfattelse forsvinder. Også lysets farvetemperatur, dagslysforhold, og hvilke farver der i øvrigt findes i omgivelserne, har betydning for vores oplevelse af farver.  $R_a$ -indekset er et tilnærmet mål for lysets farvegengivelsesevne, og derfor er anvendelsen ikke helt uden problemer. Forskellige lyskilder med samme  $R_a$ -indeks giver ikke nødvendigvis de samme farver ens, og det afhænger af den spektrale sammensætning, der kommer fra lyskilden eller igennem vinduesglasset. Ligesom

der kan være stor forskel på en farve i dagslys og den samme farve i lyset fra en glødepære, kan der også være forskel på, hvilke farver der gengives bedst ved forskellige typer glas.

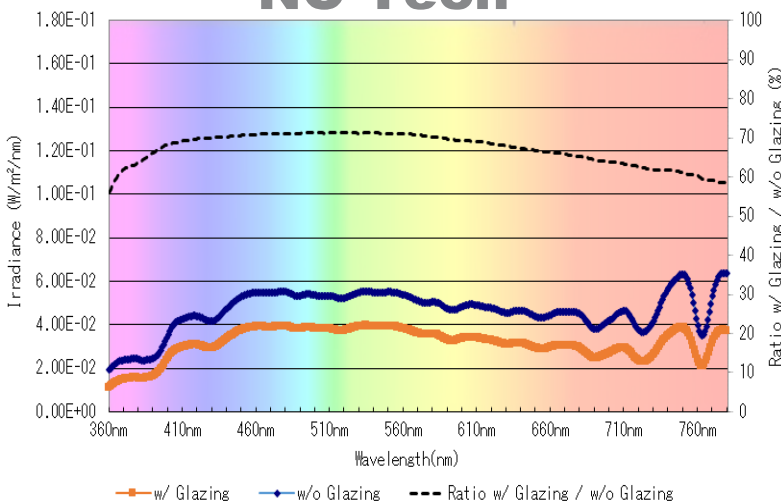
I Sunde Boliger blev der valgt 2-lags ruder med jernfattigt glas (Saint-Gobain Climaplust XN Diamant) til NO-Tech huset og 3-lags ruder med almindeligt jernholdigt glas (Pilkington Optitherm) i de to andre boliger. Det viste sig overraskende, at anlægssummen var nærmest ens for de to løsninger. Ifølge glasleverandørerne er vinduesglassets lystransmittans på 83% for 2-lags ruderne og på 74% for 3-lags ruderne. De angiver ydermere, at 2-lags ruden har et  $R_a$ -indeks på 98,6, og 3-lags ruden har et  $R_a$ -indeks på 96,0. De registrerede  $R_a$ -indeks målt i Sunde Boliger (Konica-Minolta CL-500a spektrofotometer) viser 97.6 for 2-lags ruden og 95.1 for 3-lags ruden.

Som det ses i nedenstående målinger, har det 2-lags jernfattige glas en væsentlig mere jævn lystransmittans igennem alle synlige bølgelængder, og det betyder, at den virker mere hvid end det 3-lags jernholdige glas, som med en mindre lystransmittans i de korte (violette) og lange (røde) bølgelængder kommer til at se mere grønt.

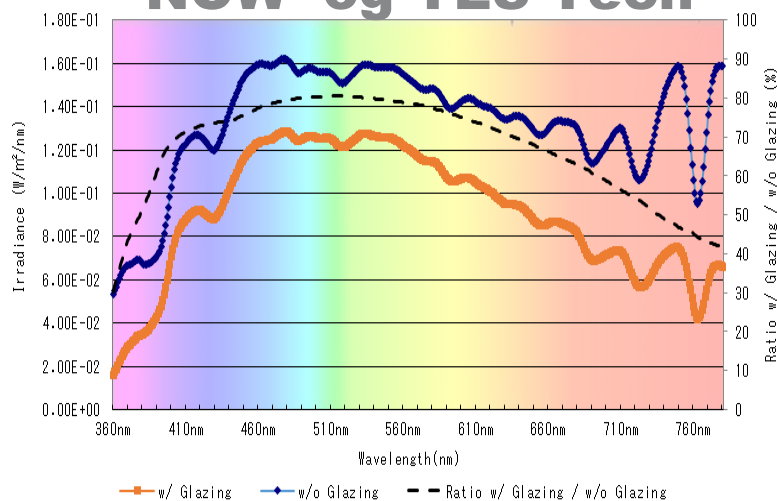


Jernfrit (tv.) og jernholdigt glas (th.). Jernholdigt glas viser en mere grønlig farve end jernfrit glas. Jo flere lag, desto mere grønt virker glasset (Kilde: gptglas-spaint.com)

## NO-Tech



## NOW- og YES-Tech



Spektraltransmittans (stiplet linje) i det synlige del af spektret for 2-lags jernfrit glas i NO-Tech huset (tv.) og 3-lags jernholdigt glas i NOW- og YES-Tech husene (th.) målt under overskyet himmel den 21. juni 2017. Den blå linje viser den synlige del af spektret målt lodret på yderside af vinduesglas rettet mod horisonten, den orange linje viser den synlige del af spektret målt lodret på indersiden af vinduesglas og også rettet udad mod horisonten.



# Blændingsforhold

Blændingskontrol spiller en central rolle, når der skal skabes optimale visuelle dagslysforhold for brugerne. Forbedring af den visuelle komfort og brugernes tilfredshed bør altid være en vigtig faktor ved valg af dagslysåbningers placering og valg af solafskærmninger. Der findes forskellige interne og eksterne løsninger på solafskærmning og blændingskontrol af lodrette vinduesåbninger, hvor afskærmningen udgør en del af det samlede vinduessystem. Solafskærmning, anvendt i byggeriet, kan klassificeres i to kategorier:

- En statisk, ikke justerbar afskærmning, f.eks. i form af udhæng, lyshylder samt vandrette og lodrette lameller
- Justerbar afskærmning i form af justerbare markiser, jalousier, persiener, skodder og gardiner

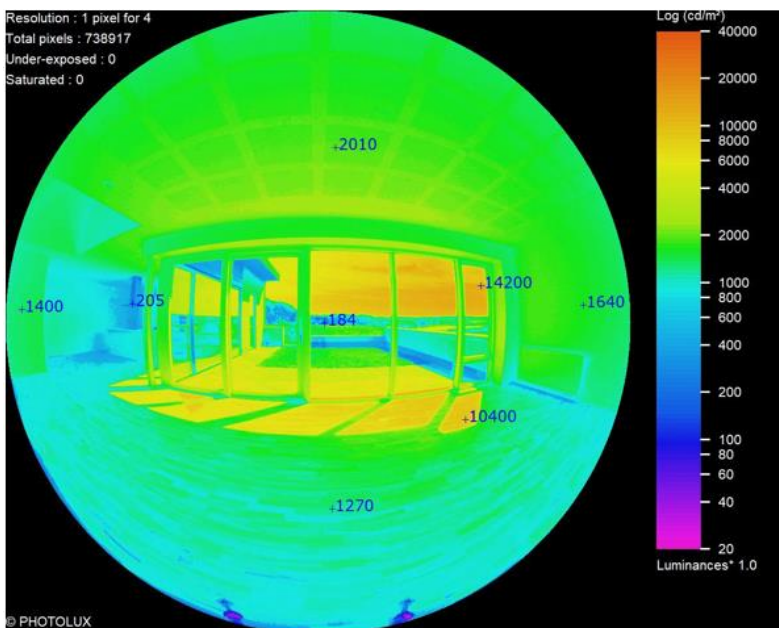
Blænding er et af de største belysningsproblemer i arbejdsmiljøet, og viser sig bl.a. ved, at lyset "skærer i øjnene" eller er for "skarpt", så man føler trang til at skygge for øjnene. Gentagen blænding forringer synsbetingelserne og kan i værste fald føre til arbejdsulykker. Blænding er et grænsetilfælde af kontrast. Man skelner mellem to former for blænding:

- Synsnedsættende blænding
- Ubehagsblænding

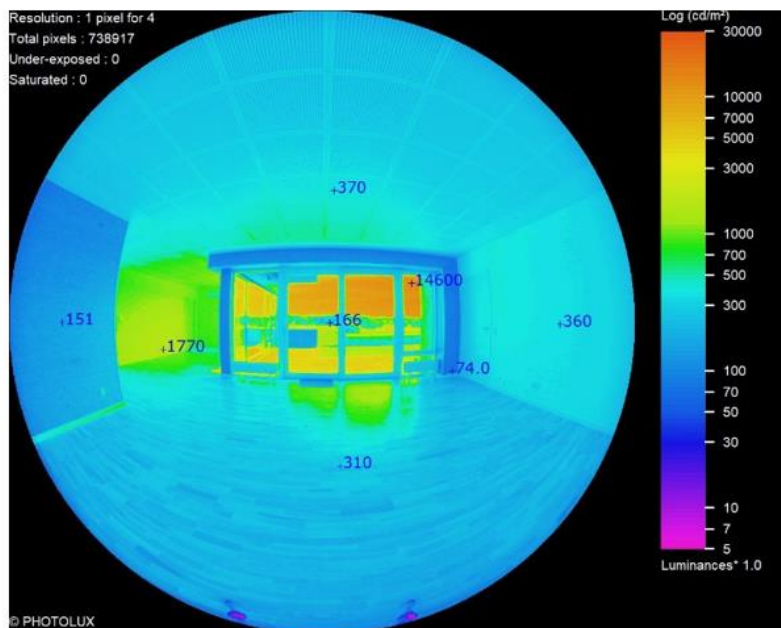
Synsnedsættende blænding fremkaldes af en lysstrøm i retning mod øjet og nedsætter øjets følsomhed og kontrastfølsomhed, hvilket resulterer i forringede synsbetingelser. Synsnedsættende blænding kaldes under tiden fysiologisk blænding og skyldes slørende spredning i øjet. Ubehagsblænding er den fornemmelse af ubehag og irritation, der fremkaldes, når der findes lyskilder i synsfeltet, hvis luminans er høj i forhold til en mørkere baggrund. Ubehagsblænding kaldes under tiden psykologisk blænding. Ubehagsblænding karakteriseres ved et blændingstal, som bestemmes ved en beregning.

I et udkast til en ny europæisk dagslysstandard (prEN), som evaluerer ubehagsblænding ved arbejdspladserne med hensyn til dagslys, anvendes parameteren DGP (Daylight Glare Probability). Anbefalingen for blændingsbeskyttelse er, at DGP for et rum som minimumskrav ikke overstiger en værdi på 0,45 i mere end 5% af rummets brugstid. Blænding anses ikke sandsynligt, hvis DGP ikke er højere end 0,35. En DGP-beregning kræver simulering på årsbasis. Mulig ubehagsblænding fra dagslys i et rum kan dog spot-kontrolleres på enkelte tidspunkter ved hjælp af kalibreret 'high dynamic range (HDR)' luminansbilleder og DGP beregninger ud fra disse billeder. Nedenstående billeder er luminansbilleder fra NOW-Tech og NO-Tech stuerne.

## NOW-Tech



## NO-Tech



HDR luminansbilleder taget i stuen med sydvendt vindue og 3-lags ruder i NOW-Tech huset (tv.) og 2-lags ruder i NO-Tech huset (th.) den 19. juli 2017 kl. 15:40 73.500 lx (venstre) og 70.600 lx (højre) med indikationer af enkelte luminansværdier for specifikke punkter.

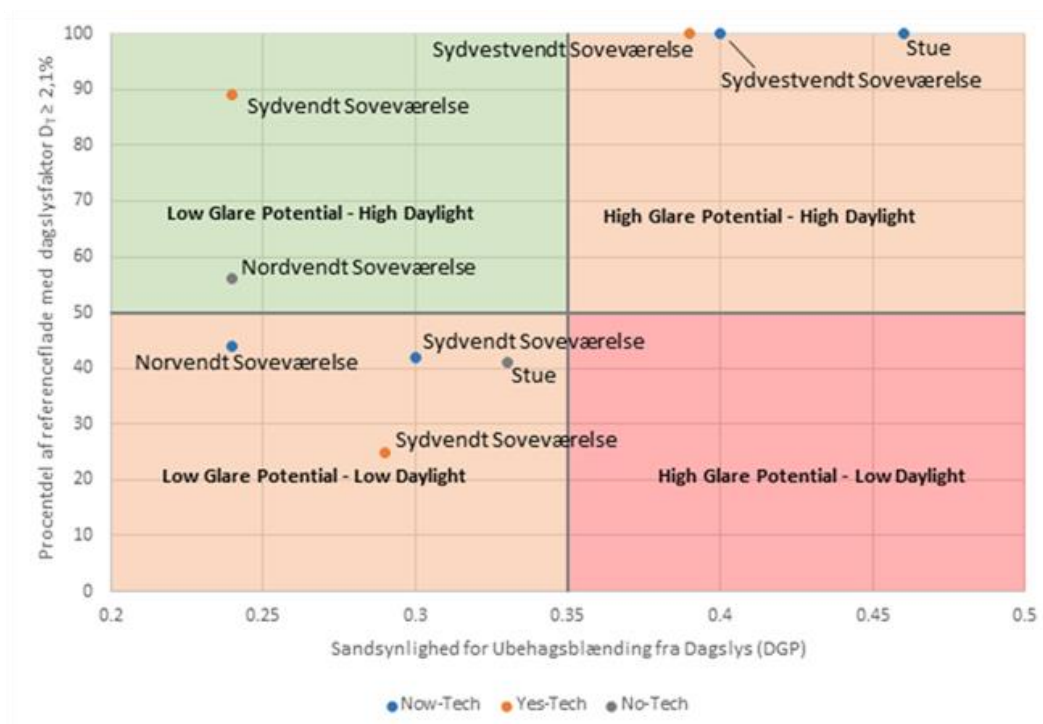
## Blænding i Sunde Boliger

Der blev under både overskyet og klar himmel taget luminansbilleder med  $\text{cd/m}^2$ -værdier mod vinduet og parallelt med vinduet, i samme rum hvori der blev udført belyningsstyrkemålinger (lx). Billeder under overskyet himmel blev taget den 21. juni 2017, mens billeder under klar himmel blev taget den 19. juli 2017, da sollyset er kraftigst om sommeren. Resultaterne viser, at det er usandsynligt, at beboere vil opleve store gener fra ubehagsblænding pga. dagslys i Sunde Boliger under overskyet himmel. Når himmelen er klar (19. juli 2017), kan

der opstå nogle enkelte gener for de sydvestvendte soveværelser, samt i stuen i NOW-Tech huset på måletidspunktet, som illustreret i nedenstående tabel. I NOW-Tech husets stue kommer der direkte sollys ind i rummet, da tagudhæng ikke strækker sig nær så langt ud som i NO-Tech huset. Rummene i NOW-Tech huset har generelt den højeste sandsynlighed for ubehagsblænding, rum i NO-Tech huset har den laveste sandsynlighed for ubehagsblænding. Der er dog nogle forskelle i rummernes geometri ud over falsene.

19 July 2017		
Name of Building, Space and Camera View	DGP	Blændingssandsynlighed jf. prEN 17037 Tabel E. 1
Now Tech - Child Room 1.04 - parallel to the window	0,25	Glare is mostly not perceived
Now Tech - Child Room 1.04 - facing the window	0,30	Glare is mostly not perceived
Now Tech - Child Room 1.05 - parallel to the window	0,40	Glare is perceived, but mostly not disturbing
Now Tech - Child Room 1.05 - facing the window	0,40	Glare is mostly not perceived
Now Tech - 1.08 - facing the window	0,24	Glare is mostly not perceived
Now Tech - Living Room - parallel to the window	0,32	Glare is mostly not perceived
Now Tech - Living Room - facing the window	0,46	Glare is perceived and mostly intolerable
Yes Tech - Child Room 1.04 - parallel to the window	0,26	Glare is mostly not perceived
Yes Tech - Child Room 1.04 - facing the window	0,29	Glare is mostly not perceived
Yes Tech - Child Room 1.05 - parallel to the window	0,39	Glare is perceived, but mostly not disturbing
Yes Tech - Child Room 1.05 - facing the window	0,38	Glare is perceived, but mostly not disturbing
Yes Tech - 1.08 - facing the window	0,24	Glare is mostly not perceived
No Tech - Child Room 1.11 - facing the window	0,24	Glare is mostly not perceived
No Tech - Living Room - parallel to the window	0,23	Glare is mostly not perceived
No Tech - Living Room - facing the window	0,33	Glare is mostly not perceived

Sandsynlighed for ubehagsblænding (DGP-værdier) for forskellige rum og orienteringer.



Illustrationen viser procentdelen af rummets referenceflade (0,85 m over gulvniveau) med dagslysfaktoren på mindst 2,1% ift. sandsynlighed for ubehagsblænding som beregnet fra HDR luminansbilleder af de forskellige rum.

# Afskårne false

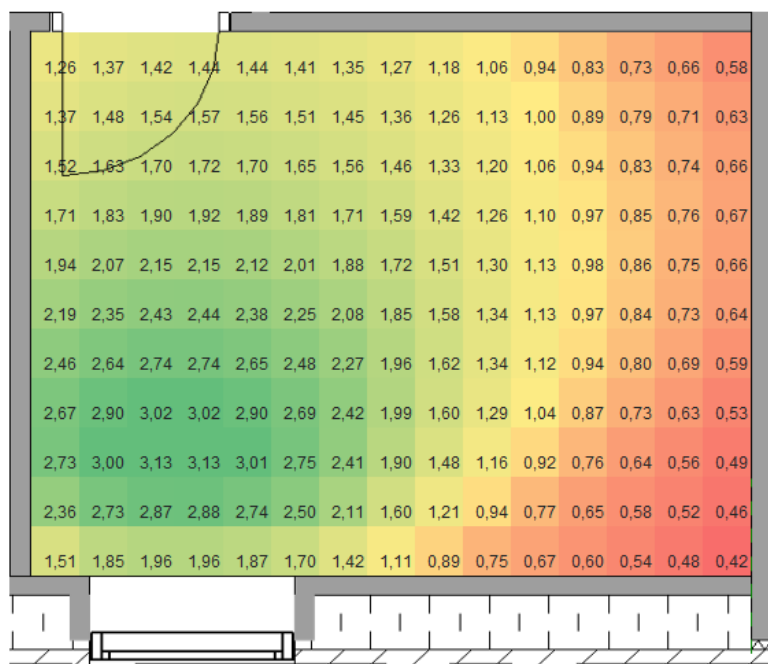
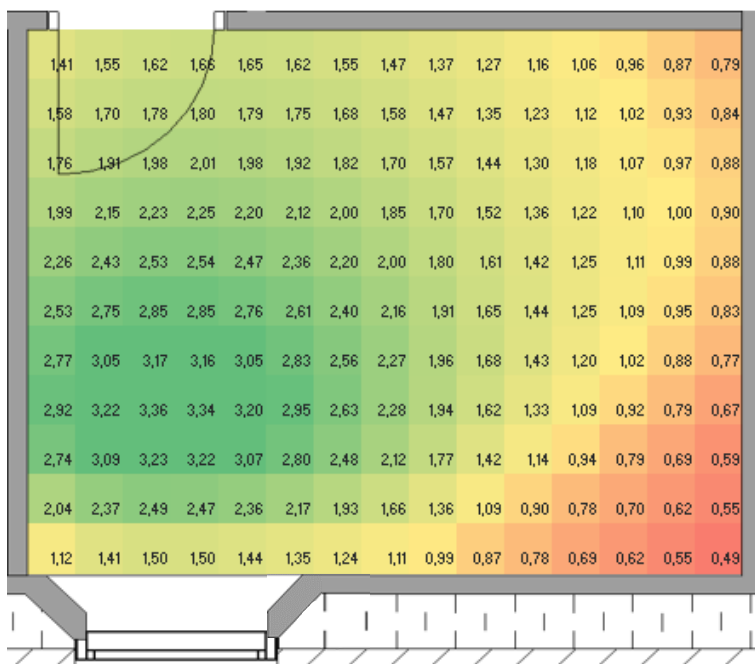
Med nye krav til bygningers energiforbrug, som typisk medfører tykkere isolerede vægge og tagkonstruktioner i bygningers klimaskærme, er det blevet mere udfordrende at lukke dagslys ind i vore arbejds- og opholdsrum. Afskårne false omkring vinduer kan derfor være en simpel løsning. Afskårne false kan laves på inder- eller ydersiden af vinduet, afhængigt af hvor vinduesglas sidder i væggen. Udover at forøge mængden af dagslys, der kommer ind i rummet, kan de afskårne false også udvide bredden af udsynet til udendørs områder fra mange synsvinkler i rummet. I forbindelse med beregninger foretaget af MOE, viste det sig, at de afskårne false kun havde en minimal indflydelse på energiforbruget. Ydermere vurderes det, at afskårne false ikke er dyrere at opføre end standard vinduesfalse, så længe det er en del af projektet fra start.



## Lysindfald

Beregninger foretaget af Aarhus Universitets Lysforskningslaboratoriet viser, at de afskårne false i NO-Tech og YES-Tech lukker mere lys dybere ind i rummene i YES-Tech huset sammenlignet med tilsvarende rum i NOW-Tech huset, hvor der ikke er afskårne false. I nedenstående simulering ses det blandt andet, at dagslysprofilen er bredere i YES-Tech kontra NOW-Tech. Dagslysmålinger i husene kunne ikke vise denne forskel på grund af forskellige afskærmninger (træer) i landskabet uden for bygningerne, som viste sig at reducere dagslysfaktoren i YES-Tech huset marginalt.

	DF-middel	DF-Median	DF-min
NOW 1.04	1,52	1,36	0,42
YES 1.04	1,71	1,62	0,49
Forøgelse med afskåret fals i %	12 %	19 %	13 %



Dagslyssimuleringen for sydvendt soveværelse i YES-Tech (tv.) og NOW-Tech (th.) husene. Afskårne false lukker dagslyset en anelse længere ind i rummet og fordeler dagslyset lidt mere.

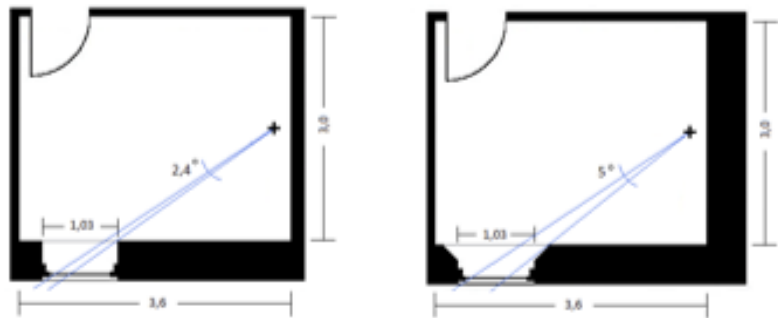
## Kvalitet i udsyn

Afskårne vinduesfåse øger udsynet til omgivelserne med op til 100% fra flere positioner i rummet. Studier på blandt andet hospitaler forbinder udsyn til naturomgivelser med modstandsdygtighed over for stress og hurtigere rekonvalescens. Naturomgivelserne medfører en velværeeffekt, der kan hjælpe kroppen til at slappe af og restituere. Det anses ydermere som en kvalitet at kunne se både flora, fauna og himmel.



## Udsynet fra Sunde Boliger

Beliggende i et ualmindeligt naturskønt område er rammerne omkring Sunde Boliger ideelle i forhold til at opnå den symbiotiske effekt mellem udsyn til naturomgivelser og velvære. Sunde Boliger har flere bolig-/leverum med store glaspartier og dermed mulighed for at kigge ud på grønne arealer. Endvidere øges udsynet fra de ellers privatiserede soverum med afskårne fåse, som illustreret i nedenstående figurer.



Soveværelse med sydvendt vindue med standard vinduesfåse i NOW-Tech huset og afskårne fåse i YES-Tech huset. Billedet og planer viser forskellen i synsvinklen mellem de to fåse-typer gennem de blå markeringer.



# UVA- og UVB-stråler

Formålet med at vælge tolags-ruder i NO-Tech huset var at forbedre farvekvaliteten og øge mængden af dagslys. Det er imidlertid også blevet diskuteret, om der kunne være en positiv sundhedseffekt af en øget indstråling af UV-lys:

Sollys og dagslys indeholder også den del af lysbølger, som betegnes UV-stråling. Der findes imidlertid ikke nogen klar vejledning for UV-eksponering i hjemmet. Den Internationale Kommission for Belysning (CIE) har opdelt UV-komponenterne i det elektromagnetiske spektrum i tre kategorier: UV-A (400-315 nm), UV-B (315-280 nm) og UV-C (280-100 nm).

En del af UV-A-regionen (400 - 380 nm) stimulerer det visuelle system, selvom det formelt set er en del af UV-strålingen. UV-C-stråling når ikke jorden, men standses af ozonlaget i atmosfæren.

Eksponering for UV-stråling har indvirkning på os mennesker, hvor vi inden for få timer med eksponering rødmer i huden, også betegnet erytem. Handlingspektret for erytem indikerer, at de mest effektive bølgelængder til at forårsage erytem ligger i UV-B-båndet. Gentagende og hyppig udsættelse for sådan UV-stråling er forbundet med rynket, aldrende hud og øget risiko for hudkræft.

D-Vitamin hævdes at beskytte mod alt fra højt blodtryk til kræft. Selv om dets evne til at forhindre disse sygdomme ikke ses endeligt dokumenteret, er vitamin D afgørende for knoglernes sundhed, immunsystemets funktion og meget mere. Vores kroppe fremstiller D-vitamin, når solens UV-B-stråler virker sammen med 7-dehydrocholesterol (7-DHC), der er til stede i huden. Vi kan dog kun producere en begrænset mængde D-vitamin fra UV-B, hvor det estimeres at 5-10 minutter ved middagstid er nok for de fleste europæere. Ifølge Skin Cancer Foundation, USA, ødelægges yderligere

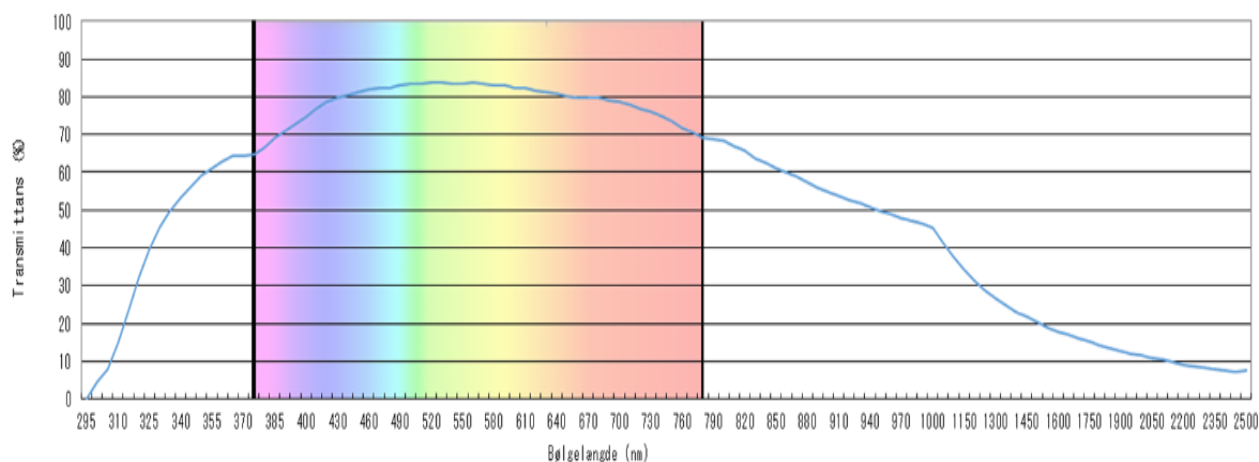
eksponering faktisk D-vitaminet efter at have nået produktionsgrænsen. Mellem november og februar er UV-strålingen udendørs typisk utilstrækkelig til at mennesker, der lever nord for 42° N breddegrad, kan producere D-vitamin (Danmark ligger omkring 56° N). Skin Cancer Foundation i USA advarer derfor mod for meget UV-eksponering og anbefaler at favorisere indtagelsen af D-vitamin via vores mad, f.eks. igennem de olier der eksempelvis findes i fisk.

Ny forskning på DTU af Argyraki m.fl. indikerer, at UV-B stråling fra LED-lys med et spektrum, som har højeste værdi ved 296 nm, kan dræbe en almindelig bakterie under laboratoriebetingelser. Hvorvidt det har betydning for en mulig brug af UV-B stråler til indendørs belysning med dagslys igennem glasruder transparent for UV-B Stråling er endnu ikke undersøgt. UV-stråling øger også blegning af materialer (f.eks. tekstiler til gardiner, tæpper og møbler).

## Jernholdigt vs jernfattigt glas

Et højt indhold af jern i glasset medfører, at strålinger i korte (ultraviolet og violet) og lange bølgelængder (rød og infrarød) bliver filtreret fra sollyset, der skinner igennem vinduesruder, og derfor efterlader et grønligt indtryk. Jernfrie glasruder lukker derfor omvendt lidt mere UV-stråling (korte bølgelængder mellem 280 og 400 nm) ind i huset. Databladene fra glasleverandører viser, at hele UV-transmittansen ( $T_{UV}$ ) i UV-A og UV-B spektret ligger på 45% for 2-lags ruderne i NO-Tech huset og på 16% for 3-lags ruderne i de andre huse.

UV-målinger fortaget af Aarhus Universitet i Sunde Boliger tyder på, at der kommer ca. 17% mere UV-stråling ind på referencefladen i NO-Tech huset igennem de jernfrie glasruder. Men glasruderne i NO-Tech huset er også ca. 28% mindre i størrelsen, end i NOW-Tech huset, og derfor er den reelle forøgelse større.



Transmittans af jernfrit 2-lags glasrude Climaplust XN Diamant fra Saint Gobain over spektret fra 295 til 2500 nm.

# Sollys

De fleste i Danmark elsker direkte sollys i deres hjem. Særligt om vinteren kan det direkte sollys virke som et tiltrængt tilskud til kreativiteten og energien. Når små børn leger på gulvet, kan dagslys og ikke mindst det direkte sollys give et ekstra tilskud til legen. Gardiner eller anden afskærmning giver mulighed for at styre indfald af dagslys og direkte sol; fra total mørklægning til livgivende sollys. I Sunde Boliger har der været fokus på at sikre direkte sollys uden at medføre blændingsproblemer.

Behovet for sollys afhænger typisk af bygningstype og de tilknyttede brugere. En undersøgelse viser, at behovet for direkte sollys varierer fra 90% i boliger og patientrum i hospitaler, til 73% i kontorer og 42% i

klasseværelser. Omvendt varierer procentdelen af ansatte, der finder direkte sollys generende, fra 62% blandt hospitalsansatte, 52% blandt undervisere og 42% blandt kontoransatte, til 4% blandt beboere i private boliger.

## Direkte sollys i Sunde Boliger

Sunde Boliger er generelt velbelyst i forhold til direkte sollys. Resultaterne af sollyseksponeringsanalysen er vist i tabellen nedenfor: Tre værelser i de tre boliger opfyldte minimumskravene til eksposering for direkte sollys, et værelse opfyldte middelkriteriet, og de resterende værelser var kvalificeret til kriteriet for høj sollyseksposering.

Name of Building and Space with Window or Roof Light Orientation (S, E or W)	Acceptance Angle (deg)			Time (hour)		Duration (hours)	Total Duration (hours)	Sunlight Exposure According to prEN 17037 Table A.6	
	$\alpha_{start}$	$\alpha_{end}$	$\alpha$	$t_{start}$	$t_{end}$	$t_{individual}$	$t_{all}$	Individual Opening	All Openings in the Room
Now Tech - Child Bedroom 1.04 (S)	136	222	86	09:25	14:30	05:05	05:05	High	High
Now Tech - Child Bedroom 1.05 (S)	126	238	112	08:25	15:35	07:10	08:25	High	High
Now Tech - Child Bedroom 1.05 Terrace (W)	236	256	20	14:55	16:50	01:55		Minimum	
Now Tech - Living Room (S)	165,5	255	89,5	11:15	16:45	05:30	05:30	High	High
Now Tech - Kitchen/Dining Room (W)	190	255	65	12:35	16:45	04:10	04:10	High	High
Yes Tech - Child Bedroom 1.04 (S)	136	222	86	09:25	14:30	05:05	05:05	High	High
Yes Tech - Child Bedroom 1.05 (S)	126	238	112	08:25	15:35	07:10	08:25	High	High
Yes Tech - Child Bedroom 1.05 Terrace (W)	230	256	26	14:55	16:50	01:55		Minimum	
No Tech - Master Bedroom 1.07 (S)	145	218	73	10:00	14:12	04:12	06:50	High	High
No Tech - Master Bedroom 1.07 (W)	241	255,5	14,5	15:00	16:50	01:50		Minimum	
No Tech - Living Room (S)	176	246	70	11:50	16:04	04:14	04:14	High	High
No Tech - Dining Room (W)	202	255,5	53,5	13:10	16:50	03:40	03:40	Medium	Medium
No Tech - Kitchen (S)	131	240	109	09:02	15:40	06:38	07:48	High	High
No Tech - Kitchen Roof Light (S) 1	140,5	220,5	80	10:40	14:20	03:40		Medium	
No Tech - Kitchen Roof Light (S) 2	140,5	220,5	80	10:40	14:20	03:40		Medium	
No Tech Kitchen (W)	222	255,5	33,5	14:30	16:50	02:20		Minimum	
No Tech - Laundry (S)	139	217	78	09:38	14:10	04:32	04:32	High	High
No Tech - Master Bathroom Roof Light (W)	228	255,5	27,5	14:50	16:50	02:00	02:00	Minimum	Minimum
No Tech - Playroom Roof Light (W) 1	241	256	15	15:45	16:50	01:05	01:40	Does Not Meet Minimum	Minimum
No Tech - Playroom Roof Light (W) 2	233	256	23	15:10	16:50	01:40		Minimum	
No Tech - Bathroom at Entrance Roof Light (E)	105	131	26	07:15	09:07	01:52	01:52	Minimum	Minimum

Værdier for daglig sollyseksposering den 21. marts i forskellige rum i Sunde Boliger efter kriterier i prEN 17037 - dagslys i bygninger. Vurdering inkluderer ikke sollyseksposering for solhøjdevinkler under 10 ° eller nogen vegetation i landskabet omkring boligerne. Vegetationens påvirkning vurderes at være lav. Nordvendte værelser er ikke inkluderet i tabellen, da de ikke modtog direkte sollys den 21. marts (jævndøgn). Vinduer med diffus transmittans er heller ikke inkluderet.



Sunde Boliger har som 1:1 forskningsprojekt gjort det muligt at belyse væsentlige sundhedsmæssige problemstillinger i nutidens boligmasse og har samtidig taget de første skridt mod nye veje til udbedring af sundhedskompromitterende indeklimaparametre. Med udgangspunkt i indeklimahjulet er boligerne testet fra A-Z, hvilket har medført såvel forventelige bekræftelser af nogle hypoteser, som overraskende resultater for andre, og nye spørgsmål til indeklimaets mange facetter er blevet rejst. Jo mere vi ved, desto mere ved vi også, hvad vi ikke ved...

### **De ubeboede huse – hvem vandt?**

Der er ingen tvivl om, at både det lavteknologiske og højteknologiske hus på flere områder overgår det gængse BR15-hus. YES- og NO-Tech har hver især nogle indeklimamæssige kvaliteter, som uden tvivl vil medvirke til at fremme trivsel og sundheden hos de kommende beboere. Men hvilket af de to er så bedst?

Mennesker reagerer forskelligt på diverse sundhedsskadelige indeklimaparametre. Husstøvmider kan f.eks. forringe livskvaliteten væsentlig mere hos allergiske personer, end hos personer uden allergi. Der vil også altid være forskel på, hvordan mennesker vægter de indeklimaparametre, som kan opleves med sanserne. Med de kommende beboeres forventelige forskellighed in mente kan der ikke udpeges en én-til-én vinder, som vil være førstevalg hos alle; husenes performance vil med stor sandsynlighed passe forskelligt til den individuelle person.

Med afslutningen af denne rapport starter den næste, mindst lige så spændende fase: Beboerne flytter ind! Vi ser meget frem til at vende tilbage med nye måleresultater, når husene er blevet 'testet af virkeligheden', og vi har fået kød og blod på de problematikker og hverdage, der udfolder sig i de tre huse i Holstebro.

