

Energy Frames foldeskodder

Udvikling og test af nyt facadeelement



Energy Frames foldeskodder

Udvikling og test af nyt facadeelement

Kjeld Johnsen
Frederik Blum Winther
Jakob Dydensborg
Claus Møller Petersen

Titel Energy Frames foldeskodder
Serietitel Uden for serier
Udgave 1. udgave
Udgivelsesår 2018
Forfattere Kjeld Johnsen, Frederik Blum Winther, Jakob Dydensborg og
Claus Møller Petersen
Sprog Dansk
Sidetal 54
Litteratur-
Henvvisninger Side 49
Emneord Foldeskodder, Lydskodder, Dynamiske facader, Ventilationsskodder, Naturlig
ventilation, Energiramme, BR18, Lavenergiklasse

ISBN

Omslags-
rendering Antonio Scaffidi

Udgiver Art Andersen

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

Indhold

Indhold	4
Forord.....	5
Introduktion og sammenfatning	6
Sammenfatning	7
Foldeskodden endelige form	8
Foldeskoddens princip og udviklingsstade	9
Eksempler på eksisterende foldeskodder	9
Målsætninger for den nye foldeskodde	12
Udviklingsforløb	13
Lukke- og låsebeslag	13
Vogn og skinne.....	14
Motor og transmission	15
Skærm	16
Facadens funktioner	17
Krav vedrørende varmeisolering og energiforbrug	18
Test og beregning af skoddens isoleringsevne	21
Konstruktionsbeskrivelse	21
Beregningsresultater	23
Sammenfatning	26
Energibesparelse	27
Konklusion	27
Måling af foldeskoddens lufttæthed	27
Tæthedsmålinger	28
Konklusion	29
Krav vedr. støj indendørs fra trafik.....	30
Lydbestemmelser for facader og vinduer	30
Test af foldeskoddens lyddæmpning	34
Måleprogram	35
Resultater	38
Konklusion	41
Krav vedr. ventilation	42
Foldeskodden som ventilationsåbning.....	46
Konklusion	47
Referencer	48
Bilag 1 Detailtegninger af måleblænder og konfigurationer af foldeskodder	49

Forord

Klimaskærmen influerer på op i mod 90 % af en bygnings energiforbrug. Med de seneste Bygningsreglementer BR15 og BR18 samt lavenergiklassen (tidligere Bygningsklasse 2020, BK2020) vil det i praksis være næsten umuligt at overholde energirammen hvis der anvendes statiske facader, uden at bygningens forsynes med solceller eller andre systemer, der kan levere energien lokalt. Der er derfor et stort behov for øget anvendelse af *dynamiske facader*, som er i stand til at tilpasse energitransporten (varme, sol, lys og luft) gennem facaden efter brugernes og bygningens aktuelle behov over døgnet og over året. Dette gælder for nye bygninger, men også i forbindelse med større renoveringer er der et stort behov for nye facadeløsninger for at overholde energimæssige komponentkrav og renoveringsklasser.

Energibesparelspotentialet for dynamiske facader er således meget stort, og selv mange af de seneste års glasbyggerier vil både kunne forbedre indeklimaet og reducere energiforbruget ved montering af dynamiske elementer direkte på de eksisterende facader.

Rapporten beskriver udviklingsprocessen for en udvendig foldeskodde med en række vigtige funktioner for reduktion af energiforbruget og forbedring af indeklimaet. Skodden er resultatet af flere års udviklingsarbejde med udvendige skodder, hvor erfaringerne fra flere tidligere skodeløsninger er udnyttet til at producere en skodde, der kombinerer funktionerne: ekstra isolering, naturlig ventilation, støjdemping og solafskærmning i ét element, der fylder mindst muligt i oplukket tilstand.

Projektets primære målgrupper er projekterende arkitekter og ingeniører, der kæmper med at overholde de skrappe energikrav og har interesse i bæredygtigt byggeri. Den udviklede prototype vil også have stor interesse for vinduesfabrikanter, boligselskaber og andre bygherrer, der kan udnytte skoddens egenskaber i bestræbelserne for at overholde energikrav i BR18, lavenergiklassen samt renoveringsklasser og fremtidige bæredygtighedsklasser i byggeriet.

Projektet er gennemført med støtte fra ELFORSK, projekt nr. 348-019.

Art Andersen Copenhagen
Jørn Krab
Direktør

Introduktion og sammenfatning

Projektet bygger videre på et eksisterende facadesystem udviklet af Art Andersen, *Energy Frames*, som er et system bestående af forskellige isolerende og solafskærmende rammemoduler, der bevæges uden på facaden ved hjælp af et patenteret træksystem.

De eksisterende Energy Frames er primært udviklet til kontor-, erhvervs- og institutionsbyggeri, der i de fleste tilfælde har plane facader. Med de nye foldeskodder udvides anvendelsesområdet og dermed det potentielle marked markant, idet disse også vil kunne anvendes på de fleste boligtyper. Ifølge notatet *Strategi for energirenovering af bygninger. Vejen til energieffektive bygninger i fremtidens Danmark* fra Klima-, Energi- og Bygningsministeriet bliver mere end halvdelen af energiforbruget til opvarmning i bygninger i 2011 anvendt i enfamiliehuse (parcelhuse, række/kædehuse og stuehuse), og tilsammen stod boligerne for mere end 70 pct. af energiforbruget til opvarmning. Boligerne og ikke mindst parcelhusene er derfor et centralt område for energirenovering. Der er dog også et betydeligt overforbrug af energi i den offentlige sektors bygninger og i bygninger inden for privat handel og service og dermed også et potentiale for at reducere energiforbruget i disse bygningssegmenter.

For nye bygninger drejer det sig i lige så høj grad om at kontrollere sol- og lysindfald optimalt, og her er besparelspotentialet - i forhold til passive facader - nogenlunde ligeligt fordelt på varme, ventilation/køling og belysning.

Det samlede, teoretiske besparelspotentiale svarer alt i alt til op imod 25 % af det samlede energiforbrug til bygninger eller ca. 10 % af Danmark samlede forbrug. Vurderingen af et realiserbart potentiale vil naturligvis helt afhænge af i hvilken grad kendskab og viden om mulighederne ved dynamiske facader kan udbredes til de projekterende, til bygherrer og til det politiske system. Men den vigtigste forudsætning for at udbrede denne viden, er at der kan dokumenteres markante energibesparelser i virkeligt byggeri.

En kritisk barriere

I praksis har det imidlertid ofte vist sig, at det er en barriere for systemets anvendelse, at der kræves et 'parkeringsareal' for skodderne, når de er trukket fra vinduerne. Projektet vil overkomme denne barriere ved at udforme elementerne som *foldeskodder*, der er koblet til det enkelte vindue, og som kan foldes sammen, enten lodret eller vandret, langs en eller to af vinduets kanter. Den nye skodde skal have de samme funktionaliteter, som den plane skodde, og samtidig arbejdes der videre med systemets understøtning af naturlig ventilation, der kombineres med udnyttelse af skoddens støjdæmpende egenskaber.

Fokus

Der er fokus på at skabe en skoddetype, der lukker helt tæt og giver en forøget varmeisolering i lukket tilstand, og som fylder mindst muligt når skodden er åben og foldet sammen langs vinduets kant(er). Både i åben og i delvis lukket tilstand vil skodden fungere som ventilationselement med en markant dæmpning af trafikstøj. I lukket og delvis lukket tilstand skal skodden samtidig fungere som solafskærmning, der tillader et relativt frit udsyn, samtidig med at der skærmes af for direkte solindfald.

Sammenfatning

Med udgangspunkt i de principper for foldeskodder, som Art Andersen tidligere har udviklet, primært som solafskærmninger og elegante facadelukninger, er der udviklet en ny foldeskodde. I udviklingen har der været fokus på tre vigtige funktion, nemlig foldeskodden evne til at - forbedre isoleringsevnen af vinduespartier, - dæmpe støjen fra trafikstøj i lukket, delvist lukket samt åben position samt - give mulighed for naturlig ventilation, samtidig med at støjen udefra dæmpes betydeligt.

De indledende tests og analyser på arbejdsmodellerne foregik i værkstedet hos Art Andersen, understøttet af beregninger, som primært gennemførtes af Rambøll. Udviklingen har været baseret på beregninger funktionstests i laboratoriet og mere systematiske afprøvninger af tæthed og lyddæmpning. Tæthedsprøvnin-gerne er foretaget af Rambøll Danmark, mens de akustiske målinger blev foretaget af Sweco Danmark A/S.

Resultater

Isoleringsevne

Beregninger af transmissionstab for foldeskodde viser, at skodden tilfører vinduer en tillægsisolans på 0,39 m²K/W, forudsat at skodden lukker tæt mod hulrummet til vinduet. Dette svarer omtrent til at vinduer med 2-lags energiruder vil isolere som et vindue med 3-lags energirude, når skodden er lukket. Det skønnes, at den forventede årlige varmebesparelse ved anvendelse af foldeskodden vil være fra 10 til 23 kWh pr. m² vindue, afhængigt af vinduestypen.

Beregningerne viser endvidere, at skoddens isolans reduceres med cirka en tredjedel (fra 0,6 til 0,39 m²K/W) som følge af kuldebroerne (skoddens ramme-karm konstruktion). Her er der potentiale for forbedringer.

I forbindelse med Bygningsreglementets skærpede krav til bygningers dimensionerende transmissionstab er der gennemført beregninger, som viser, at foldeskodden vil kunne bidrage meget betydeligt til overholdelse af kravet, når der anvendes vinduer med 2-lags ruder.

Tæthed

Målingerne viser, at der optrådte væsentlige lækager i toppen af foldeskodden, samt i albueknækket på foldeskodden. Disse steder er ligeledes kritiske i forhold til den mekanik, der er nødvendig for systemets funktionalitet, og dermed skal tætning af lækagen i disse steder tilpasses meget nøje den udformning, som den mekaniske udformning påkræver.

Lyddæmpning

Målingerne viser, at lydabsorbenter på foldeskoddens bevægelige dele har væsentlig større lyddæmpende effekt end absorbenter ved selv åbningsarealet i facaden. De bedste værdier opnås når foldeskodden fungerer med en lille (lav / smal) åbning og en 'knækket lydvej' til facadeåbningen.

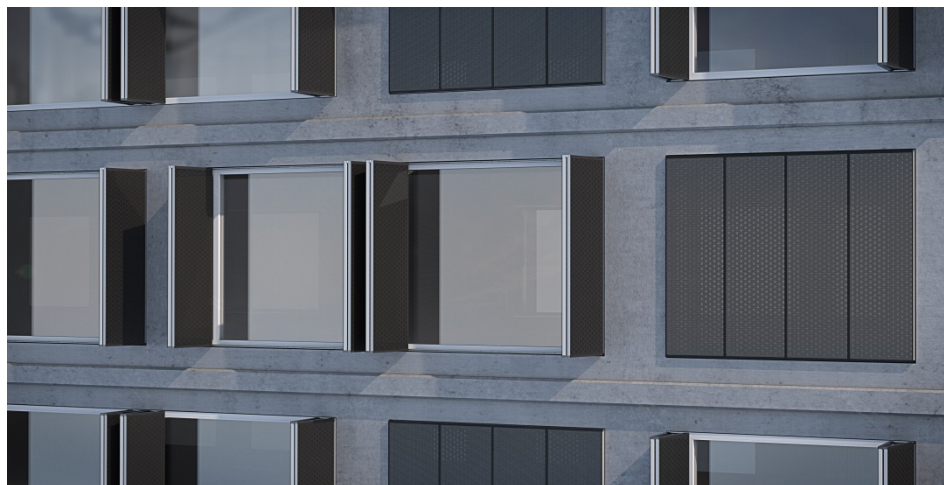
I forhold til Miljøstyrelsen vejledning vedr. *stærkt støjbelastede områder*, hvor støjen fra vejtrafik kan nå op på $L_{den} = 68$ dB, ser det ud til, at flere af de afprøvede skoddekonfigurationer kan opfylde kravet om et indendørs støjniveau (L_{den}) på højst 46 dB. Dette vil betyde, at miljøstyrelsens krav om et indendørs støjniveau med delvist åbne vinduer (defineret ved en åbning på 0,35 m²) på maksimalt $L_{den} = 46$ dB kan overholdes både ved flere konfigurationer af skodden (i enkelte tilfælde med minimale forbedringer).

Naturlig ventilation

Foldeskodden kan opfylde de grundlæggende ventilationskrav i BR18 vedr. lufttilførsel til rum i boliger. Dette har især interesse i forbindelse med støjdemning af eksisterende boliger og ved renoveringer. For nybyggeri vil foldeskodden også med fordel kunne anvendes på enfamiliehuse, både for at reducere generne fra støj i trafikerede områder og for at forbedre facadernes isolering og bidrage til overholdelse af energirammen. For nye etageboliger er der krav om mekanisk ventilation, og derfor vil foldeskodden primære funktion her være forbedret isolering af klimaskærmen, mens ventilationsfunktionen især vil opleves som et vigtigt bidrag til oplevelsen af bedre komfort og større brugerkontrol.

Foldeskodden endelige form

I nærværende projekt er foldeskodden kun udviklet til en prototype med det formål at alle væsentlige funktioner kan afprøves gennem beregninger og tests i laboratoriet. I sin endelige udformning vil skodden kunne antage mange forskellige udformninger, med stor frihed for arkitekter til at tilpasse den ydre skærm i forhold til den enkelte bygnings udtryk. Figur 1 illustrerer, hvordan foldeskodden kan se ud, når den monteres på en hel bygningsfacade.



Figur 1. Rending af en tænkt udformning af foldeskodden monteret på en hel bygningsfacade.

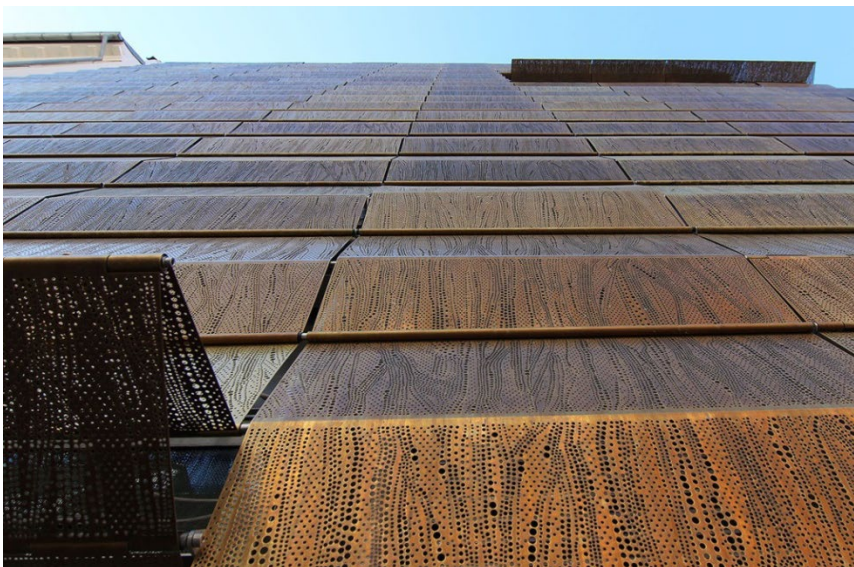
Foldeskoddens princip og udviklingsstade

Et elegant og meget lovende system af dynamiske facader er allerede udviklet. Med støtte fra Elforsk og EUDP har Art Andersen udviklet systemet Energy Frames, som er et facadesystem bestående af forskellige isolerende og solafskærmende rammemoduler, der bevæges uden på facaden ved hjælp af et patenteret træksystem. Systemet har vakt stor interesse både herhjemme og i udlandet, og har i 2014 vundet ugebladet Ingeniørens produktpris for bæredygtighed, og var nomineret til Elforsk-prisen 2015. Det geniale ved systemet er, at det kan fungere som isolerende skodde samtidig med at det er et ideelt system til styring af dagslys og kontrol af solindstråling. Rammesystemet har et dokumenteret besparelsespotentiale på op imod 50 % af energiforbruget (beregnet på energirammen for BR 2010), og reducerer forbruget til både opvarmning, ventilation/køling og belysning. Systemet anvendes i dag på flere forskellige bygninger, se SBI-rapport 2018:05 (Johnsen K og Winther F, 2018), men en egentlig masseproduktion er endnu ikke blevet etableret.

Eksempler på eksisterende foldeskodder

Problematikken med at standard skoddeelementerne kræver et frit 'parkeringsareal' ved siden af vinduet, når skodden er trukket fra vinduet, førte til målsætningen om, at udvikle en skodde, der er koblet til det enkelte vindue, og som kan foldes sammen langs kanten af vinduet (vandret eller lodret). Udviklingen bygger på Art Andersens erfaringer med foldeskodder kombineret med grundprincipperne fra Energy Frames. Art Andersen har udviklet flere forskellige principper for foldeskodder, hvoraf nogle beskrives i det følgende.

Afskærmningen til domicil for en smykkeforretning i Toldbodgade er designet og udviklet i tæt samarbejde med BBP Arkitekter. Her er foldeskodden udført, så den følger husets profil som en ekstra "yderhud" af Tecu Gold metalplader, der er perforeret i et fint regndråbemønster. En tredjedel af frontfacadens, tagets og bagfacadens metalplader er dynamiske, vandret foldelige skodder, der kan bevæge sig op og ned i takt med lys, sol og årstider, se figur 2 og figur 3.



Figur 2. Afskærmning af bygningsfacade udført som foldeskodde. Foto: Art Andersen.

Når vejret er til det, er panelerne trukket helt op. Og når lyset er for stærkt, lukker skærmen sig. Selv når foldeskodderne er lukkede, er der godt udsyn indefra ud igennem perforeringsmønsteret. Skodderne er motoriserede og drives af den særlige patenterede trækstation med en roterende spiral. Bygningen har modtaget 3 af de fornemste arkitekturpriser i Danmark: Arkitektforeningens Store Arne, Tyndpladeprisen og Københavns Kommunes Arkitekturpris.

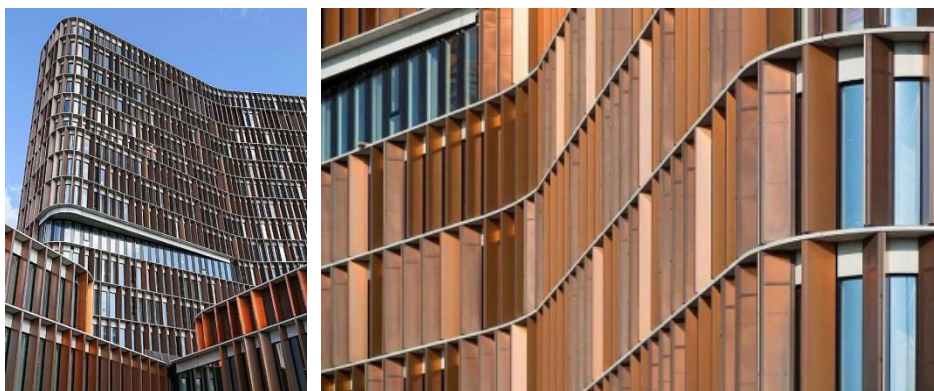


Figur 3. Hovedsæde for smykkeforretning i Toldbodgade. Her er anvendt vandrette foldeelementer, der elegant kan åbne for individuelle vinduespartier, og lukke bygningen af om natten. Foto: Art Andersen.

Art Andersen har bistået arkitektfirmaet C.F. Møller med udviklingen af forskellige potentielle koncepter til dynamisk afskærmning af det nye Panum Tårn / Mærsk Bygningen i København, som er en højhusbygning på 17 etager, se figur 4. Flere mulige afskærmningskoncepter er udviklet frem til fuldskala i autentiske materialer, så bygherre, interessenter, arkitekter og rådgivere har kunnet træffe det bedst mulige valg om, hvilken løsning der skal arbejdes videre med. Ud fra overvejelser om arkitektur, materialitet, funktionalitet, udsyn, miljø, energi, komfort, sikkerhed, holdbarhed, driftssikkerhed og økonomi. Det udvalgte foldeskoddekoncept med udvendige lodrette foldeskodder blev udviklet frem til en fuldt funktionel og æstetisk mockup, som blev testet i Europas mest avancerede testcenter, både i vindtunnel og klimakammer til de værst tænkelige forhold. Mærsk Tårnet er Danmarks mest energieffektive laboratoriebygning, bygget til at modstå fremtidens klimaforandringer. En lang række løsninger på bæredygtigheds-udfordringer er tænkt ind i design og konstruktion af bygningen.

Interiør i Mærsk-bygningen kan ses på video på:

<https://www.panowalks.com/embed/SOnDFB1M31TrCVy2gBQM1CMn3S0W/>



Figur 4. Panum Tårnet - Mærsk Tårnet, København - Udvendige lodrette foldeskodder. Foto: Art Andersen.

Et andet princip for en foldbar lukning af facaden har Art Andersen udviklet i samarbejde med Realdania (Byggeriets Innovation) og det store internationale rådgivende ingeniørfirma Arup i London i forskningsprojektet *The Integrated Building Envelope*, omkring udviklingen af fremtidens facadeelementer. Her er der anvendt et sakseprincip for en slags persiennesystem, hvor de sammenhængende 'lameller' styres i skinner i siden, se figur 4 og figur 5. Dette innovative udvendige facadeafskærmnings-koncept bygger på flere nye, patentanmeldte bevægelsesprincipper.



Figur 5. The Integrated Building Envelope - Udvendige vandrette saksepersienser. Foto: Art Andersen.

Dette princip kan i sin nuværende form umiddelbart opfylde facadens funktioner med regulering af solindfald og dagslys og kan - fordi elementet slutter ret tæt i lukket tilstand - til en vis grad også bidrage til en forøget isolering af facaden.



Figur 6. Foto af saksepersiennens positioner: Lukket, åben og trukket op. Foto: Art Andersen.

Målsætninger for den nye foldeskodde

Projektet tager udgangspunkt i de principper for foldeskodder, som Art Andersen tidligere har udviklet, primært som solafskærmninger og elegante facade-lukninger. Den nye type foldeskodde skal i åben tilstand kunne parkere elementerne pakket sammen langs vinduets kant(er), mens den i lukket tilstand skal slutte helt tæt, så der opnås en markant forbedring af facadens funktion, især isoleringsevnen.

Fokus på væsentlige funktioner

Projektet fokuserer på at foldeskodden skal kunne lukke tæt og forøge facadens isoleringsevne markant, samtidig med at den skal kunne åbne helt op for frit udsyn og maksimalt dagslysindfald. Foldeskodden skal kunne anvendes bredt, både til nybyggeri og ved renovering, herunder også til rene glasfacader, der i mange bygninger er årsagen til dårligt indeklima og højt energiforbrug. I projektet arbejdes der parallelt med to koncepter for foldeskodder og ud fra afprøvning af arbejdsmodeller af de to koncepter træffes der beslutning om færdigudvikling af prototype og opbygning af en fuld mockup for det valgte koncept, så der kan foretages optimering af materialevalg og gennemføres de nødvendige afprøvninger i laboratoriet.

Udviklingsprojektet havde således fokus på, at skodden skal have følgende egenskaber:

- En isoleringsevne der i kombination med en 2-lags energirude gør facaden bedre end en 3-lags energirude
- Skal kunne slutte lufttæt til vinduet (forudsætning for ovenstående)
- Skal i en vis udstrækning også kunne anvendes på vinduer, der åbner udad (som det er praksis i Danmark), fx ved at skodden for ét vindue er delt i to, der folder sammen langs modstående kanter af vinduet (vandret eller lodret)
- Skal fylde mindst mulig i sammenfoldet tilstand langs vinduets kant(er)
- Skal kunne fungere som ventilationselement i flere positioner (åben, delvis åben)
- Skal give en dæmpning af trafikstøj i flere positioner (åben, delvis åben og lukket).

Arbejdsmetode og arbejdsfordeling for at opnå målet

I starten af projektet arbejdedes der med udvikling af to typer arbejdsmodeller for foldeskodder, som gennem en række tests og analyser justeres og diskuteres med følgegruppen, inden der kunne træffes beslutning om ét endeligt koncept, som der arbejdes videre på til funktionsduelighed og detaljerede laboratorieafprøvninger.

De indledende tests og analyser på arbejdsmodellerne foregik i værkstedet hos Art Andersen, understøttet af beregninger, som primært gennemførtes af Rambøll. Ved projektstart var det planen at afprøvningerne af den fulde mockup skulle foregå dels foregå i SBI/AAUs dagslyslaboratorium i Hørsholm, og dels i AAU's laboratorier i Aalborg. På grund af forsinkelser i projektet, blev det imidlertid ikke muligt at lave afprøvningerne på AAU, og det blev derfor besluttet, at tæthedsprøvningerne skulle foretages af Rambøll Danmark, mens de akustiske målinger blev foretaget af Sweco Danmark A/S.

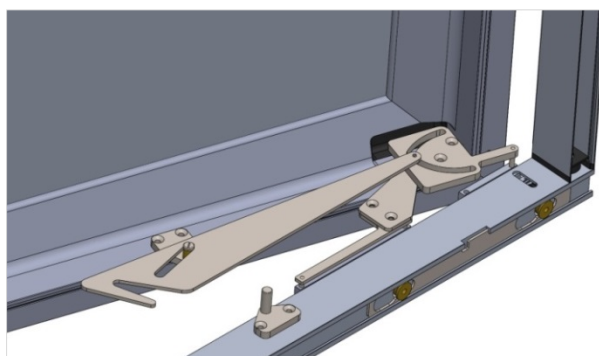
Udviklingsforløb

Dette kapitel giver en overordnet beskrivelse af udviklingsforløbet og udfordringer for de enkelte dele af foldeskodden med fotos, der giver et indtryk af nogle af de stadier, udviklingen har gennemgået.

Som nævnt har udviklingen taget udgangspunkt i de principper for foldeskodder, som Art Andersen tidligere har udviklet, primært som solafskærmninger og elegante facadelukninger. Den nye type foldeskodde skal i åben tilstand kunne parkere elementerne pakket sammen langs vinduets kant(er), mens den i lukket tilstand skal slutte helt tæt, så der opnås en markant forbedring af facadens funktion, især isoleringsevnen.

Lukke- og låsebeslag

Beslaget er designet således at det ligger indenfor profilets ydergeometri. Beslag og profiler er dimensioneret til at kunne udføres i enten i aluminium eller i komposit materiale. En rendering af en prototype er vist i figur 6. Der er flere udfordringer i forbindelse med udformningen. Beslaget skal på den ene side være robust, men må samtidig ikke fylde meget, specielt når skodden er fuldt åben. Oplukningen fra lukket tilstand giver også det problem, at elementet ikke 'ved' til hvilken side, det skal åbne, så hvis det åbner forkert, kan det ikke fungere.



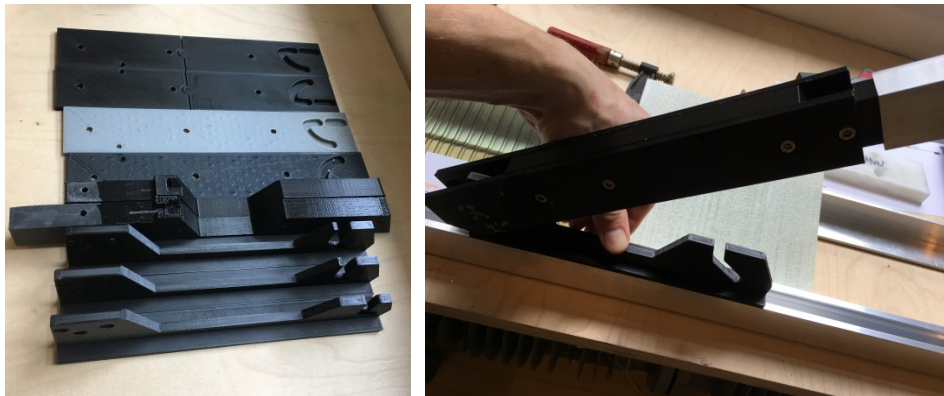
Figur 7. Rending af lukke- og låsebeslag som grundlag for udvikling af prototype.

Figur 7 viser funktionstest af en prototype af beslaget i laboratoriet. Denne variant fylder for meget, og tillader ikke at elementet kan trækkes tilstrækkeligt fra.



Figur 8. Lukke- og låsebeslag, funktionstest af prototype i laboratoriet.

Figur 8 viser de forskellige prototyper af lukkebeslaget, der blev udviklet, samt den endelige version monteret på styreskinnen. Figur 9 illustrerer, hvordan skodderammen fastgøres på lukkebeslaget.



Figur 9. Forskellige prototyper på lukke- og låsebeslag (t.v.) og det endelige beslag, monteret på styreskinnen (t.h.).



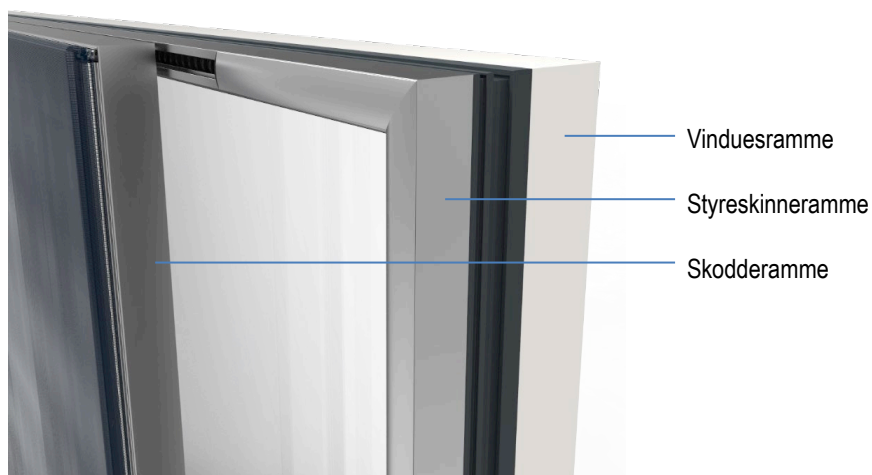
Figur 10. Den endelige version af lukkebeslaget, til venstre monteret på styreskinnen i position svarende til at skodden er i åben position, til højre beslaget i position svarende til næsten lukket skodde.

Vogn og skinne

Bevægelsen af standarddrammerne i Energy Frames bygger på et patenteret grundprincip, hvor en roterende spiral driver en slags 'vogne' frem eller tilbage på styreskinnen, se figur 10. Rammerne som monteres på vognene, og kan således åbne eller lukke, som illustreret på figur 11.



Figur 11. Grundprincip i skoddens bevægelse, hvor en roterende spiral driver 'vogne' frem eller tilbage på styreskinnen. Rammerne som monteres på vognene bevæger sig således langs med facaden.



Figur 12. Foto af standardløsningen for styreskinne, som monteres uden på vinduesrammen. Rammen bevæger skubbes frem eller tilbage af vognene, som drives af den roterende spiral i styreskinne.

Forstærket styreskinne og forbedring af styret

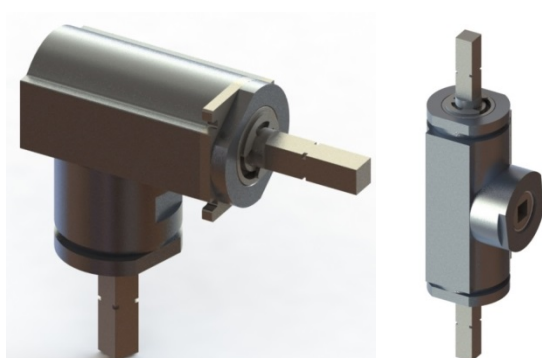
Foldeskodderne er udsat for stærkere kræfter end standardskodderne som er plane med facade. Både selve vægten om trækmomentet fra de åbne foldeskodder og vindkræfterne er større, og derfor er der udviklet kraftigere styreskinne og en bedre styring ved hjælp af små gummihjul som sikrer præcisionen i styringen, se figur 12.



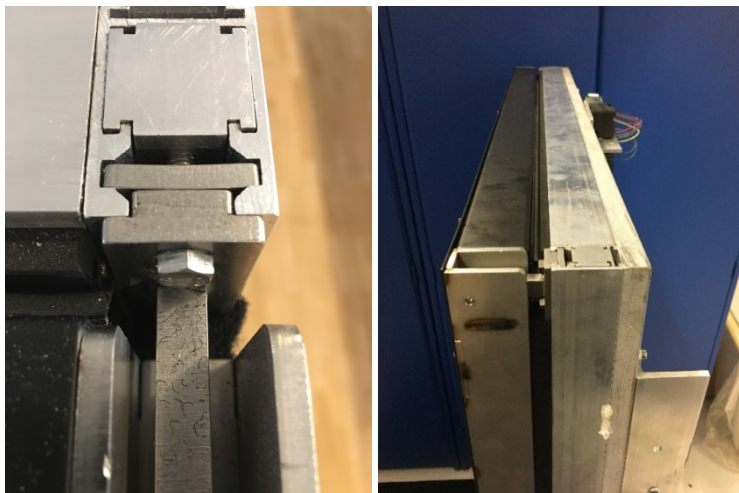
Figur 13. Den nye variant af styreskinne som er lidt kraftigere end standardskinne, og som ved hjælp af små gummihjul sikrer en præcis bevægelse af vognene, der drives af den roterende spiral.

Motor og transmission

Motoren til systemet har været under konstant udvikling/tilpasning i hele udviklingsforløbet af Energy Frames. Der anvendes en standard 12 eller 24 V DC motor af minimale dimensioner, så den kan indbygges i vinduets karm. Kraften overføres til træksystemet via spindel, der drejer spiralen, som flytter skodden langs vinduets kant.



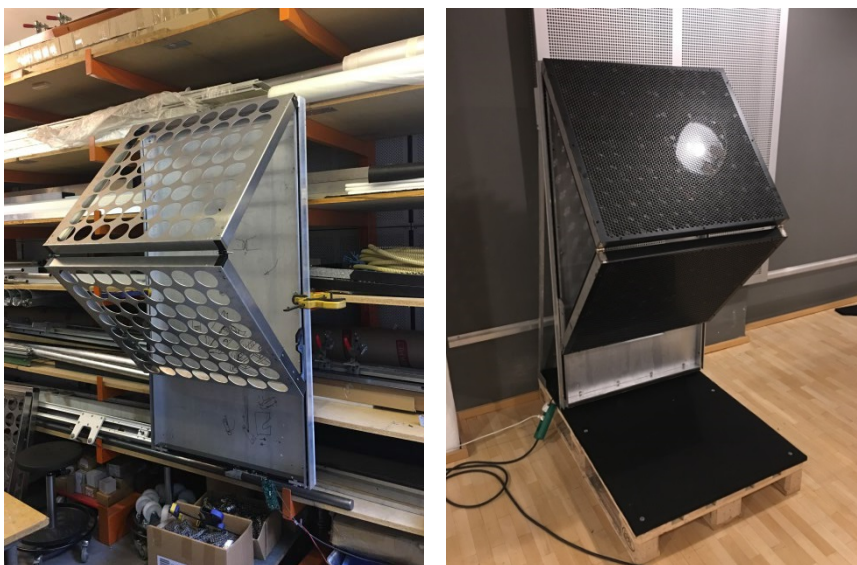
Figur 14. Spindel og vinkel spindel, der overfører kraften fra motor til træksystem.



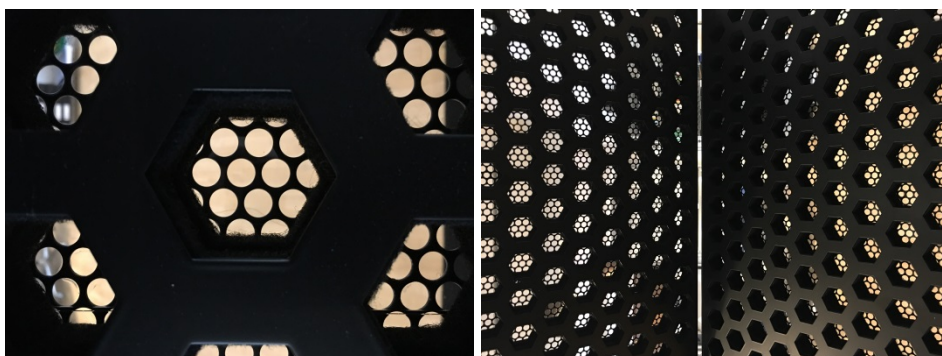
Figur 15. Kantprofil af foldeskodden.

Skærm

Skærmens udseende har ikke været tillagt så stor vægt i udviklingen af prototype. Der er lagt vægt på skærmens funktioner og placering af isolering/lyddæmningsmaterialer samt beskyttelsen af disse materialer. Forskellige åbningsgeometrier har været prøvet, som vist i fotos på



Figur 16. Illustration af udviklingsforløb for foldeskoddens udvendige skærm.



Figur 17. Illustration af skærmens åbningsgeometri for visuel vurdering af mulige løsninger.

Facadens funktioner

Facaden, eller klimaskærmen generelt, skal opfylde en lang række æstetiske og funktionsmæssige krav, som ofte kan rumme indbyrdes konflikter. Således skal facaden beskytte mod udeklimaet, samtidig med at den på kontrolleret måde skal tillade udveksling af lys, luft, varme og lyd. Facaden skal sikre bygningen tilstrækkeligt dagslys og give adgang til et godt udsyn (udsigt) fra bygningens rum, samtidig med at den skal kunne beskytte mod overophedning, blænding og uønsket indblik. Facaden skal også beskytte mod ekstern støj, samtidig med at der ofte ønskes åbninger i facaden, der kan indgå i bygningens principper for naturlig eller hybrid ventilation. Facadens udformning har også betydning for en række sikkerhedsmæssige forhold, fx vedrørende brand, flugtveje og indbrud. Endelig har facaden i mange virksomhedsdomiciler ofte en vigtig image-værdi, idet den afspejler virksomhedens holdninger til fx miljøspørgsmål og åbenhed og transparens over for omverdenen (kunderne).

Uanset hvilke funktioner, der prioriteres højest ved valg af en facadeløsning, så har udformningen helt afgørende betydning for både indeklima og energiforhold i bygningen. I det følgende beskrives facadens enkelte funktioner med kriterier for, hvornår det kan forventes at facaden opfylder brugernes behov med hensyn til den enkelte funktion

Facaden skal give brugerne mulighed for at opnå

- Beskytte mod vejr og vind (varmetab, tæthed, solindfald)
- God kontakt med omgivelser/udemiljø
- Beskyttelse mod uønsket indblik udefra
- Få et godt dagslys i rummet og til arbejdsfunktioner
- Mulighed for at lufte ud
- Beskyttelse mod uønsket solindfald og overtemperaturer
- Beskyttelse mod uønsket solindfald og blænding
- Adgang for direkte sollys, når ønsket
- Beskytte mod støj udefra

I de følgende kapitler beskrives de funktioner ved foldeskodden, som har størst betydning for, om den kan vinde interesse hos bygherrer og projekterende, både i relation til de stramme energibestemmelser og som støjdæmpende facadeelement. Foldeskoddens faktiske egenskaber beskrives ud fra detaljerede beregninger samt de tests der er gennemført i laboratoriet.

Funktionerne der beskrives, er foldeskoddens evne til at:

- Øge isoleringsevnen af vinduespartier, herunder hvor tæt skodden kan lukke og slutter til vinduet
- Dæmpe støjen fra trafikstøj i lukket, delvist lukket samt åben position
- Give mulighed for naturlig ventilation, samtidig med at støjen udefra dæmpes betydeligt.

Da skoddens funktioner er nært knyttet til krav i bygningsbestemmelserne, indledes gennemgangen af funktionstestene med en oversigt over de gældende bestemmelser på hvert af de tre områder.

Krav vedrørende varmeisolering og energiforbrug

Helt overordnet tjener vores bygninger til at beskytte os imod udeklimaet og sikre, at der kan etableres et indeklima, som er inden for acceptable eller komfortable grænser. Bygningsreglementets krav tilknyttet klimaskærmen og klimaskærmens påvirkninger omfatter bl.a. bygningsfysiske krav til klimaskærmen, tilstrækkelig tilgang af dagslys, et tilfredsstillende termisk og atmosfærisk indeklima samt et lavt energibehov til bygningsdrift.

Det er således klimaskærmens formål at mindske varmetab, mindske energibehov samt sikre et tilfredsstillende indeklima med fokus på det optiske, akustiske, termiske og atmosfæriske indeklima.

BR18 krav vedr. energiforbrug og varmeisolering

§ 258 Generelle mindstekrav til vinduer, glasydervægge, ovenlysvinduer og glastage (uddrag)

Vinduer, glasydervægge, ovenlysvinduer og glastage skal overholde følgende krav til energimæssig ydeevne:

1) For vinduer og glasydervægge må energibalancen for referencevinduet ikke være mindre end $-17 \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år}$. Energibalancen beregnes som $E_{\text{ref}} = 196,4 \times g_w - 90,36 \times U_w$.

§ 259 Energirammer for boliger, kollegier, hoteller og lignende

For boliger, kollegier, hoteller og lignende bygninger må bygningens samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling og varmt brugsvand pr. m^2 opvarmet etageareal højst være $30,0 \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år}$ tillagt 1.000 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal.

§ 260 (uddrag) Energirammer for andre bygninger end boliger

For andre bygninger end boliger, der ikke er omfattet af § 259, må bygningens samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling, varmt brugsvand og belysning pr. m^2 opvarmet etageareal højst være $41,0 \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år}$ tillagt 1.000 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal.

§ 264

Nybyggeri, der er omfattet af bestemmelserne i §§ 259 og 260, skal udføres, så det dimensionerende transmissionstab pr. m^2 etageareal ikke overstiger $11,0+6,0/E+300/A$, hvor E er antallet af etager, og A er det opvarmede etageareal. Antal etager er et decimaltal, som udregnes som opvarmet etageareal divideret med bebygget areal. Bygninger med gennemsnitlig rumhøjde over 4,0 meter får et tillæg på $1,0 \text{ W/m}^2 \text{ pr. meter}$ gennemsnitlig rumhøjde over 4,0 meter. Opvarmet kælder, der ikke indgår i etagearealet, medregnes med 40 pct. i antal etager og det opvarmede etageareal.

Lavenergiklasse

Lavenergiklasse (tidligere kaldet Bygningsklasse 2020) beskriver de krav en bygning skal opfylde for at den kan blive klassificeret som Lavenergiklasse. Forudsætningerne er, at alle kravene i BR18 kapitel 25 (§ 473 - § 484) overholdes, samtidig med at de øvrige krav i bygningsreglementet også overholdes.

Energiberegningen af bygningers overholdelse af Lavenergiklassen foretages med SBI-anvisning 213, *Bygningers energibehov*. I energiberegningen benyttes andre energifaktorer end i overholdelse af bygningsreglementets minimumskrav i kapitel 11, *Energiforbrug*. Der er strammere krav til en række forskellige bygningsdele og komponenter i Lavenergiklasse. Kravene fremgår af bestemmelserne, mens vejledningen til forståelse af kravene fremgår af de forskellige emner, primært kapitel 11, *Energiforbrug*, og kapitel 22, *Ventilation*. Tabel 1 angiver, hvilke krav der bør være særlig opmærksomhed på ved beslutning om, hvilket kravniveau bygningen ønskes at overholde.

Tabel 1. Krav i bygningsreglementet BR18 og vejledningen til BR18 vedrørende Lavenergiklasse, som der bør tillægges særlig opmærksomhed ved beslutning om, hvilket kravniveau der ønskes.

Krav	BR18	Lavenergiklasse
Energirammen	X	Skærpet
Dimensionerende varmetabskrav	X	Skærpet
Krav til komponenter, herunder vinduer (Eref)	X	Skærpet
Tæthed	X	Skærpet
Krav til ventilationsanlæg	X	Skærpet
Energi fra vedvarende energi	X	Særlige krav

For Lavenergiklassen er kravene i § 258 - § 260 samt § 264 erstattet af kravene i § 474 - § 476 samt § 478, som gengivet nedenfor.

Krav til Lavenergiklasse vedr. energiforbrug og varmeisolering

§ 474

Boliger, kollegier, hoteller og lignende kan klassificeres som lavenergiklasse, når bygningens samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling og varmt brugsvand pr. m² opvarmet etageareal ikke overstiger 27,0 kWh/m² pr. år.

§ 475 (uddrag)

Andre bygninger end boliger, der ikke er omfattet af § 474, kan klassificeres som lavenergiklasse, når det samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling, varmt brugsvand og belysning pr. m² opvarmet etageareal ikke overstiger 33,0 kWh/m² pr. år.

§ 476

Bygninger, der er omfattet af §§ 474 eller 475, skal udføres, så det dimensionerende transmissionstab pr. m² etageareal ikke overstiger $11,0 + 6,0/E + 300/A$, hvor E er antallet af etager, og A er det opvarmede etageareal. Antal etager er et decimaltal, som udregnes som opvarmet etageareal divideret med bebygget areal. Bygninger med gennemsnitlig rumhøjde over 4,0 meter får et tillæg på 1,0 W/m² pr. meter gennemsnitlig rumhøjde over 4,0 meter. Opvarmet kælder, der ikke indgår i etagearealet, medregnes med 40 pct. i antal etager og det opvarmede etageareal.

§ 478 (uddrag)

Energibalancen (Eref) gennem vinduer og glasydervægge i opvarmningssæsonen må ikke være mindre end 0 kWh/m² pr. år.

Overholdelse af varmetabsrammen med isolerende skodder

Kravene vedr. det dimensionerende transmissionstab stiller et større krav til klimaskærmens samlede transmissionstab og dermed også til vinduernes egenskaber ved større vinduesandele. Med energikravene i BR15 kunne det godt lade sig gøre at anvende vinduer med 2-lags ruder – i det mindste i en vis udstrækning. Men med kravene i BR18 og lavenergiklassen er det i praksis umuligt. Dette åbner naturligvis mulighed for, at facadeteknologier, som medvirker til at reducere transmissionstabet, fx isolerende skodder, kan få større udbredelse. Isolerende skodder, der kan lukkes til foran vinduer på tidspunkter, hvor det er acceptabelt for brugerne giver både mulighed for at forbedre vinduernes Eref-værdi og reducere det dimensionerende transmissionstab.

I nedenstående Tabel 2 er vist hvilke scenarier/bygningstyper, der ikke vil kunne overholde BR18 (rød-markerede), og hvilke forhold der ikke kan overholde Lavenergiklassen (gult-markerede). Grønne felter overholder både BR18 og Lavenergi. De enkelte dele af klimaskærmen, der indgår i opgørelsen, har følgende termiske egenskaber:

Vinduer:	1,30 W/m ² K
Ydervæg:	0,13 W/m ² K
Terrændæk:	0,09 W/m ² K
Tag:	0,10 W/m ² K
Fundamenter:	0,09 W/mK
Samling mellem ydervæg og vinduer:	0,00 W/mK

Tabel 3 viser for de samme bygningstyper, hvordan isolerende skodder kan bidrage til at varmetabsrammen kan overholdes.

Tabel 2. Beregnet dimensionerende transmissionstab ved 30 % vinduesareal.

Varmetab (W/m ²)	Bebygget areal (Ab)										
	Etager (E)	50	100	150	200	300	400	500	700	1000	2000
12	21,0	18,3	17,0	16,3	15,4	14,9	14,6	14,1	13,7	13,1	
8	21,2	18,5	17,2	16,5	15,6	15,1	14,7	14,3	13,9	13,2	
5	21,6	18,8	17,6	16,8	15,9	15,4	15,1	14,6	14,2	13,6	
4	21,8	19,0	17,8	17,0	16,2	15,6	15,3	14,8	14,4	13,8	
3	22,2	19,4	18,1	17,4	16,5	16,0	15,6	15,2	14,7	14,1	
2	23,0	20,1	18,9	18,1	17,2	16,7	16,3	15,9	15,5	14,8	
1	25,3	22,4	21,1	20,3	19,4	18,9	18,5	18,0	17,6	16,9	

30 % Vinduesareal

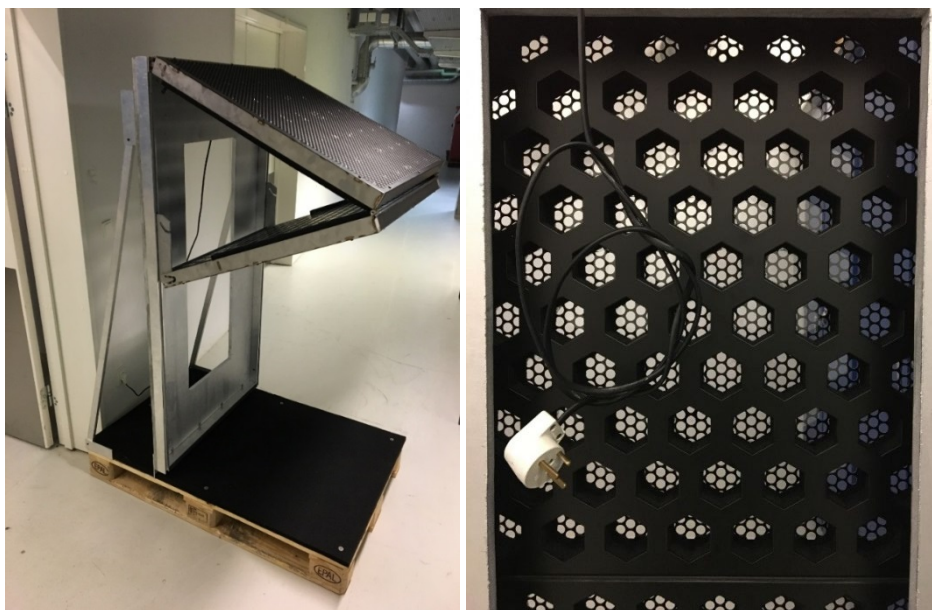
Tabel 3. Beregnet dimensionerende transmissionstab ved 30 % vinduesareal + skodde U = 0,70 W/m²K.

Varmetab (W/m ²)	Bebygget areal (Ab)										
	Etager (E)	50	100	150	200	300	400	500	700	1000	2000
12	15,1	12,3	11,1	10,4	9,5	9,0	8,6	8,2	7,7	7,1	
8	15,3	12,5	11,3	10,5	9,7	9,2	8,8	8,3	7,9	7,3	
5	15,6	12,8	11,6	10,9	10,0	9,5	9,1	8,7	8,2	7,6	
4	15,9	13,1	11,8	11,1	10,2	9,7	9,3	8,9	8,4	7,8	
3	16,3	13,4	12,2	11,5	10,6	10,0	9,7	9,2	8,8	8,2	
2	17,0	14,2	12,9	12,2	11,3	10,8	10,4	9,9	9,5	8,9	
1	19,4	16,4	15,1	14,4	13,5	12,9	12,5	12,1	11,6	11,0	

30 % Vinduesareal inkl. isolerende skodder med isolans på 0,70 m²K/W

Test og beregning af skoddens isoleringsevne

Foldeskodden er udviklet som et nyt click-on-facadesystem (Energi Frames som foldeskodde), som kan monteret direkte på eksisterende vinduer. Som led i udviklingen har Rambøll udført detaljerede varmestrømsberegninger for transmissionen gennem skoddens enkelte bestanddele. Der er foretaget beregning af foldeskoddens tillægs-isolans, når den monteres på et vindue, og den resulterende U-værdi for systemet bestående af vindue plus den isolerende foldeskodde. Desuden er der foretaget målinger af foldeskoddens lufttæthed, afhængig af trykforskellen over skodden. Formålet med beregninger og målinger er at identificere mulige svagheder eller mangler i den udviklede prototype samt nødvendige forbedringsmuligheder i den videre udvikling.



Figur 18. Mock-up af foldeskodde og foldeskodde mekanisme (tv). Perforeringer i den gående del af foldeskodden (th.).

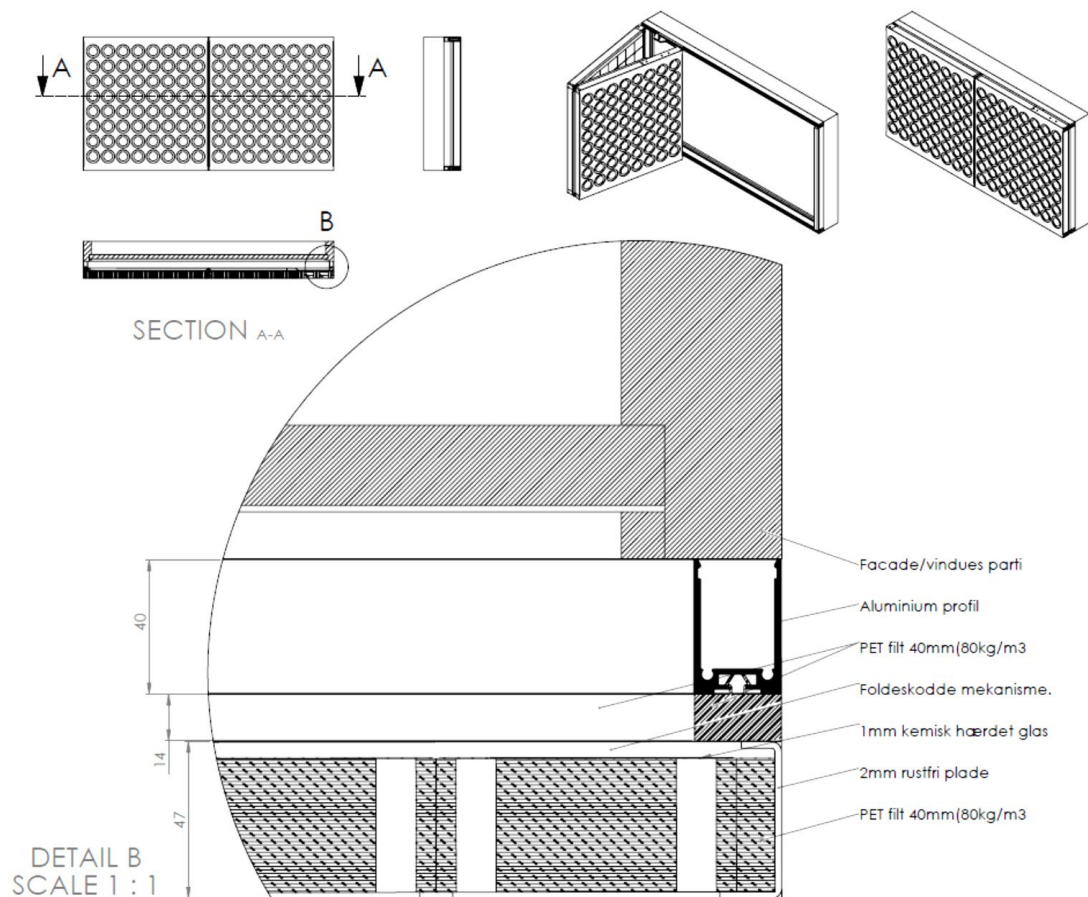
Konstruktionsbeskrivelse

Foldeskodden består af PET-filt udført som sekskantede perforeringer. PET-filt er fremstillet af genbrugt PET (polyethylenterephthalat), som bruges primært i produktionen af PET-flasker. Leverandøren af PET-filtten har oplyst en varmeledningsevne på 0,038 W/mK.

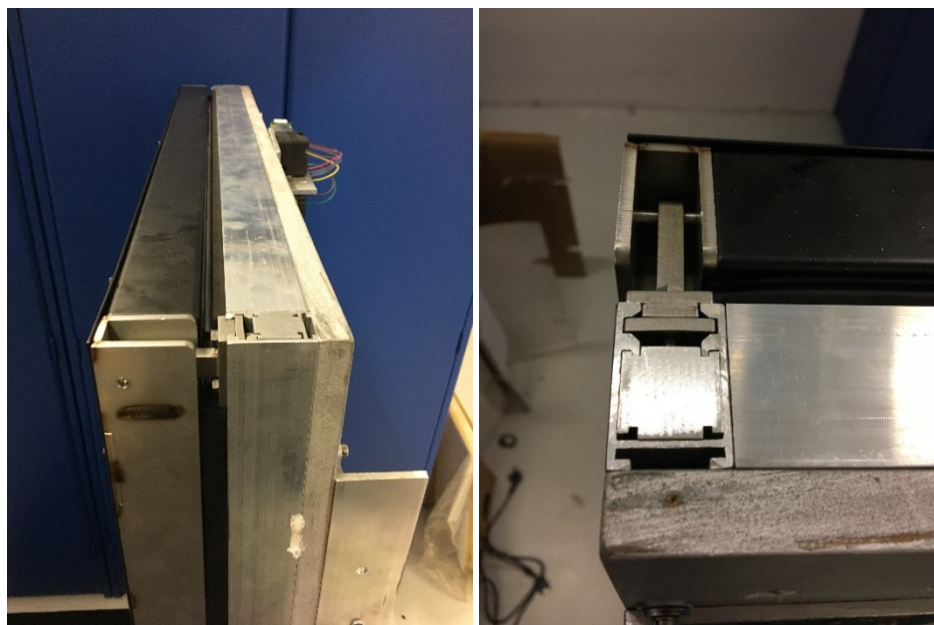
Konstruktionsopbygning:

- Vinduesparti
- 40 mm aluprofil ramme - hulrum mellem vinduesparti og skodde
- 14 mm tætning, PET-filt/gummi – hulrum mellem karm og gående foldeskodde
- 47 mm gående foldeskodde i rustfrit stål ramme inkl. 1 mm kemisk hærdet glas udvendigt – perforerede huller (sekskantet) og stålplade med mindre runde huller yderst (se Figur 13).

Hulrum i foldeskodden i form af sekskantede huller er opmålt og udgør 44 % af arealet. De resterende 56 % er PET filt.



Figur 19. Foldeskode (kilde: Art Andersen).



Figur 20. Foldeskode - Detaljer /kantkonstruktion på mock-up.

Beregningsforudsætninger/-metode

Grundlag for beregningerne er DS418:2011 – Beregning af bygningers varmetab. Beregningerne er konkret udført med programmerne HEAT2 og HEAT3 til detaljerede varmestrømsberegninger.

Der er beregnet en tillægsisolans for foldeskodden baseret på beregning af varmetabet for repræsentative snit udtrykt som varmefordstand (isolans).

Isolansen af foldeskodde systemet kan findes af følgende formel:

$$R_{system} = \frac{A}{\frac{1}{R_{center}} \cdot A + \sum \frac{1}{R_{linje}} \cdot L}$$

R_{system} repræsenterer den R-værdi der kan findes for systemet inklusiv kuldebroer.

R_{center} er den isolans der findes for systemet, hvor varmemstrømmen ikke er forstyrret af kantkonstruktioner og dermed også den ideelle isolans for foldeskoddesystemet, hvis der slet ikke forekommer kuldebroer i systemet.

R_{linje} henfører til varmemstrømmen gennem kantkonstruktioner, som udgør kuldebroer.

A = Arealet af foldeskodden

L = profillængden i systemet

Det skal bemærkes at overgangsisolanser medregnes for selve vinduet.

Kendes U-værdi for den bagvedliggende konstruktion/vinduespartiet (U_w) kan en tilnærmet værdi for U-værdien med foldeskodde (U_{system}) beregnes som:

$$U_{system} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + R_{system}}$$

Metoden beskrevet ovenfor er i princippet den samme som fremgår af DTU rapport U-021 (1998): "Efterisoleringskatalog – Oversigt og sammenligning af efterisoleringssystemer".

Modelleringen af foldeskodden omfatter en varmetekniske behandling af hulrum, som udføres ff. vindueskompendium 3 (version 3), BYG.DTU U003 (2009). Metoder er baseret på EU standard EN10077-2 og opdeler hulrum i uventilerede, svagt eller godt ventilerede hulrum. Ens for dem alle er at de beskrives ved en ækvivalent varmeledningsevne λ_{eq} . Den ækvivalente varmeledningsevne defineres som varmeledningsevnen af et homogent materiale der har samme varmetekniske egenskaber som hulrummet.

Modelleringen af de repræsentative udsnit af foldeskodden, herunder metalprofiler og øvrige metaldele er foretaget ud fra opmålinger på den omtalte mock-up.

Beregningsresultater

Centerværdi

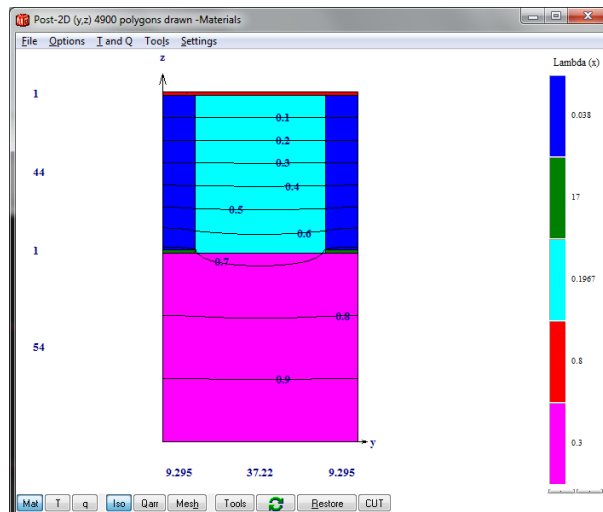
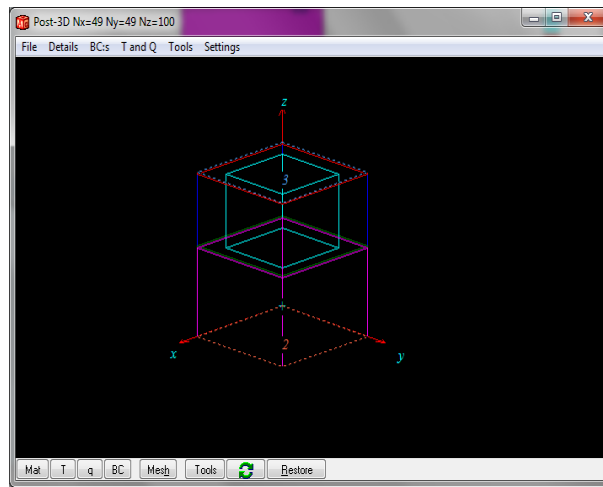
Der er foretaget 3D varmemstrømsberegning for model af 1 regulær sekskant inkl. fast stof.

Lufthuller i skodde modelleres som rektangulære uventilerede hulrum. Hulrummets termiske modstand $R_s = 1/(h_a + h_r) = 1/(1,57 + 2,9) = 0,224 \text{ m}^2\text{K/W} \Rightarrow \lambda_{\text{ækv.}} = 0,1967 \text{ W/mK}$ ved hulrumdybde på 44 mm.

Med en fordeling på 56/44% ift. faststof/luft og varmeledningsevne på 0,038 W/mK for PET filten kan der beregnes en ækvivalente varmeledningsevne på 0,109 W/mK for selve skodden.

Luft bag skodde i form af luftspalte er regnet uventileret med en isolans for vandret varmemstrøm på 0,18 m²K/W, svarende til $\lambda_{\text{ækv.}} = 0,3000 \text{ W/mK}$ ved hulrumsdybde på 54 mm.

$$R_{\text{center}} = 0,599 \text{ m}^2\text{K/W}$$

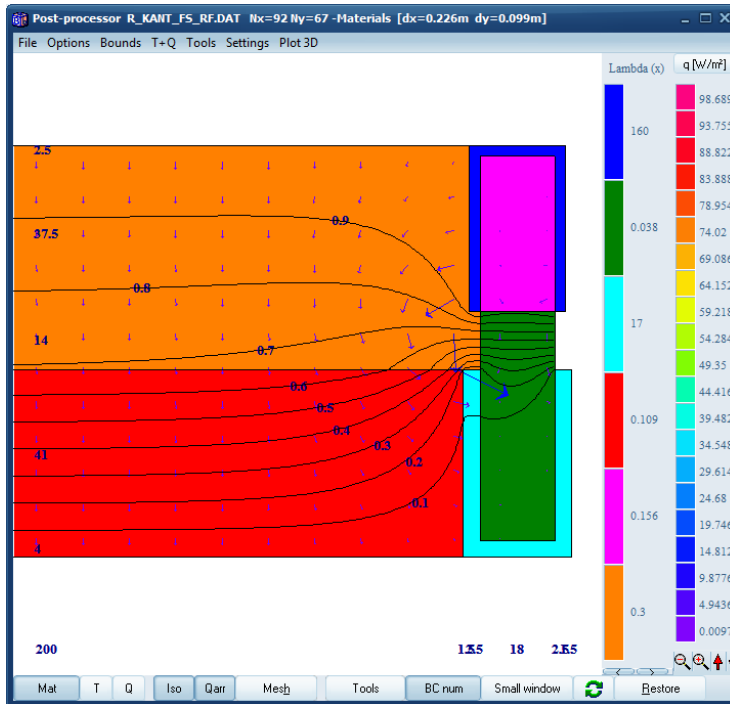


Figur 21. Snit i 3D model anvendt for normalsnit i skodden.

Sider

Der er foretaget 2D varmemstrømsberegning for foldeskoddens kantkonstruktion (sider), svarende til det ekstra varmetab for kantkonstruktionen. Hulrum i aluprofil er regnet uventileret. Det ekstra varmetab er udtryk som et isolansbidrag pr. meter.

$$\begin{aligned} Q_{2D} &= 0,5417 \text{ W/m} \\ Q_{1D} &= 1,6868 \text{ W/m}^2\text{K} \\ \Delta T &= 1\text{K} \\ L_{\text{model}} &= 0,226 \text{ m} \\ Q_{1D} &= 0,3812 \text{ W/m} \\ R_{\text{linje, sider}} &= 6,231 \text{ mK/W} \end{aligned}$$

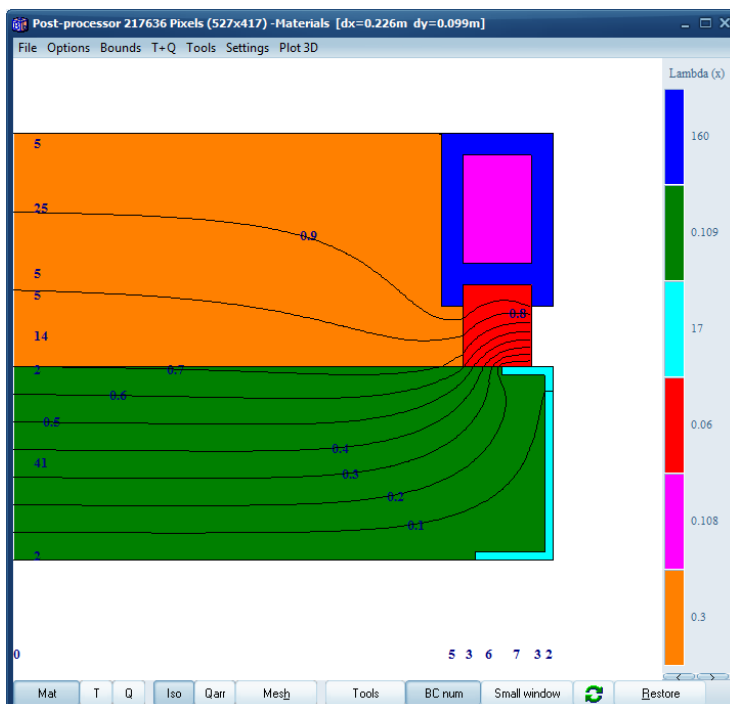


Figur 22. 2D model anvendt for sidekarne.

Top/bund

Der er foretaget 2D varmestrømsberegning af linjetabsværdien for foldeskodens kantkonstruktion (top/bund), svarende til det ekstra varmetab for kantkonstruktionen. Hulrum i aluprofil er regnet uventileret. Det ekstra varmetab er udtryk som et isolansbidrag pr. meter.

$$\begin{aligned}
 Q_{2D} &= 0,4479 \text{ W/m} \\
 Q_{1D} &= 1,6868 \text{ W/m}^2\text{K} \\
 \Delta T &= 1\text{K} \\
 L_{\text{model}} &= 0,226 \text{ m} \\
 Q_{1D} &= 0,3812 \text{ W/m} \\
 R_{\text{linje, top/bund}} &= 14,995 \text{ mK/W}
 \end{aligned}$$

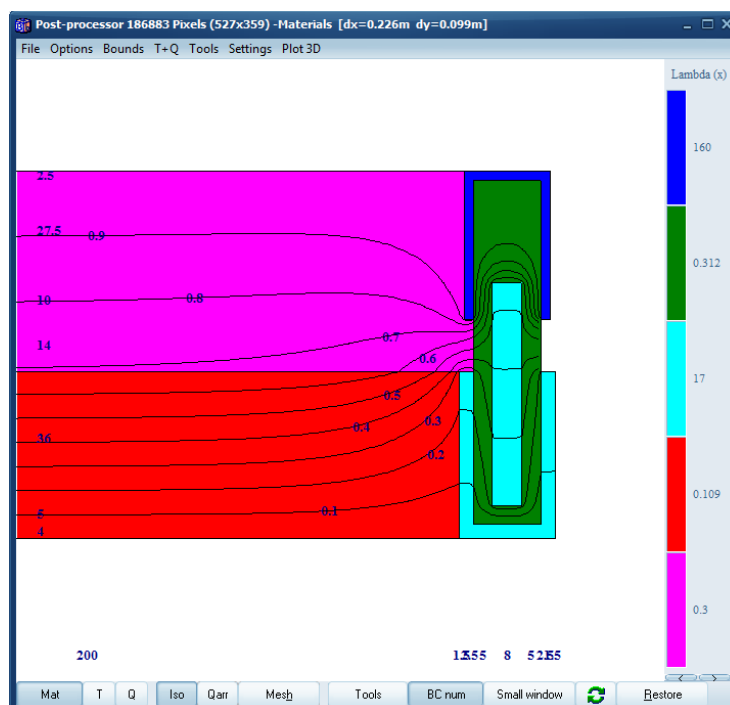


Figur 23. 2D model anvendt for top/bund.

Foldeskode mekanisme

Hulrum i profil regnet som svagt ventileret. Den ækvivalente varmeledningsevne regnes i dette tilfælde iht. normen til to gange den ækvivalente varmeledningsevne for uventilerede hulrum med samme dimensioner.

$$\begin{aligned}
 Q_{2D} &= 1,4454 \text{ W/m} \\
 Q_{1D} &= 1,6868 \text{ W/m}^2\text{K} \\
 \Delta T &= 1 \text{ K} \\
 L_{\text{model}} &= 0,226 \text{ m} \\
 Q_{1D} &= 0,3812 \text{ W/m} \\
 R_{\text{linje, FM}} &= 0,940 \text{ mK/W}
 \end{aligned}$$



Figur 24. 2D model anvendt for foldeskode åbne-/lukke mekanisme i siderne.

Sammenfatning

Tabel 4. Isolans for mock-up af foldeskode samt U-værdi i kombination med to vinduestyper.

	R_{center} [$\text{m}^2\text{K/W}$]	A [m^2]	Bemærkninger
Center (fladeisolans)	0,599	1,2	B x H = 0,8 x 1,5 m
	R_{linje} [mK/W]	L [m]	
Sider	6,231	2,47	
Top/bund	14,995	1,60	
Foldeskode mekanisme	0,940	0,53	
I alt		4,60	
R_{system} [$\text{m}^2\text{K/W}$]	0,391		
U_w [$\text{W/m}^2\text{K}$]	1,50	0,90	To eksempler på vinduer
U_{system} [$\text{W/m}^2\text{K}$]	0,95	0,67	

Energibesparelse

I en vintersituation vil skoddens isolerende egenskaber kunne udnyttes til reduktion af bygningens varmemov. For en bygning med eksempelvis 12 timers brugstid i døgnet, hvor man lukker bygningen af med de isolerende skodder udenfor brugstiden, kan varmetabskoefficienten reduceres i 2500 timer om året, hvis der forudsættes en fyringssæson på 5000 timer (oktober til april inkl.).

Betragter man gradtimetallet for brug af den isolerende skodde, så er der tale om de kolde timer om natten, hvilket medfører en god effekt på varmebesparelsen. Iht. DRY 2013 er den gennemsnitlige udetemperatur i tidsrummet kl. 18 til kl. 06 i fyringssæsonen på 2,4 °C. Bygninger kan have behovs-/tidsstyring på varmeanlæg, som automatisk standser eller reducerer opvarmningen uden for brugstiden (natsænkning af indetemperaturen), hvilket alt andet lige vil reducere spareeffekten. Hvis der forudsættes en gennemsnitlig indetemperatur på 19 °C, en udetemperatur på 2,4 °C og 2500 timer med isolerende skodde, svarer dette til et gradtimal på 41.500 Kh/år. Hvis det antages, at en ændring i transmissionstab slår igennem med en faktor 1 på bruttovarmebehovet, så kan der beregnes en årlig varmebesparelse på 10 - 23 kWh pr. m² vindue.

Konklusion

Beregning af transmissionstab for mock-up af foldeskodde viser, at skodden tilfører vinduer en tillægsisolans på 0,39 m²K/W. Der er forudsat uventilerede hulrum mellem vindue og skodde. Isolansen reduceres i øvrigt med cirka en tredjedel (fra 0,6 til 0,39) som følge af kuldebroerne (skoddens ramme-karm konstruktion).

Hvis man tager udgangspunkt i et vindue med 2-lags energirude og $U_w = 1,50$ W/m²K, så vil U-værdien kunne reduceres til 0,95 for systemet vindue+skodde (37 %). For vinduer med 3-lags energiruder og U-værdi på 0,90, reduceres U-værdien til 0,67 (25 %).

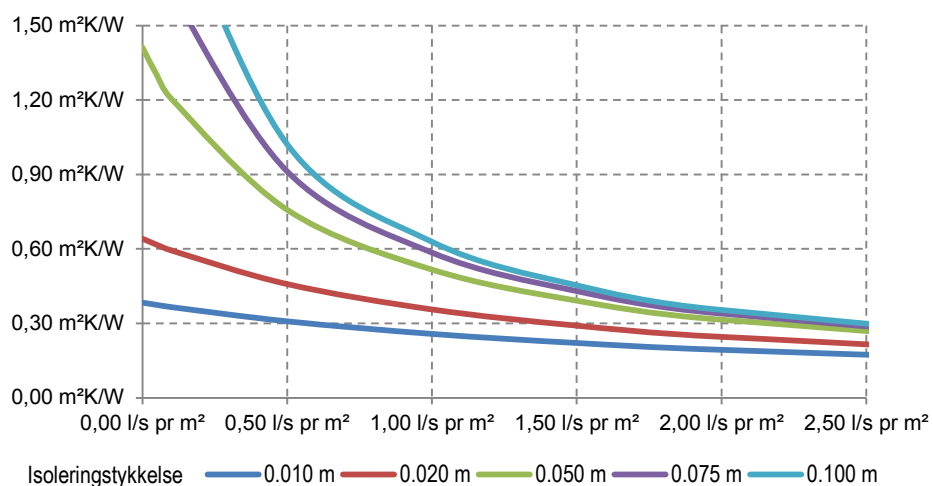
Den forventede årlige varmebesparelse vurderes til 10 - 23 kWh pr. m² vindue.

Måling af foldeskoddens lufttæthed

Foldeskoddens udførelse er med fokus også på at rammen slutter tæt op til vinduet, således at uønsket indtrængning af kold udeluft samt uønsket varmetab via spalter mindskes. For at beskrive denne utæthed, er der udført målinger ved undertryk og overtryk i skoddens hulrum i forhold til omgivelserne, svarende til at skodden befinder sig i en vindeksponeret orientering med vindtryk på skodden, eller modsat, med vindsug på skodden. Begge forhold giver anledning til en lækage af foldeskodden, der er medvirkende til at reducere varmeisolansen af foldeskodden.

Baggrund om lufttæthed af foldeskodden

Indflydelsen af lufttætheden er beskrevet i litteraturen tilknyttet dynamiske glasfacader. Jo større lækage der optræder i systemet, desto mindre bliver isolansen. Ovenstående isolans på 0,39 m²K/W vil således blive reduceret til 0,22 m²K/W ved en lækage på 1,5 l/s pr. m². Lækagen vil variere som funktion af vindpåvirkning og termisk påvirkning, svarende til at en højere vindstyrke og/eller en lavere udetemperatur vil resultere i en lavere isolans, afhængig af tætheden af elementet.



Figur 25. Variation i skoddens isolans ved forskellige isoleringstykkelser som funktion af lækagen.

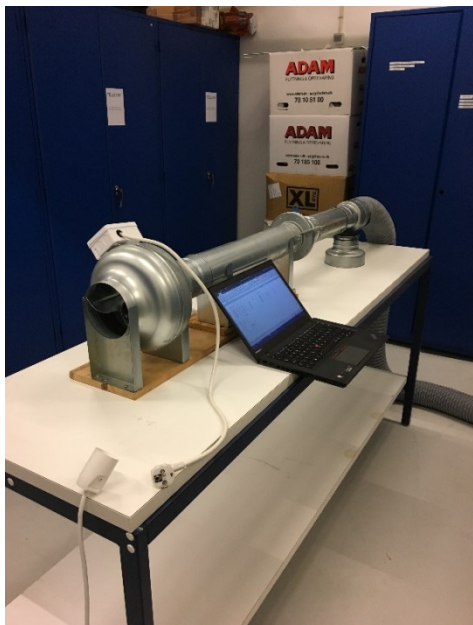
Tæthedsmålinger

Der er udført målinger af foldeskoddens tæthed ved sug og tryk. Foldeskodden udsættes for undertryk og overtryk i et spænd fra 4 Pa til 20 Pa. Baseret på disse data kan relationen til trykdifferensen mellem hulrummet og omgivelserne beskrives og dermed medregnes i beregning af ydelsen af foldeskodden.

Mockup'en er opstillet i Rambølls værksted til trykprøvning af enheder, hvor der tilkobles en ventilator, kanaler og tilslutning til foldeskodden. Trykmåler integreres i hulrummet mellem foldeskodden og "vinduet" samt i rummet hvori foldeskodden står placeret.

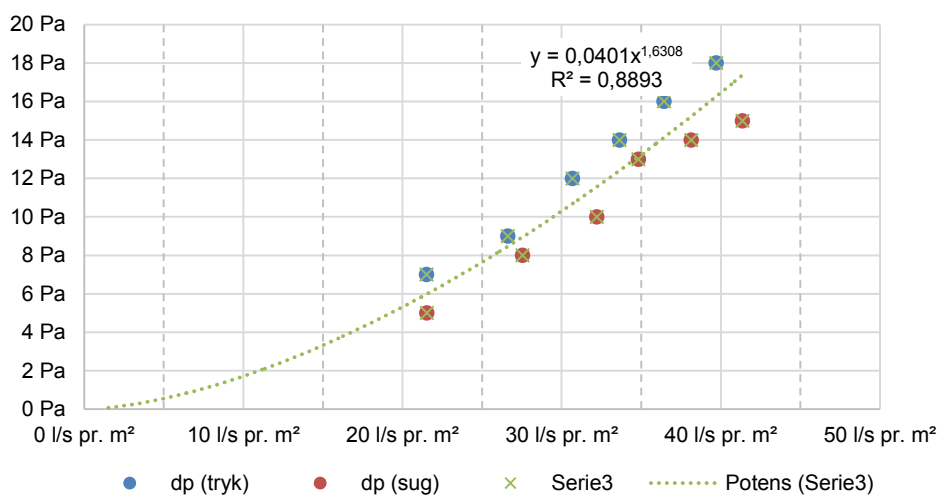


Figur 26. Forsøgsopstilling af foldeskodden ved trykprøvningsforsøgene.



Figur 27. Opstilling med ventilator og måleblænde til dataopsamling.

Forsøgene viser følgende resultater for lækagen pr. m² foldeskodde. Lækagen er som forventet størst ved overtryk og mindst ved undertryk. Dette er som følge af foldeskoddens bevægelse ved trykvariation, hvilket relateres til elementets bevægelighed og dermed manglende stivhed.



Figur 28. Måleresultater fra trykprøvningen.

Konklusion

Målingerne viste at der optrådte væsentlige lækager i toppen af foldeskodden, samt i albueknækket på foldeskodden. Disse steder er ligeledes kritiske i forhold til den mekanik, der er nødvendig for systemets funktionalitet, og dermed skal tætning af lækagen i disse steder tilpasses meget nøje den udformning, som den mekaniske udformning påkræver.

Krav vedr. støj indendørs fra trafik

En undersøgelse fra 2011 fra WHO konkluderer, at en ud af tre europæere er generet af støj i dagtimerne, og én ud af fem får forstyrret sin nattesøvn på grund af støj fra trafikken. Støjbelastningen øger risikoen for hjertekarsygdomme og forhøjet blodtryk. Undersøgelsen konkluderer, at trafikstøj hvert år koster mindst 1.600.000 sunde leveår i Vesteuropa og at det koster vores samfund 40 mia. EUR hvert år. Tal fra Miljøstyrelsen viser, at mere end 700.000 (en tredjedel) af alle danske boliger, eller omkring 1,4 millioner danskere, er udsat for trafikstøj over de 58 decibel, som er den vejledende grænseværdi for nye boliger og tilsvarende støjfølsom bebyggelse. Hvis boliger udsættes for støj over 58 dB betragtes de som støjbelastede, er støjniveauet over 68 dB, betragtes de som stærkt støjbelastede. Tal indikerer, at mere end 500 danskere årligt dør for tidligt som følge af vejstøj. Støj fra trafikken er således et væsentligt sundhedsskadeligt problem, ikke mindst i det byggede miljø i og omkring de større byer med tæt trafik.

Handlingsplaner mod støjgener

I handlingsplaner beskrives tiltag for at nedbringe antallet af støjbelastede boliger ($L_{den} > 58$ dB), og især antallet af stærkt støjbelastede boliger ($L_{den} > 68$ dB), men på grund af omkostningerne sker dette over en længere årrække. Som eksempel kan nævnes, at Københavns og Frederiksberg kommuner har tilsammen ca. 189.000 støjbelastede boliger, dvs. de udsættes for vejstøj, der overstiger grænseværdien L_{den} 58 dB. Heraf udsættes ca. 53.000 boliger for støj over 68 dB, og de betegnes som stærkt støjbelastede. Tiltag til forbedring for disse boliger gennemføres gradvist over en årrække, se eksempler i handlingsplaner for Københavns og Frederiksberg kommuner for 2013-2018 (2013) på kommunernes eller Miljøstyrelsens hjemmesider.

Lydbestemmelser for facader og vinduer

De vigtigste lydbestemmelser relateret til facader findes i:

- Bygningsreglement 2018 kap. 17 Lydforhold (§ 368 - § 376)
- DS 490, *Lydklassifikation af boliger* (Dansk Standard, 2007)
- MST vejledning 4/2007, *Støj fra veje*, kap. 2 Vejledende grænseværdier for vejtrafikstøj.
- Andre MST-vejledninger/tillæg vedrørende støj fra jernbaner og virksomheder mv.

BR18 krav og vejledning vedr. lydforhold (uddrag)

§ 368 Lydforhold (uddrag)

Bygninger skal have sundheds- og komfortmæssigt tilfredsstillende lydforhold i forhold til anvendelsen.

Stk. 2. Ved projektering og udførelse skal der tages hensyn til:

3) Støj fra veje og jernbaner.

§ 369 (uddrag)

For boliger og andre bygninger benyttet til overnatning skal det sikres, at de personer, som opholder sig i bygningerne, ikke generes af lyd fra andre rum i bebyggelsens øvrige bolig- og erhvervsenheder, fra bygningens installationer eller fra veje og jernbaner.

§ 374 (uddrag)

For andre bygninger end boliger skal det under hensyn til anvendelsen sikres, at de personer, som opholder sig i bygningen, ikke generes af lyd fra tilgrænsende rum, fra bygningens installationer eller fra nærliggende veje og jernbaner.

Stk. 2. For undervisnings- og daginstitutionsbyggeri er bestemmelsen opfyldt, når det kan dokumenteres, at grænseværdierne angivet i Bygningsreglementets vejledning om lydforhold er overholdt, eller når det på anden vis kan dokumenteres, at et tilsvarende niveau er opnået.

Vejledning

2.3 Støj indendørs fra trafik i boliger (uddrag)

Tabel 2.2 nedenfor indeholder grænseværdier for trafikstøj i boliger svarende til overholdelse af BR18's lydbestemmelser samt supplerende vejledende grænseværdier for trafikstøj indendørs med åbne vinduer.

Lydbestemmelserne er gengivet fra DS 490 og den supplerende vejledning fra Miljøstyrelsens vejledning 4/2007 og 1/1997.

Tabel 5. Boliger: Støj indendørs fra trafik. Gengivelse af tabel 2.2 fra TBST's Vejledning til boliger og andre bygninger til overnatning.

Lydbestemmelserne gælder ikke for sommerhuse				
Loggivning		Støjbelastning ude Vejle: $L_{den} \leq 58$ dB Jernbaner: $L_{den} \leq 64$ dB	Støjbelastning ude Vejle: 58 dB < $L_{den} \leq 68$ dB Jernbaner: $L_{den} > 64$ dB	Støjbelastning ude Vejle: $L_{den} > 68$ dB
BR18 ^{1), 4)}	[1], [2]	$L_{den} \leq 33$ dB med lukkede vinduer	$L_{den} \leq 33$ dB med lukkede vinduer	$L_{den} \leq 33$ dB med lukkede vinduer
Supplerende vejledning Planlovgivning - Veje ⁵⁾	Ingen krav [7]		Byfornyelse mv. ²⁾ Vejle: $L_{den} \leq 46$ dB med åbne vinduer ³⁾	Der bør ikke planlægges for boliger ⁶⁾
Supplerende vejledning Planlovgivning - Jernbaner ⁵⁾	Ingen krav [8]		Byfornyelse mv. ²⁾ Jernbaner: $L_{den} \leq 52$ dB med åbne vinduer ³⁾	

Noter

- 1) BR18 henviser til DS 490 om lydklassifikation af boliger, lydklasse C, med grænseværdien for L_{den} gældende for de enkelte trafikstøjklender hver for sig.
- 2) Byfornyelse, huludfyldning o.l. i eksisterende boligområder samt områder for blandede byfunktioner i bymæssig bebyggelse.
- 3) Specielle løsninger er nødvendige.
- 4) Grænseværdierne gælder i møblerede rum med eventuelle udeluftventiler i åben position.
- 5) Grænseværdierne gælder i møblerede rum.
- 6) Lokale bestemmelser kan omfatte boliger ved en udendørs støjbelastning over 68 dB.

Miljøstyrelsens vejledninger

MST-vejledning 4/2007: Støj fra veje, definerer/beskriver:

- Vejledende grænseværdier for vejtrafikstøj på udendørs arealer
- Vejledende grænseværdier for indendørs støjniveauer med åbne vinduer i særlig planlægningssituationer, hvor det accepteres, at støjniveauet på facaden overstiger grænseværdien for udendørs støj
- Planlægningssituationer for nyt boligbyggeri
- Handlingsplaner for eksisterende boligbyggeri
- Værktøjer til at forebygge/reducere støj

Miljøstyrelsens vejledning 5/1985, Ekstern støj fra virksomheder, med tillæg juni 2007, definerer:

- Vejledende grænseværdier for støj fra virksomheder udendørs
- Vejledende grænseværdier for støj fra virksomheder indendørs med åbne vinduer i særlige planlægningssituationer, hvor det accepteres, at støjniveauet på facaden overstiger grænseværdien for udendørs støj

Miljøstyrelsens vejledning 1/1997, Støj og vibrationer fra jernbaner, med tillæg juni 2007, definerer:

- Vejledende grænseværdier for støj fra jernbaner udendørs
- Vejledende grænseværdier for støj fra jernbaner indendørs med åbne vinduer i særlige planlægningssituationer, hvor det accepteres, at støjniveauet på facaden overstiger grænseværdien for udendørs støj

Se mere om formål og indhold på www.mst.dk.

Klassificering af facadeløsninger, der dæmper støj i åben tilstand

I de særlige plansituationer, hvor det accepteres, at støj fra veje, jernbaner eller virksomheder på facaden af boliger overstiger Miljøstyrelsens vejledende grænseværdier, skal det i henhold til planloven sikres, at det indendørs støjniveau med delvist åbne vinduer (defineret som et åbningsareal på 0,35 m²) overholder særlige grænseværdier fastsat af Miljøstyrelsen. Overholdelse af dette krav vil normalt indebære en samlet facadeløsning, der lydteknisk er tilpasset de aktuelle støjforhold, rummenes anvendelse og dimensioner samt vinduers og øvrige facadeelementernes dimensioner. Den samlede løsning vil bl.a. indebære brug af særlige vinduesløsninger, der kan dæmpe støj mere end almindelige vinduer i åben tilstand.

I DS 490, Lydklassificering af boliger, tabel 5b, er angivet en model for klassificering af boliger baseret på det indendørs trafikstøjniveau med lukkede vinduer. I situationer, hvor der på grund af støjforholdene udløses krav om opfyldelse af et indendørs støjniveau med åbne vinduer, kan der anvendes et tilsvarende system. I SBI forskningsrapport SBI 2018-05 foreslås anvendt en klassificering som angivet i tabel 6.

Tabel 6. Klassificeringsmodel for boliger udsat for vejtrafikstøj. Grænseværdier angivet som højeste værdier for støj indendørs i boliger med delvist åbne vinduer (åbningsareal på 0,35 m²) fra vejtrafik, L_{den} i dB.

Rumtype	Målestørrelse	Klasse				
		4	3	2	1	0
Beboelsesrum og fælles opholdsrum	L_{den} , dB	36	41	46	51	> 51

Klasse 2 svarer til de krav, der i henhold til planloven og Miljøstyrelsens vejledende grænseværdier skal opfyldes ved nyt byggeri. Det er således ikke tilladt at anvende klasse 1 og 0, der evt. kan anvendes ved klassificering af eksiste-

rende byggeri. Der er 5 dB spring mellem de enkelte klasser. Det svarer til modellen i DS 490. Endvidere er 5 dB en forskel, der af beboere vil opleves som en mærkbar forskel og indebærer dermed også en mærkbar kvalitetsforskel.

Baggrund for de gennemførte målinger

Som baggrund for de gennemførte målinger beskrevet i næste kapitel, er der skelet til erfaringer fra målinger i Folehaven, hvor Sweco Danmark A/S tidligere har gennemført målinger af lydskodders dæmpning af trafikstøjen. Støjen er beregnet under forudsætning af, at rummet har størrelse som et opholdsrum i Folehave-byggeriet, og at efterklangstiden er 0,5 sek. Skodderne på dette byggeri er også udviklet af Art Andersen, og derfor har det været nærliggende at sammenligne de to versioner af lydskodder. I Folehaven er der tale om to generationer, idet de første lydskodder blev monteret i 2007, mens den nye generation er under færdigudvikling med henblik på bedre performance og finere æstetisk tilpasning til bygningers udtryk. Figur 29 viser foto af de nye lydskodder på Folehave-byggeriet.



Figur 29. Foto af Folehaven med eksisterende, almindelige skodder(t.v.) og nye lydskodder (t.h.).

Test af foldeskoddens lyddæmpning

Den udviklede foldeskodde blev testet i en prøveopstilling hos Sweco Danmark A/S for de akustiske egenskaber i marts 2018. Den akustiske test er udført med det formål at undersøge, hvilken lyddæmpende effekt og hvilke optimeringsmuligheder foldeskodden vil have, når den monteres på en facade med et givet åbningsareal. Der ønskes således en overordnet vurdering af foldeskoddens anvendelighed som lyddæmpende ventilationsåbning (ventilationsvindue).

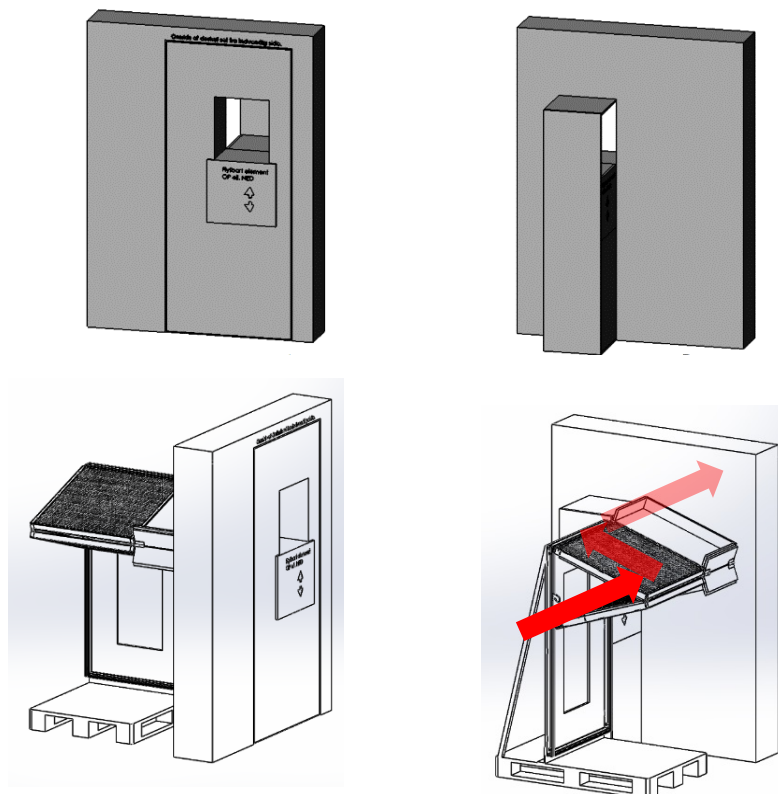
Måleopstilling

Forsøgene er udført på den tilgængelige mock-up af foldeskodden i en tilpasset opstilling, hvor ventilationsåbningens areal i "facaden" var $0,175 \text{ m}^2$. Målingerne er udført i en kælder hos Sweco Danmark A/S, hvor der i en åbning mellem to gangrum er indbygget en måleblænde med et åbningsareal på $0,175 \text{ m}^2$ i en lydisoleret ramme, se figur 25.

Foldeskodden med dens forskellige konfigurationer monteres uden på måleblænden, hvis åbning kan flyttes til det niveau, hvor foldeskoddens åbning findes. Et eksempel på måleblænde placeret ud for foldeskodden er vist nedenfor på figur 26.



Figur 30. Foto af forsøgsopstilling i væg mellem to kælderrum hos Sweco.



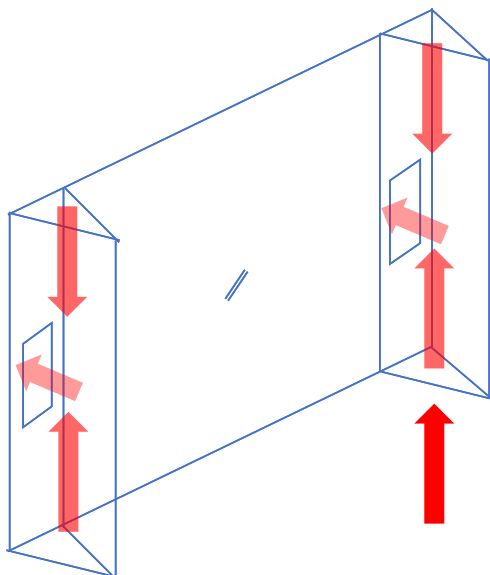
Figur 31. Flytbar måleblænde og lydskodde (måleopstilling E1 og E2). Røde pile viser lydets vej fra senderum til modtagerum.

Målemetode

Rummet på samme side som foldeskodden kaldes senderummet idet der her placeres en højttaler, der har funktion som udendørs trafikstøj. Højttaleren er Brüel & Kjær type 4224, som udsender pink-noise. På den anden side af måleåbningen findes modtagerummet, der har funktion som et opholdsrum i en bolig. Senderummet¹ har et rumvolumen på 39,9 m³ og modtagerummet har et rumvolumen på 31,3 m³.

I praksis foregik målingerne ved samtidig måling af støjniveauerne i senderummet og modtagerummet. Der blev benyttet en lydtrykmåler Brüel & Kjær type 2260 med et bygningsakustisk programmodul, der muliggør samtidig måling i to kanaler. Støjen blev målt som L_{eq} (lydteknisk middelværdi) over 30 sekunder. Under målingerne blev mikrofonen manuelt bevæget rundt i rummet for derved at opnå en rumlig midling. Målingerne blev udført som 1/3 oktav målinger i frekvensområdet² 50 - 5000 Hz. På grund af det anførte i fodnoten må der regnes med en vis usikkerhed ved de lave frekvenser og resultaterne må derfor betegnes som orienterende. Da alle målinger er udført på samme måde, kan man udmærket sammenligne de enkelte målinger og rangordne forskellige løsninger.

Hovedidéen med den i figur 26 viste opstilling var at tilpasse den til en mulig facademontage på en bygning, som vist på figur 27.



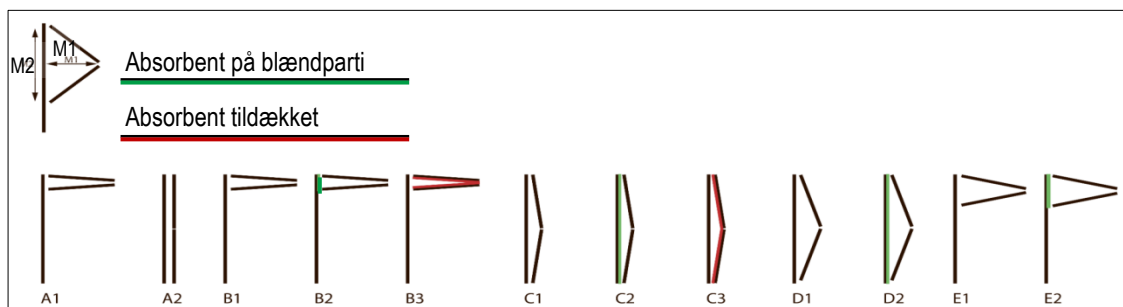
Figur 32. Principskitse af to foldeskodder monteret på en bygningsfacade (røde pile viser luft- og lydvejen ind)

Måleprogram

Måleprogrammet med foldeskoddernes forskellige konfigurationer er vist på figur 28 på næste side. Der måles både på lukkede, delvist åbne og åbne opstillinger hvor endvidere effekten af lydabsorberende flader (absorbenter) samt af dækning heraf afprøves. Der blev endvidere udført en test af selve måleåbningens lydisolations, dvs. de 0,175 m² åbning alene, vist øverst til højre på figur 26, dvs. uden foldeskodden nederst til højre på figuren. Detaljerede illustrationer af de enkelte konfigurationer er gengivet i Bilag 1.

¹ Det skal bemærkes, at målerummene ikke opfylder de meget stringente krav til udformning af målerum og prøveåbninger, som angives i DS/EN ISO 10140-5:2010. Årsagen er primært rummernes beskedne volumen.

² Det forudsættes ved målinger i henhold til DS/EN ISO 16283-3, at der er diffuse lydfelter i målerummene, og dette kræver i praksis, at der er store rumvolumener, således at der i alle frekvensbånd er mange egenfrekvenser. I små rum er tætheden af egenfrekvenser lav ved lave frekvenser, og det kan betyde, at der kan være stående bølger, som påvirker målingerne.



Opstilling / konfiguration		M1 (se ovenstående diagram)	M2 (se ovenstående diagram)	Åbning (top + bund) Lydslyse åbning	Ventilations åbning test	Sluse længde test (+ 400mm testopbygning)	Min sluse længde = (3 x sluse bredde)	Element højde	Element bredde ved en sluselængde på 0,8 m	Element bredde ved min. sluse- længde hvis ventilationsåbnings- areal skal overholdes	Bemærkninger
A1	Åben	0,72 m	0,185 m	0 m ²	0,175 m ²	0,8 m	0,56 m	1,5 m			Ingen af-skærmning
A2	Lukket	0 m	1,5 m	0 m ²	0,175 m ²	0,8 m	0 m	1,5 m			Lukket af-skærmning
B0	Uden af-skærmning										Reference må- ling
B1	Åben	0,72 m	0,185 m	0,13 m ²	0,175 m ²	0,8 m	0,56 m	1,5 m	2,32 m	1,84 m	Max åben af-skærmning
B2	Åben	0,72 m	0,185 m	0,13 m ²	0,175 m ²	0,8 m	0,56 m	1,5 m	2,32 m	1,84 m	Max åben af-skærmning, absorbent på blændparti
B3	Åben	0,72 m	0,185 m	0,13 m ²	0,175 m ²	0,8 m	0,56 m	1,5 m	2,32 m	1,84 m	Max åben af-skærmning, absorbent til- dækket
C1	På klem	0,146 m	1,2 m	0,175 m ²	0,175 m ²	0,8 m	0,44 m	1,5 m	1,75 m	1,026 m	"Min." åben af-skærmning
C2	På klem	0,146 m	1,2 m	0,175 m ²	0,175 m ²	0,8 m	0,44 m	1,5 m	1,75 m	1,026 m	"Min." åben af-skærmning, absorbent på blændparti
C3	På klem	0,146 m	1,2 m	0,175 m ²	0,175 m ²	0,8 m	0,44 m	1,5 m	1,75 m	1,026 m	"Min." åben af-skærmning, absorbent til- dækket
D1	Luftskifte	0,25 m	1,4 m	0,35 m ²	0,175 m ²	0,8 m	0,75 m	1,5 m	1,85 m	1,75 m	Luftskifte posi- tion 0,35m ² åbning
D2	Luftskifte	0,25 m	1,4 m	0,35 m ²	0,175 m ²	0,8 m	0,75 m	1,5 m	1,85 m	1,75 m	Luftskifte posi- tion 0,35m ² åbning, "transparent" absorbent på blændparti
E1	Luftskifte	0,72 m	0,48 m	0,35 m ²	0,175 m ²	0,8 m	1,44 m	1,5 m	2,32 m	3,6 m	Luftskifte posi- tion 0,35m ² åbning
E2	Luftskifte	0,72 m	0,48 m	0,35 m ²	0,175 m ²	0,8 m	1,44 m	1,5 m	2,32 m	3,6 m	Luftskifte posi- tion 0,35m ² åbning, absor- bent på blændparti

Figur 33. Måleprogram med forskellige konfigurationer (opstilling A1 til E2) af foldeskodden.

Målinger og beregninger

Ud fra målingerne af støjniveauerne i sende- og modtagerum beregnes niveau-differensen (forskellen mellem støjniveauerne i de to rum på hver side af målebånden). Den *normaliserede enhedsisolation* $D_{n,e}$ bestemmes af:

$$D_{n,e} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log(A_0/A_m)$$

hvor

$A_0 = 10 \text{ m}^2$ og A_m er absorptionsarealet i modtagerummet.

Målingerne udføres pr 1/3 oktav fra 50-5000 Hz (dvs. 21 talværdier), men lyd-isolationen kan beskrives med ét tal, idet der kan beregnes en *vægtet, normaliseret enhedsisolation* $D_{n,e,w}$.

Ud fra $D_{n,e}$ er det muligt at beregne det indendørs trafikstøjniveau i et rum, som har et vindue (åbent) med en foldeskodde med en lydsluse svarende til den undersøgte.

I denne rapport er anvendt et trafikstøjspektrum fra tidligere målinger på lydskodder i Folehaven³. Det udendørs niveau i frit felt foran facaden er 71,9 dBA. Støjen er beregnet under forudsætning af, at rummet har størrelse som et opholdsrum i Folehave-byggeriet og at efterklangstiden er 0,5 sek. Det er endvidere forudsat, at vinduet har to lydsluser svarende til to stk. foldeskodder, for at åbningsarealet bliver $0,35 \text{ m}^2$.

Normalt ved måling af bygningselementer lyd-isolation efter DS/EN ISO 16283-3 (Dansk Standard, 2016) bestemmes reduktionstallet R

$$R = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log(S/A_m)$$

hvor

L_1 og L_2 er lydtrykniveauerne i hhv. senderum og modtagerum

S er prøveemnets areal og

A_m er absorptionsareal, som kan beregnes ved at måle efterklangstiden T i modtagerummet.

Der gælder:

$$A_m = 0,16 \cdot V/T$$

hvor

V er modtagerummets volumen.

Ovenstående fungerer udmærket for vægge, vinduer mm., hvor prøveemnets areal er veldefineret. For andre typer prøveemner, som fx ventilationskomponenter, herunder lydsluser kan det være vanskeligt at definere S præcist. Derfor benyttes i stedet DS/EN ISO 10140-2:2010 *Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 2: Measurement of airborne sound insulation*.

Her defineres størrelsen "normaliseret enhedsisolation"

$$D_{n,e} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log(A_0/A_m)$$

hvor

$$A_0 = 10 \text{ m}^2$$

Dette svarer til, at man monterer prøveemnet (lydslusen) i en 10 m^2 stor væg og derefter måler det sammensatte reduktionstal for væg inkl. prøveemne. Prøveemnets areal indgår således ikke. Ved reduktionstal R , er det muligt at sam-

³ DELTA rapport TC100649 af 27. november 2014.

menstille resultaterne i ét enkelt tal, som for reduktionstal kaldes det vægtede reduktionstal R_w . Proceduren er beskrevet i DS/EN ISO 717-1 *Rating of sound insulation in buildings and of building elements* (Dansk Standard, 2013).

For den normaliserede enhedsisolation $D_{n,e}$ kan tilsvarende defineres den vægtede, normaliserede enhedsisolation $D_{n,e,w}$.

Anvendelse af $D_{n,e}$

Når resultatet senere skal bruges til fx at beregne det indendørs trafikstøjniveau i et vilkårligt rum, skal der regnes med arealet 10 m^2 og ikke med lydslusens faktiske areal.

$$L_{inde} = L_{ude} - D_{n,e} + 10 \cdot \log(10/A_m)$$

L_{ude} er det udendørs trafikstøjniveau 2 m foran facaden. Det er defineret som det målte eller beregnede niveau i frit felt (dvs. uden refleksioner) + 3 dB for refleksion i facaden. Som regel tages udgangspunkt i den beregnede støjbelastning ved facaden, udtrykt som L_{den} (Day-Evening-Night-Level). L_{inde} bliver da også beregnet som L_{den} og kan sammenlignes med grænseværdien, som er $L_{den} = 46 \text{ dB}$ med åbent vindue.

Resultater

I den efterfølgende tabel 7 vises resultaterne af de udførte målinger af lydisolationen, angivet ved den normaliserede enhedsisolation $D_{n,e}$ og den vægtede, normaliserede enhedsisolation $D_{n,e,w}$ for de forskellige konfigurationer (opstillinger).

Tabel 7. Resultater af lydisolationsmålinger, angivet ved den normaliserede enhedsisolation $D_{n,e}$ og den tilsvarende vægtede værdi, $D_{n,e,w}$.

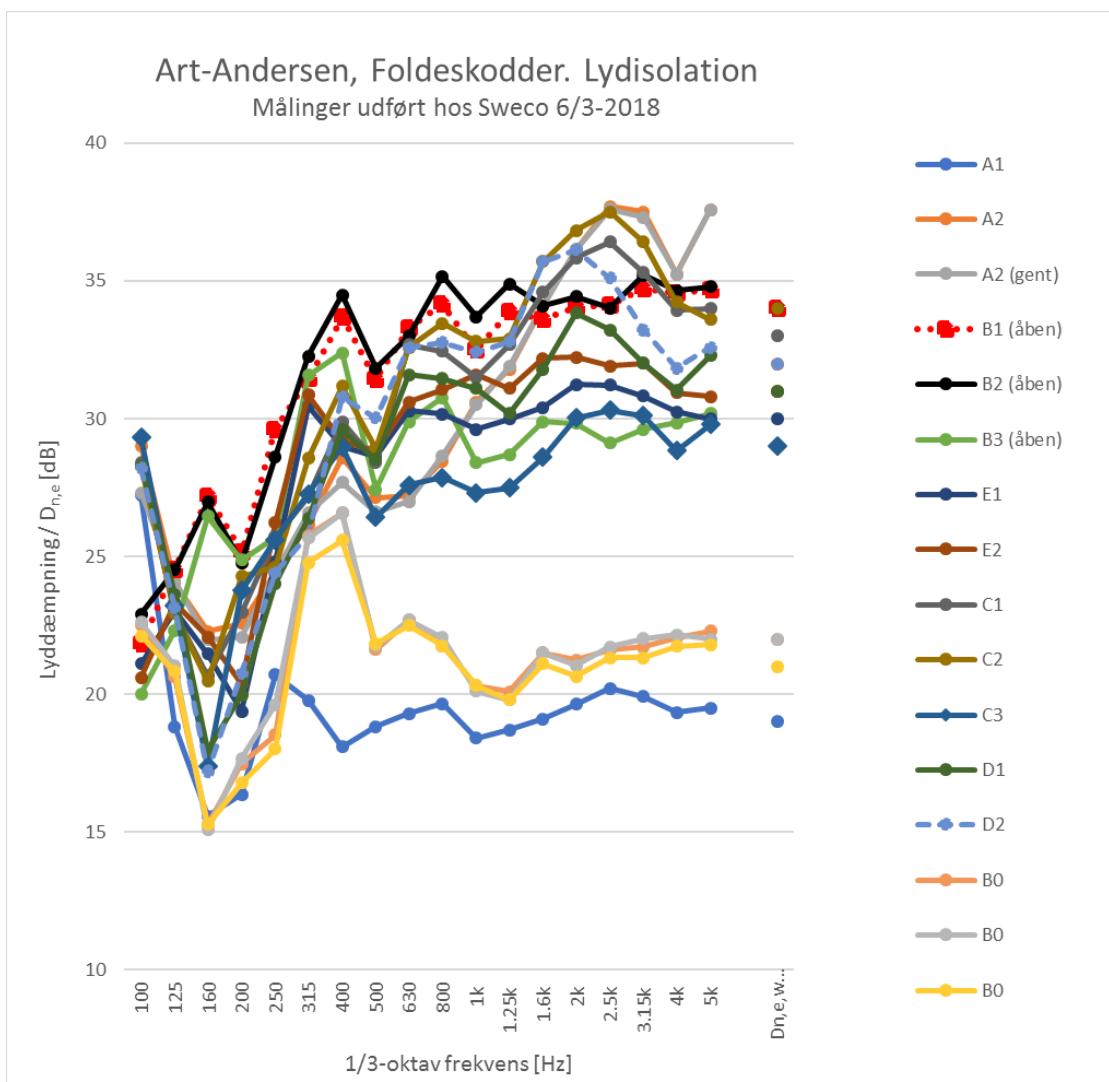
Frekvens (Hz)	Normaliseret enhedsisolation, $D_{n,e}$															
	Konfigurationsnummer															
	A1	A2	A2 gent.	B1 åben	B2 åben	B3 åben	E1	E2	C1	C2	C3	D1	D2	B0	B1	B2
100	27,2	29,0	27,3	21,8	22,9	20,0	21,1	20,6	28,4	28,3	29,3	28,3	28,2	22,5	22,6	22,1
125	18,8	24,0	24,1	24,5	24,5	22,3	23,0	23,3	22,9	22,9	23,2	23,6	23,1	20,6	21,0	20,8
160	15,6	22,3	22,0	27,2	27,0	26,5	21,5	22,1	20,7	20,5	17,4	18,0	17,2	15,3	15,1	15,3
200	16,4	22,6	22,1	25,2	24,8	24,9	19,4	20,4	23,0	24,3	23,8	20,0	20,8	17,5	17,7	16,8
250	20,7	24,4	24,4	29,6	28,6	25,7	24,8	26,2	25,7	24,6	25,6	24,0	24,4	18,5	19,6	18,0
315	19,8	26,2	26,6	31,5	32,3	31,6	30,5	30,9	27,2	28,6	27,3	26,4	25,8	25,8	25,7	24,8
400	18,1	28,6	27,7	33,7	34,5	32,4	29,0	29,2	29,9	31,2	29,0	29,6	30,8	26,6	26,6	25,6
500	18,8	27,1	26,6	31,4	31,8	27,4	28,6	28,8	28,4	28,9	26,4	28,5	30,0	21,6	21,7	21,8
630	19,3	27,2	27,0	33,3	33,0	29,9	30,3	30,6	32,7	32,6	27,6	31,6	32,6	22,7	22,7	22,5
800	19,7	28,5	28,7	34,2	35,2	30,8	30,2	31,1	32,5	33,5	27,9	31,5	32,8	21,8	22,1	21,8
1000	18,4	30,6	30,5	32,5	33,7	28,4	29,6	31,6	31,5	32,8	27,3	31,1	32,4	20,3	20,1	20,3
1250	18,7	31,8	31,9	33,9	34,9	28,7	30,0	31,1	32,7	32,9	27,5	30,2	32,8	20,1	19,8	19,8
1600	19,1	34,1	34,1	33,6	34,1	29,9	30,4	32,2	34,6	35,7	28,6	31,8	35,78	21,5	21,5	21,1
2000	19,6	36,1	36,1	34,0	34,4	29,8	31,2	32,2	35,8	36,8	30,0	33,8	36,1	21,1	21,0	20,6
2500	20,2	37,7	37,6	34,1	34,0	29,1	31,2	31,9	36,4	37,5	30,3	33,2	35,1	21,6	21,7	21,3
3150	19,9	37,5	37,3	34,7	35,2	29,6	30,8	32,0	35,3	36,4	30,1	32,0	33,2	21,7	22,0	21,3
4000	19,3	35,2	35,2	3,5	34,6	29,8	30,2	30,9	33,9	34,2	28,8	31,0	31,8	22,0	22,1	21,7
5000	19,5	37,6	37,6	34,7	34,8	30,2	30,0	30,8	34,0	33,6	29,8	32,3	32,6	22,3	22,0	21,8
$D_{n,e,w}$ (dB)	19	32	31	34	34	29	30	31	33	34	29	31	32	22	22	21
	Normaliseret, vægtet enhedsisolation															

Sammenlignes opstilling A1 og B0 ses de laveste værdier af lydisolations, hvilket hænger sammen med at foldeskodden i disse opstillinger ikke er monteret foran åbningen. At opstilling B0 giver lidt bedre lydisolations end A1 skyldes, at lydvejen gennem B0-opstillingen er knækket, dvs. den indeholder en lille forhindring sammenlignet med A1, hvor lyden kan passere lige igennem åbningen. Det fremgår også af de gentagne målinger, at måleusikkerheden på den vægtede værdi er ca. 1 dB.

De højeste (bedste) værdier opnås når foldeskodden opstilles med en lille (lav / smal) åbning til den knækkede lydvej (B2 og C2). Effekterne af at supplere med absorbent på blændparti (svarende til facaden omkring en åbning) er 1 dB, dvs. minimal og i samme størrelsesorden som måleusikkerheden, jf. forskellene mellem opstillingerne B1, B2 og C1, C2 samt D1, D2.

Til gengæld er det vigtigt for at opnå den bedste mulige lydisolations at have det størst mulige areal med lydabsorbenter i foldeskoddens bevægelige element, der fungerer som lydsluse, idet der tabes 4-5 dB hvis lydslusens absorbent ikke er aktiv, jf. forskellene mellem opstillingerne B1, B3 og C1, C3.

En grafisk fremstilling af førnævnte data fra tabel 7, den normaliserede enhedsisolations som funktion af frekvensen og som vægtet normaliseret enhedsisolations er vist i den efterfølgende figur 29.



Figur 34. Enhedsisolations som funktion af frekvensen og vægtede værdier.

Det ses, at der er relativt store forskelle på kurverne i de lavere frekvensbånd - især ved 160 Hz, hvilket kan hænge sammen med de tidligere nævnte begrænsede rumdimensioner i målerummene.

Overslagsmæssige beregninger af foldeskoddens funktion som lydisolerende facadeelement i forhold til trafikstøj er vist i den efterfølgende tabel 8. Her er der forsøgt taget højde for det relativt store åbningsareal på 0,35 m², som kræves i følge Miljøstyrelsens vejledning nr. 4/2007 *Støj fra veje* for bygninger i støjbelastede byområder. Som nævnt skal facaderne i sådanne bygninger udformes, så de kan sikre et indendørs støjniveau i opholdsrum, som ikke overstiger $L_{den} = 46$ dB med 0,35 m² åbent vindue.

Tabel 8. Beregninger af indendørs trafikstøjniveau med forskellige konfigurationer af foldeskodder og et udendørs trafikstøjniveau på 71,9 dB.

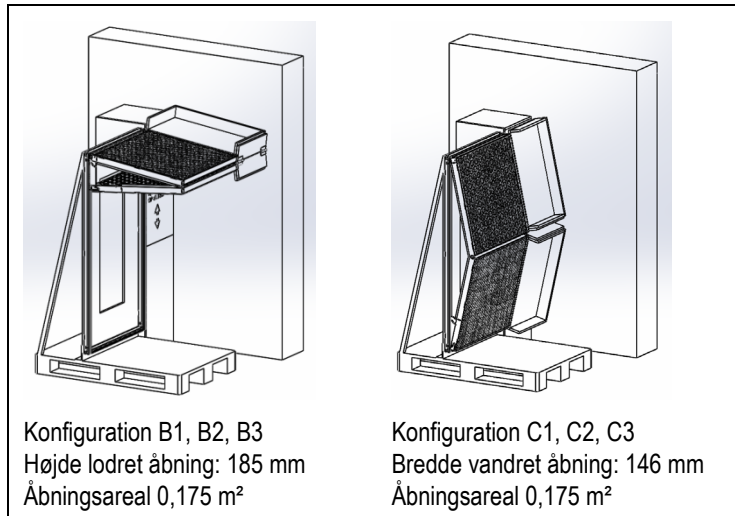
Frekvens (Hz)	L_{den} -ude (frit felt) (dB)	Indendørs trafikstøj (dB) beregnet med 71,9 dBA udendørs (frit felt) og 0,5 sek. efterklangstid indendørs															
		Konfigurationsnummer															
		A1	A2	A2 (gent)	B1 (åben)	B2 (åben)	B3 (åben)	E1	E2	C1	C2	C3	D1	D2	B0	B1	B2
100	45,2	22,7	20,9	22,6	28,1	27,0	29,9	28,8	29,3	21,5	21,6	20,6	21,6	21,7	27,4	27,3	27,8
125	47,2	32,7	27,5	27,4	27,0	27,0	29,2	28,5	28,2	28,6	28,6	28,3	27,9	28,4	30,9	30,5	30,7
160	50,4	38,8	32,1	32,4	27,2	27,4	27,9	32,9	32,3	33,7	33,9	37,0	36,4	37,2	39,1	39,3	39,1
200	52,2	39,8	33,6	34,1	31,0	31,4	31,3	36,8	35,8	33,2	31,9	32,4	36,2	35,4	38,7	38,5	39,4
250	54,1	36,2	32,5	32,5	27,3	28,3	31,2	32,1	30,7	31,2	32,3	31,3	32,9	32,5	38,4	37,3	38,9
315	55,8	38,8	32,4	32,0	27,1	26,3	27,0	28,1	27,7	31,4	30,0	31,3	32,2	32,8	32,8	32,9	33,8
400	57,8	42,5	3,0	32,9	26,9	26,1	28,2	31,6	31,4	30,7	29,4	31,6	31,0	29,8	34,0	34,0	35,0
500	58,8	42,7	34,4	34,9	30,1	29,7	34,1	32,9	32,7	33,1	32,6	35,1	33,0	31,5	39,9	39,8	39,7
630	60,5	44,1	36,2	36,4	30,1	30,4	33,5	33,1	32,8	30,7	30,8	35,8	31,8	30,8	40,7	40,7	40,9
800	63,0	46,6	37,8	37,6	32,1	31,1	35,5	36,1	35,2	33,8	32,8	38,4	34,8	33,5	44,5	44,2	44,5
1000	65,3	50,8	38,6	38,7	36,7	35,5	40,8	39,6	37,6	37,7	36,4	41,9	38,1	36,8	48,9	49,1	48,9
1250	64,1	49,6	36,5	36,4	34,4	33,4	39,6	38,3	37,2	35,6	35,4	40,8	38,1	35,5	48,2	48,5	48,5
1600	62,8	47,9	32,9	32,9	33,4	32,9	37,1	36,6	34,8	32,4	31,3	38,4	35,2	31,3	45,5	45,5	45,9
2000	60,7	45,4	28,9	28,9	31,0	30,6	35,2	33,8	32,8	29,2	28,2	35,0	31,2	28,9	43,8	44,0	44,4
2500	57,4	42,2	24,7	24,8	28,3	28,4	33,3	31,2	30,5	26,0	24,9	32,1	29,2	27,3	40,8	40,7	41,1
3150	54,3	39,8	22,2	22,2	25,0	24,5	30,1	28,9	27,7	24,4	23,3	29,6	27,7	26,5	38,0	37,7	38,4
4000	50,1	36,4	20,5	20,5	21,2	21,1	25,9	25,5	24,8	21,8	21,5	26,9	24,7	23,9	33,7	33,6	34,0
5000	44,8	31,3	13,2	13,2	16,1	16,0	20,6	20,8	20,0	16,8	17,2	21,0	18,5	18,2	28,5	28,8	29,0
A-vægtet L_{den}		Samlet A-vægtet L_{den} Indendørs trafikstøjniveau (dB)															
	71,9	56,8	45,8	45,9	43,1	42,5	46,8	46,6	46,5	44,4	43,8	48,2	46,0	44,9	54,8	54,9	55,1

Sammenligning af resultaterne med og uden (i praksis tildækkede) absorberer på skoddens bevægelige elementer, B1 mod B3 samt C1 mod C3 viser, at absorberterne har stor betydning for støjdemningen. Derimod viser resultaterne, at en absorber på blændpartiet, B1 mod B2 samt C1 mod C2, har ringe betydning for støjdemningen.

Det skal understreges, at de udførte målinger og beregninger indeholder flere usikkerhedsmomenter, og der skal derfor udføres flere afprøvninger på fuldska-la mock-ups, før det kan afgøres med sikkerhed, hvordan foldeskodderne præcist performer i forhold til Miljøstyrelsens regler.

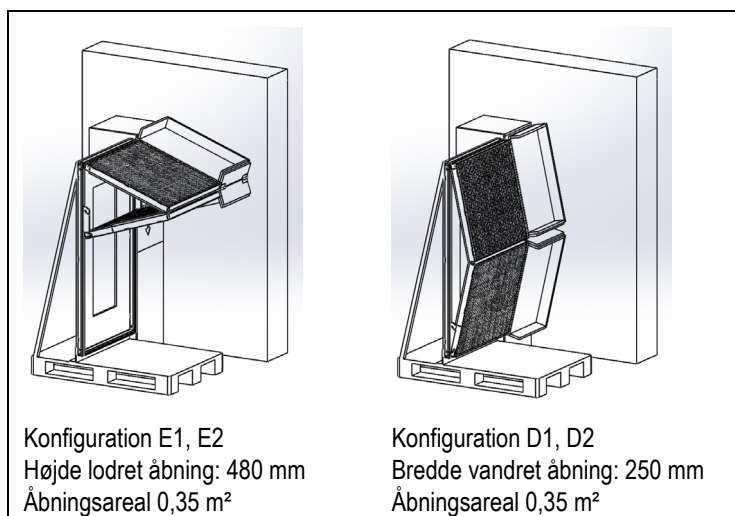
Konklusion

Det fremgår af tabel 8, at de små åbninger med aktive lydabsorbenter i foldeskoddens bevægelige elementer (B1, B2, C1 og C2, alle markeret med grønt i tabel 8) har de bedste muligheder for at leve op til kravet om maksimalt indendørs trafikstøjniveau $L_{den} = 46$ dB.



Figur 35. Illustration af positioner af lydskodden, hvor dæmningen af trafikstøj er bedst. En forholdsvis lille åbning med passage af luftlyden ad en brudt rute langs med absorbenter på skoddens bevægelige elementer. Se også Bilag 1 Detailtegninger af måleblænder og konfigurationer af foldeskodder.

I forhold til Miljøstyrelsen vejledning vedr. *stærkt støjbelastede områder*, hvor støjen fra vejtrafik kan nå op på $L_{den} = 68$ dB, ser det ud til, at flere af de afprøvede skoddekonfigurationer kan opfylde kravet om et indendørs støjniveau (L_{den}) på højest 46 dB, idet der kan fratrækkes $71,9 - 68 \text{ dB} = 3,9 \text{ dB}$ fra værdierne i tabellen. Disse er markeret med gult i tabel 8. Dette vil betyde, at miljøstyrelsens krav om et indendørs støjniveau med delvist åbne vinduer (defineret ved en åbning på $0,35 \text{ m}^2$) på maksimalt $L_{den} = 46$ dB kan overholdes både ved konfiguration D og E, jf. afsnittet *Klassificering af facadeløsninger, der dæmper støj i åben tilstand* side 32.



Figur 36. Illustration af positioner af lydskodden, hvor åbningsarealet er forøget til det lovbestemte krav på $0,35 \text{ m}^2$. Selv ved denne åbning viser lydtesten, at Miljøstyrelsen krav om et indendørs støjniveau på maksimalt $L_{den} = 46$ dB kan overholdes i stærkt støjbelastede områder. Se også Bilag 1 Detailtegninger af måleblænder og konfigurationer af foldeskodder.

Krav vedr. ventilation

Åbning af vinduerne for at kunne ventilere lokalet er et højt prioriteret ønske hos brugerne, faktisk nr. to på listen over vinduets vigtigste funktioner (Christoffersen et al., 1999). Brugen af vinduerne i forbindelse med naturlig ventilation i bygningen er ligeledes et forhold, der skal tages med i planlægning af facadeudformning og solafskærmning. Vinduer og udluftningslemme giver mulighed for at tage toppen af overtemperaturerne på varme sommerdage. Desværre ses det ofte, at de projekterende ikke ønsker at indregne denne mulighed ved dimensionering af ventilation og mekanisk køling i større bygninger, især fordi der er utilstrækkelig viden eller stor usikkerhed om effekten af denne supplerende naturlige ventilation. En anden begrundelse kan være, at den aktuelle facade vender ud imod en trafikåre med meget støj og/eller et område med høj luftforurening. I sådanne tilfælde bør muligheden for en støjdæmpende og/eller luftfiltrende ventilationsåbning undersøges fremfor på forhånd af afskrive muligheden for at lufte ud.

For mange rumtyper stiller Bygningsreglementet krav om redningsåbninger til det fri. Men Bygningsreglementet angiver ingen direkte krav om, at der skal være oplukkelige vinduer eller muligheder for naturlig ventilation i beboelsesrum eller arbejdslokaler. I betragtning af, hvor stor en vægt brugerne lægger på vigtigheden af at kunne åbne et vindue og få udeluft direkte gennem facaden, bør denne funktion ved facaden tillægges stor vægt.

Bygningsreglementet stiller specifikke krav om mekanisk ventilation i etageboliger og institutioner, mens enfamiliehuse kan ventileres ved naturlig ventilation, og i alle tilfælde angives minimum luftmængder som skal overholdes til enhver tid, som beskrevet i det følgende.

BR18 krav og vejledning vedr. udluftning

§ 443 - § 447 Ventilation i beboelsesbygninger (uddrag)

§ 443

I beboelsesrum såvel som i boligen totalt skal der til enhver tid være en udelufttilførsel på mindst 0,30 l/s pr. m² opvarmet etageareal. Dette gælder også ved brug af behovsstyret ventilation.

Stk. 2. Boligens grundluftsskifte skal tilvejebringes med et ventilationsanlæg med indblæsning i beboelsesrummene og udsugning i bad, wc-rum, køkken og bryggers. Ventilationsanlægget skal have varmegenvinding, der forvarmer indblæsningsluften. Uden for opvarmningssæsonen kan indblæsning erstattes af udelufttilførsel gennem vinduer, udeluftventiler og lignende.

Stk. 3. Køkkener i boliger skal forsynes med emhætte med udsugning over ko-gepladerne. Emhætten skal have regulerbar, mekanisk udsugning og afkast til det fri og have tilstrækkelig effektivitet til at fjerne fugt og luftformige forurenin-ger fra madlavning. Udsugningen skal kunne forøges til mindst 20 l/s.

Stk. 4. Udsugning fra bade- og wc-rum i boliger skal kunne forøges til mindst 15 l/s. I wc-rum uden bad og i bryggers skal der kunne udsuges mindst 10 l/s.

§ 446

Enfamiliehuse kan ventileres ved naturlig ventilation eller en kombination af naturlig- og mekanisk ventilation. For enfamiliehuse med naturlig ventilation gælder § 443, stk. 1 og 3.

§ 447 Ventilation af daginstitutioner og undervisningsrum

Opholdsrum i daginstitutioner, undervisningsrum i skoler og lignende skal ventileres med et ventilationsanlæg, der omfatter både indblæsning og udsugning, samt varmegenvinding, der forvarmer indblæsningsluften.

Stk. 2. I daginstitutioner skal indblæsningen med udeluft og udsugningen mindst være 3,0 l/s pr. barn og mindst 5,0 l/s pr. voksen, samt 0,35 l/s pr. m² etageareal. I undervisningsrum i skoler og lignende skal indblæsningen med udeluft og udsugningen være mindst 5,0 l/s pr. person, samt 0,35 l/s pr. m² etageareal. I daginstitutioner og undervisningsrum i skoler og lignende skal det tillige sikres, at det maksimale CO₂-indhold i indeluften ikke overstiger 1.000 ppm for de dimensionerende forhold.

Stk. 3. Hvis der benyttes ventilationsanlæg med behovsstyret ventilation, kan der afviges fra de angivne luftmængder, når der er et reduceret behov. Ventilationen i brugstiden må ikke være mindre end 0,35 l/s pr. m² etageareal.

Vejledning

1.1 Generelt om bestemmelserne om ventilation (§ 421 - § 429, uddrag)

Bestemmelserne om ventilation varetager alene de normale ventilationsbehov. I f.eks. arbejdsrum eller rum i en bolig, hvor der udøves erhverv, kan der være behov for yderligere ventilation. Krav om yderligere ventilation stilles i givet fald i medfør af arbejdsmiljølovgivningen. Manuel udluftning eller manuel overstyring af ventilationen er ikke omfattet af bestemmelserne i Bygningsreglementet, med mindre at det indgår i bygningens strategi for klimatisering.

Ventilationsåbninger direkte til det fri kan fx være udeluftventiler eller automatisk styrede vinduer. Åbningernes primære formål er at sikre, at udeluft tilføres rummene på en kontrolleret måde. Åbningerne bør i fornødent omfang kunne filtrere den indkomne luft og bør placeres således, at den indkomne luft er mindst mulig forurenet.

Ventilationsåbninger direkte til det fri bør udformes og fungere, så brugerne tilskyndes til at anvende åbningerne efter hensigten og derved korrekt udnytte mulighederne for at regulere både mængden og fordelingen af den tilførte udeluft. En ventilationsåbning direkte til det fri bør derfor være regulerbar, let at indstille, og kunne betjenes fra gulv. Endelig skal der tages højde for at ventilationsåbninger ikke giver anledning til træk.

Der kan være krav om en vis lyddæmpning i ventilationsåbningen, se § 369. I de tilfælde, hvor udelufttilførslen skal ske gennem styrede vinduer, bør tyveriaspektet iagttages.

Den forøgede volumenstrøm når der er behov for forøgede luftmængder vil ofte medføre et større samlet luftskifte i boligen end det krævede grundluftskifte på 0,3 l/s pr. m².

1.6. Ventilation i beboelsesbygninger (uddrag)

I beboelsesbygninger er der et generelt krav om et grundluftskifte på 0,30 l/s pr. m² opvarmet etageareal, hvor det opvarmede etageareal beregnes som beskrevet i kapitel 23 i bygningsreglementet. De 0,30 l/s pr. m² svarer ved normal

rumhøjde omtrentligt til et luftskifte på 0,5 /h. Kravet om grundluftskiftet har til formål at sikre det grundliggende luftskifte. Derudover er der krav om, at luftmængderne kan forøges til specifikke mængder i køkken, bad, wc-rum, bryggers og kælderrum. Begge krav er mindstekrav, der begge skal være opfyldt. I visse tilfælde kan det dog være nødvendigt at forøge luftmængderne for at overholde det grundlæggende funktionskrav i § 420. Det kan for eksempel være i rum der benyttes som soveværelse eller børneværelse.

I enfamiliehuse kan der vælges både naturlig ventilation eller mekanisk ventilation eller en kombination af naturlig og mekanisk ventilation. En kombination af naturlig og mekanisk ventilation kunne for eksempel være ventilation med mekanisk udsugning, evt. kombineret med en brugsvandsvarmepumpe.

I enfamiliehuse vil overholdelse af nedenstående åbningsarealer normalt medføre, at luftskiftet er tilstrækkeligt.

- Tilførsel af udeluft i beboelsesrum: Oplukkeligt vindue, lem eller yderdør og en eller flere udeluftventiler med en samlet fri åbning på mindst 60 cm² pr. 25 m² gulvareal. Åbningsarealet til det fri kan evt. bestemmes ud fra en ventilationsteknisk beregning.
- Tilførsel af udeluft i køkkener: Åbning på mindst 100 cm² mod adgangsrum og oplukkeligt vindue, lem eller yderdør.

....

Om sommeren kan der være brug for yderligere ventilation for at fjerne overskudsvarme. Denne ventilation kan være naturlig, mekanisk eller hybrid ventilation.

Kriterier for god naturlig ventilation

Kriterierne for facadens mulighed for udluftning kan naturligt tage udgangspunkt i minimumkravene i BR18 for udelufttilførsel til beboelsesrum, klasselokaler og institutionsrum. Rum hvor udelufttilførslen udelukkende sker ved mekanisk ventilation opfylder ikke brugernes store behov for at kunne åbne et vindue eller en ventilationslem for direkte lufttilførsel gennem facaden. Men lufttilførsel gennem små udeluftventiler giver heller ikke brugerne en fornemmelse af at de har mulighed for at åbne op til det fri, og vil derfor heller ikke opleves tilfredsstillende. Kriterierne bør derfor både tage hensyn til mængden af udeluft, som åbningen tillader og til typen af åbning og dens regulerbarhed. Det bør bemærkes, at vejledningen til ventilationsafsnittet i BR18 understreger, at manuel udluftning ikke er omfattet af bestemmelserne i BR18, medmindre det indgår i bygningens strategi for klimatisering.

Luftstrøm gennem vinduer og ventilationsåbninger

Branchevejledning for indeklimaberegninger (Vorre et al., 2017) angiver, hvor stor en luftstrøm, der kan antages at passere ventilationsåbninger og vinduer, afhængigt af det effektive åbningsareal og afhængigt af, om der kan regnes med ensidig ventilation, tværv ventilation eller opdriftsventilation. Vejledningen tager udgangspunkt i, hvordan ventilationen skal fastlægges efter SBI-Anvisning 213: *Bygningers energibehov, Beregningsvejledning* (Aggerholm og Grau, 2018), med beregning af hvilken luftstrøm, der kan opnås ved naturlig ventilation om sommeren, $q_{n,s}$.

For boliger med manuelt styrede vinduer kan der normalt antages en ventilation på 0,9 l/s pr. m² opvarmet etageareal, som gennemsnit i varme perioder. Er der

et større effektivt åbningsareal end 1,5 % af det opvarmede etageareal- etageareal ved tværv ventilation eller 4,0 % ved ensidet placering af åbningerne, kan der antages en proportional større ventilation.

Ventilationsmuligheden ved henholdsvis tvær- og ensidet ventilation bestemmes ved følgende ligninger:

$$q_{n, s_{tvær}} = \left(\frac{Eff. \text{åbningsareal} / \text{etageareal} [\%]}{1,5 \%} \right) \times 0,9 \frac{l}{s} \text{ pr. } m^2$$

$$q_{n, s_{ensidet}} = \left(\frac{Eff. \text{åbningsareal} / \text{etageareal} [\%]}{4,0 \%} \right) \times 0,9 \frac{l}{s} \text{ pr. } m^2$$

Giver boligens udformning mulighed for opdriftsventilation, betragtes dette på samme måde som tværv ventilation. For beregning af vinduers og døres effektive åbningsareal kan værdierne i tabel 9 anvendes som foresimplet alternativ til at benytte formlerne i SBI-Anvisning 202 *Naturlig ventilation i erhvervsbygninger* (Andersen K et al., 2002).

Tabel 9. Reduktionsfaktor for beregning af effektivt åbningsareal for typiske opluk. Faktoren definerer et forventet forhold mellem det effektive åbningsareal og åbningsarealet i karmen (Vorre et al., 2017).

Type af opluk	Reduktionsfaktor
Sidehængt vindue/dør	0,60
Tophængt vindue	0,40
Skydedør	0,70
Ovenlys vippe, motoriseret	0,50
Ovenlys vippe, manuel	0,70
Ovenlys tophængt	0,30

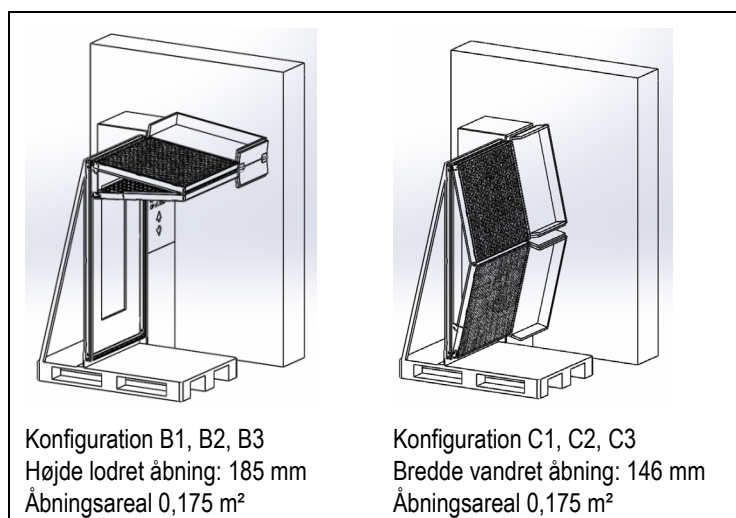
Et forslag til klassificering er vist i Tabel 10. Klassificeringen må nødvendigvis ses i sammenhæng med den aktuelle rumtype. En facade kan således godt være højt klassificeret, uden at den opfylder behovet for lufttilførsel til rummet indenfor.

Tabel 10. Klassificering af facadens mulighed for at åbne for udeluft i varme perioder. Luftstrømmen q defineres pr. m² opvarmet etageareal. Muligheden for at udlufte vægtes positivt jo højere friskluftskifte, der kan opnås. Dog vægtes et behov for højere luftskifte end 4 l/s pr. m² lavere. Grunden hertil er at behovet vedrører overholdelse af krav til det termiske indeklime.

Interval for luftstrøm q, l/s pr. m ²	q < 0,3	0,3 - 0,5	0,5 - 0,9	0,9 - 1,6	1,6 - 2,8	2,8 - 4	4 - 5,2	5,2 - 6	q > 6
Åbningstype									
Automatisk reguleret oplukkeligt vindue eller udluftningslem med manuel overstyring	0	1	2	4	4	4	2	1	0
Manuelt betjent oplukkeligt vindue eller udluftningslem	0	1	2	3	4	3	2	1	0
Automatisk reguleret oplukkeligt vindue eller udluftningslem uden manuel overstyring	0	1	2	2	3	2	2	1	0
Udeluftventil i væg eller vinduesramme	0	1	2	0	0	0	0	0	0

Foldeskodden som ventilationsåbning

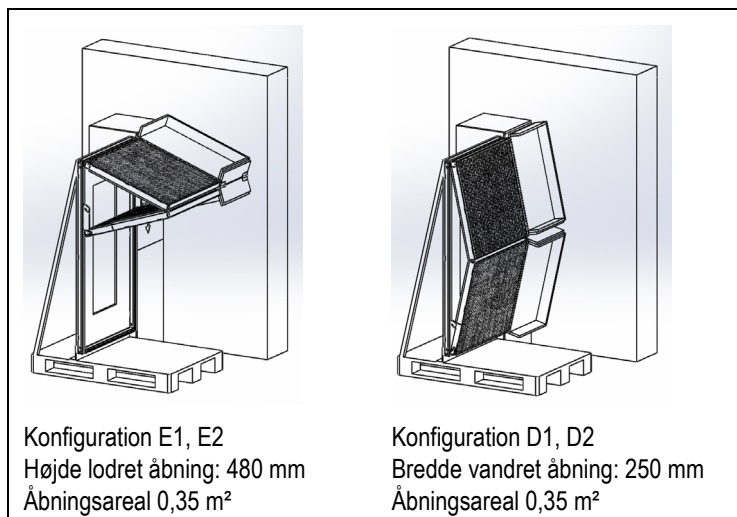
Foldeskoddens dobbeltfunktion som lyddæmpning i facaden og naturlig ventilationsåbning er især interessant for boliger, ikke mindst etageboliger. Ud fra de teoretiske formler angivet i afsnittet *Kriterier for god naturlig ventilation*, kan det beregnes, at foldeskodden opfylder kravene vedr. grundventilation i boliger, selv ved det halve åbningsareal på $0,175 \text{ m}^2$ i opstillingerne B1 og B2 samt C1 og C2, jf. figur 32.



Figur 37. Illustration af positioner af lydskodden, hvor dæmpningen af trafikstøj er bedst. En forholdsvis lille åbning med passage af lufttyden ad en brudt rute langs med absorberter på skoddens bevægelige elementer. Se også Bilag 1 Detaltegninger af måleblænder og konfigurationer af foldeskodder.

Uanset hvilke luftmængder man teoretisk set kan beregne sig frem til, vil det reelle luftskifte variere meget afhængig af slutbrugerens ageren og vejrforhold. Kravene i BR18 er formuleret ved luftstrøm pr. m^2 , og derfor afhænger kravopfyldelsen af det opvarmede etageareal af rummet som ventileres, samt af hvor mange åbninger, der etableres. En foldeskodde med et åbningsareal på $0,175 \text{ m}^2$ kan opfylde kravet for et rum på ca. 13 m^2 ved ensidig ventilation og et rum på ca. 50 m^2 ved tværv ventilation.

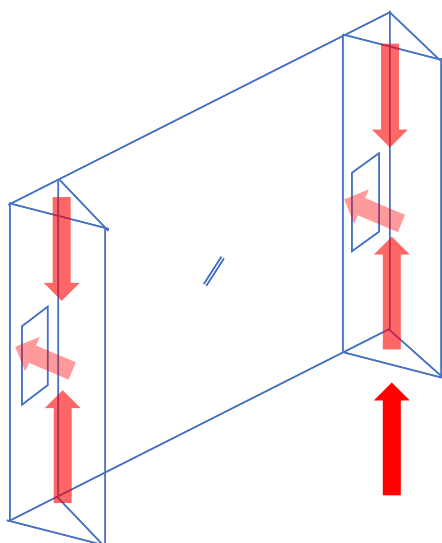
I praksis vil brugerne ofte ønske et større luftskifte, som med lydskodden vil kunne opnås ved de afprøvede opstillinger D1 og D2 samt E1 og E2, jf. figur 33. Åbningsarealet er i disse opstillinger svarer netop til det definerede åbningsareal på $0,35 \text{ m}^2$, som Miljøstyrelsen har fastsat ved måling af indendørs støjniveau 'med delvist åbne vinduer' i de særlige plansituationer, hvor det accepteres, at støj fra veje, jernbaner eller virksomheder på facaden af boliger. Miljøstyrelsens vejledende grænseværdier, at det indendørs støjniveau ikke må overstige $46 \text{ dB } (L_{den})$, hvilket netop kan opnås ved opstillingerne (i enkelte tilfælde efter minimale forbedringer).



Figur 38. Illustration af positioner af lydeskodden, hvor åbningsarealet er forøget til det lovbestemte krav på 0,35 m². Selv ved denne åbning viser lydtesten, at Miljøstyrelsen krav om et indendørs støjniveau på maksimalt $L_{den} = 46$ dB kan overholdes i stærkt støjbelastede områder. Se også Bilag 1 Detailtegninger af måleblænder og konfigurationer af foldeskodder.

Flere åbninger

Ved vurdering af, hvor store luftstrømme der kan tilføres et rum samtidig med at støjen fra udendørs trafik dæmpes, bør det samlede åbningsareal altid vurderes i sammenhæng med størrelse af rummet. I praksis vil der ofte være mulighed for to åbninger for hvert vindue(eller vinduesparti), som illustreret i figur 34.



Figur 39. Principskitse af to foldeskodder monteret på en bygningsfacade (røde pile viser luft- og lydvejen ind).

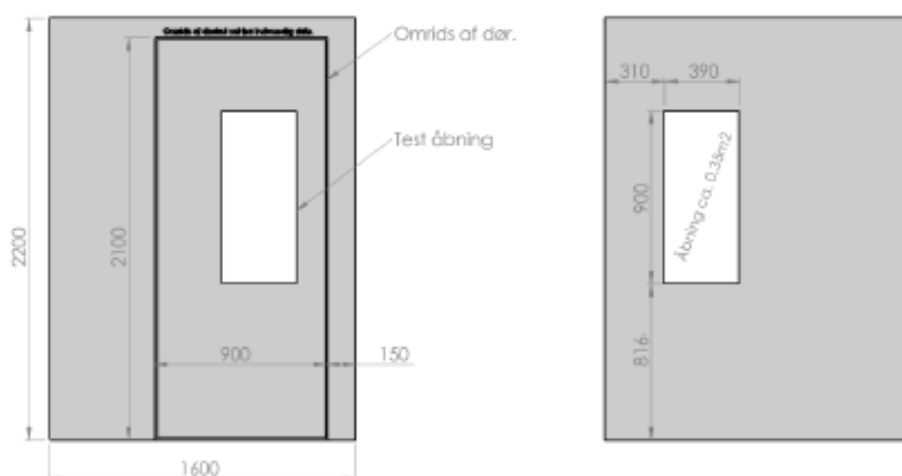
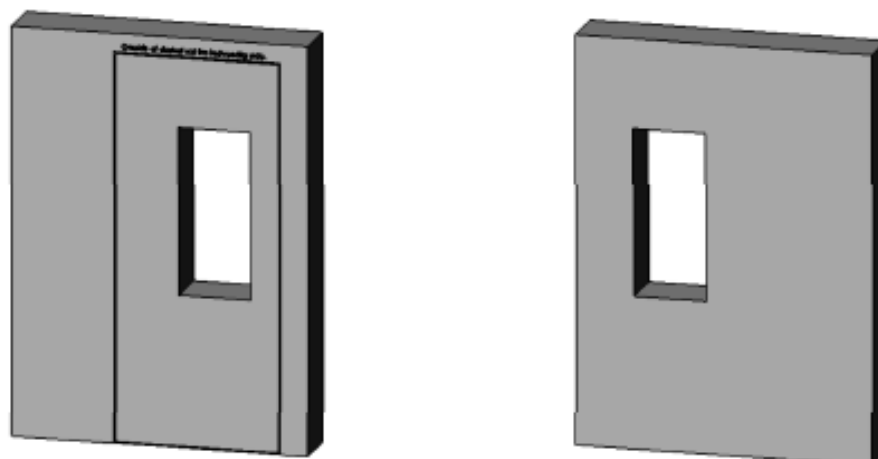
Konklusion

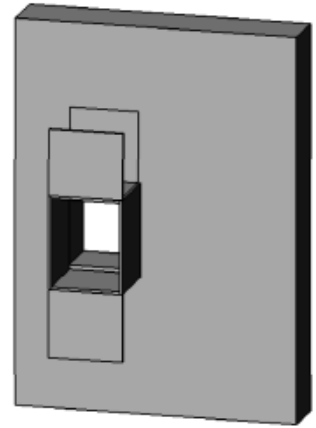
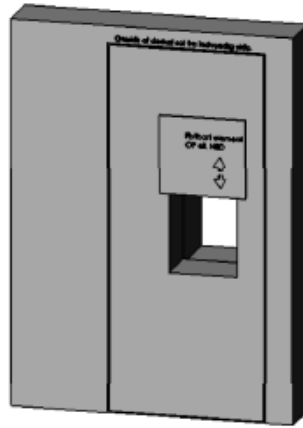
Foldeskodden kan opfylde de grundlæggende ventilationskrav i BR18 vedr. lufttilførsel til rum i boliger. Dette har især interesse i forbindelse med støjdempering af eksisterende boliger og ved renoveringer. For nybyggeri vil foldeskodden også med fordel kunne anvendes på enfamiliehuse, både for at reducere generne fra støj i trafikerede områder og for at forbedre facadernes isolering og bidrage til overholdelse af energirammen. For nye etageboliger er der krav om mekanisk ventilation, og derfor vil foldeskodden primære funktion være forbedring isolering af klimaskærmen, mens ventilationsfunktionen især vil opleves som et vigtigt bidrag til oplevelsen af bedre komfort og større brugerkontrol.

Referencer

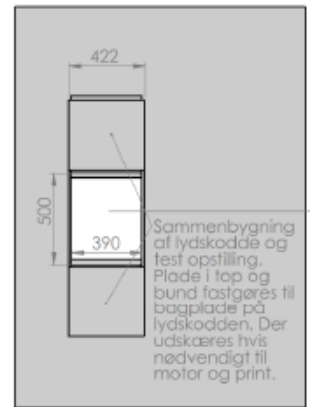
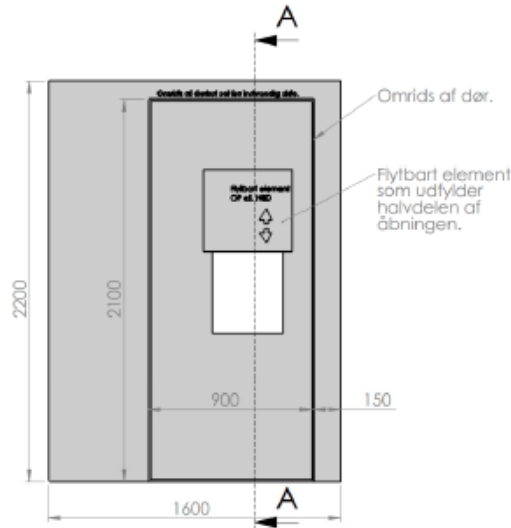
- Andersen K. et al. (2002). *Naturlig ventilation i erhvervsbygninger*. (SBI-Anvisning 202). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Christoffersen J., et al. (1999). *Vinduer og dagslys. En feltundersøgelse i kontorbygninger*. (SBI-rapport 318).
- Dansk Standard. (2005a). *Jalousier og skodder - Termisk og visuel komfort - Bestemmelse af ydeevne og klassifikation*. (DS/EN 14501:2005). Charlottenlund.
- Dansk Standard (2013). *Rating of sound insulation in buildings and of building elements, Part 1: Airborne sound insulation* (DS/EN ISO 717-1). Charlottenlund.
- Dansk Standard (2016). *Daylight of buildings*. (DSF/prEN 17037). Præliminær standard under udarbejdelse efter høring i 2016. København.
- Dansk Standard (2016). *Akustik - Feltmåling af lydisolering i bygninger og af bygningselementer - Del 3: Facaders lydisolering*. (DS/EN ISO 16283-3). København.
- Aggerholm S og Grau K (2018). *Bygningers energibehov, Beregningsvejledning* (SBI-Anvisning 213, 5. udgave). København: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Johnsen K. (2016). *Solafskærmninger*. (SBI-anvisning 264). København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København.
- Johnsen K og Winther F (2018), *Dynamiske facader i praksis, Klassificering og design*. (SBI-rapport 2018:05). København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København.
- Reinhold et al. (2008). *Lysstyring*. (SBI-anvisning 220). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Andersen K T, Heiselberg P og Aggerholm S (2002). *Naturlig ventilation i erhvervsbygninger*. (SBI-anvisning 202). København, Statens Byggeforskningsinstitut.
- Trafik- bolig- og Byggestyrelsen (2017). *Vejledning om funktionsafprøvning*. København 2017.
- Trafik- bolig- og Byggestyrelsen (2018). *Bygningsreglementets vejledning om korrektioner til 10 pct.-reglen for dagslys*. København 2018.
- Johnsen K and Winther F. *Dynamic facades, the smart way of meeting the energy requirements*. 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015. Published by Elsevier Ltd. In Energy Procedia, Volume 78, November 2015, Pages 1568-1573.

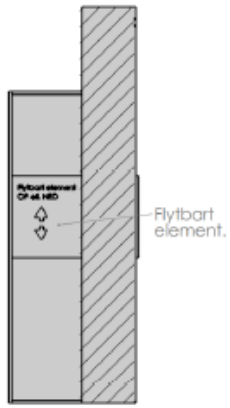
Bilag 1 Detailtegninger af måleblænder og konfigurationer af foldeskodder



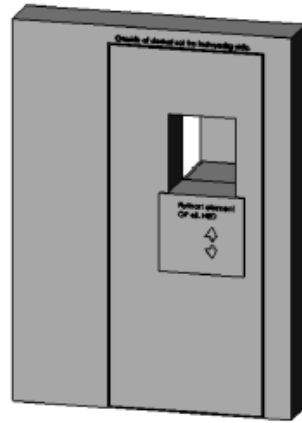


SECTION A-A

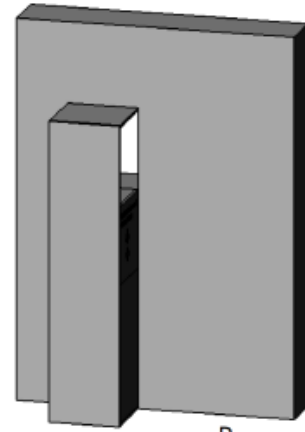




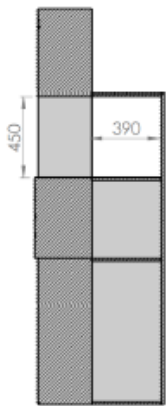
SECTION B-B



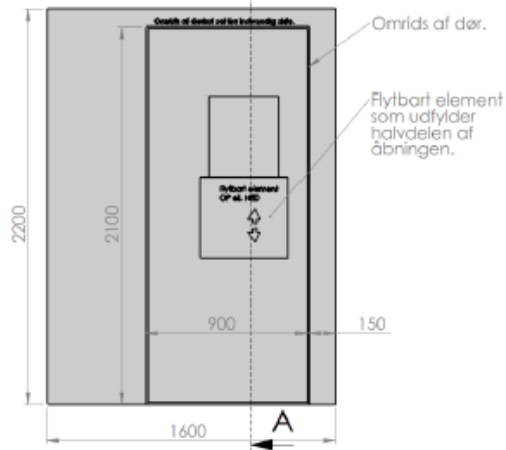
A



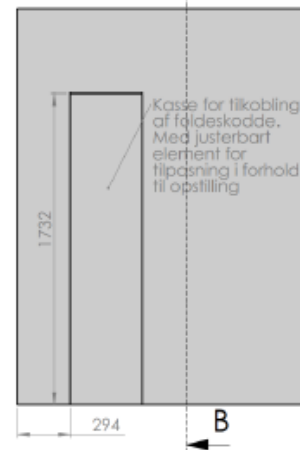
B



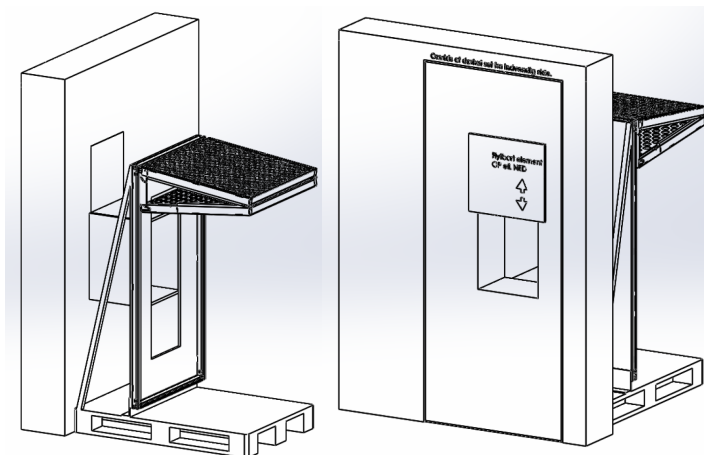
SECTION A-A



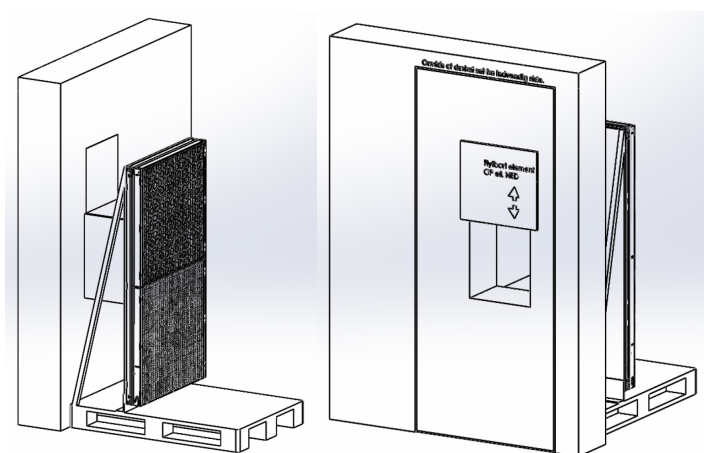
A



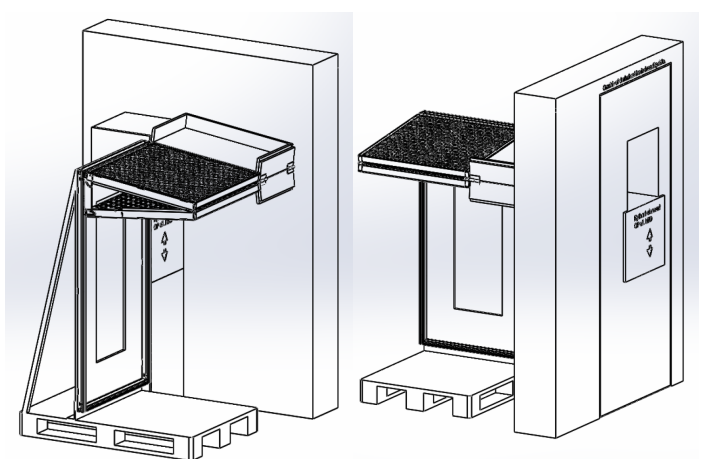
B



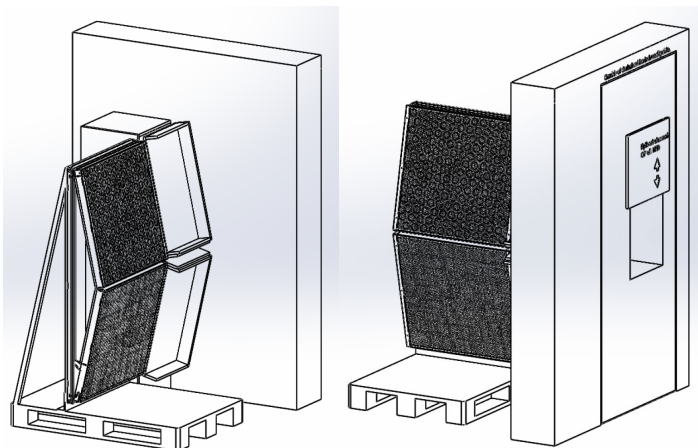
Konfiguration A1 - Skodde helt oppe



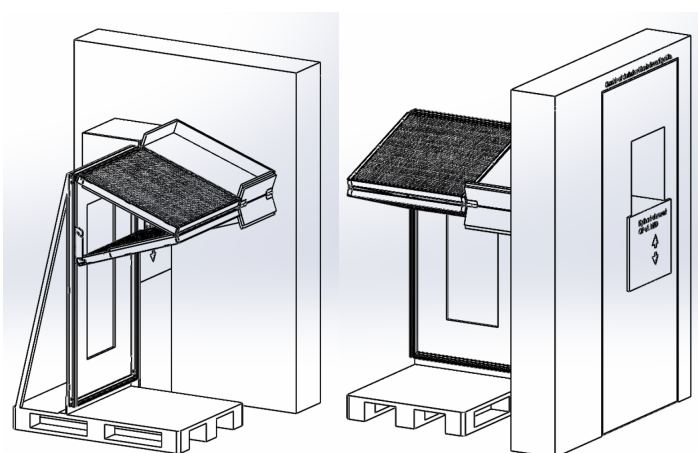
Konfiguration A2 - Skodde helt lukket



Konfiguration B1, B2, B3 - Højde lodret åbning: 185 mm



Konfiguration C1, C2, C3 - Brede vandret åbning: 146 mm



Konfiguration E1, E2 - Højde lodret åbning: 480 mm