



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Støjreduktion og CO2 besparelser ved modulært aflukningssystem

Miljøprojekt nr. 2078

April 2019

Udgiver: Miljøstyrelsen
Støjreduktion og CO2 besparelser ved modulært aflukningssystem

Redaktion:
Cand.polyt. Andreas Lolle. Cand.polyt. Steffen Nielsen Österberg

ISBN: 978-87-7038-056-0

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

1.	Forord	5
2.	Konklusion og sammenfatning	6
3.	Conclusion and summary	7
4.	Indledning	8
4.1	Formål	8
4.2	Mål og succeskriterier	9
4.3	Det modulære aflukningssystem Altiflex	9
4.4	Brugere	10
4.5	Brugsscenario og kontekst	10
5.	Indledende analyse	12
5.1	Vurdering af lydisolering	12
5.2	Test og analyse af varmeisolering	12
5.2.1	Konvektion	12
5.2.2	Varmeledningsevne	13
5.2.3	Beregningsmodel – Energiforbrug ved opvarmning af etagebyggeri.	13
5.2.4	Feltarbejde	14
5.3	Systemets fleksibilitet	14
6.	Design for forbedrede lyd- og varmeisolerende egenskaber samt øget fleksibilitet	15
6.1	Lydisolering	15
6.2	Varmeisolering	15
6.3	Fleksibilitet	15
7.	Livscyklusanalyse	17
7.1	Fastlæggelse af mål og omfang	17
7.1.1	Tilsluttet anvendelse af studiet	17
7.1.2	Begrænsninger, antagelser og påvirkninger	17
7.1.3	Grundlaget for analysen og beslutningskonteksten	18
7.1.4	Sammenlignelige studier til offentlighedens kendskab	18
7.1.5	Type af LCA og tiltænkt anvendelse	18
7.1.6	Funktioner, funktionel enhed og reference flow	18
7.1.7	Livscyklussen	18
7.1.8	Dataindsamling, analysemetode og databaser.	21
7.1.9	Analyse af data	21
7.1.10	Analysemetode og normaliserings faktorer	21
7.1.11	Antagelser	21
7.1.12	Antagelser	21
7.1.12.1	Aluminiumsdele	21
7.1.12.2	Plastdele	21
7.1.12.3	Antagelser, trælagter	22
7.1.12.4	Antagelser, brug	22

7.1.12.5	Antagelser, transport	22
7.1.12.6	Antagelser, bortskaffelse	22
7.1.12.7	Overvejelser om data	22
7.1.13	Livscyklus vurdering (LCIA)	22
7.1.13.1	Karakteriserede og normaliserede midtpunkts resultater	22
7.1.14	Reduktion af CO2 udledning ved reduktion af varmetab	25
7.1.15	Analyse og konklusion	25
8.	Funktionsmodeller - Test og analyse	27
8.1	Materialetest	27
8.2	Analyse af vindlast og belastningstest	27
8.3	Beregninger og belastningstest	29
8.4	Test af lydisolerende effekt	29
8.5	Evaluerings på mål og succeskriterier	31
Bilag 1.	Beregning af varmetab (DTI-rapport)	32
Bilag 2.	Test af u-værdi (DTI rapport)	38
Bilag 3.	Estimat af u-værdi	45
Bilag 4.	Prøvningsrapport lufttæthed (DTI rapport)	47
Bilag 5.	Estimat af reduktion i luftgennemstrømning	55
Bilag 6.	Beregningsrapport (SOH ApS)	56
Bilag 7.	Test af lyddæmpning	60

1. Forord

Mange mennesker oplever dagligt støj som et stort problem. Det gælder på arbejdspladsen såvel som i hjemmet. En af grundene hertil er den stadigt stigende urbanisering, der kræver igangsættelse af bynære bygge- og anlægsprojekter.

Støjforurening fra byggeprojekter er således en voksende samfundsmæssig udfordring, der for mange borgere er en gene og kan være årsag til søvnproblemer og stress.

I projektet er der blevet arbejdet med en løsning, som kan være med til at imødekomme denne problemstilling. Udgangspunktet for projektet har været det eksisterende modulære afluknings-system Altiflex, som anvendes til midlertidig aflukning af bygninger under opførelse. Systemet anvendes primært for at gøre opvarmning mulig samt at fungere som faldsikring.

Projektet har arbejdet med at forbedre systemets lyd- og varmeisolerende egenskaber samt at øge fleksibiliteten. Det har således været målet at skabe en fleksibel og modulær aflukning, der opsættes i forbindelse med byggeprojekter med forbedret indvirkning i forhold til støj såvel som energiforbrug.

Arbejdet har krævet mange forundersøgelser, idet brugskonteksten på byggepladsen såvel som diverse standarder stiller skrappe krav til produktets egenskaber. Endvidere har arbejdet igennem projektet været en vekselvirkning imellem teori og praksis, hvor ideer er blevet testet og resultater analyseret for at føde ny viden til projektet. Det er vurderingen at dette har været en nødvendig og samtidig krævende tilgang og derfor har tilskyndelsen fra Miljøstyrelsen været særdeles vigtig, hvor projektet blev accepteret og igangsat i anden halvdel af 2014.

I rapporten dokumenteres projektets arbejde og resultater. Rapporten er skrevet med henvisninger til en række bilag, men alle informationer der har væsentlig betydning for forståelsen, er gengivet i selve rapporten. Læseren kan således vælge at dykke ned i bilag, såfremt særlige områder eller afsnit ønskes uddybet.

2. Konklusion og sammenfatning

Projektet har undersøgt hvorledes et eksisterende aflukningssystem kunne innoveres, således de lyd- og varmeisolerende egenskaber blev markant forbedret. Særligt er det blevet undersøgt hvorledes komposit kunne anvendes som erstatning for aluminium i den henseende. Projektet har anvendt en helhedsorienteret tilgang i det løsningsopsøgende arbejde, hvor tekniske analyser såvel som brugerstudier har bidraget til at kvalificere arbejdsprocessen.

Projektet har fundet, at en afgørende faktor i forhold til at øge anvendelsesgraden af systemet er, at gøre det hurtigere og lettere at bruge. Jo mere enkelt, hurtigt og intuitivt systemet kan opsættes, desto flere typer af opgaver, vil det være relevant at bruge. Således etablerede projektet dogmet, at systemet skal kunne opsættes af en mand uden værktøj. Ved projektafslutning blev der lavet et tidsstudie, der estimerede at det nye og forbedrede system kunne opsættes med en tidsmæssig besparelse på 41 %.

Det var på forhånd forventningen at der lå et stort potentiale i at reducere varmetabet ved at udskifte aluminiumsdele, idet varmeledningsevnen for aluminium er meget høj. Projektet konkluderede i sin indledende fase at det også var tilfældet, men konkluderede i samme moment at en øget lufttæthed udgjorde et endnu større potentiale for reduktion af varmetabet. Ved projektets afslutning kunne det konkluderes at det samlet var lykkedes at reducere energiforbruget ved opvarmning med 45%.

Ligeledes konkluderede projektet at eliminering af utætheder var et vigtigt middel til at forbedre de støjisolerende egenskaber og således blev dette tidligt til en vigtig design parameter. Projektet nåede dog ikke at gennemføre lyd test på en endelig prototype og derfor blev den afsluttende test lavet på en foreløbig prototype. Resultatet her var, at den foreløbige prototype dæmpede lyden lige så godt som den eksisterende.

Der blev relativt tidligt i projektet etableret diverse beregningsmodeller som støttede arbejdet undervejs og fungerede som rettesnor og beslutningsgrundlag for projektet. Særligt var anvendelsen af livscyklusanalyse som procesværktøj særdeles interessant. Det kan konkluderes at denne tilgang i designarbejdet førte en lang række overvejelser og diskussioner med sig, som ellers ikke havde fundet sted. Ligeledes er det vurderingen at analysen konkret bidrog som brugbart beslutningsgrundlag undervejs. Dog skal også konkluderes, at analysen undervejs er behæftet med stor usikkerhed, fordi en lang række produktlivsforhold ikke er fastlagt. Dette kan være en anke imod at anvende livscyklusanalyse undervejs, men det er projekts vurdering at diskussioner og øget bevidsthed om forskellige tiltags betydning for det miljømæssige fodaftryk langt overstiger de usikkerheder, som implicit ligger i det tidlige tidspunkt hvorpå analysen udføres.

Projektet har i høj grad anvendt en vekselvirkning imellem teori og praksis. Det er vurderingen at denne arbejdsform har været ideel i forhold til projektet og det kan yderligere konkluderes at det er særdeles vigtigt ikke alene at forlade sig på teoretiske betragtninger uden praktiske test. Begge dele har en lige berettigelse som i det samlede billede skaber de hurtigste fremskridt.

Det kan endeligt konkluderes at projektet har opfyldt 4 ud af 6 projektmål fuldt ud. Blandt de to resterende mål lykkedes det med det ene mål at komme et stykke ad vejen, mens der for det sidste mål ikke var nogen forandring hverken positivt eller negativt.

3. Conclusion and summary

The project has investigated how an existing temporary enclosure system could be innovated, so that the sound and heat insulating properties could be significantly improved. More specifically it was investigated how composite material could be used as a replacement for aluminum. The project has applied a holistic approach, where technical analysis as well as user studies have helped to qualify the work.

The project has found that an important factor to increase the application rate of the system, is to make it easier and faster to use. It means that the system can be applied in a much broader context, if it becomes more simple, fast and intuitive to use. For this reason, the project established a simple design rule, i.e. that it should be possible for a single man to mount the system without tools. Finally, in the project evaluation, it was found that a time reduction of 41% could be realized in mounting the new and improved system.

It was expected that the potential in reducing heat loss by replacing aluminum parts were big, since the thermal conductivity of aluminum is very high. The project concluded in its initial phase that this was the case but concluded on the same time that increased air tightness posed an even greater potential for reduction of heat loss. Overall, the project succeeded in reducing energy consumption by heating with 45%.

Likewise, the project concluded that elimination of holes and gaps were important means to improve the noise-insulating properties and this became early on an important design parameter. It wasn't possible to make a sound test on a final prototype and therefore the test was made on a preliminary prototype. The result was that the preliminary prototype dampened the sound as well as the existing one.

The project developed early in the project various models to serve as guidelines and support decision making. Specifically, the use of life cycle analysis was particularly interesting. This approach in the project led to several deliberations and discussions that otherwise would not have taken place. Furthermore, it is assessed that the analysis did constitute a useful basis for decision making. However, it should also be mentioned that conducting life cycle analysis in parallel with product development is inflicted with great uncertainty, because many aspects of the product life cycle have not yet been established. This can be an argument towards using life cycle analysis, but it is the opinion of this project, that the discussions and increased awareness about environmental impact from different processes far exceeds the uncertainties that exists in the temporary conclusions.

The project has used an approach with alternation between theory and practice. It is the assessment, that this approach has been good in relation to the specific project. Further the project found the importance of not relying only on theoretical models without practical experiments.

Finally, it is concluded that the project has fulfilled 4 out of 6 project goals in full. Among the remaining goals, there was one goal that were partially fulfilled while for the last goal it wasn't possible to conclude neither a positive or a negative impact.

4. Indledning

4.1 Formål

Ved opførelse af byggeri udgør opvarmning og udtørring langt den største andel af energiforbruget. Rapporten: "Energisparepotentialer i byggeprocessen"¹ udarbejdet for Energistyrelsen i 2013 konkluderer på baggrund af 4 byggeprojekter, at andelen der vedrører "opvarmning af råhuset udgør mellem 39 % og 72 % af energiforbruget". Rapporten konkluderer ligeledes at det største energisparepotentiale netop er ved opvarmning, udtørring og aflukning.

Ligeledes er potentialet ved at skabe løsninger, der kan reducere støj og særligt byggestøj i byområder stort. Det er vanskeligt at kvantificere, men der er en direkte samfundsøkonomisk gevinst, idet støj påvirker koncentrationsevnen og nedsætter produktiviteten på arbejdspladsen. Hertil kommer gevinsten på et menneskeligt plan, idet byggestøj af mange opleves som en gene, der har negativ indflydelse på den generelle trivsel.

Projektets formål har knyttet sig til begge disse forhold. Det har således været projektets formål at videreudvikle systemet Altiflex, for at forbedre de lyd- og varmeisolerende egenskaber, samt at øge systemets fleksibilitet og anvendelsesgrad. Den overordnende vision for den øgede fleksibilitet har været, at systemet både skulle kunne dæmpe støjen tæt ved kilden og tæt ved øret. Særligt er det blevet undersøgt, hvorledes kompositmateriale med fordelagtige materialeegenskaber kan anvendes til at opfylde dette formål.

Endelig har det været et mål for projektet at anvende livscyklusanalyse (LCA), som et værktøj til at vurdere produktets samlede miljøpåvirkning undervejs i projektførelsen såvel som ved projektets afslutning.

"Opvarmning af råhuset udgør mellem 39% og 72% af energiforbruget."

¹ Kilde: [http://vbn.aau.dk/da/publications/energisparepotentialer-i-byggeprocessen\(f5fcc37d-b34f-4be8-b534-d0c9b14e9078\).html](http://vbn.aau.dk/da/publications/energisparepotentialer-i-byggeprocessen(f5fcc37d-b34f-4be8-b534-d0c9b14e9078).html)

4.2 Mål og succeskriterier

Med afsæt i formålet har projektet arbejdet ud fra en række mål og succeskriterier som ses i TABEL 1. Miljøpåvirkningen er blevet vurderet kvantitativt i form af en konkret målsat reduktion af den samlede CO2 udledning. Projektmålene har samtidig fungeret som overordnede krav i projektets grundspecifikation, der blev udarbejdet i den tidlige fase.

TABEL 1. Mål og succeskriterier

Projektets mål	Succeskriterier
Støj reduktion på 15 dB ift. nuværende system	Delta har som GTS-institut stor ekspertise indenfor akustik og gennemfører i projektet før og efter målinger, hvorved systemets støjreduktion kan verificeres.
Udvikle og konstruere tekniske løsninger, således systemet eller dele heraf lader sig fremstille i kompositmateriale	Verificeres ved prototype.
Forbedre U-værdi med 50% ift. nuværende system	U-værdien bestemmes ved standardiseret laboratorietest ved ekstern konsulent og projekts mål kan således verificeres.
Reducere systemets samlede CO2 udledning ud fra en livscyklusbetragtning med 25%	Der gennemføres livscyklusanalyse på det eksisterende system, hvor alle væsentlige effekter medtages. Denne analyse danne baggrund for sammenligning imellem det gamle og nye system, således CO2 påvirkningen kan udledes.
Realisere et system der kan anvendes som støjhus til indkapsling af støjkilde, dvs. en støjdæmpende konstruktion med lodrette og vandrette flader.	Verificeres ved prototype.
Realisere et system der kan dæmpe lyden tæt på øret, dvs. en konstruktion som opbygges lokalt eks. i private hjem, således beboere generes minimalt af byggestøj.	Verificeres ved prototype.

4.3 Det modulære aflukningssystem Altiflex

Altiflex er et aflukningssystem, der anvendes til midlertidig lukning af døre- og vinduesåbninger i bygninger under opførelse. Så snart byggeprocessen tillader det, opsættes systemets moduler, således at bygningsskallen er lukket og bygningen derved kan holdes tør og opvarmet. Dette er en afgørende faktor for hvor hurtigt byggeriet kan færdiggøres og derfor en helt central egenskab ved systemet. Når byggeprocessen er tilstrækkelig fremskreden til at permanente døre og vinduer kan monteres, bliver de midlertidige moduler afmonteret. Modulerne kan så, i modsætning til traditionel plastinddækning, genanvendes på nye byggeprojekter.



På billedet ses til højre to moduler monteret i en bygning under opførelse.

Modulerne består af en polycarbonat plade og en fleksibel ramme af aluminium. Pladen er slagfast og tillader lysgennemstrømning til bygningen. Hvert enkelt modul er justerbart og kan bygges sammen, så enhver åbning kan lukkes.

Modulerne har potentiale for lyddæmpning, men dette er ikke til fulde udnyttet grundet utætte samlinger imellem aluminium og polycarbonat plade. Pladen har endvidere en betydelig bedre varmeisolerende effekt end den traditionelle plastinddækning. Pladens U-værdi er 2,6, mens traditionel plast har en U-værdi på 7. Der er dog potentiale for forbedring, idet utætheder og aluminiumsramme leder varmen ud ved hhv. konvektion og konduktion.

4.4 Brugere

Modulerne bliver lejet ud til entreprenører. Modulerne leveres på byggepladsen, hvor en uddannet montørpartner eller alternativt entreprenørens egne folk opsætter systemet. De primære brugere er dermed de montøruddannede håndværkere og arbejdsmænd, som opsætter og arbejder med systemet. Hertil kommer en række andre brugere, der er i kontakt med produktet i forbindelse med transport, opbevaring, rengøring, vedligehold mv.

4.5 Brugsscenario og kontekst

Altiflex anvendes primært på byggepladser, men kan i princippet opsættes overalt, hvor der er behov for afdækning. I TABEL 2 er en række af de typiske brugsscenarioer listet.

TABEL 2. Typiske brugsscenarioer for de eksisterende moduler

Brugsscenario

Facadeaflukninger er aflukning af huller og åbninger i bygninger under opførsel. Det sættes op for at holde på varmen og afskærme for vind og vejr. Det gavner tørringen af betonen og der opnås et bedre arbejdsmiljø.

Døre og porte laves for hhv. person og varetransport ind i bygninger under opførelse. Døre laves ved særlige moduler til formålet, mens porte kan bygges ved sammenkobling af moduler.

Skille- og støvvægge er afskærmning af støj og støv, og kan bruges til at afskærme et byggeri fra resten af en bebyggelse eller øvrige omgivelser.

Sikkerhedsrækværk er en afskærmning på bygninger med højde, der sikrer imod faldrisiko. Modulerne er godkendt til sikkerhedsrækværk efter EN13374.

Stilladsindhegning opsættes til at forhindre adgang til stilladset.

Byggepladshegn anvendes til at afgrænse en byggeplads. Typisk bruges trådhegn eller plade, men moduler kan også anvendes og vil da have bedre støjisolerende virkning.

Opbevaringsrum kan bygges til opbevaring af materialer eller værktøj.

Generelt kan det siges, at systemet kan løse flere af byggepladsens afskærmningsbehov, som normalt ville blive udført med plader, trælægter og plastik. Ved anvendelsen af disse traditionelle materialer er der dog altid tale om en engangsløsninger, som bygges specifikt til den konkrete byggesag. Materialerne bliver derfor sjældent genbrugt, men kasseret når de har udtjent deres opgave på et enkelt byggeprojekt. Det særlige ved modulerne er, at de genanvendes med en levetid på minimum 15 år, hvilket er en klar fordel set fra et ressourceoptimeringssynspunkt.



Billede fra byggepladsen ved Panum Institutet i forbindelse med opførelsen af Mærsk Tår-net, hvor modulerne ses i baggrunden.

5. Indledende analyse

5.1 Vurdering af lydisolering

Der blev i projektets indledende fase vurderet på de lyddæmpende egenskaber og potentialet for forbedringer. Her var det fra starten klart, at modulets utætheder udgjorde en åbenlys mulighed. Det blev således besluttet at gå efter de lavt hængende frugter først, nemlig at arbejde med konstruktive tiltag og designændringer, som lukkede eller minimerede utætheder i modulets konstruktion. Udfordringen herved er naturligvis, at modulet skal kunne udvides for at tilpasse forskellige størrelser åbninger, hvilket gør det særdeles vanskeligt at lave modulet fuldstændigt tæt.

5.2 Test og analyse af varmeisolering

For at få et overblik af de forskellige bidrag til varmetabet, blev en rapport fra Teknologisk Institut (DTI) evalueret. Denne rapport indeholder en beregning og en vurdering af varmetabet igennem et standard Altiflex modul på 2 m² ved et helt års installation i danske vejrforhold. Rapporten findes i Bilag 1. I TABEL 3 ses konklusionen. Det ses at det absolut største bidrag kommer fra Infiltration fra vind. Dette bidrag alene udgør 59% af det samlede varmetab.

TABEL 3. Varmetabet igennem et Altiflex modul på 2 m² ved et års installation i danske vejrforhold.

Varmetab i perioden	Energimængde
Transmission	590 kWh
Infiltration vind	1356 kWh
Infiltration skorstenseffekt	341 kWh
I Alt	2287 kWh

5.2.1 Konvektion

Det største varmetab og dermed største potentiale for forbedringer ligger således i at mindske konvektionen igennem modulet. For at belyse dette yderligere blev en anden DTI rapport evalueret, nemlig en prøvning, der undersøger lufttætheden for modulet efter standarden EN1026, se Bilag 4.

Der blev både testet for over- og undertryk i henhold til standarden. Resultatet viste at modulet havde en højere luftgennemstrømning end den laveste klassifikationsklasse for vinduer og døre (klasse 1). Det er der i sig selv ikke noget underligt ved, idet modulet er tiltænkt en midlertidig opsætning og derfor naturligt nok ikke opfylder samme krav som permanente døre og vinduer. Interessant nok klarede modulet sig dog bedre, når modulets bolte som fastholder polycarbonatpladen ikke var spændt.

Dette resultat indikerede at et væsentligt bidrag til luftgennemstrømning skyldtes utæthed imellem pladen og profilrammerne. Denne utæthed bliver mindsket når skruerne er løsnet og pladen naturligt "suges" tæt til profilrammen. Den overordnede konklusion var derfor, at der ligger et vigtigt forbedringspotentiale i forhold til den samlede isoleringsevne ved at gøre modulerne mere lufttætte. Ikke mindst fordi dette samtidig vil bidrage til at gøre modulerne mere lyd-isolerende.

5.2.2 Varmedningsevne

For at kvantificere potentialet ved at minimere modulets varmedningsevne, undersøgtes en rapport udarbejdet af DTI, se Bilag 2. I denne rapport måles det eksisterende moduls U-værdi efter den standardiserede metode EN ISO 8990:1997. U-værdien udtrykker direkte modulets varmedningsevne. Heri bestemmes modulets varmedningsevne til 3.4 W/m²K. Det var på forhånd forventningen at potentialet var stort, idet aluminium har særdeles høj varmedningsevne sammenlignet med komposit. Den specifikke varmedningsevne for aluminium angives ofte i størrelsesordenen 230 W/mK mens den for glasfiberkomposit angives til 0.58 W/mK², hvilket betyder at varmedningsevnen for aluminium er 400 gange højere end kompositen. For at kvantificere betydningen af dette, blev der udarbejdet et groft estimat af varmedningsevnen for et nyt modul baseret på komposit, se Bilag 3. Dette estimat viser at det nye modul kan forventes at have en U-værdi i størrelsesordenen 2.6 W/m²K. I TABEL 4 er værdierne gengivet samt metoden anvendt til at bestemme dem.

Aluminiums varmedningsevne er 400 gange højere end glasfiberkomposit.

TABEL 4. Varmedningsevne for eksisterende og nyt modul hhv. målt og estimeret

Modultype	Målt	Estimat	U-værdi
Alu-modul	x	Varmedningsevnen kan redu-	3.4 W/m ² K
Komposit-modul		ceres med 23% i det nye modul	2.6 W/m ² K

Den nye modul kunne således forventes at have en reduktion i varmedningsevnen på 23 % i forhold til det eksisterende modul.

5.2.3 Beregningsmodel – Energiforbrug ved opvarmning af etagebyggeri.

Efter disse indledende analyser udarbejdede projektet en beregningsmodel for at estimere betydningen af u-værdi og lufttæthed for modulernes samlede evne til at reducere varmeforbruget og dermed skabe CO₂ besparelser. Dette blev gjort i et excel dokument, hvilket gjorde det let tilgængeligt. Estimatet baseredes på standarden DS418 og er udført således, at der kan sammenlignes imellem forskellige alternativer så som traditionel plastafskærmning, eksisterende og eventuelt kommende Altiflex moduler.

Beregningen forudsatte følgende antagelser:

- Bygningsplanen kan ses som værende kvadratisk, med en side vendende imod nord.
- Det afdækkede areal er fordelt ligeligt på bygningens fire sider.
- Vindhastigheden antager middelvindhastigheden for den pågældende måned (landsgennemsnit).
- Skorstenseffekt er negligabel

Modellen viste, at der samlet er et klart sparepotentiale ved at anvende Altiflex moduler frem for traditionel plastafdækning, hvilket er en følge af modulernes lavere u-værdi samt den kendsgerning, at plastinddækning ofte rives itu, hvorved infiltration af kold luft forringer isoleringsevnen. Beregningen viste dog samtidigt et stort potentiale ved at optimere på modulernes lufttæthed og dermed minimere luftinfiltration.

² Cambridge Engineering Selector: "Polyester/E-glass fiber, pultruded profile, UD fiber & CSM.

5.2.4 Feltarbejde

Der blev ligeledes i projektets indledende fase udført feltstudium i forbindelse med opsætningen af moduler, blandt andet på Mærsk Tårnet ved Panum. Formålet var at kortlægge forbedringspotentialer ved systemet i brug. Studiet bestod både af samtaler med de udførende montører og observationer på byggepladsen.



En håndværker skærer stål i Panum Tårnet inde bag Altiflex aflukning. Skæring af stål er en af de relativt larmende processer som kan begrænses ved afskærmning.

Under samtale med montørerne trådte især to udfordringer frem som værende problematiske. Det første problem bestod i påsætningen af tætningslister på modulerne. Listerne var problematiske, da de ofte mørner eller bøjer efter gentagen brug. Samtidigt skal modulet løftes og vendes rundt, således listerne kan monteres hele vejen rundt. Endelig sker der ofte det, at de glider ud af sporet, når modulet flyttes rundt eller bliver monteret.

Den anden store problematik var de anvendte skruers længde. Disse skruer benyttes når moduler skal fastgøres i betondækket. For at kunne benytte skruerne, måtte montørerne ofte bore ned igennem armeringen, hvilket var hårdt og tidskrævende. De foreslog således, at der var mulighed for at benytte kortere skruer, da det ville lette montagearbejdet betragteligt.

5.3 Systemets fleksibilitet

Det var således en grundlæggende konklusion, at optimering af systemets fleksibilitet ville give betydelige forbedringer, hvor de vigtigste punkter var montering af tætningslister, isætning af betonskruer og justering af bolte til fastholdelse af polycarbonatpladen. Boltene skal strammes og løsnes hver gang et vindue skal justeres, og kan derfor være en tidskrævende ekstraopgave ved montagen. Baseret på disse og flere mindre iagttagelser var målet, at optimere systemet til en lettere installation. Der blev således formuleret to dogmer for designarbejdet, som skulle sikre at dette mål blev opfyldt. Disse var, 1) at det ikke måtte kræve nogle værktøjer for montage, og 2) at montagen kunne udføres af en enkelt person. Dermed var det enkelt for alle hvad der blev arbejdet efter i forhold til fleksibiliteten.

6. Design for forbedrede lyd- og varmeisolerende egenskaber samt øget fleksibilitet

6.1 Lydisolering

Den indledende analyse havde kortlagt, at en oplagt mulighed for at forbedre de lydisolerende egenskaber var, at gøre noget ved de utætheder, som opstår, fordi modulet skal kunne udvide sig. Der blev i designfasen arbejdet med især 3 områder på modulet, nemlig hjørnet, samling imellem plade og ramme og samling ved kantlister.

Det viste sig i dette arbejde, at hjørnet var det sværeste, idet der ligger meget funktionalitet på et lille område. Dette skabte en hårfin afvejning imellem egenskaber som er afgørende for basal funktionalitet og egenskaber som forbedret lydisolering. Hertil kommer, at fremstillingsprocessen sætter nogle klare begrænsninger i forhold til, hvad der kan lade sig gøre. Hjørnet blev dermed et område, som det ikke for alvor lykkedes at gøre noget ved i forhold til lydisolering. Til gengæld var både samling imellem plade og ramme og samling ved kantlister områder, hvor det lykkedes at designe løsninger der gjorde noget godt for den lydisolerende virkning.

6.2 Varmeisolering

I designfasen blev relationen mellem luftgennemstrømning og trykforskel taget op igen og i særdeleshed det forhold, som DTI rapporten i Bilag 4 havde vist. I rapporten ses, at luftgennemstrømningen halveres, når polycarbonatpladen placeres frit mellem rammens flanger. I den forbindelse er det vigtigt at bemærke, at infiltration ifølge en anden DTI rapport udgjorde 59% af det samlede varmetab, jf. TABEL 3. Der var altså tale om et betydeligt forbedringspotentiale. Desværre kunne moduler ikke umiddelbart undvære de bolte som holder polycarbonatpladen på plads og dermed kunne pladen ikke placeres frit imellem rammens flanger.

Dette afgørende forhold blev brugt i et opdateret forslag, hvor to designforbedringer bidrog til en markant reduktion af luftgennemstrømningen. Den ene ændring var, at lave rammens flanger tilspidsede, hvorved hullet i forhold til det nuværende design elimineres. Denne ændring kan virke indlysende, men det som bidrog til at gøre dette muligt, var faktisk skiftet til kompositmateriale. Kompositten har nemlig lavere stivhed (mere fleksibel), hvilket gør det muligt helt at undgå mellemrum i samlingen imellem plade og ramme uden at det forringer modulets mulighed for at udvide sig.

Den anden ændring var udviklingen af et særligt centreringsbeslag, som tillod at polycarbonatpladen kunne hænge frit imellem rammens flanger. Dermed blev bolte til at fastholde pladen overflødiggjort og den vil ved de sug, som opstår ved vindstød, lægge sig helt tæt op ad rammen.

6.3 Fleksibilitet

I forhold til fleksibilitet var målet som beskrevet ovenfor, at én mand skulle kunne opsætte systemet uden brug af værktøj. For at dette kunne lade sig gøre blev der arbejdet med at udskifte alle traditionelle boltesamlinger til alternative håndbetjente løsninger som hurtigspændere og lignende. Den ovenfor beskrevne eliminering af bolte ved hjælp af centreringsbeslaget til at holde polycarbonatpladen på plads, var i den henseende en stor gevinst. Beslaget var et

helt nyt design, der reducerede den samlede tid en mand skal bruge på tilpasning af moduler, samt overflødiggjorde brugen af unbrako nøgler til at stramme bolte.

Samme tilgang anvendtes på modulets hjørne, hvor alle bolte blev elimineret. Arbejdet førte til et helt nyt hjørne med enkel og intuitiv betjening, hvorved modulerne hurtig kan udvides uden brug af værktøjer. I stedet har hjørnet en række snap håndtag, som er lette at betjene, således en mand hurtigt kan tilpasse og montere modulet. Funktionaliteten af det nye hjørne blev testet og verificeret i projektet ved hjælp af SLS additiv fremstilling.

Et andet vigtigt punkt for optimering var tætningslisterne. Allerede i det tidlige feltarbejde blev det konstateret, at dette udgjorde væsentligt optimeringspotentiale. Listerne er besværlige at installere, og derfor blev der lavet et design med permanent monterede lister. Dermed skulle montøren ikke forholde sig til disse overhovedet. Det estimeredes at denne ændring alene reducerede tidsforbruget med opsætning med 17%.

Den overordnede konklusion på fleksibiliteten var, at de udviklede designændringer ville give betydelige fordele. For at kvantificere disse, blev der lavet et tidsstudie, hvor det gamle og nye design blev undersøgt. Dette studie viste at den samlede tidsmæssige besparelser ved opsætning af det forbedrede system var 41%. Dette er en markant reduktion som er vigtig, fordi det betyder at modulerne vil kunne anvendes i en langt bredere kontekst i kraft at de kan opsættes hurtigere og samlet set give en forbedret totaløkonomi på et givet projekt.

**Den samlede
tidsmæssige
besparelse ved
opsætning af
det forbedrede
system var 41%**

7. Livscyklusanalyse

7.1 Fastlæggelse af mål og omfang

7.1.1 Tilsigtet anvendelse af studiet

Formålet med livscyklusanalysen var at sammenligne miljøpåvirkningen forbundet med produktion, brug og bortskaffelse af 2 forskellige udgaver af interim afdækningssystemer til brug i byggebranchen. De 2 interim afdækningssystemer differentierer sig ved enten at være produceret hovedsageligt i aluminium eller kompositmateriale. De benævnes i rapporten som A for Aluminium og K for Komposit. Analysen blev anvendt allerede tidligt i udviklingsprocessen for at foreløbige konklusioner og resultater kunne kvalificere udviklingsarbejdet. I takt med at flere og flere produktlivsforhold blev lagt fast, blev analysen tilsvarende udbygget. Analysen som præsenteres i rapporten, er den seneste udgave, udarbejdet så præcis som muligt med det forbehold, at det ene produkt endnu ikke findes og samtlige produktlivsforhold dermed ikke ligger fast. En vigtig usikkerhed i den sammenhæng var betydningen af K's forbedrede varmeisoleringssevne. Det blev anset som sandsynligt at varmetabet ved K ville være langt lavere end ved A, hvilket ville have stor indflydelse på energibesparelsen og reduktionen af CO₂ udledning i brugsfasen. Her kræves dog tests på det endelige produkt for at kunne kvantificere dette. Derfor er den forbedrede varmeisolerings ikke indeholdt direkte i analysen, men inkluderet særskilt og medtaget i analysens konklusion.

7.1.2 Begrænsninger, antagelser og påvirkninger

I tabellen ses en række antagelser som ligger til grund for analysen.

TABEL 5. Antagelser

Produktion
Produktionsprocesserne er baseret på informationer fra Altiflex og information om fremtidige produktionspartnere.
Modulerne antages samlet i hånden
Produktionsprocesserne pultrudering og sprøjtestøbning af komposit er baseret på relevante artikler og er forsimplet til masse af materiale, energimængde samt transport.
Skruer, bolte og andre mindre dele ikke medtaget i analysen, da disse i antal og masse vurderes af minimal betydning.
Brug
Modulerne antages kun brugt i Danmark
Rengøringsmidler brugt til eventuel rengøring af modulerne medtages ikke i analysen, da deres indvirkning antages negligerbar.
Det antages at hvert referencefag opsættes og nedtages 30 gange inden for en gennemsnitlig afstand på 100 km fra opmagasinering
Levetid
Det antages at A og K har en identisk levetid med opsætning og nedtagning 30 gange.
Transport
Alle parter til A transporteres til Danmark hvor modulerne samles. For K transporteres stål, gummi- og komposit til Finland, hvor delparter samles og sendes til Danmark
Aluminium udvindes og ekstruderes eller støbes i Spanien.
Stål udvindes og ekstruderes i Rusland.
Olie til plastproduktion udvindes i Norge og omdannes til plastgranulat i Tyskland.

Glasfiber fremstilles i Tjekkiet

Kompositparter pultruderes og sprøjtestøbes i Finland

Bortskaffelse

78% af aluminiumsmaterialet antages genbrugt.

Alt øvrigt materiale antages bragt til affaldsforbrændingen, hvor det primært omdannes til energi.

7.1.3 Grundlaget for analysen og beslutningskonteksten

Grundlaget for analysen var at give projektet indsigt i miljøpåvirkningen ved produktion og bortskaffelse af A og K, uden at analysen alene skulle fungere som fuldstændigt beslutningsgrundlag. Analysen blev lavet for projektet således den kunne støtte beslutningsprocesser undervejs i forløbet.

7.1.4 Sammenlignelige studier til offentlighedens kendskab

Analysen tager udgangspunkt i ISO 14044 uden dog fuldt ud at opfylde alle krav i ISO-standard. Analysen indeholder en gennemført livscyklusvurdering baseret på så meget data som det har været muligt at indhente og derudover nødvendige antagelser.

7.1.5 Type af LCA og tiltænkt anvendelse

Denne livscyklusanalyse er en komparativ analyse med udførlig beskrivelse af forskellene i de to alternativer A og K.

7.1.6 Funktioner, funktionel enhed og reference flow

For at have et sammenligningsgrundlag, blev en fælles funktionel enhed defineret, se nedenfor. Den funktionelle enhed består af 6 moduler og udgør et referencefag på 13.97 m².

TABEL 6. Fælles funktionel enhed

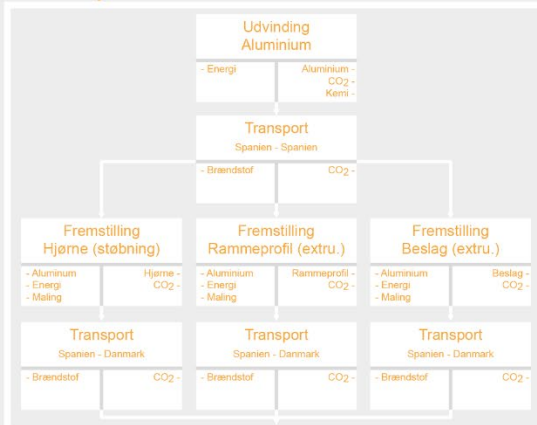
Udgave	Funktionel enhed	Reference flow
Aluminium (A)	Midlertidigt afskærmning af åbning på 3,4 x 4,11 m i en væg, med 30 ganges opsætning og nedtagning.	1 modul A
Komposit (K)		1 modul K

7.1.7 Livscyklussen

Som beskrevet er betydningen af K's forbedrede varmeisolerende egenskaber ikke indeholdt direkte i analysen, men inkluderet i særskilt afsnit. Analysen omfavner derfor materialeudvinning, produktion, transport af materialer, transport i brugsfasen og bortskaffelsen af materialer. I de to figurer nedenfor ses en diagramoversigt af de forskellige fremstillingsprocesser og livscyklusprocesser.

Fremstillingprocesser

Aluminiums parter



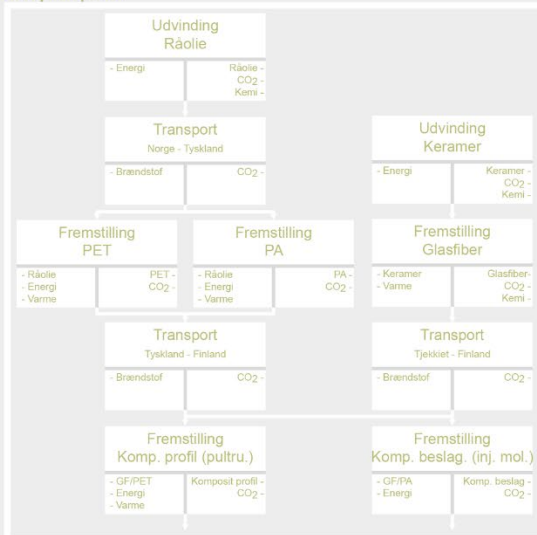
Trælægter



Rude



Komposit parter



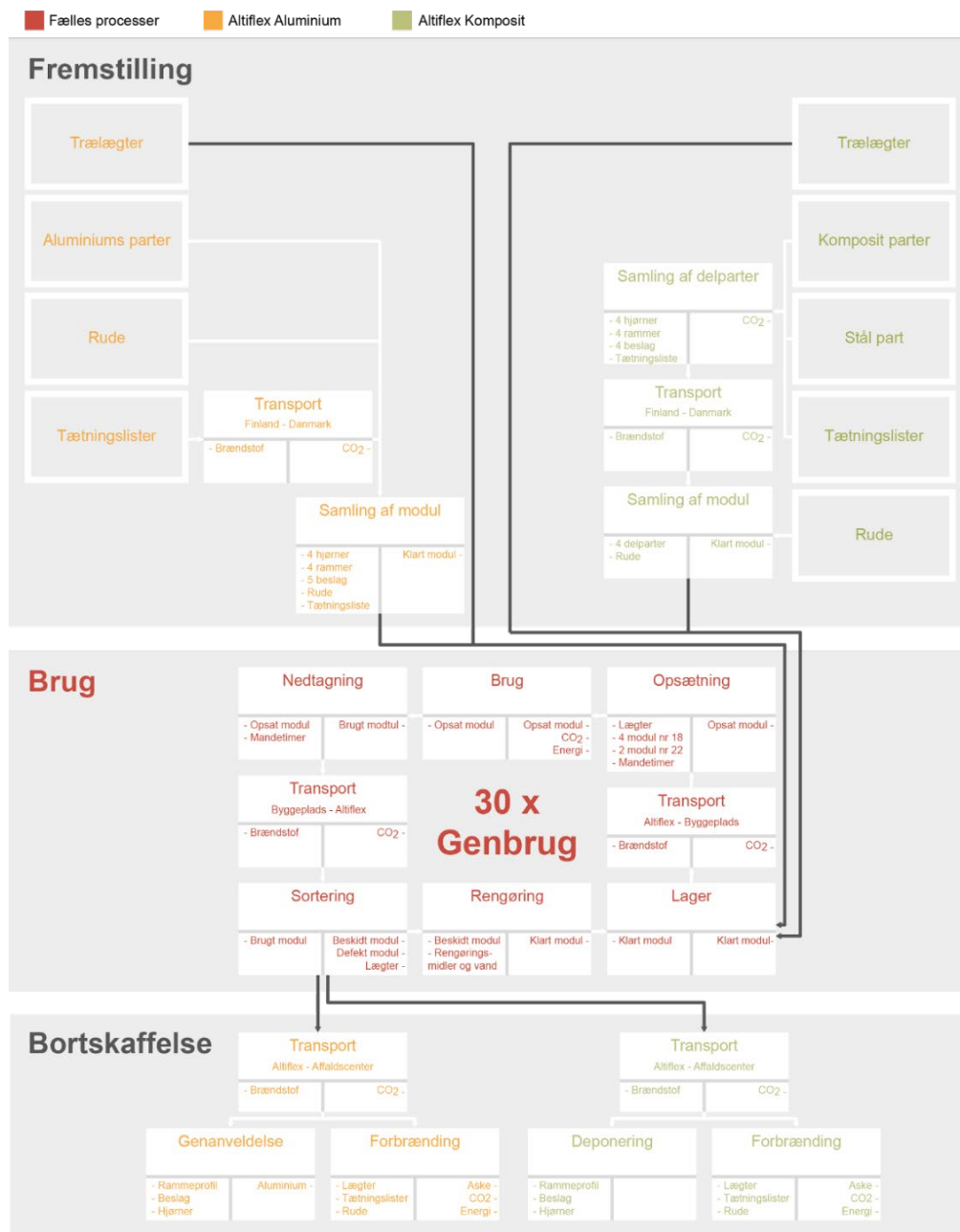
Tætningsliste



Stål part



Overblik af fremstillingsprocesser for LCA



Overblik af livscyklusprocesser

7.1.8 Dataindsamling, analysemetode og databaser.

Data om A blev hentet ved afvejning af hver part, forespørgsler hos Altiflex samt generelle antagelser om transport m.m. Data om K blev hentet fra en CAD-data, viden om producenter, research angående fremstilling af komposit samt generelle antagelser om transport m.m. Antagelser om fremstillingen af diverse dele i både A og K blev taget på baggrund af research, oplysninger fra Altiflex og almindelig ingeniør faglig viden om fremstilling.

7.1.9 Analyse af data

Til selve analysen blev programmet openLCA benyttet. OpenLCA er skabt af GreenDelta GmbH, som er en selvstændig bæredygtigheds konsulentvirksomhed fra Berlin.

Programmet er open-source og kan således downloades og bruges af alle, uden at der først skal søges om tilladelse. Samtidigt er det frit at vælge hvilken database og hvilke livscyklus vurderingsmetode (Life Cycle Impact Assessment – "LCIA") der bruges.

Som grundlag til analysen blev databasen ELCD vers. 3.2 benyttet. Denne database er skabt af Det Fælles Forskningscenter (Joint Research Centre - "JRC") under den europæiske union, og indeholder information om, hvilke stoffer der udledes ved de forskellige processer. Processerne er ofte generiske for hele EU. Dog med undtagelser at f.eks. elektricitet og varme som kan vælges landespecifikt baseret på hvor energien produceres. Disse værdier er grundstenen for at kunne lave en grundig og præcis kvantificering af miljøpåvirkningen.

7.1.10 Analysemetode og normaliserings faktorer

Den benyttede analysemetode (impact assessment method) i openLCA er "ILCD 2011, midpoint". Til at lave normaliseringsanalysen blev de seneste faktorer fra 2014 fra Europa Kommissionen benyttet.

7.1.11 Antagelser

Grundet manglende eller ikke fyldestgørende data, samt den benyttede ELCD databases begrænsninger blev visse antagelser gjort for at kunne udføre livscyklusanalysen. Antagelserne blev grupperet efter aluminiumsdele, plastdele, brug og transport, og det fremgår herunder hvilke processer fra databasen der blev benyttet til modelleringen.

7.1.12 Antagelser

7.1.12.1 Aluminiumsdele

Til modellering af både de ekstruderede og støbte parter, blev samme proces for ekstruderet aluminium brugt. Dette skyldes at støbning af aluminium ikke fremgår i ELCD databasen, og derfor blev det antaget at udledningen for de to processer er ens.

7.1.12.2 Plastdele

EPDM lister

Det blev antaget, at fremstillingen af 1 kg EPDM kræver 0,9 MJ elektrisk energi og 3,1 MJ varme, samt 350kg PP, 50kg PB og 600kg PE-HD. Herudover kræves yderligere 511.11kWh (1,839 MJ) elektricitet samt 337.78kWh (1,216 MJ) varme til ekstrudering af tætningslisten.

Kompositprofiler

De pultruderede kompositprofiler består af 43,2% glasfiber og 56,8% PET og det blev antaget at der bruges 2,9 MJ/kg elektricitet til pultrudering og 0,015 MJ/profil til laserskæring.

Sprøjtstøbning

Det blev antaget at de sprøjtstøbte kompositmner består af 40% glasfiber og 60% PA og at der bruges 13,2 MJ/kg elektricitet til sprøjtstøbning.

Polycarbonatplade

Det blev antaget, at der bruges 0,5 MJ/kg elektricitet til ekstrudering af ruderne.

Elektricitet

Det blev besluttet at benytte en elektricitets proces repræsentabel for hele Europa, da landespecifikke processer gav en usædvanlig stor variation ift. parameteren "Resource depletion - water"

7.1.12.3 Antagelser, trælægter

Der blev benyttet 41,44% mere fyrretræ ved produktion end ved bortskaffelse. Dette skyldes, at der i fremstillingsprocessen for fyrretræ blev benyttet træ med et vandindhold på 40%, mens det træ der blev bortskaffet, har et vandindhold på 10,7%. Altså fordamper 29,3% af træets masse imellem de to procestrin.

7.1.12.4 Antagelser, brug

Det blev antaget, at et referencemodul bliver brugt 30 gange inden det bortskaffes. Dog blev det i feltarbejdet konstateret, at trælægterne ikke blev genbrugt én eneste gang. Modellen blev derfor opbygget således, at der benyttes 30 gange trælægter.

Til opsætning og nedtagning blev der antaget en gennemsnitlig afstand på samlet 100 km. Dette inkluderer distancen en lastbil kører til og fra byggepladsen ved hhv. opsætning og nedtagning.

7.1.12.5 Antagelser, transport

Det blev antaget, at alt fragt indenfor Europa foregår med lastbil med en lasteevne på 17,3 ton. For fragt i brugsfasen blev en mindre lastbil antaget med en lasteevne på 3,3 ton.

7.1.12.6 Antagelser, bortskaffelse

Den benyttede proces for 1 kg ekstruderet aluminiums profil, indeholder en genbrugsrate på 78%, hvilket anses som gennemsnittet for aluminium i Europa. Det blev dog vurderet som sandsynligt at genbruget for Altiflex profilerne er over 90%, da sorteringen ved bortskaffelsen er mere simpel end ved f.eks. aluminium i almindeligt husholdningsaffald.

7.1.12.7 Overvejelser om data

Data angående mængden af materialer blev antaget at være af høj præcision idet CAD-data blev anvendt. Omvendt blev databasen anset som mangelfuld og de mange nødvendige antagelser øger derfor usikkerheden omkring analysens visninger. Hertil skal dog nævnes, at de fleste antagelser tog udgangspunkt i videnskabelige artikler.

7.1.13 Livscyklus vurdering (LCIA)

Med udgangspunkt i modellen blev resultater herefter udregnet. Først blev de karakteriserede resultater med udgangspunkt i "ILCD 2011, midpoint" udregnet. Herefter blev resultaterne normaliseret til årlige personækvivalenter, og henholdsvis A og K kunne præsenteres separat og opdelt i forhold til de respektive processer. Endelig blev miljøpåvirkningerne for A og K beregnet og betydningen af den forbedrede varmeisolerende virkning blev afslutningsvis inkluderet i konklusionen.

7.1.13.1 Karakteriserede og normaliserede midtpunkts resultater

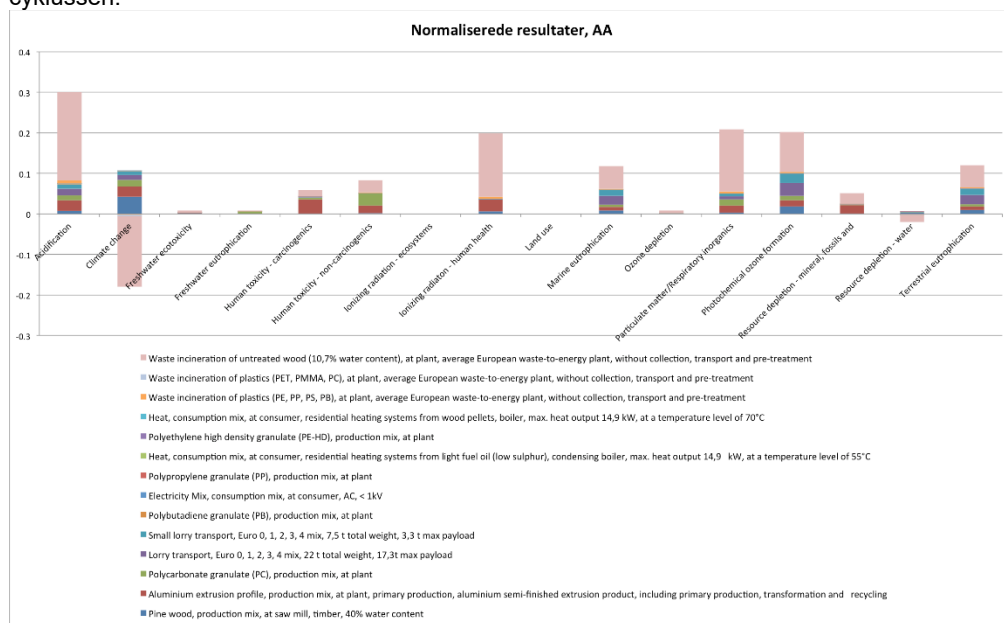
I tabellen ses de karakteriserede midtpunkts resultater for A og K.

TABEL 7. Karakteriserede midtpunktsresultater

Påvirkninger	A	K	Enhed
Acidification	14,19	16,20	Mole H+ eq.
Climate change	-667,54	-420,92	kg CO2 eq.

Freshwater ecotoxicity	77,35	137,88	CTUe
Freshwater eutrophication	0,01261	0,01922	kg P eq.
Human toxicity - carcinogenics	2,187E-06	2,227E-06	CTUh
Human toxicity - non-carcinogenics	4,407E-05	5,415E-05	CTUh
Ionizing radiation - ecosystems	0,002216	0,07601	CTUe
Ionizing radiation - human health	224,34	284,40	kg U235 eq.
Land use	0	0	kg SOC
Marine eutrophication	1,9962	2,4991	kg N eq.
Ozone depletion	0,0001853	0,0001911	kg CFC-11 eq.
Particulate matter/Respiratory inorganics	0,7916	0,9171	kg PM2.5 eq.
Photochemical ozone formation	6,4022	8,6032	kg C2H4 eq.
Resource depletion - mineral, fossils and renewables	0,005169055	0,006269	kg Sb eq.
Resource depletion - water	-1,1288	-0,9630	m3
Terrestrial eutrophication	21,1346	26,2799	Mole N eq.

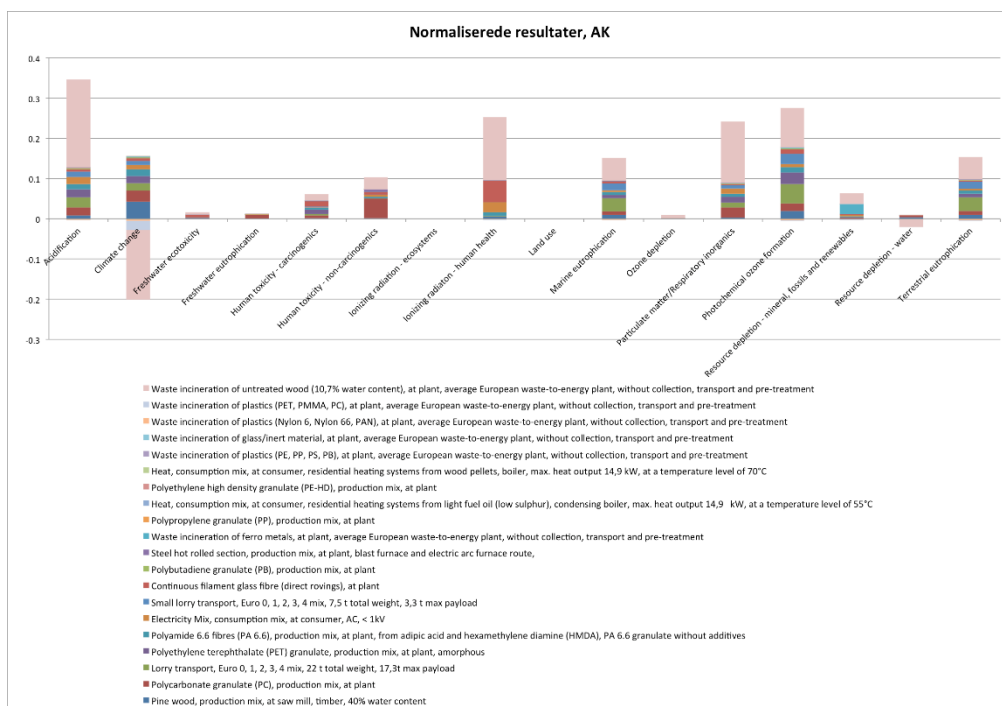
I figuren nedenfor ses miljøpåvirkningen for A opdelt i forhold til de forskellige processer i livscyklussen.



Miljøpåvirkning for A opdelt efter de forskellige processer i livscyklussen

Data viser at den klart største indvirkning af samtlige miljøpåvirkningsparametre er afbrænding af trælæggerne (lys rød). Forklaringen på dette skal findes i det faktum, at intet af træet genbruges. Det betyder at over 2 tons trælægger bruges henover referencefagets levetid. Foruden denne indvirkning, ses en stor effekt fra produktion af trælægger (mørk blå), fremstilling af ekstruderede aluminiumsprofiler (mørk rød), fremstilling af polycarbonat granulat (grøn) samt transport af referencefaget i brugsfasen (lilla).

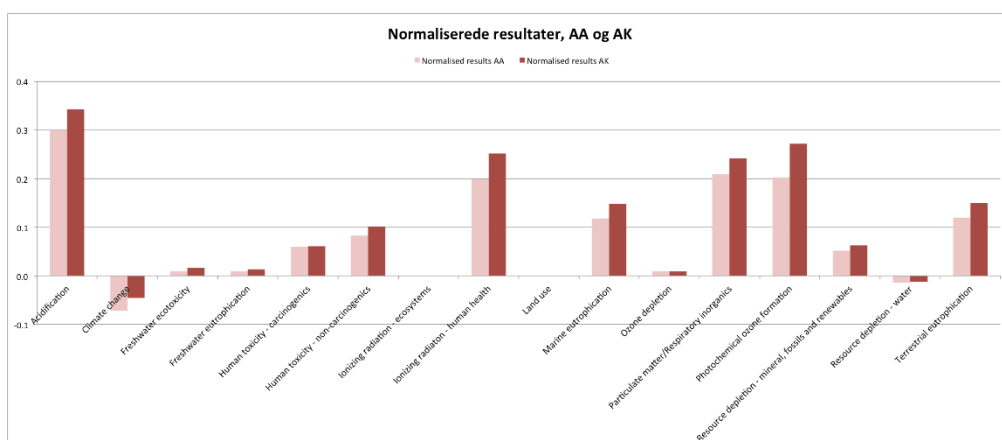
I figuren nedenfor vises tilsvarende miljøpåvirkningen for K opdelt i forhold til de forskellige processer i livscyklussen.



Miljøpåvirkning for K opdelt efter de forskellige processer i livscyklussen

Data viser ligeledes her at den klart største indvirkning over samtlige miljøpåvirkningsparametre er afbrænding af træslægterne (lys rød). Derudover ses det at produktet er mere kompliceret, da der optræder flere forskellige processer. Der ses ligeledes en stor effekt fra produktion af træslægter (mørkt blå), fremstilling af polycarbonat granulat (mørk rød) samt transport af referencefaget i brugsfasen (lys blå). Af nye processer ses en stor effekt fra transport i fremstillingsfasen (grøn), fremstilling af PET-granulat (lilla), fremstilling af PA-granulat (turkis), elektricitet i fremstillingsfasen (orange) samt fremstilling af glasfibre (rød).

I figuren nedenfor ses en sammenligning af A og K. Det fremgår tydeligt at K har en større miljøpåvirkning på samtlige parametre, dog kun i størrelsesordenen 0 - 10%. Forklaringen på dette skal findes i det mere komplicerede produkt, samt den manglende mulighed for at genanvende komposit materialet. De forskellige plastmaterialer og glasfiberen øger miljøpåvirkningen en smule over en bred kam.



Sammenligning af A og K's miljøpåvirkning

7.1.14 Reduktion af CO2 udledning ved reduktion af varmetab

Reduktionen af CO2 udledningen blev bestemt ved at undersøge reduktionen af de individuelle bidrag til varmetabet. Den estimerede reduktion ved transmission i kraft af kompositmaterialet blev bestemt til 23%, jf. Bilag 3. Ligeledes blev betydningen af at øge modulets lufttæthed undersøgt. Her blev der særligt undersøgt betydningen af utætheder imellem plade og modulramme, hvor luften strømmer imellem parallelle flader. I Bilag 5 findes et groft estimat af dette, som viser at der kan forventes en reduktion i luftgennemstrømning på 50%.

Derved kunne samtlige bidrag til reduktion af varmetabet gøres op med udgangspunkt i beregningen udført af Teknologisk Institut, jf. Bilag 1. Resultat af dette ses i TABEL 8, hvoraf det fremgår at der opnås en samlet reduktion i varmetabet på 45%.

TABEL 8. Reduktion af varmetab ved nye tiltag for et Altiflex modul på 2 m² ved et års installation i danske vejforhold.

Varmetab i perioden	Energimængde før	Reduktion	Energimængde efter
Transmission	590 kWh	23%	395 kWh
Infiltration vind	1356 kWh	50%	678 kWh
Infiltration skorstenseffekt	341 kWh	50%	170 kWh
I Alt	2287 kWh	45%	1243 kWh

Dernæst blev det bestemt, hvor meget denne reduktion svarer til i forhold til CO2 udledning. Den seneste deklaration (2017) fra Energinet viser at der ved forbrug af 1 kWh fremkommer 430 g CO2. Det blev herefter antaget, at modulet i sin levetid samlet er opsat i 10 år. Reduktionen i CO2 udledning for et modul kunne altså opgøres til $(2287 \cdot 45\% \cdot 10 \cdot 430)$ 4425 kg CO2. Skaleres dette resultat med forholdet imellem modulets areal (2m²) og referencefagets areal (13.97m²) fås en **CO2 reduktion opgjort for referencefaget på 30.908 kg CO2**. Tilsvarende fås en CO2 reduktion pr. kvadratmeter aflukning på 2.212 kg CO2.

Dette er en markant CO2 reduktion, der langt overstiger betydningen af øvrige produktlivsfaser, jf. TABEL 7. Det kunne således konkluderes at produktet i brugsfasen har enormt potentiale for at gøre en stor forskel i forhold til energiforbrug og CO2 udledning.

7.1.15 Analyse og konklusion

Det store forbrug af fyrretræ til lægter igennem hver livscyklus, har en stor indflydelse på sammenligningen. Da forbruget er identisk i begge livscykluser, kunne det fra en komparativ synsvinkel udelades, men grundet den store mængde blev det vurderet relevant. Da der ved produktion af træ optages CO2 i hver træstamme, som efterfølgende frigives ved forbrænding, har det både stor positiv og negativ indflydelse på miljøpåvirkningsparametrene. I forhold til parameteren "Climate change" resulterer det i en samlet positiv påvirkning. Det er vigtigt at forholde sig kritisk overfor dette, da der bør stilles spørgsmålstejn ved hvorvidt øget forbrug af træ, egentligt har en samlet positiv indvirkning på miljøet. Årsagen til at det anses som værende positivt skyldes, at man ved forbrænding af træ antager, at den producerede varmeenergi erstatter varmeproduktion ved f.eks. kul- og olieafbrænding. Og idet forbrænding af kul og olie er et dårligere alternativ i forhold til denne parameter, giver det altså et netto positivt bidrag, som kun bliver bedre jo mere træ der afbrændes. Det positive bidrag ses i TABEL 7, ved minusfortegnet (negativt CO2 bidrag) for resultater under påvirkningen "Climate change".

Der opnås med systemet en samlet reduktion af varmetabet på 45%

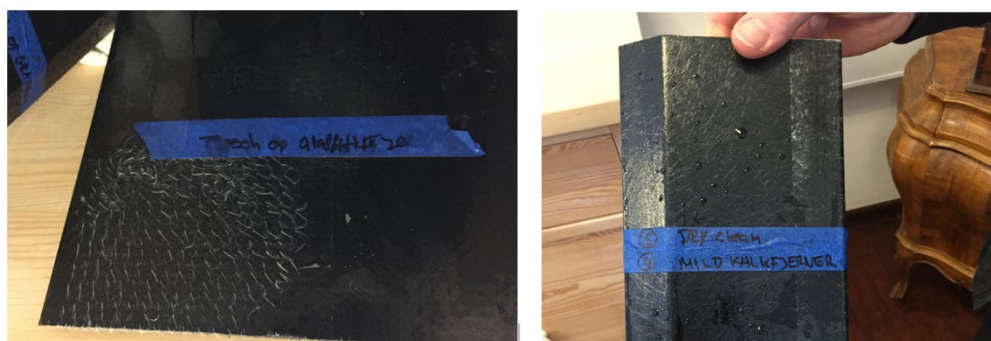
Der opnås en CO2 reduktion over systemets levetid på 2212 kg pr. opsat kvadratmeter.

Gennemgående kunne det ved sammenligning af K og A ses, at K generelt set har en smule større miljøpåvirkning. Der er dog tale om en ret begrænset forskel på under 10% for hver enkelt parameter. Samtidig viste analysen at potentialet i brugsfasen for alternativ K er enormt stort. Reduktionen af CO₂ udledningen alene i brugsfasen for én enkelt kvadratmeter kunne således opgøres til 2212 kg CO₂.

8. Funktionsmodeller - Test og analyse

8.1 Materialetest

Der blev igennem projektet udført en lang række test, som var afgørende for at verificere hvorvidt komposit kunne anvendes som erstatning for aluminium. Dette gjaldt blandt andet for test der undersøgte komposits modstandsdygtighed overfor diverse rengøringsmidler, samt kemikalier som produktet kunne komme i kontakt med i brugsfasen på byggepladser og andre steder. Hertil kom en vigtig test, nemlig rengøringstest med højtryksspuling. Det viste sig særligt svært at finde egnede kompositmaterialer som kunne modstå rensning ved højtryksspuling, hvilket udgjorde et stort problem idet denne måde at rense på er gængs standard indenfor byggebranchen. Nedenfor ses et par eksempler på, hvorledes testplader så ud efter højtryksrensning. Det ses hvorledes fibre i materialet stikker ud, hvorved materialets egenskaber ødelægges. Der blev arbejdet meget omkring dette med forskellige underleverandører indtil den rette kombination af fibre og materialekomponenter gav et tilfredsstillende resultat.



Til venstre: Test af højtryksrensning af kompositmateriale. Bemærk hvordan fibre i materialet bliver blottagt. Til højre: Test af anvendelse af rengøringsmidler.

8.2 Analyse af vindlast og belastningstest

Ofte opstår der i udviklingsprojekter uventede problemstillinger som ender med at kræve langt mere arbejde end forudset fra start. I dette projekt var vindpåvirkning en sådan problemstilling. Udfordringen var, at aflukningen på trods af dens midlertidige karakter, skulle opfylde samme krav til vindlast som en permanent facade. Dette krav knyttede sig dels til at aflukningen opsættes på eller nær ved en bygnings facade og derved falder ind under skrappe bygningsstandarder, dels at der selvsagt er skrappe krav til materiel der monteres i højden, hvor der således kan være risiko for alvorlig personskaade, hvis dele river sig løs og falder ned.

Baggrunden for dette er, at der i den gældende standard EN 1991-1-6 DK NA:2007 annekst til Eurocode 1: Last på bygværker - Del 1-6: Generelle laster - Last på konstruktioner under udførelse, under punkt 3.1(1)P står:

- Hvis sammenstyrtning under storm indebærer risiko for tab af menneskeliv eller meget store økonomiske, sociale eller miljømæssige konsekvenser projekteres for vedvarende og midlertidige dimensioneringstilstand.

Det betyder i praksis, at når man opsætter en afskærmning, f.eks. i form af en midlertidig støjvæg eller isolerende afskærmning ind til et byggeri, og hvis der ved sammenstyrtning under storm er risiko for tab af menneskeliv, så skal den midlertidige afskærmning dimensioneres ligeså stærk som en permanent facade.

Da modulet kan udvide sig således at åbninger på forskellige størrelser kan aflukkes, indebærer dette, at ruden som sidder i modulet er et "løst" element, som kan blæse ud ved storm. Såfremt modulet er monteret i en bygning på 20 m og ruden blæser ud, vil dette indebære risiko for tab af menneskeliv. Denne udfordring rejste derfor spørgsmål om, (1) hvor meget der skal til for at ruden blæser ud? Og (2) hvor kraftige vindtryk der kan forventes de steder hvor systemet tænkes anvendt?

Det første spørgsmål krævede igen en test, der kunne give svar på, hvor meget der skulle til for at ruden bliver blæst ud. Til dette formål blev der bygget en model af et komposit modul, hvis opbygning skulle ligne de endelige moduler mest muligt.

Modulprofiler blev opbygget af kompositplader med en aluminiumsstang på 20x12 mm imellem, og en aluminiums stang på 20x6 mm på top. Profilerne blev samlet med skrue og møtrik for hver 100 mm. Der er 32 mm overlap imellem polycarbonatplade og kompositflanger. De lange modulprofiler er 1980mm, og de korte er 980 mm.

Herefter blev modellen lagt på to gipsbukke og der blev lagt sandsække på for at simulere vindtryk. Der blev lagt sandsække på indtil ruden blev trukket ud af modulet som det ses på billedet nedenfor.



Ruden trukket ud af modulet liggende på gulvet, med sandsække ovenpå

Ruden blev trukket ud ved i alt 399 kg fordelt over et areal på ca 2,9 m², dvs 137 kg/m². Efter denne test var spørgsmålet så hvor kraftige vindtryk der kan forventes de steder hvor systemet tænkes anvendt. Dette findes der en anvisning af i standarden DS/EN 1991-1-4 DK NA:2015. Og her blev der taget udgangspunkt i en relativ høj bygning for at sætte baren højt, nemlig Bella Sky som er 75 m høj. Svaret på beregningen blev, at vindtrykket kan komme op på 170 kg/m², hvortil der skal ligges partialkoefficienter på materialer og last. Samlet set betyder det, at den beregnede vindlast klart overstiger den last som modulet kan modstå fuldt udslået. Dette udgjorde et meget alvorligt problem og der skulle udtænkes et løsningsspor og en strategi for at komme videre.

I projektet blev flere rådgivende ingeniørfirmaer rådspurg omkring denne problemstilling uden at det direkte førte til konkrete løsningsstrategier på udfordringen. Dog førte det til at dialogen med det rådgivende ingeniørfirma og ekspert indenfor vind Svend Ole Hansen ApS blev etableret. I dialogen med dette firma lykkedes det at definere nogle passende generiske rammer for, hvornår aflukningen kan anvendes med en forhåndsviden om at systemet opfylder krav til vindlast. Dernæst bestilte projektet en beregningsrapport der beskriver disse forhold præcist samt hvilke forudsætninger der skal være opfyldt for at kravene til vindlast kan antages at være opfyldt.

Denne beregningsrapport, som findes i Bilag 6, kunne herefter bruges direkte i design og konstruktionsarbejdet, således at modulet kom til at opfylde de krav som blev stillet. Et særligt mål i den sammenhæng var at designe modulet således at ingen løsdele kunne rive sig løs, uanset at modulet som helhed blev ødelagt som følge af vindtryk. Det lykkedes derved at eliminere eller minimere risikoen for alvorlig personskade som følge af at dele falder ned, hvorved en reduktion i kravene til vindlast kunne anvendes. Dette var et afgørende gennembrud, fordi uden denne reduktionsfaktor, skulle det midlertidige modul som beskrevet opfylde samme krav som permanente facader, hvilket selvsagt ville gøre dem meget lidt fleksible i opsætning og håndtering.

8.3 Beregninger og belastningstest

Ud over at fungere som test i forhold til vind, blev prototypen brugt til at evaluere diverse beregningsmodeller. Dette var særdeles vigtigt fordi komposit ofte er vanskeligt at regne på. I projektet viste det sig således også at en beregningsmodel fra et rådgivende ingeniørfirma gav meget forkerte resultater. Dette betød konkret at projektet blev væsentligt forsinket fordi der gik lang tid med at diskutere med firmaet hvorvidt beregningsmodellen var korrekt eller ej. I denne sammenhæng var de fysiske prototyper særdeles vigtige idet de faktisk beviste problemerne ved beregningsmodellen. Efterfølgende tog samarbejdet med det pågældende firma en anden en mere begrænset form. En væsentlig konklusion for projektet var i den sammenhæng ikke alene at forlade sig på teoretiske beregningsmodeller.

8.4 Test af lydisolerende effekt

Endeligt skulle den lydisolerende virkning evalueres. Projektet ønskede at gøre dette på en endelig prototype fordi det derved var muligt at lave en præcis analyse. Af samme grund blev projektets afslutning trukket i langdrag, fordi det viste sig vanskeligt at frembringe en endelig prototype. Dette skyldtes at fremstillingen af komposit ved sprøjtetøbning og pultrudering ikke let lader sig gøre. Der skulle således fremstilles færdige produktionsmodnede værktøjer, før end det kunne lade sig gøre. Dette lå i udgangspunktet uden for projektets rammer, men det var intentionen at tage dette skridt som en særskilt del uden for projektet i kraft af det kommercielle potentiale som løsningen havde. Udfordringen heri, bestod primært i at der inden igangsættelse af produktionsværktøjer, skulle etableres omfattende aftalegrundlag som inkluderede en lang række forhold lige fra priser til lagerstørrelser og produktgaranti. Det viste sig at dette var for omfattende til at det kunne nås indenfor projektperioden og det blev således besluttet

at gennemføre den afsluttende lydisolerende test på en midlertidig prototype. Dette betød naturligt at der på forhånd var en begrænset forventning til de resultater som kom ud. Til gengæld kunne testen også ses som en fin mulighed for at evaluere på hvor langt projektet var kommet, samt hvilket potentiale for yderligere forbedringer der lå i en endelig prototype. Der blev således bygget et test setup, hvor det eksisterende modul og prototypen kunne afprøves. Testen blev udført af 103 Rådgivende Ingeniørselskab og rapporten ses i Bilag 7. Resultatet af testen var, at den foreløbige prototype i hovedtræk støjdamper ligeså godt som den eksisterende løsning. Dog ses en tendens til at den foreløbige prototype støjdamper en smule bedre ved lave frekvenser. Det kunne naturligvis have været ønskeligt med en mere overbevisende forbedring i forhold til den eksisterende løsning. Men resultatet kan også tolkes derhen, at såfremt en foreløbig, og dermed ikke præcis prototype, trods alt støjdamper lige så godt som den eksisterende, kunne det give forhåbning om, at en endelig, og dermed mere præcis prototype, vil give bedre resultater. Særligt skal det bemærkes at små utætheder (huller), har meget stor indflydelse i negativ retning for støjdæmpningen. Netop dette er der arbejdet meget med i udviklingen, men i den foreløbige prototype er disse ændringer ikke fuldt ud implementeret, ligesom materialevalget i visse dele af løsningen ikke har været de korrekte i forhold til det endelige design.

8.5 Evaluering på mål og succeskriterier

Med afsæt i formålet har projektet arbejdet ud fra en række mål og succeskriterier som ses i TABEL 1. Miljøpåvirkningen er blevet vurderet kvantitativt i form af en konkret målsat reduktion af den samlede CO2 udledning. Projektmålene har samtidig fungeret som overordnede krav i projektets grundspecifikation, der blev udarbejdet i den tidlige fase. I tabellen nedenfor er mål og evaluering anført direkte. Det fremgår heraf at 4 ud af de 6 projektmål blev opfyldt i projektet.

TABEL 9. Evaluering på mål og succeskriterier

Projektets mål	Succeskriterier	Evaluering
Støj reduktion på 15 dB ift. nuværende system	Delta har som GTS-institut stor ekspertise indenfor akustik og gennemfører i projektet før og efter målinger, hvorved systemets støjreduktion kan verificeres.	Dette blev testet på en foreløbig prototype som viste samme reduktion som eksisterende modul. Det kan derfor konkluderes at det ikke lykkedes at verificere reduktionen i projektet. Dog er det fortsat formodningen at den endelige prototype vil have en klar reduktion i lyddæmpningen.
Udvikle og konstruere tekniske løsninger, således systemet eller dele heraf lader sig fremstille i kompositmateriale	Verificeres ved prototype.	Dette blev verificeret ved diverse prototyper, SLS modeller, samt dialogen med underleverandør. Der var således ikke nogen tekniske barrierer for at fremstille systemet i komposit ved projektets afslutning. Det kan derfor konkluderes at målet blev nået.
Forbedre U-værdi med 50% ift. nuværende system	U-værdien bestemmes ved standardiseret laboratorietest ved ekstern konsulent og projekts mål kan således verificeres.	Den estimerede reduktion af u-værdien blev 23%. Projektmålet blev derfor ikke til fulde nået, men det lykkedes dog at frembringe en substantiel reduktion.
Reducere systemets samlede CO2 udledning ud fra en livscyklusbetragtning med 25%	Der gennemføres livscyklusanalyse på det eksisterende system, hvor alle væsentlige effekter medtages. Denne analyse danne baggrund for sammenligning imellem det gamle og nye system, således CO2 påvirkningen kan udledes.	Dette mål lykkedes til fulde. Reduktionen af CO2 udledningen i brugsfasen for referencemodulet opgøres til knap 31 ton, mens påvirkningen ud fra livscyklusanalysen i øvrigt ligger under 1 ton.
Realisere et system der kan anvendes som støjhus til indkapsling af støjkilde, dvs. en støjdæmpende konstruktion med lodrette og vandrette flader.	Verificeres ved prototype.	Dette mål anses som verificeret i kraft af den markante simplificering der gør det muligt for en mand at opsætte væggen uden værktøj samt den tidsmæssige reduktion i arbejdet på 41%.
Realisere et system der kan dæmpe lyden tæt på øret, dvs. en konstruktion som opbygges lokalt eks. i private hjem, således beboere generes minimalt af byggestøj.	Verificeres ved prototype.	Dette mål anses som verificeret i kraft af den markante simplificering der gør det muligt for en mand at opsætte væggen uden værktøj samt den tidsmæssige reduktion i arbejdet på 41%.

Bilag 1. Beregning af varmetab (DTI-rapport)



Vurdering af varmetab for Altiflex modul 1,0m x 2,0m Case1

Udført for:

Altiflex Aps
Nordholmen 10
2650 Hvidovre

Udført af civilingeniør Bent Lund Nielsen

Århus, den 25. august 2014

Sag nr.: 2002776 Altiflex,vent

*Resultatet af undersøgelsen må kun gengives i sin helhed.
I uddrag kun efter Teknologisk Instituts godkendelse.*

Byggeri



I henhold til aftale har Teknologisk Institut, Byggeri vurderet varmetabet for et Altiflex std. modul 1,0 m x 2,0 m (se bilag 1) med baggrund i den europæiske præstandard prCEN/ TR 16676 som er rettet mod industriporte, men som vurderes at være velegnet også for denne type interimslukning.

Indledning

Varmetabet gennem en komponent i en ydervæg afhænger dels af komponentens U-værdi (se [1] TI rapport ” P2002726 Altiflex U-værdi” af 25/06/2014 ---hot box måling på 1,0m x 2,0m Altiflex modul) og dels af ventilationstabet gennem evt utætheder i komponenten eller dennes indbygning i klimaskærmen (se [2] TI rapport ” P2002726 Altiflex Lufttæthed” af 29/7 2014. (Hvis der er tale om en oplukkelig komponent(fx et Altiflex dørm modul) er det også nødvendigt at medtage varmetabet i den periode hvor komponenten af den ene eller anden årsag står åben.)

Grundlag

Vurderingerne er udført vha beregninger iht prCEN/ TR 16676 ” Energy losses by industrial door” .Værdierne for Altiflex modulet findes fra ovennævnte rapporter [1] og [2].

Beregninger

Der betragtes en case 1 med flg data:

Komponent Altiflex interimsafdækning 1m x 2m i vestvendt åbning.

Byggeperiode 1 år

Klimadata (Danmark) se tabel herunder

04_Ve\data (DIRY)

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Ok	Nov	Dec	Snit
Middeltemp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1-12
Dominerende vindriW	SE	SE	E	ESE	SSW	SW	WNW	W	WSW	SW	SW	WSW	7,7 °C
Middelvind [m/s]	5,00	4,400	4,8	4,5	4,1	3,8	3,9	3,5	4,4	4,5	4,5	4,9	4,4 m/s
Middeltemp. Fyringssæson													3,0 °C
Middelvind fyringssæson													4,625 m/s

Måned	Wind direction (°E of N)	N	0	0	0
Jan	267,9	NNE	22,5	0	0
Feb	132,8	NE	45	0	0
Mar	101,0	ENE	67,5	0	0
Apr	107,7	E	90	1	8
May	208,0	ESE	112,5	1	8
Jun	252,8	SE	135	1	8
Jul	286,4	SSE	157,5	0	0
Aug	259,5	S	180	0	0
Sep	248,7	SSW	202,5	1	8 0,3820 0,0318
Oct	233,3	SW	225	3	25 0,7070 0,1768
Nov	228,5	WSW	247,5	2	17 0,9780 0,1627
Dec	240,7	W	270	2	17 1,0000 0,1667
		WNW	292,5	1	8 0,9780 0,0833
		NW	315	0	0 0,7070 0,0000
		NNW	337,5	0	0 0,3820 0,0000
			12	100	0,6198 Cw

Bygningsdata – case 1

Volumen 8000 m³

Højde 10 m

Indetemp. 20°C

Øvrige forudsætninger og konstanter

Antal dage i periode med delta T 212 dage

Antal timer med delta T 24 timer/døgn

Korrektionsfaktor for vind ift. orientering 0,62 (se side 3)

2002776 Altiflex, vent

Der betragtes flg varmetab gennem komponenten:

- A: varmetransmission
- B: infiltration pga vind
- C: infiltration pga skorstenseffekt

Ad A: varmetransmission

Varmetransmissionstab E_t i det betragtede tidsrum beregnes af formlen :

$$E_t = h * Ch * H_t / 1000$$

Hvor

- h er antal timer pr dag med den givne temperaturforskel
- Ch er antallet af dage med opvarmningsbehov
- H_t er $A * U * (T_i - T_u)$, A arealet, U U -værdi, T_i indetemp., T_u er gns. udetemp. i perioden

$$H_t = 2 * 3,4 * (20 - 3) = 116 \text{ W, } U\text{-værdi fra [1]}$$

$$E_t = 24 * 212 * 116 = 590 \text{ kWh}$$

Ad B: infiltration pga vind

Varmetabet E_v i det betragtede tidsrum beregnes af formlen :

$$E_v = h * Ch * C_w * H_v / 1000$$

Hvor

- h er antal timer pr dag med den givne temperaturforskel
- Ch er antallet af dage med opvarmningsbehov
- C_w er en korrektionsfaktor pga orientering i forhold til vindretning
- H_v er $C_p * \rho * Q_v * (T_i - T_u)$, C_p er 1007 J/kg K , ρ er $1,293 \text{ kg/m}^3$, Q_v er infiltrationen fra vind i m^3/s

Gns vindhastighed i perioden 4,6 m/s betyder en trykforskel på

$$P = 0,5 * 1,293 * 4,6^2 = 13,7 \text{ N/m}^2$$

Vha. [2] findes luftgennemstrømningen til $35 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ og

$$Q_v = 35 * 1 * 2 / 3600$$

$$H_v = 1007 * 1,293 * 35 * 1 * 2 / 3600 * (20 - 3) = 430 \text{ W}$$

$$E_v = 24 * 212 * 0,62 * 430 / 1000 = 1356 \text{ kWh}$$

Ad C: infiltration pga skorstenseffekt

Varmetabet E_v i det betragtede tidsrum beregnes af formlen :

$$E_v = h * Ch * H_v / 1000$$

Hvor

h er antal timer pr dag med den givne temperaturforskel

Ch er antallet af dage med opvarmningsbehov

H_v er $C_p * \rho * Q_v * (T_i - T_u)$, C_p er 1007 J/kg K , ρ er $1,293 \text{ kg/m}^3$, Q_v er infiltration fra vind i m^3/s

Undertryk indv. pga opdrift

$$P = 9,81 * (h_{\text{komp}}/2 - h_{\text{byg}}/2) * 1,293 * (T_i - T_u) / (T_u + 273)$$

$$P = 9,81 * (1 - 5) * 1,293 * (20 - 3) / (3 + 273) = 3,1 \text{ N/m}^2$$

Vha. [2] findes luftgennemstrømningen til $8,8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ og

$$Q_{vs} = 8,8 * 1 * 2 / 3600$$

$$H_v = 1007 * 1,293 * 8,8 * 1 * 2 / 3600 * (20 - 3) = 108 \text{ W}$$

$$E_v = 24 * 212 * 0,62 * 108 / 1000 = 341 \text{ kWh}$$

Sammenfatning

Under forudsætning af at Altiflex moduler monteres uden tape langs kanter findes følgende værdier for varmetabet i den betragtede periode (case 1) :

Varmetab i perioden		Altiflex 1m x 2 m
transmission	Et	590 kWh
Infiltration vind	Ev	1356 kWh
Infiltration skorstenseff.	Evs	341 kWh
ialt		2287 kWh

Med venlig hilsen
Teknologisk Institut, Byggeri, Århus



Bent Lund Nielsen
Civilingeniør

Direkte tlf.: 7220 1147
E-mail: btl@teknologisk.dk

Bilag 2. Test af u-værdi (DTI rapport)



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Altiflex ApS
Nordholmen 10-12
2650 Hvidovre

Projekt nr. P2002776
Side 1 af 3
Bilag 3
Initialer MOJ/LTN

Teknologiparken
Kongsvang Allé 29
8000 Aarhus C
72 20 20 00
info@teknologisk.dk
www.teknologisk.dk

Prøvningsrapport

Prøveemne: Interimslukning, yderligere detaljer kan findes på side 2.

Udtagning: Prøveemnet blev modtaget på Teknologisk Institut, Aarhus den 2013-09-10.

Metode: EN ISO 8990:1997 Thermal insulation – Determination of steady-state thermal transmission properties – Calibrated and guarded hot box.
EN ISO 12567-1:2010 + Thermal performance of windows and doors – Determination of thermal transmittance by hot box method – Part 1: Complete windows and doors.
EN ISO 12567-1:2011/AC:
Afvigelse: Da prøveemnet ikke er lufttæt, vil prøvningsresultatet være påvirket af gennemstrømmende luft.

Periode: Prøvningen blev gennemført fra 2014-05-13 til 2014-05-14.

Resultater: U-værdi: **3,4 W/m²·K**
Usikkerhed: $\pm 5\%$ – $\pm 0,17$ W/m²·K
Detaljerede prøvningsresultater fremgår af bilag 1 og 2.

Vilkår: Prøvningen gælder kun for det prøvede materiale. Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag, hvis laboratoriet har godkendt uddraget.

2014-06-25, Teknologisk Institut, Bæredygtigt Byggeri, Aarhus

Morten Johansen
Civilingeniør

Telefon: 7220 1142
E-mail: moj@teknologisk.dk

Lars Thomsen Nielsen
Civilingeniør

Telefon: 7220 1116
E-mail: ltn@teknologisk.dk

P2002776 - Altiflex - U-værdi

Beskrivelse af prøveemne

Prøveemnet består af en interimslukning med en karm i aluminium, hvori der er monteret en kanalplade med 1 kammer i plast, se tegning i bilag 3. Prøveemnets bredde og højde kan justeres, og ved målingen blev det indstillet til dimensionerne, der fremgår af nedenstående skema.

Bredde [mm]	Højde [mm]	Tykkelse [mm]	Areal [m ²]
1010	2025	50	2,05

Indbygning af prøveemne

Nedenstående billeder viser prøveopstillingen ved bestemmelsen af prøveemnets U-værdi, der er målt i laboratoriets hot box. Da prøvefeltet er større end prøveemnet, er den øvrige del af prøvefeltet fyldt ud med randisolering bestående af EPS med en tykkelse på 150 mm og en deklareret varmeledningsevne på 0,038 W/(m·K). Fugerne mellem prøveemnet og randisoleringen, mellem randisoleringen og prøvefeltet samt i randisoleringen er afdækket med tape.



Prøveemne set fra den varme side

Prøveemne set fra den kolde side

Resultater

U-værdien af den samlede konstruktion bestående af prøveemne og randisolering er bestemt iht. EN ISO 8990 og EN ISO 12567-1, og resultatet er at $U_{total} = 1,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, se bilag 1.

Den ovenstående U-værdi er gældende for den samlede konstruktion – beregningen af U-værdien for prøveemnet er angivet i bilag 2, og resultatet heraf er at $U_{spec} = 3,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Der gøres dog opmærksom på, at denne beregning ligger uden for anvendelsesområdet for EN ISO 8990 og EN ISO 12567-1.

2014-06-25

P2002776

Bilag 1 – Beregningsresultater – Samlet konstruktion

**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Measurement

Begin of measurement

2014-05-13 12:51

End of measurement

2014-05-15 11:36

Specimen

Projection area of specimen

4,579 m²

Calibration data

Thermal resistance of surround panel

R_{sur} $-0,2593 \cdot \theta_{me,sur} + 10,6950 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Total surface thermal resistance

R_{st} $0,2583 \cdot q_{sp} \exp(-0,21635) \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Convective fraction, warm side

F_{cl} $0,030502 \cdot q_{sp} + 0,2480$

Convective fraction, cold side

F_{co} $0,0056842 \cdot q_{sp} + 0,7494$

Results

Air temperature, warm side

θ_{ai} 19,45 °C

Air temperature, cold side

θ_{ao} 0,39 °C

Baffle temperature, warm side

$\theta_{al,b}$ 18,62 °C

Baffle temperature, cold side

$\theta_{ao,b}$ 0,76 °C

Surround panel temperature, warm side

$\theta_{si,sur}$ 19,89 °C

Surround panel temperature, cold side

$\theta_{so,sur}$ 0,49 °C

Reveal temperature, warm side

$\theta_{si,p}$ 19,07 °C

Reveal temperature, cold side

$\theta_{so,p}$ 0,70 °C

Air flow, warm side

V_i 0,05 m/s

Air flow, cold side

V_o 2,11 m/s

Input power

θ_{in} 160,5 W

Air temperature difference

$\Delta\theta_c$ 19,06 K

Surround panel temperature difference

$\Delta\theta_{s,sur}$ 19,40 K

Mean temperature of surround panel

$\theta_{mo,sur}$ 10,19 °C

Thermal resistance of surround panel

R_{sur} 8,053 m²·K/W

Thermal conductivity of surround panel

λ_{sur} 0,073 W/(m·K)

Linear thermal transmittance of the edge zone

ψ_{edge} 0,002 W/(m·K)

Heat flow through surround panel

θ_{sur} 4,025 W

Heat flow through edge zone

θ_{edge} 0,353 W

Heat flow density of specimen

q_{sp} 34,09 W/m²

Convective fraction, warm side

F_{cl} 1,288

Convective fraction, cold side

F_{co} 0,943

Total surface thermal resistance

$R_{s,t}$ 0,120 m²·K/W

Environmental temperature, warm side

$\theta_{n,i}$ 19,66 °C

Environmental temperature, cold side

$\theta_{n,o}$ 0,41 °C

Environmental temperature difference

$\Delta\theta_n$ 19,25 K

Overall thermal transmittance

U_m 1,771 W/(m²·K)

Total surface resistance

$R_{(s,t),st}$ 0,17 m²·K/W

Standardized thermal transmittance

U_{st} 1,628 W/(m²·K)

P2002776 - Altiflex - U-værdi

For at bestemme U-værdien af prøveemnet skal varmetabet gennem randisoleringen og den samlede konstruktion først beregnes. Randisoleringen har en deklareret varmeledningsevne på 0,038 W/(m·K), hvilket erfaringsmæssigt betyder, at man kan regne med en varmeledningsevne på 0,035 W/(m·K).

U-værdien af randisoleringen er beregnet:

$$U_{ins} = \frac{1}{R_i + R_e + \frac{s}{\lambda}} = \frac{1}{0,13 + 0,04 + \frac{0,150}{0,035}} = 0,2244 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

hvor

- R_i er den indvendige overgangsisolans
- R_e er den udvendige overgangsisolans
- s er tykkelsen af randisoleringen
- λ er varmeledningsevnen af randisoleringen

Varmetabet gennem randisoleringen er derefter beregnet:

$$\Phi_{ins} = U_{ins} \cdot A_{ins} \cdot \Delta T = 0,2244 \cdot 2,534 \cdot 19,06 = 10,84 \text{ W}$$

hvor

- A_{ins} er arealet af randisoleringen
- ΔT er lufttemperaturforskellen mellem den indvendige og den udvendige side

På tilsvarende måde er varmetabet gennem den samlede konstruktion beregnet:

$$\Phi_{total} = U_{total} \cdot A_{total} \cdot \Delta T = 1,628 \cdot 4,579 \cdot 19,06 = 142,1 \text{ W}$$

hvor

- U_{total} er U-værdien af den samlede konstruktion, fundet i bilag 1
- A_{total} er arealet af den samlede konstruktion

Linjetabet langs kanten af prøveemnet og randisoleringen er i Therm 7.2.5.0 beregnet til at være $\psi_{edge} = -0,0139 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, hvorved varmetabet langs kanten bliver $\Phi_{edge} = -1,605 \text{ W}$.

Varmetabet gennem prøveemnet kan derefter beregnes:

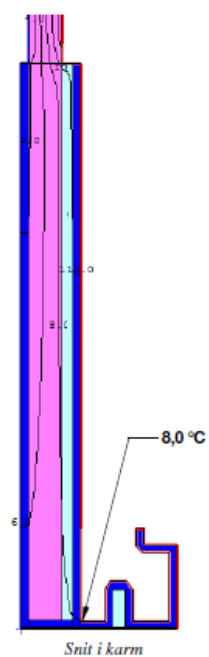
$$\Phi_{spc} = \Phi_{total} - \Phi_{ins} - \Phi_{edge} = 142,1 - 10,84 + 1,605 = 132,8 \text{ W}$$

U-værdien af prøveemnet kan endelig beregnes:

$$U_{spc} = \frac{\Phi_{spc}}{A_{spc} \cdot \Delta T} = \frac{132,8}{2,045 \cdot 19,06} = 3,408 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

hvor

- A_{spc} er arealet af prøveemnet



Teknologisk Instituts almindelige vilkår for rekvirerede opgaver gælder i deres fulde udstrækning for den ved Teknologisk Institut udførte tekniske prøvning og kalibrering samt for udfærdigelsen af prøvningsrapporter hhv. kalibreringscertifikater i forbindelse hermed.

P2002776 - Attiflex - U-værdi

Bilag 3. Estimat af u-værdi

```
> restart :
All calculations are carried out with the following assumptions:
- No heat transfer by radiation
- No thermal resistance in convection between air and substrate surface. (Pure conduction)
- No flow of air through the panel
- All air is still and properties are determined based on constant temperature of around 20 deg. Celsius
and atmospheric pressure.
```

▼ Just plate

```
[Area of pure plate:
>  $A_p := 1660\text{mm} \cdot 660\text{mm} :$ 
Overall heat transfer coefficient of the entire plate:
>  $U_p := 2.5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} :$ 
Thermal conductivity of the plate:
>  $\lambda_p := U_p \cdot 10\text{mm} :$ 
```

▼ Composite+air+plate+air+composite

```
[Area of composite+air+plate+air+composite:
>  $A_{capac} := 1960\text{mm} \cdot 960\text{mm} - A_p :$ 
Thermal conductivity of the glass fiber composite material, from Cambridge Engineering Selector:
"Polyester/E-glass fiber, pultruded profile, UD fiber & CSM".
>  $\lambda_c := 0.58 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} :$ 
Thermal conductivity of steady non-ventilated air, from "Foundations of Heat Transfer, sixth edition,
Frank P. Incropera a.o."
>  $\lambda_a := 23.3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} :$ 
>
Total thermal resistance of composite+air+plate+air+composite:
>  $R_{capac} := \frac{3\text{mm}}{\lambda_c} + \frac{0.5\text{mm}}{\lambda_a} + \frac{10\text{mm}}{\lambda_p} + \frac{0.5\text{mm}}{\lambda_a} + \frac{3\text{mm}}{\lambda_c} :$ 
Overall heat transfer coefficient of composite+air+plate+air+composite:
>  $U_{capac} := \text{convert}\left(\text{simplify}\left(\frac{1}{R_{capac}}\right), \text{units}, \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}\right);$ 

$$U_{capac} := 2.206223267 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (2.1)$$

```

▼ Composite+air+composite

Area of composite+air:

$$> A_{cac} := 1994\text{mm} \cdot 994\text{mm} - A_{capac} - A_p ;$$

Total thermal resistance of composite+air+composite:

$$> R_{cac} := \frac{3\text{mm}}{\lambda_c} + \frac{11\text{mm}}{\lambda_a} + \frac{3\text{mm}}{\lambda_c} ;$$

Overall heat transfer coefficient of composite+air+plate+air+composite:

$$> U_{cac} := \text{convert}\left(\text{simplify}\left(\frac{1}{R_{cac}}\right), \text{units}, \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}\right);$$

$$U_{cac} := 2.072762968 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \quad (3.1)$$

Just composite

Area of pure composite:

$$> A_c := 2000\text{mm} \cdot 1000\text{mm} - A_{cac} - A_{capac} - A_p ;$$

Total thermal resistance of composite:

$$> R_c := \frac{17\text{mm}}{\lambda_c} ;$$

Overall heat transfer coefficient of composite:

$$> U_c := \text{convert}\left(\text{simplify}\left(\frac{1}{R_c}\right), \text{units}, \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}\right);$$

$$U_c := 34.11764706 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \quad (4.1)$$

The overall heat transfer coefficient of the entire plate panel, is then determined as an equivalent case with all the sections of different thermal conductance "smushed" out:

$$> U := \text{convert}\left(\text{simplify}\left(\frac{U_p \cdot A_p + U_{capac} \cdot A_{capac} + U_{cac} \cdot A_{cac} + U_c \cdot A_c}{2000\text{mm} \cdot 1000\text{mm}}\right), \text{units}, \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}\right);$$

$$U := 2.647080461 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \quad (1)$$

Bilag 4. Prøvningsrapport lufttæthed (DTI rapport)



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Altiflex ApS
Nordholmen 10-12
2650 Hvidovre

Projekt nr. P2002776
Side 1 af 3
Bilag 1
Initialer MJLD/LTN

Teknologiparken
Kongsvang Allé 29
8000 Aarhus C
72 20 20 00
info@teknologisk.dk
www.teknologisk.dk

Prøvningsrapport

Prøveemne: Interimslukning, yderligere detaljer kan findes på side 2.

Udtagning: Prøveemnet blev modtaget på Teknologisk Institut,
Aarhus den 2013-09-10.

Metode: EN 1026:2000 Windows and doors - Air permeability -
Test method.

Afvigelse: Da prøveemnet har afrundede hjørner, er
disse tætnet op mod den firkantede
montageramme. Se foto på side 2.

Periode: Prøvningen blev gennemført fra 2014-06-18.

Resultater: Emnet ligger uden for klassifikation i.h.t. EN 12207 - Windows and
doors - Air permeability - Classification.

Emnet blev destrueret af vindtryk ved faseskift fra -2500 Pa til -3000
Pa.

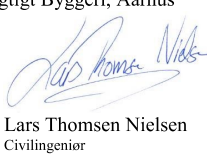
Detaljerede prøvningsresultater fremgår af side 3 - 5.

Vilkår: Prøvningen gælder kun for det prøvede materiale. Prøvningsrapporten må kun gengives i ud-
drag, hvis laboratoriet har godkendt uddraget.

2014-06-25, Teknologisk Institut, Bæredygtigt Byggeri, Aarhus


Morten Jul Lægaard
Sektionsleder

Telefon: 7220 1132
E-mail: mjld@teknologisk.dk


Lars Thomsen Nielsen
Civilingeniør

Telefon: 7220 1116
E-mail: ltn@teknologisk.dk

P2002776 - Altiflex - Lufttæthed

Beskrivelse af prøveemne

Prøveemnet består af en interimslukning med en karm i aluminium, hvori der er monteret en kanalplade med 1 kammer i plast, se tegning i bilag 1. Prøveemnets bredde og højde kan justeres, og ved målingen blev det indstillet til dimensionerne, der fremgår af nedenstående skema.

Bredde [mm]	Højde [mm]	Tykkelse [mm]	Areal [m ²]	Sprækkelængde [m]
1110	2120	50	2,31	11,41

Indbygning af prøveemne

Nedenstående billede viser prøveemnet indbygget i og tætnet mod den træramme som benyttes til fastspænding på prøvestand. Emnet er fastgjort med de medfølgende beslag og kantpakning. Sprækkelængden er omkredsen af både pakning og åbning ved kanalplade.

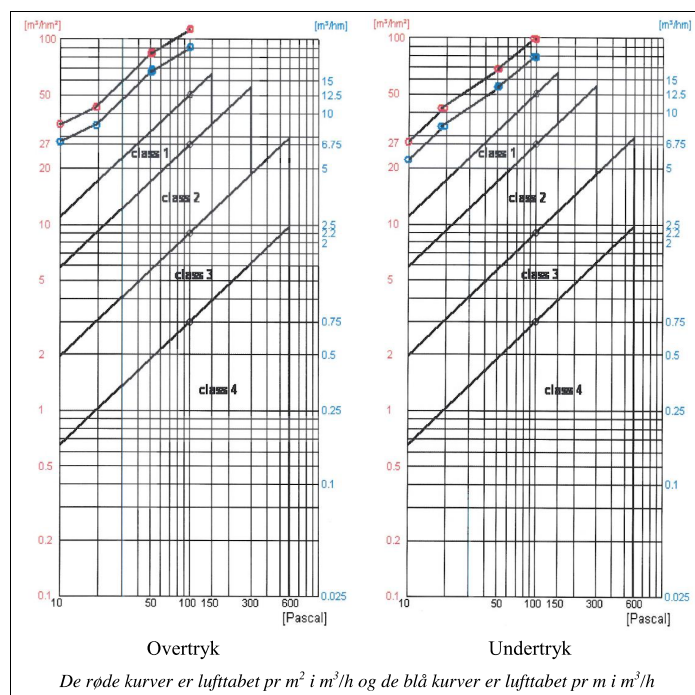


Hjørne af prøveemne i ramme

Resultater

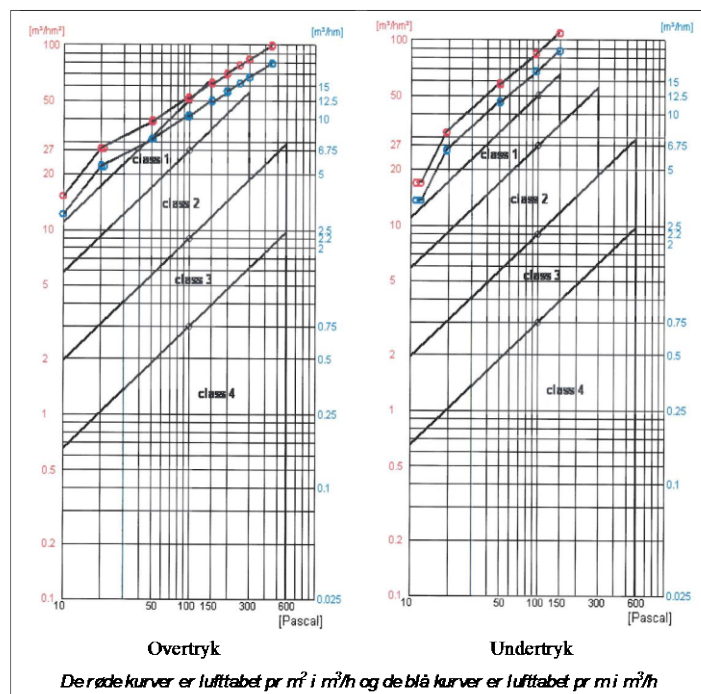
Emnet blev prøvet med de tryktrin der er beskrevet i EN 1026 med tilføjelse af en måling ved en trykforskel på 10 Pa. Herefter blev trykket øget med de normale tryktrin indtil et lufttab på mere end 250 m³/h, da yderligere trykstigning ikke giver mening klassifikationsmæssigt.

Først blev der prøvet med de skruer der fastholder kanalpladen i spændt position (kun fingerkræfter):



Som det fremgår af graferne er lufttabet uden for klassifikationsgrænserne for den dårligste klasse for vinduer og døre. Eksempelvis er lufttabet ved 100 Pa oppe omkring 100 m³/h pr m for både over- og undertryk.

Der blev efterfølgende foretaget en test hvor de skruer der fastholder kanalpladen var i løsnet position. Resultatet er som følger.



Som det fremgår af graferne er lufttabet klart mindre og ligger visse steder inden for klassifikationsgrænserne, hvilket svarer til den dårligste klasse for vinduer og døre.

Normale danske vinduer og døre af god kvalitet ligger som hovedregel i klasse 4.

Efter test af tætheden skulle der testes for holdbarhed ved ekstrem belastning. Af sikkerhedsmæssige grunde blev der kun testet med undertryk.

Prøveemnet blev aflækket med læs folie på en måde så folien ikke bidrog til trykforskel over emnet.

Herefter blev der i trin på -500 Pa påført en trykforskel over emnet indtil brud.

Ved skiftet fra -1500 Pa til -2000 Pa skete der en kraftig deformation af kanalpladerne, især ud mod enderne:

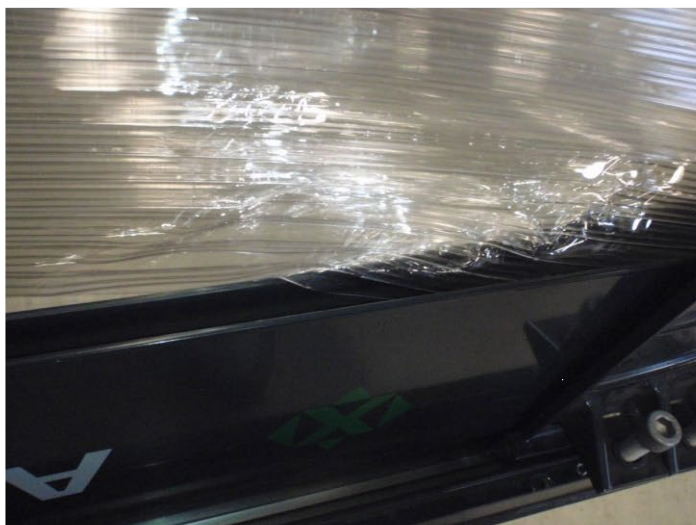


Bukning på plade

Trykket blev øget og ved skift fra -2500 Pa til -3000 Pa blev kanalpladen trukket ud af sit spor og forsøget stoppede. Se billeder på næste side.

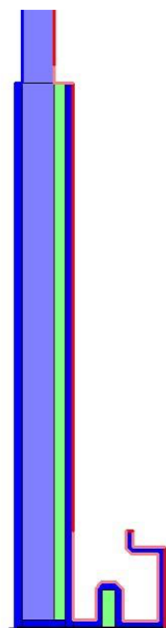
2014-06-25
P2002776

TEKNOLOGISK
INSTITUT



P2002776 - Afviklet - Luldarthed

6



Snit i karm (tegning fra Therm)

Teknologisk Instituts almindelige vilkår for rekvirerede opgaver gælder i deres fulde udstrækning for den ved Teknologisk Institut udførte tekniske prøvning og kalibrering samt for udførelse af de ved prøvningen og kalibreringen påkrævede undersøgelser og beregninger.

P2002776 - Altillex - Lufttætthed

Bilag 5. Estimat af reduktion i luftgennemstrømning

Luftgennemstrømning

Kilde: Fox, R.W., McDonald, A. T., Pritchard, P. J. (2008). Introduction to fluid mechanics. Hoboken, N.J: Wiley.

Antagelser:

- Laminar strømning
- Ståbil strømning
- inkompressibelt strømning
- fuldt udviklet strømning
- Indløb, udløb samt bøjninger er neglignable
- Hele passagen kan modeleres som værende 1,7mm høj.
- Modul 18 udslået til 1110 x 2120 inkl. lister på 10mm.

-Se ArkB-k-luftgennemstrømning -Vurdering for udkermedanbyrse

Dynamisk viskositet for luft ved 0 C (Januar 0,5 C)

$$\mu = 1,72E-5 \left(\frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2} \right)$$

Højde for passage

$$h = 1,7 \text{ _mm}$$

Bredde af passage (Her indsat for modul 18)

$$b = 1110 \text{ _mm} \cdot 2 + 2120 \text{ _mm} \cdot 2 = 8.135 \text{ _mm}$$

$$538 \text{ _m}$$

Tryk er taget fra vindside januar måned (taget fra Beregner) (ekskl. skorstenseffekt)

$$\Delta P = 26.2509 \text{ _Pa}$$

Længde af sprække (Modul hakvt udslået)

$$L = \left(125 \text{ _mm} \cdot \frac{115 \text{ _mm}}{2} + 10 \text{ _mm} \right) \cdot 2 + 10 \text{ _mm} = 165 \text{ _m}$$

Gennemstrømning:

$$Q = \frac{h^3 \cdot \Delta P \cdot b}{12 \cdot \mu \cdot L} = 0,20374 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

Hastighed for luft ved gennemstrømning

$$V = \frac{Q}{h \cdot b} = 2,22766 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Reynolds tal
Luft (0 C) og vands (4 C) densitet

$$\rho = 1,29 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad \rho_{H2O} = 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Specific Gravitation

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{H2O}} = 0,00129$$

Reynolds tal.

$$Re = \frac{SG \cdot V \cdot h}{\mu} = 284026 \left(\frac{\text{m}}{\text{kg}} \right)$$

Da $Re < 1400$ s kan det siges at strømningen er laminar.

Panum

1 modul for hele panum (4 etager) i januar måned (31 dage)
(udfra google streetview, se billeder herunder)

$$V_{Panum} = 75 \text{ _m} \cdot 45 \text{ _m} \cdot 4 \text{ _m} \cdot 4 = 54000 \text{ _m}^3$$

$$\frac{V_{Panum}}{Q} = \frac{\text{ _day}}{\text{ _day}} = 30,6761 \text{ _day}$$

$$\frac{31 \text{ _day}}{30,6761} = 1,01056$$

1 modul kan altså udslette 4 etages luft på panum én gang i løbet af januar måned.

Teknologisk Institut

Ti siger for 10 pascal overtryk er der gennemløb p 99,72 m³/h. (TI)

$$Q_{TI} = 99,72 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right) = 0,277 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$\Delta P = 19 \text{ _Pa}$$

$$Q_{Passage} = \frac{h^3 \cdot \Delta P \cdot b}{12 \cdot \mu \cdot L} = 0,14747 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$\frac{Q_{Passage}}{Q_{TI}} = 100 = 53,2365$$

Passagen er altså skyld i over halvdelen af modulets luftgennemstrømning.

Nyt modul

Da profilrammen klemmer sammen om ruden fås kun 8 små passager, her anslæt til at være 4cm hver.

$$b = 8,4 \text{ _cm}$$

Gennemstrømning:

$$Q_{Ny_Passage} = \frac{h^3 \cdot \Delta P \cdot b}{12 \cdot \mu \cdot L} = 0,000877 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

Samlet luftgennemstrømningsreduktion:

$$Q_{Passage} - Q_{Ny_Passage} = 0,13869 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$\frac{Q_{Passage} - Q_{Ny_Passage}}{Q_{Passage}} = 9,4052$$

$$\frac{Q_{Passage}}{Q_{TI}} = 5,007$$

Det giver altså en 94,1% reduktion af passagens luftgennemstrømning.

Procentdel besparelse af total luftgennemstrømning:

$$\frac{Q_{Passage} - Q_{Ny_Passage}}{Q_{TI}} = 5,007$$

Der skabes en 50,0% reduktion af modulets samlede luftgennemstrømning.



Bilag 6. Beregningsrapport (SOH ApS)

Svend Ole Hansen ApS

SCT. JØRGENSEN ALLÉ 5C · DK-1615 KØBENHAVN V · DENMARK

TEL: (+45) 33 25 38 38 · WWW.SOHANSEN.DK



WIND
ENGINEERING
FLUID
DYNAMICS

Altiflex interimsaflukning Designbasis for vindlast

16.0041

24. august 2016 - Revision 1

Formålet med nærværende notat, udarbejdet for Altiflex, er at præsentere en designbasis for den regningsmæssige vindlast på Altiflex interimsaflukning. Notatet er baseret på informationer modtaget fra Lolle & Nielsen i perioden 23. februar til 17. juni, 2016.

Vurderingen af vindlasten tager udgangspunkt i specifikationerne anført i Eurocode EN 1991-1-4:2007 [1] med tilhørende nationalt anneks [2], suppleret med erfaringer fra mange tidligere vurderinger af vindlast og vindlast bestemt i en lang række vindtunnelforsøg. Alle vindlaster præsenteres i et format svarende til den nuværende Eurocode.

Denne designbasis angiver regningsmæssige vindlaster til designberegninger, hvor svigt medfører risiko for alvorlig personskaade. Disse værdier er inklusive partialkoefficient i overensstemmelse med Eurocode EN 1990 [3] med tilhørende nationalt anneks [4]. Desuden angives regningsmæssige vindlaster til designberegninger, hvor svigt *ikke* medfører risiko for alvorlig personskaade. Disse er karakteristiske værdier, gennemsnitligt svarende til én overskridelse hvert 50. år, og er valgt på baggrund af en anbefaling fra Svend Ole Hansen ApS.

Bestemmelse af vindlast på interimsaflukning

Konservative værdier for den regningsmæssige vindlast på interimsaflukningen kan bestemmes som beskrevet herunder:

1. Det kontrolleres, at samtlige punkter i afsnittet "Begrænsninger for brug" er overholdt.
2. Terrænkategorien for det omkringliggende terræn bestemmes, se Anneks A.
3. De regningsmæssige nettovindtryk for tryk (positiv værdi) hhv. sug (negativ værdi) bestemmes af Tabel 1. Her er det afgørende, hvor høj bygningen er, samt om der skal regnes vindtryk på et effektivt areal A større end 2.5 m^2 eller større end 10 m^2 .
4. Såfremt der regnes vindlast, hvor et svigt ikke vil medføre risiko for alvorlig personskaade, eller hvis aflukningen kun opsættes på en bestemt årstid, bestemmes reduktionsfaktoren γ_{red} af Tabel 2. Reducerede vindtryk for tryk hhv. sug bestemmes af ligning (2). Disse reducerede vindtryk kan benyttes ved videre beregning.
5. Den regningsmæssige vindkraft for tryk (positiv værdi) hhv. for sug (negativ værdi) bestemmes af ligning (1), hvor A er det effektive areal af den del af aflukningen, hvorpå vindkraften ønskes bestemt. Vindkraft for tryk hhv. sug behandles i to separate lasttilfælde. Vindkraften regnes positiv når den er indadrettet, se Figur 1.

Begrænsninger for brug

Denne designbasis er udelukkende gældende, når følgende punkter er opfyldt:

- Iterimsaflukningen er placeret langs bygningens facade og er orienteret i et lodret plan.

CVR-nr.: 11 16 20 37



- Bygningens overordnede geometriske form er som et rektangulært prisme eller som en cylinder. For bygninger med form som en cylinder er bygningens slankhed $h/b \leq 1$, hvor h er bygningens højde og b er bygningens diameter.
- På etagen hvor interimsaflukningen opsættes er alle bygningens facader aflukkede med en tæthed, der svarer til interimsaflukningens tæthed (dvs. $\leq 3\%$). Hvis der via et atrium el. lign. er forbindelse til andre etager, er disse etager tilsvarende aflukkede.
- På etagen hvor interimsaflukningen opsættes findes ikke en facade med en dominerende åbning. En facade har en dominerende åbning, hvis arealet af åbninger i facaden er mindst to gange arealet af åbninger og utætheder i de øvrige facader. Hvis der via et atrium el. lign. er forbindelse til andre etager, findes der på disse etager heller ikke en dominerende åbning.
- Der regnes i alle tilfælde vindlast på et areal større end 2.5 m^2 .
- Interimsaflukningen er placeret i en bygning, hvis samlede højde ikke overskrider 150 m .
- Interimsaflukningen er opsat på en bygning i Danmark. Bygningen er ikke placeret ved Jyllands vestkyst, på Færøerne eller i Grønland.

Såfremt ét eller flere punkter ikke er opfyldt, kræves en særskilt vurdering af de specifikke forhold.

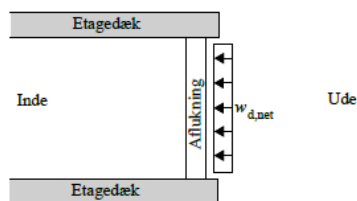
Vindlast

Interimsaflukningen og dens fastgørelse til det øvrige byggeri skal designes til at modstå den regningsmæssige nettovindkraft $F_{d,w}$ virkende vinkelret på aflukningens plan, som bestemt ved:

$$F_{d,w} = A w_{d,net} \quad (1)$$

hvor A er aflukningens effektive overfladeareal og $w_{d,net}$ er det regningsmæssige nettovindtryk på aflukningen. Det effektive areal svarer til det omskrevne areal fratrukket eventuelle åbninger. Ved en tæthed under 5% kan for A benyttes det omskrevne areal.

Nettovindtrykket, og dermed også nettovindkraften, regnes positivt, når det virker indadrettet på bygningens facade, se Figur 1.



Figur 1. Fortegnsregning for nettovindtrykket $w_{d,net}$ på interimsaflukningen. Tryk regnes positivt for indadrettet last.



Det regningsmæssige nettovindtryk afhænger af bygningens totale højde over terræn h og af det omkringliggende terræns ruhed. Terrænets ruhed inddeles i kategorierne I-IV som beskrevet i Anneks A.

I Tabel 1 er de regningsmæssige nettovindtryk angivet for tre værdier af bygningshøjden h og for terrænkategorierne I-IV. Da nettovindtrykket på interimsaflukningen kan være både positivt (tryk) og negativt (sug) afhængigt af vindforholdene, er der i hvert tilfælde angivet både en positiv og en negativ værdi for nettovindtrykket, som skal tages i regning i to separate lasttilfælde.

Værdierne i Tabel 1 repræsenterer de største tryk hhv. sug optrædende noget sted på bygningens facade, og vil således i langt de fleste tilfælde indeholde en betydelig konservatisme. Værdierne i tabellen er gældende for:

- Designberegninger, hvor svigt medfører risiko for alvorlig personskaade.
- Opsætning på enhver årstid.

Højder og terrænkategorier er i tabellen angivet som maksimal- hhv. minimalværdier, da det vil være konservativt at regne med en større højde hhv. med et lavere terrænkategorinummer, dvs. med en lavere ruhedslængde.

Tabel 1. Regningsmæssige nettovindtryk $w_{d,net}$ [kPa] til beregning af vindkræfter på interimsaflukning med effektive arealer A større end 2.5 m^2 hhv. 10 m^2 . h angiver bygningens højde over terræn. I alle tilfælde er der angivet både en positiv og en negativ værdi repræsenterende hhv. tryk og sug, som skal tages i regning i to separate lasttilfælde.

	$w_{d,net}$ [kPa] for $A \geq 2.5 \text{ m}^2$				$w_{d,net}$ [kPa] for $A \geq 10 \text{ m}^2$			
	Terrænkategori:				Terrænkategori:			
	$\geq \text{I}$	$\geq \text{II}$	$\geq \text{III}$	IV	$\geq \text{I}$	$\geq \text{II}$	$\geq \text{III}$	IV
$h \leq 150 \text{ m}$	3.03 -3.78	2.86 -3.56	2.51 -3.13	2.18 -2.71	2.73 -3.48	2.58 -3.28	2.26 -2.88	1.96 -2.50
$h \leq 75 \text{ m}$	2.70 -3.36	2.49 -3.10	2.11 -2.63	1.77 -2.20	2.43 -3.10	2.24 -2.86	1.91 -2.42	1.59 -2.03
$h \leq 25 \text{ m}$	2.20 -2.74	1.95 -2.43	1.54 -1.92	1.19 -1.48	1.99 -2.53	1.76 -2.24	1.39 -1.77	1.07 -1.37

Baggrund for bestemmelse af vindlasten er beskrevet i Anneks B. I tilfælde hvor svigt ikke medfører fare for alvorlig personskaade eller hvor opsætningen er begrænset til en bestemt årstid, kan de angivne nettovindtryk reduceres som beskrevet i det følgende afsnit.

Reduktion af vindlast

Såfremt svigt ikke medfører risiko for alvorlig personskaade, og/eller hvis interimsaflukningen udelukkende er opsat i en begrænset del af året, er det reducerede regningsmæssige nettovindtryk $w_{d,net,red}$ gældende. Dette bestemmes af:

$$w_{d,net,red} = \gamma_{red} w_{d,net} \quad (2)$$



hvor γ_{red} er den énhedsløse reduktionsfaktor. Værdier for reduktionsfaktoren er angivet i Tabel 2.

Tabel 2. Reduktionsfaktorer γ_{red} [-]. Er aflukningen opsat i flere af de angivne årstider, er den højeste værdi for γ_{red} gældende.

Årstid	Reduktionsfaktor, γ_{red} [-]	
	Risiko for alvorlig personskaade	Ingen risiko for alvorlig personskaade
Hele året	1.00	0.67
Vinter (december - februar)	1.00	0.67
Forår (marts - maj)	0.90	0.60
Sommer (juni - august)	0.70	0.47
Efterår (september - november)	0.90	0.60

Reduktionsfaktoren kan benyttes til beregning af reducerede nettovindtryk for både tryk og sug. Bestemmelsen af reduktionsfaktoren er beskrevet i Anneks B.

København, 24. august 2016
Svend Ole Hansen ApS

Svend Ole Hansen

Projektingeniør

Marie Louise Pedersen

Projektingeniør

Søren Frølund Østbirk

Litteratur

- [1] Eurocode DS/EN 1991-1-4:2007. Generelle laster - Vindlast.
- [2] Eurocode DS/EN 1991-1-4 DK NA:2015. Generelle laster - Vindlast.
- [3] Eurocode DS/EN 1990. Projekteringsgrundlag for bærende konstruktioner.
- [4] Eurocode DS/EN 1990 DK NA:2007. Projekteringsgrundlag for bærende konstruktioner.

Bilag 7. Test af lyddæmpning



103

16. marts 2018
Telefon: +45 78 103 103
Ref: SNT
QA: REH
Dok: SNT-16032018
Sag nr.: 24095

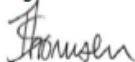
Måling af lyddifferens – Altiflex ApS

"Lyddifferens"

Østerbro 4 · 5690 Tommerup · Tlf.: +45 78 103 103 · CVR nr.: 35 20 52 76 · info@103.dk · www.103.dk

103 Rådgivende Ingeniørselskab

Side 1 af 12

Opgave: Måling af lyddifferens – Altiflex ApS	
Kunde: Altiflex ApS Nordholmen 10-12 2650 Hvidovre	Rekvirent: Ole Koldste
Udført af: Sigurd Thomsen 	QA: René Hansen

Resumé:

Målingerne viser at ved løsning L1 er der bestemt en lyddifferens på 22 dB, ligeledes på løsning L2 er der bestemt en lyddifferens på 22dB. Dermed er der ikke forskel på de to løsninger. For detaljerede resultater se Bilag 2 for løsning L1 og Bilag 3 for løsning L2.

Det skal noteres at der kan have være utætheder i forbindelse med skift mellem de to løsninger.

Indholdsfortegnelse

1	INDLEDNING	4
1.1	RESULTATER	4
BILAG 1	MÅLEOMGIVELSER OG OBJEKT	5
BILAG 2	RESULTAT LØSNING L1	11
BILAG 3	RESULTAT LØSNING L2	12

1 Indledning

103 ApS har udført måling af lyddifferens på to produktløsninger hos Altiflex ApS. Løsningerne benævnes i det følgende L1 og L2. L1 er løsning monteret ved ankomst.

Målingerne er udført jf. ISO-140-5 "*Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and facades*".

Usikkerheden på målingerne vurderes at være $\pm 1-2$ dB.

Bilag 1 viser måleobjekter og omgivelser.

1.1 Resultater

Målingerne viser at ved løsning L1 er der bestemt en lyddifferens på 22 dB, ligeledes på løsning L2 er der bestemt en lyddifferens på 22dB. Dermed er der ikke forskel på de to løsninger. For detaljerede resultater se Bilag 2 for løsning L1 og Bilag 3 for løsning L2.

Det skal noteres at der kan have være utætheder i forbindelse med skift mellem de to løsninger.

Bilag 1 Måleomgivelser og objekt

16. marts 2018
Telefon: +45 78 103 103
Ref: SNT
QA: REH
Dok: SNT-16032018
Sag nr.: 24096





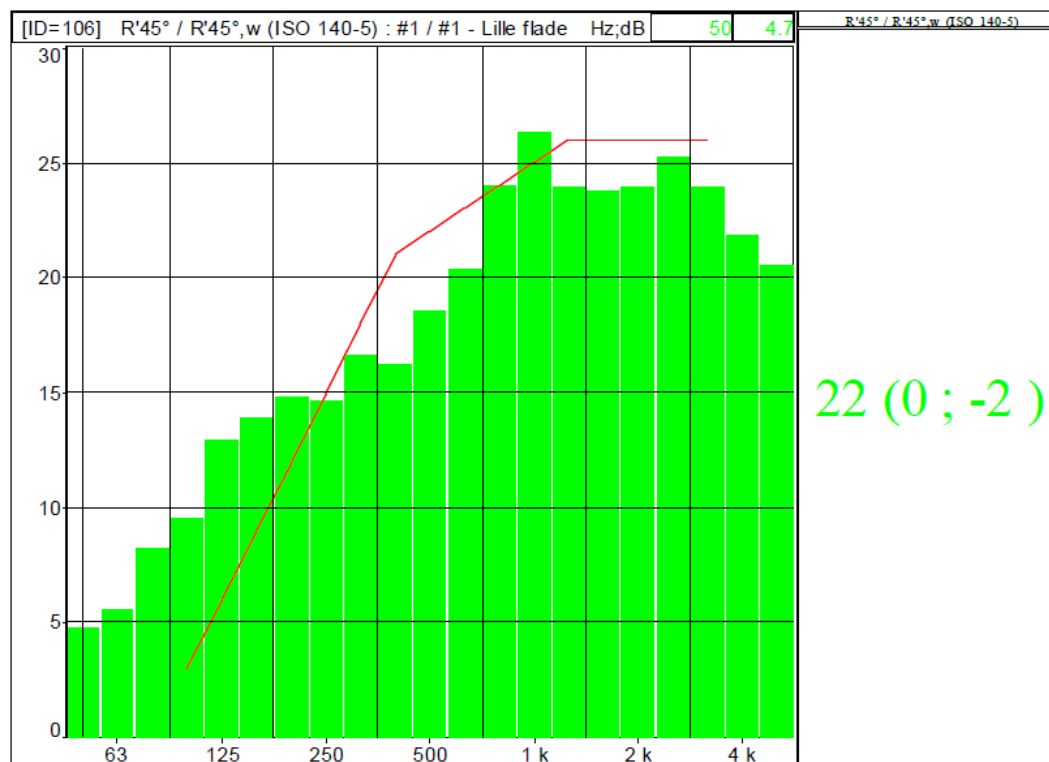




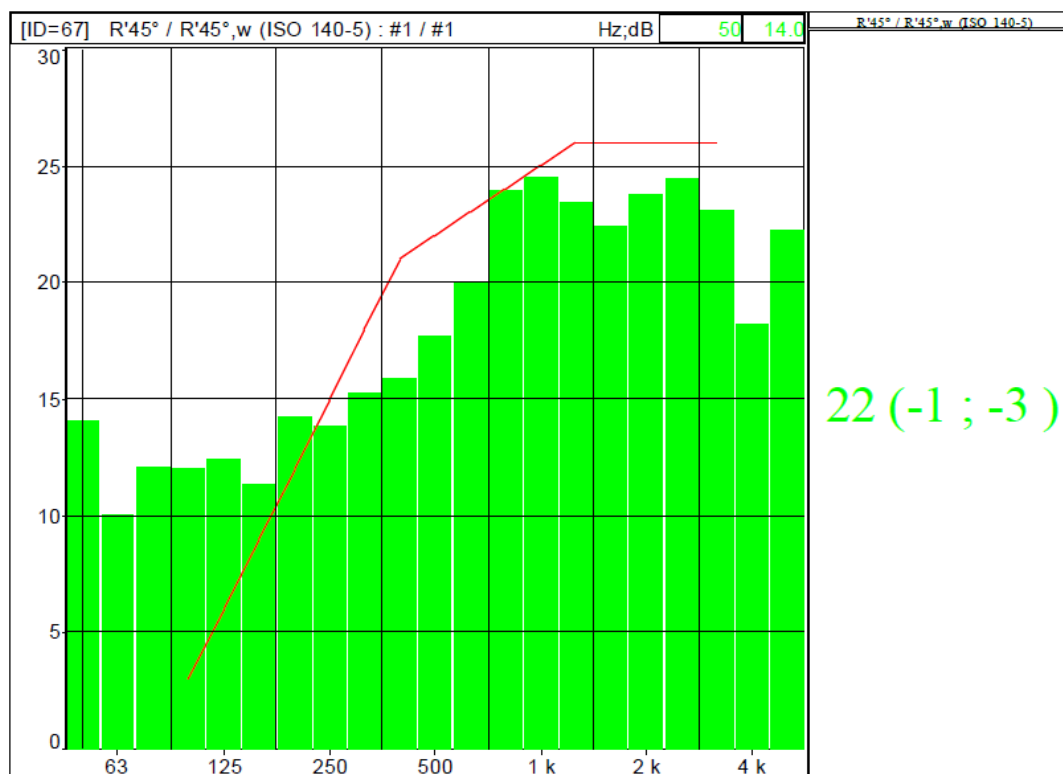




Bilag 2 Resultat løsning L1



Bilag 3 Resultat løsning L2



Støjreduktion og CO2 besparelser ved modulært aflukningssystem

Udvikling af aflukningssystemer til byggebranchen således at de lyd- og varmeisolerende egenskaber bliver markant forbedret.



Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.mst.dk