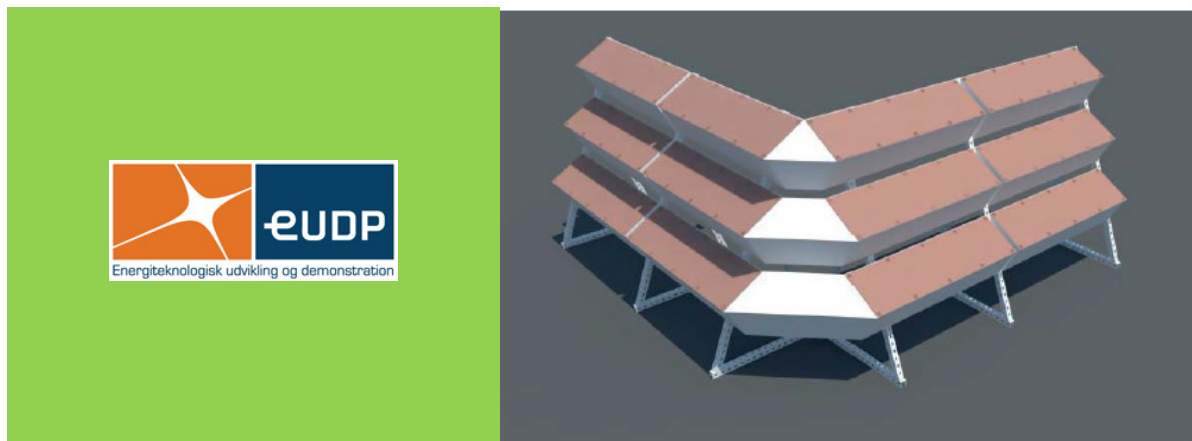


PV – inddækning af tagaggregater

- Æstetisk energiproducerende inddækning



Journal nr. 64015-0097

KRXDSRUM
arkitekter

SolarVenti[®]

ekolab

Final report

1.1 Project details

| | |
|--|--|
| Project title | EUDP 2015, Særpulje BIPV, Æstetisk energiproducerende inddækning af tagaggregater |
| Project identification (program abbrev. and file) | Journal nr. 64015-0097 |
| Name of the programme which has funded the project | Særpulje BIPV. Teknologiområde: Solenergi |
| Project managing company/institution (name and address) | Ekolab, Aps. Vestergade 48 H, 2. sal, 8000 Aarhus C |
| Project partners | Krydsrum Arkitekter, Kugkurren 8M, DK-2300 Kbh. S. SolarVenti, Fabriksvej 8, DK-8881 Thorsø |
| CVR (central business register) | Krydsrum Arkitekter: 30 35 03 59 SolarVenti 87 10 06 18 Ekolab: 31 76 65 91 |
| Date for submission | 2017 |

1.2 Short description of project objective and results

Det er lykkedes at udvikle og designe en æstetisk inddækning, der hindrer indkig til grimme tagaggregater. Inddækningen indeholder solcellepaneler, som kan producere strøm til bygningen, hvorved der spares indkøb af el hos kundens el-leverandør. Denne besparelse kan være med til at forrentet investeringen.

Inddækningen opbygges af standardmoduler, der farvemæssig og materialemæssigt vælges sådan at inddækningen harmonerer med bygningens arkitektoniske udtryk.

Rentabilitetsberegninger viser desværre at den solcelleproducerede strøm som primært går til bygningens egetforbrug ikke er nok til at forrente investeringen.

Men der vil ofte være andre købsmotiver end en isoleret økonomisk kalkule på PV-inddækningen. En manglende PV-inddækning, og dermed indkig til grimme tagaggregater kan have u hensigtsmæssige konsekvenser i forhold til kunders opfattelse af virksomheden og den offentlige omtale.

Hvis PV-inddækningen udformes med henblik på en decideret branding, ved tilpassede motiver, farvevalg og lyssætninger, så kan den ud over en højnelse af æstetikken, have en decideret økonomisk brandingeffekt.

Solcellerne på PV-inddækningen kan være med til at styrke en grøn profil hos virksomheden. Et sidste købsmotiv hos kunden kan være at det øger salgsværdien af bygningen ved salg.

Produktet vil indgå i SolarVentis produktprogram fremadrettet.

1.3 Executive summary

Projektet er dokumenteret i vedhæftede rapport, som indeholder en præsentation af problemet, anvendte løsningsmetoder, opnåede resultater og en vurdering af løsningen.

Problemet er illustreret med en række billeder/eksempler på tagaggregater der skæmmer bygninger. Via inspirationscases fra tre byggerier er der udviklet en prototype der tilgodeser æstetiske krav samt krav i produktionsprocessen. Prototypen indeholder solcellepaneler, og el-tilslutning og prototypens produktion af el er beregnet via en udviklet beregningsmodel.

Regler for tilslutning af solcelleanlæg er gennemgået for forskellige markedssegmenter. Markedet vurderes primært at ligge inden for private virksomheder, og specielt inden for nybyggeri og større renoveringsprojekter. Kommuner kan dog også være et marked, men så vil inddækningen være uden solcellepaneler, grundet specielle solcelleregler for kommuner.

Via modelberegninger er rentabiliteten af investeringen beregnet med forskellige forudsætninger i en følsomhedsanalyse. Den udviklede prototype er ikke rentabel isoleret set i forhold besparelsen grundet reduceret indkøb af el hos kundens el-leverandør.

Det er vurderet at andre købsmotive end rentabiliteten ved solcelleproduktion kan have en væsentlig rolle for købsbeslutningen hos slutbrugeren.

Executive summary (english):

The project has successfully developed and designed an aesthetic cover that prevents passing people to look on ugly roof-top units.

The cover contains solar panels which can produce electricity to the building, thereby saving electricity from the customer's electricity supplier. This savings can contribute to recoup the investment. The overall PV-cover on the roof is built up of standard modules, which can be performed in different material and colors, to create harmony with the architectural expression of the building.

Calculations of profitability show, unfortunately, that the solar-generated electricity that goes to the building's own consumption is not enough to recoup the investment.

Often customers will have different buying motives than the profitability just mentioned.

An example can be, that a lack of a PV-coverage, on a roof with ugly roof-top units, may have negative consequences in relation to the customer's perception of the company and the public opinion. Another buying motive could be, that the PV-coverage can be delivered with customized motifs, colors and lights inside the PV cover, that creates a decisive branding effect.

Furthermore, the PV cover can help strengthen a green profile at the company. One last purchase motive at the customer may be that it increases the sales value of the building on sale.

The developed product will be included in product program of SolarVenti forward.

1.4 Project objectives

Ideen i projektet er at udvikle og producere en el-producerende taginddækning baseret på solceller, som visuelt kan skjule tagaggregater, og samtidig kan levere strøm til bygningen, herunder strøm til de tagaggregater der findes på taget.

Ved at udvikle og designe en energiproducerende inddækning af tagaggregater kan æstetiske og arkitektoniske hensyn tilgodeses, samtidig med at der produceres strøm og evt. varm luft i opvarmningssæsonen. Den nye energiproducerende inddækning medfører en mere bæredygtig drift af bygningen.

Projektet har til formål at udvikle og designe et nyt sådant produkt, som kan indgå i produktionsfirmaet SolarVentis produktsortiment. SolarVenti har mange års erfaring med at udnytte solens energi, dels i forbindelse med tidligere solfangerproduktion, men i de senere år udelukkende med luftsolfangere i forskellige udformninger. I disse luftsolfangere, som er patenterede,

er der indbygget en lille solcelle, som driver en ventilator. Firmaet har således erfaring med indbygning og drift af solceller i luftsolfangere fra produktionen.

Målet med projektet er at udvikle og designe en æstetisk energiproducerende inddækning af tagaggregater, som fremstår som et arkitektonisk velintegreret og inspirerende element. Energien bliver produceret med solceller på inddækningen.

Produktet skal være æstetisk, samtidig med at elproduktionen kan være med til at forrentet investeringen. Produktet skal være modulopbygget, sådan at det kan tilpasses de konkrete visuelle udfordringer med tagaggregater og ventilationskanaler på taget.

1.5 Project results and dissemination of results

Det er på baggrund af research af bygninger med grimme tagaggregater i felten etableret en forståelse af hvordan en PV-inddækning kan forhindre indkig. Dette aspekt er studeret nøjere i tre inspirationscases, som har været vigtige for udviklingsprocessen af PV-inddækningen.

I forbindelse med arkitekternes arbejde med inspirationscasene er der arbejdet med form og visuelt udtryk. herunder også et detaljeret studie af mulige farver, udtryk og materialevalg.

Udviklingen af produktet har været en lang og iterativ proces, hvor arkitekter og produktionsfolk og ingeniører har samarbejdet om at få problemer og udfordringer løst undervejs.

Resultatet er et standardmodul, som kan sammensættes til en PV-inddækning, der hindrer indkig til grimme tagaggregater.

I projektperioden er der holdt foredrag om projektet på Kunstakademiets Arkitektskole, samt skrevet en artikel til Byggplads.dk.

1.6 Utilization of project results

Markedet vurderes generelt at ligge primært i forbindelse med nybyggeri og større renoverings-sager på grund den relative høje pris. En merinvestering i en PV-inddækning vil kun udgøre få promille i forbindelse med nybyggeri og lidt mere ved større renoveringsprojekter. Kunderne vil være privatejede virksomheder og liberale erhverv. Kommuner vil kunne bruge inddækningen, men i dette tilfælde uden solcellepaneler, idet regler i lovgivningen gør, at det er urentabelt for kommuner at etablere solcelleanlæg.

Produktet vil fremadrettet indgå i SolarVentis produktportefølje.

1.7 Project conclusion and perspective

Konklusionen er på projektet er, at det er lykkedes at producere en arkitektonisk tilfredsstillende løsning med et standardmodul der også indeholder solcellepaneler. Løsningen er modulopbygget og er tilpasningsdygtig i forhold til forskellige bygningers arkitektoniske udtryk, idet det er nemt at udskifte inddækningspladerne på standardmodulet, svarende til det ønskede arkitektoniske visuelle udtryk.

Rentabilitetsberegningerne fortaget med modellen har dog vist at PV-inddækningen ikke er rentabel, hvis den vurderes økonomisk isoleret set i forhold til solcelleproduktionen. Dette skyldes at det er et relativt dyrt produkt med dyre monteringsomkostninger og en relativ lille produktion af solcellestrøm på PV-inddækningsmodulet, på trods af højeffektive solceller.

Selv om PV-inddækningen ikke er rentabel vurderet strengt økonomisk i forhold til solcelleproduktionen, kan privatejede virksomheder have andre motiver for at købe en PV-inddækning, bl.a. æstetiske overvejelser. I det følgende er der oplistet fire forskellige købsmotiver for erhvervsvirksomheder.

En manglende PV-inddækning, og dermed indkig til grimme tagaggregater kan have uensigtsmæssige konsekvenser i forhold til kunders opfattelse af virksomheden og den offentlige omtale.

Hvis PV-inddækningen udformes med henblik på en decideret branding, ved tilpassede motiver, farvevalg og lysætninger, så kan den ud over en højnelse af æstetikken, have en decideret økonomisk brandingeffekt.

Solcellerne på PV-inddækningen kan være med til at styrke en grøn profil hos virksomheden. Et sidste købsmotiv hos kunden kan være at det øger salgsværdien af bygningen ved salg.

Hvis den udviklede inddækning vælges uden solcelledelen kan kunderne også være kommuner, der ønsker at undgå visuelt indkig til grimme tagaggregater på bygningstage i forbindelse med nybyggeri eller renoveringssager. Ved at fravælge solcelledelen er de ikke bundet af de restriktioner

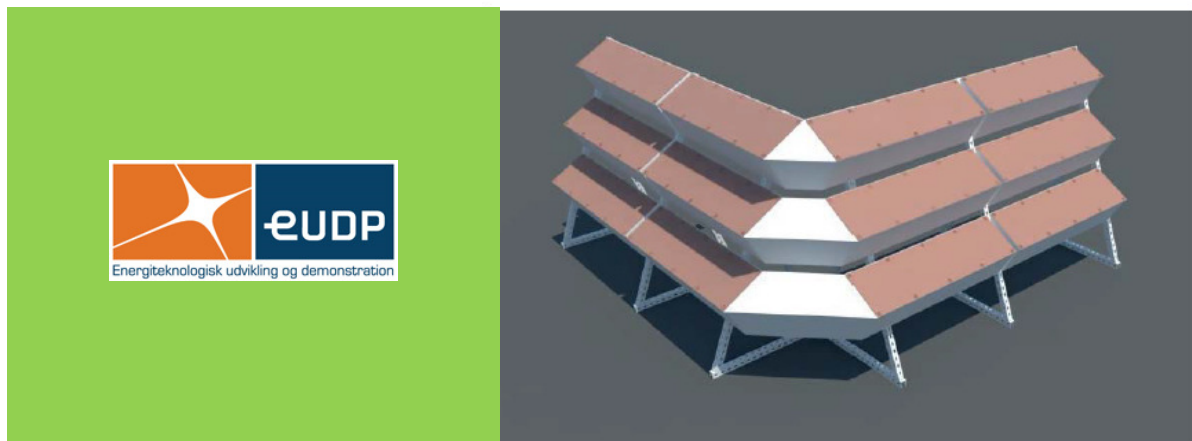
tive regler der gælder for solcellestrøm produceret på kommunale solcelleanlæg. Samtidig er inddækningen billigere uden solcellepanelerne.

I fremtiden vil der være et udvidet samarbejde mellem arkitekter og ingeniører på nybyggeri og renoveringer, herunder øget brug af BIM (Bygnings Informations Modulering).

Det betyder på sigt at visualiseringer af bygninger vil indeholde tekniske installationer på taget. Dvs. at der bliver fokus på at minimere de visuelle gener, som tagaggregater kan give anledning til. I den forbindelse kan prototypen blive aktuel som et fast element i BIM.

PV – inddækning af tagaggregater

- Æstetisk energiproducerende inddækning



Journal nr. 64015-0097

KRXDSRUM
arkitekter



ekolab

PV – inddækning af tagaggregater

- Æstetisk energiproducerende inddækning

Niels Jakubiak Andersen
Christian Buhl Clausen

Krydsrum Arkitekter
Kigkurren 8M
DK-2300 København S

Hans Jørgen Christensen

SolarVenti
Fabriksvej 8
DK-8881 Thorsø

Carl-Johan Kjærgaard
Rune Haferbier

Ekolab
Vestergade 48 H, 2.tv.
DK-8000 Århus C

September 2017

INDHOLD

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INDLEDNING | 6 |
| 1.1 | <i>Projektide</i> | 6 |
| 1.2 | <i>Tagaggregater på bygninger</i> | 7 |
| 1.3 | <i>Bedre visuelt udtryk af bygning</i> | 10 |
| 1.3.1 | Tagaggregater med behov for visuel inddækning..... | 10 |
| 1.3.1.1 | Ventilationskanaler | 10 |
| 1.3.1.2 | Tørkølere | 10 |
| 1.3.1.3 | Køleunits | 12 |
| 1.3.1.4 | Varmepumper | 12 |
| 1.3.2 | Tagaggregater med supplerende vandret taginddækning..... | 13 |
| 1.4 | <i>Branding.....</i> | 14 |
| 1.5 | <i>Rentabilitet</i> | 14 |
| 2 | ARKITEKTUR OG KONSTRUKTION | 15 |
| 2.1 | <i>Visuel inddækning af tagaggregater</i> | 15 |
| 2.2 | <i>Valg af hældning på solcellepaneler</i> | 15 |
| 2.3 | <i>Arkitektoniske valg mht. til form og udtryk</i> | 17 |
| 2.4 | <i>Materialevalg.....</i> | 19 |
| 2.5 | <i>Konstruktionens opbygning i praksis</i> | 21 |
| 2.5.1 | Standardmodulets opbygning..... | 21 |
| 2.5.2 | Aluminiumstrekanten - detaljer | 24 |
| 2.5.3 | De arkitektoniske inddækningsplader | 27 |
| 2.5.4 | Udfordringer i produktudviklingen. | 32 |
| 2.5.5 | Konsolsystemet fra Mul10Metal..... | 33 |
| 3 | INSPIRATIONSCASES | 36 |
| 3.1 | <i>Tre ege forsorgshjem</i> | 36 |
| 3.2 | <i>Kiwi.....</i> | 38 |
| 3.3 | <i>Haraldshus</i> | 41 |
| 4 | EL-TILSLUTNING | 44 |
| 4.1 | <i>Den fysiske tilslutning</i> | 44 |
| 4.2 | <i>Regler for eltilslutning og takster.....</i> | 45 |
| 5 | PROTOTYPENS PRODUKTION AF EL..... | 48 |
| 5.1 | <i>Solcellepanelernes ydelse.....</i> | 48 |
| 5.2 | <i>Selvskygge.....</i> | 51 |
| 5.3 | <i>Tab i systemet</i> | 53 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 6 | ØKONOMI | 54 |
| 6.1 | <i>Investeringen</i> | 54 |
| 6.2 | <i>El-priser for forskellige forbrugere</i> | 55 |
| 6.3 | <i>Udgifter til drift og vedligehold</i> | 55 |
| 6.4 | <i>LeverencekædeN</i> | 56 |
| 7 | MARKEDET | 57 |
| 7.1 | <i>Markedssegmenter og regler</i> | 57 |
| 7.2 | <i>Markedsmodtagelse</i> | 58 |
| 8 | MODELBEREGNER | 60 |
| 8.1 | <i>Indledning</i> | 60 |
| 8.2 | <i>Solindstråling på et solcellepanel</i> | 60 |
| 8.3 | <i>Forbrug og produktion</i> | 61 |
| 8.4 | <i>Rentabilitetsberegning</i> | 62 |
| 8.4.1 | <i>Forudsætninger</i> | 62 |
| 8.4.2 | <i>Beregningsresultater</i> | 64 |
| 8.4.3 | <i>Fortolkning af rentabilitetsberegningerne</i> | 65 |
| 9 | FORMIDLING | 66 |
| 10 | KONKLUSION | 67 |

BILAGSFORTEGNELSE

Bilag 1 Tre Ege Forsorgshjem, inspirationscase

Bilag 2 Kiwi Malling, inspirationscase

Bilag 3 Haraldshus, inspirationscase

Bilag 4 Mock-up model af prototypen

Bilag 5 Analyse af selvskygge

1 INDLEDNING

1.1 PROJEKTIDE

Tekniske installationer placeret på tage udgør en større del af dansk byggeri end tidligere.

Det skyldes dels nye energikrav og dels øgede behov i forbindelse med køling og ventilering. På bygninger med vandrette tage er det ofte en anvendt løsning at placere ventilationsaggregater, kølemaskiner og tørkølere der.

Det danske land er de seneste årtier blevet nærmest oversvømmet med store ventilations- og køleanlæg, samt ventilationskanaler på ejendommenes tage. Men sjældent med et arkitektonisk tilfredsstillende resultat.

Ideen i projektet er at udvikle og producere en el-producerende taginddækning baseret på solceller, som visuelt kan skjule tagaggregater, og samtidig kan levere strøm til bygningen, herunder strøm til de tagaggregater der findes på taget.

Der er et godt sammenfald mellem disse tagaggregaters el-behov og solindstrålingen, idet der når solen skinner om sommeren, som regel er et øget kølebehov i bygningen, herunder ventilationsbehov i den forbindelse. Ofte vil man ventilere med større luftmængder, når rum i bygningen skal køles om sommeren.

Ved at udvikle og designe en energiproducerende inddækning af tagaggregater kan æstetiske og arkitektoniske hensyn tilgodeses, samtidig med at der produceres strøm og evt. varm luft i opvarmningssæsonen og evt. natkøling i kølesæsonen. Den nye energiproducerende inddækning medfører en mere bæredygtig drift af bygningen.

Projektet har til formål at udvikle og designe et nyt sådant produkt, som kan indgå i produktionsfirmaet SolarVentis produktsortiment. SolarVenti har mange års erfaring med at udnytte solens energi, dels i forbindelse med tidligere solfangerproduktion, men i de senere år udelukkende med luftsolfangere i forskellige udformninger. I disse luftsolfangere, som er patenterede, er der indbygget en lille solcelle, som driver en ventilator. Således har firmaet har erfaring med indbygning og drift af solceller i luftsolfangere fra produktionen.

Målet med projektet vil udvikle og designe en æstetisk energiproducerende inddækning af tagaggregater, som fremstår som et arkitektonisk velintegreret og inspirerende element. Energien bliver produceret med solceller på inddækningen, som skal være modulbaseret.

Produktet skal være æstetisk, samtidig med at el-produktionen kan være med til at forrentet investeringen.

Produktet skal være modulopbygget, sådan at det kan tilpasse de konkrete tagaggregater og ventilationskanaler på taget.

De energiproducerende inddækningsmoduler kan i nogle tilfælde også erstatte eksisterende produkter til inddækning af tagaggregater, f.eks. trækonstruktioner eller metalkonstruktioner, der forhindrer, at der kommer regnvand på tagaggregaterne, hvorved levetiden af tagaggregaterne forøges.

Alternative udformninger

I projektet undersøges om den el-producerende inddækning rentabelt kan benyttes til at producere luftsolvarme. Dette vil kræve en ventilator i inddækningen, og den luftstrøm der derved dannes, kan være med til at køle solcellerne, hvilket øger deres effektivitet. Der

tænkes i den forbindelse på om "køleribber" kan være med til at øge afkølingen af solcellerne.

Endvidere undersøges det om der kan indbygges en styringsboks mellem solcelleanlægget og det offentlige elnet, sådan at solcelleanlægget fysisk er forhindret i at sælge til nettet, og dermed kun kan forsyne tagaggregatet helt eller delvist

1.2 TAGAGGREGATER PÅ BYGNINGER

I det følgende er der givet er par eksempler på tagaggregater, der virker skæmmende på visuelle udtryk af bygningen.



Figur 1 IKEA Skejby ved Aarhus, 8200 Århus N



Figur 2 Tre Ege Forsorgshjem, 8220 Brabrand



Figur 3 Fakta butik, 8355 Solbjerg



Figur 4 KIWI Butik, 8340 Maling,



Figur 5 Kobæk Strand Conferencecenter, 4230 Skælskør



Figur 6 Njalsgade, 2300 København S



Figur 7 Skanderborgvej, 8260 Viby J.

1.3 BEDRE VISUELT UDTRYK AF BYGNING

Målet med en visuel inddækning er at fjerne det "grimme" på taget, og skabe harmoni i det arkitektoniske udtryk for bygningen. Det kan både være inddækning af tagaggregater, dvs. ventilationsaggregat eller kølemaskine. Samtidig kan ventilationskanaler skjules.

Dvs. at inddækningen visuelt bør kunne skifte karakter, afhængig af bl.a. de materialer, som bygningen er beklædt med på facaden.

1.3.1 Tagaggregater med behov for visuel inddækning.

I dette afsnit gennemgås der forskellige tagaggregater, som kan have brug for en visuel inddækning, for at forbedre det visuelle indtryk af bygningen. Det drejer sig om ventilationsaggregater, ventilationskanaler, tørkølere, køleunits og varmpumper.

For ventilationskanalerne gælder, at de kan modstå regn og vejr uden problemer. Tørkølere og køleunits og varmpumper med udedel, har krav på fri adgang til udeluft. Der er ikke brug for inddækning mod regn på ovenstående typer af tagaggregater.

I afsnit 1.3.2, side 13 er det beskrevet, at der på grund af regn dannes rust ved inspektionslemme/døre ind til ventilationsaggregater. Dette medfører utætheder, som kan medføre driftsforstyrrelser i ventilationen af bygningen. En vandret inddækning over ventilationsaggregatet kan hindre regn i at komme til ventilationsaggregatet, og derved udskyde rustdannelse og på den måde forlænge levetiden af aggregatet.

1.3.1.1 Ventilationskanaler

I nogle tilfælde vil der være behov for en visuel inddækning af ventilationskanaler. Som oftest er der i disse tilfælde tale om lave bygninger. Et eksempel er vist i Figur 8. Eksemplet er fra Forsorgshjemmet Tre Ege, jf. case senere i rapporten.



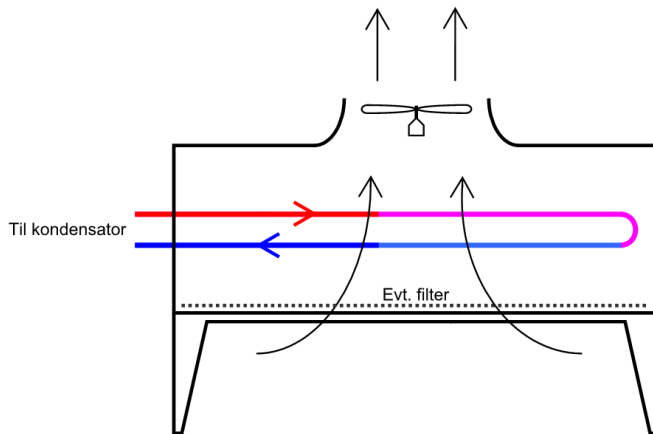
Figur 8 Ventilationskanaler, hvor der er brug for visuel inddækning

1.3.1.2 Tørkølere

Alle køleprocesser kræver at der kan fjernes varme fra processen. Det gælder også almindelig kompressorkøling, hvor energitilførslen sker i form af el, der driver en kompressor, og hvor varme fra processen ledes væk via varmeafgivelse fra en kondensator/

tørkøler. Selve kølemaskinen med kompressor, vil ofte være placeret indenfor i selve bygningen.

Den nødvendige bortledning af energi sker i en såkaldt tørkøler, som overfører varmeenergien fra kølemaskinen til udeluft. Tørkølere skal have fri adgang til udeluften, og er ofte placeret på bygningstage, når bygningen har vandret tag. Derved optaget tørkøleren ikke plads i terræn omkring bygningen. I Figur 9 er principperne i en tørkøler illustreret.



Figur 9 Principtegning af en tørkøler

I tørkøleren er der indbygget en ventilator øverst, og varmeovergangen fra kondensator til luft forøges ved, at ventilatoren, tvinger udeluften der strømme ind forneden, hen over kølerribberne i kondensatoren. Figur 10 viser et eksempel på en tørkøler.



Figur 10 Modulopbygget tørkøler (tt-coil)

Et eksempel på en tørkøler placeret på en REMA butik, er vist i Figur 11.



Figur 11 Tørkøler med 3 ventilatorer til venstre i billedet

Tørkølere kan kun inddækkes synsmæssigt. De skal have direkte uhindret adgang til udeluften for at fungere korrekt.

1.3.1.3 Køleunits

Kølemaskine og tørkøler er ofte sammenbygget i en unit, som ofte placeres på vandrette tage. Tørkøleren kræver uhindret adgang til udeluften.



Figur 12 Køleunit med indbygget tørkøler (Thermocold)

Ofte vil en visuel inddækning være ønskelig for at dække for indkig til køleunits.

1.3.1.4 Varmepumper

Varmepumper på vandrette tage kan være synlige og forstyrre bygningens visuelle indtryk. Derfor kan der være behov for en visuel inddækning.

1.3.2 Tagaggregater med supplerende vandret taginddækning

Et ventilationsaggregat består typisk af en kasse med adgangsdøre, som når de er åbne giver adgang til service af udsugnings- og indsugningsventilatorer, varmeveksler og filtre. Et eksempel er vist Figur 13.



Figur 13 Ventilationsaggregat uden inddækning

Ventilationsaggregater er følsomme over for direkte vandpåvirkning fra regn og sne. Der dannes efter nogle år rust langs kanterne i lågerne, som medfører utætheder. Et eksempel på rust er vis i Figur 14.



Figur 14 Rustdannelse i karm på ventilationsaggregat

Rustdannelsen bevirker, at der kommer "falsk" luft ind i ventilationssystemet. Det medfører, at ventilationsaggregatet ikke fungerer korrekt, dvs. driften og indeklimaet ikke er som forudsat. Elforbruget til ventilatorerne øges, hvilket medfører forøgede driftsudgifter.

For at undgå vandpåvirkning af ventilationsaggregater på vandrette tage, vælger mange at bygge skure omkring aggregatet, dvs. skure med dør og lys og evt. el-udtag. På skoler vil der altid være aflåste døre til disse skure, idet børn kan finde vej til taget. Etablering af et skur påvirker naturligvis investeringen, men levetiden af ventilationsaggregaterne øges væsentligt.

Et alternativ til et decideret skur kunne være at etablere en vandret afdækning over ventilationsaggregatet, som forhindrer direkte vandpåvirkning fra regn og dug på

ventilationsaggregatet. Det vil være en mindre avanceret løsning end et skur, men hvis den kan etableres på en måde, der ikke er for dyr, så kan det være et alternativ til et skur.

I Figur 47, side 37 er der vist et eksempel på, hvordan et ventilationsaggregat kan beskyttes med en vandret monteret plade, eksempelvis en trapezplade, der er monteret på de alu-stativer/profiler, der er en del af PV-inddækningen.

Når der monteres vandrette plader over et ventilationsaggregat, da skal der være plads til, at en servicetekniker kan åbne lågerne til ventilationsaggregatet. Han/hun behøver ikke nødvendigvis at kunne stå op, men der skal være minimum 1 meters arbejdsplads foran lågerne i lågens fulde højde.

Hvis man i forbindelse med et taginddækningsprojekt etablerer en vandret afdækning over et ventilationsanlæg, så kan det forlænge levetiden af ventilationsaggregatet, og dermed udskyde en investering i et nyt ventilationsaggregat.

1.4 BRANDING

Udformningen af den el-producerende taginddækning bør kunne bruges i forbindelse med branding af virksomheden. Der kan være mange forskellige effekter og metoder, der kan bruges i den forbindelse.

Det kan være valg at materialer og farver på inddækningen, der understøtter et brand, eller har tekst eller billede påført.

Inddækninger kan være udført med LED belysning, der kan lyse gennem huller i inddækningen om natten, evt. med dynamisk funktion, for at påkalde sig opmærksomhed. Dvs. at inddækningen kan bruges til branding hele døgnet.

1.5 RENTABILITET

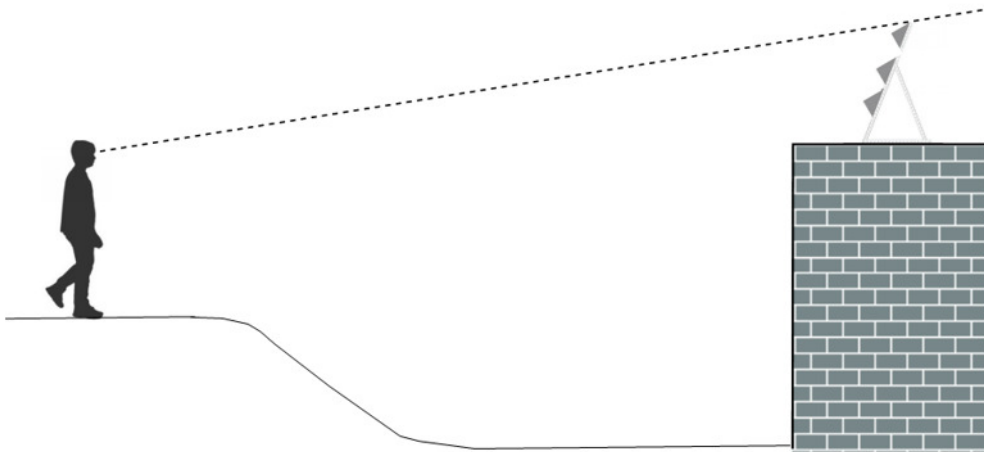
Ideen i projektet er at PV-inddækningen skal være med til at tjene sig selv hjem over en årrække, idet den producerer el, som substituerer el-indkøb fra det offentlige elnet, eller kan sælges til nettet. Produktionskapaciteten forventes dog ikke at være større end at produktionen af solcelle elektricitet kan forbruges 100 pct. af bygningen.

Om en vandret inddækning over ventilationsaggregater er rentabel, er noget af det der skal undersøges i forhold til et traditionelt bygget skur.

2 ARKITEKTUR OG KONSTRUKTION

2.1 VISUEL INDDÆKNING AF TAGAGGREGATER

En PV-inddækning, bestående af et stativ og tre trekanten, kan dække for indblik til grimme tagaggregater, hvilket er illustreret i principtegningen i Figur 15.



Figur 15 PV-inddækning kan forhindre indkig til tagaggregater - princip

Sigtelinjen på Figur 15 viser at den viste PV-inddækning visuelt kan dække genstande, der gradvist er højere jo længere genstanden er placeret væk fra og bag PV-inddækningen.

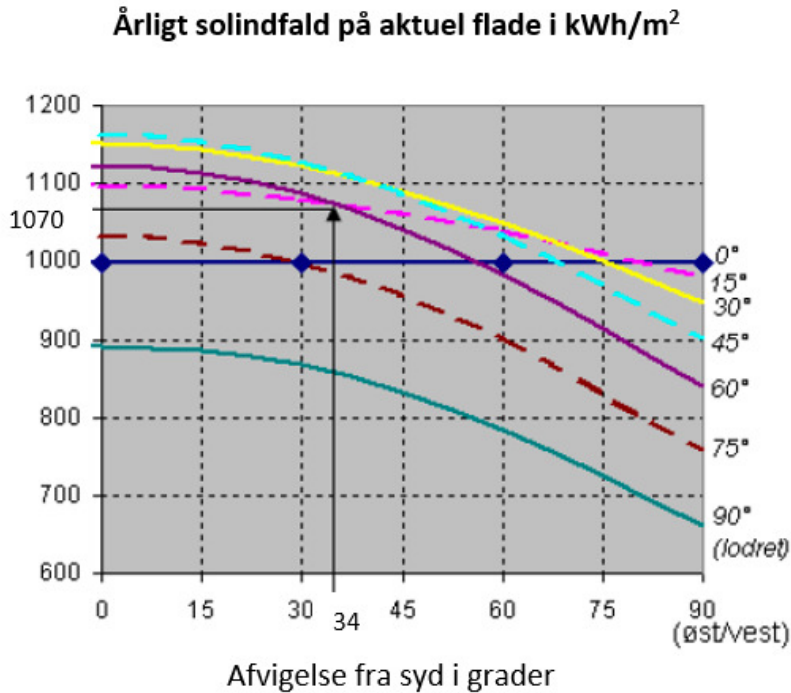
I en konkret sag, optimere man PV-inddækningens placering og størrelse i forhold til tagaggregaterne der skal dækkes visuelt.

2.2 VALG AF HÆLDNING PÅ SOLCELLEPANELER

Visuel inddækning af tagaggregater, har relevans uanset om et tagaggregat ses af beskueren i en nordlig, østlig, sydlig eller vestlig retning.

Et energiproducerende tagaggregat vil kunne producere solcellestrøm, hvis det er monteret med solcellerne orienteret mod øst, syd og vest eller orienteringer derimellem. Orienteringer for solceller der er orienteret fra vest over nord mod øst giver ikke meget eller slet ikke solcellestrøm.

Målet har været at producere et standardmodul, med en hældning på solcellerne, der giver en rimelig produktion, uanset om orienteringen af solcellerne er mod øst, syd eller vest eller orienteringer derimellem.



Figur 16 Årligt solindfald afh. af hældningsvinkel og azimuth

I Figur 16 er der vist hvordan det årlige solindfald på en flade, afhænger af azimuthvinklen, dvs. afvigelsen i forhold til syd og af hældningen på fladen.

Eksemplet vist med en sort pil viser, at for en flade, der har en azimuthvinkel på ca. 34° i forhold til syd, og har en vinkel på enten 15° eller 60° i forhold til vandret, får et årligt solindfald på ca. 1070 kWh/m² pr. år.

Eksemplet viser også at for azimuthvinkler mindre end 34°, da giver en solpanelhældning på 60° et lidt større årligt solindfald sammenlignet med solindfaldet på et solcellepanel med en hældning på 15° i forhold til vandret. Det omvendte gør sig gældende for azimuthvinkler større end 34°.

Figur 16 viser endvidere at for en solcelle, der har en hældning på 30° (gul kurve) og er orienteret mod syd, da er produktionen ca. 1150 kWh/m²-solcelle. Den årlige solindstråling falder, når azimuthvinklen i forhold til syd øges. Ved en azimuthvinkel svarende til øst eller vest, da er det årlige solindfald ca. 950 kWh/m²-solcelle.

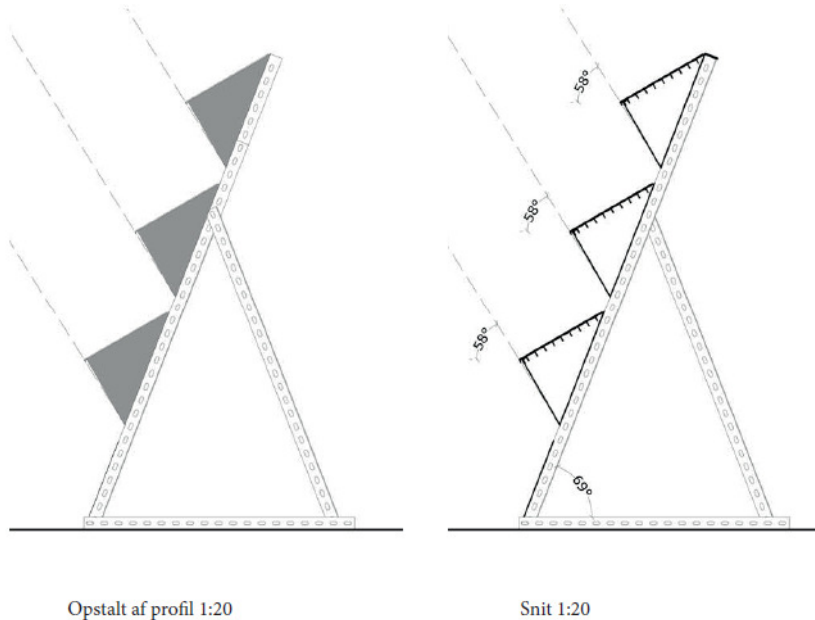
Det fremgår af figuren, at en hældningsvinkel på 30° er den optimale, hvis man ser på alle azimuthvinkler under et. Der for er denne vinkel valgt til prototypen!

En uddybning af valget på de 30° følger her. En 45° hældningsvinkel vil kun give lidt mere marginalt for azimuthvinkler nær syd, men vil yde en del mindre for orienteringer der nærmer sig øst og vest. For azimuthvinkler mellem 40° og 90° vil en solcellepanelhældning på 30° give det største årlige solindfald og dermed elproduktion i forhold til en hældning på 45°.

2.3 ARKITEKTONISKE VALG MHT. TIL FORM OG UDTRYK

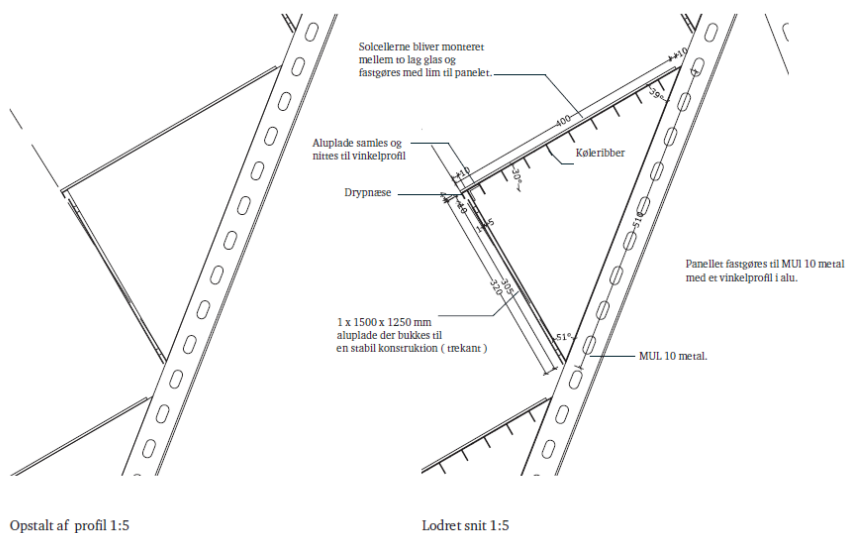
Der har været mange overvejelser vedr. form og udtryk i forbindelse med udvikling af prototypen af standardmodulet jf. Figur 17.

Standardmodulet består af 3 trekanter produceret hos SolarVenti med en længde på ca. 1,5 meter udført i aluminium. Trekanterne er monteret på et aluminiumsstativ som leveres af eksternt leverandør.



Figur 17 Standardmodulets opbygning

I Figur 18 side 17 er der vist detaljer fra trekantens opbygning.



Figur 18 Detaljer i trekanternes opbygning

En afgørende overvejelse i forhold til at sikre æstetik kontra rentabilitet har været at adskille selve solcellefladen der orienterer sig opad mod solen fra den visuelle flade der peger nedad mod beskueren.

Således har den nedadrettede flade mest betydning for det visuelle indtryk for en beskuer, og denne flade kan tilpasses individuelt til bygningens øvrige udtryk og materialeholdning og/eller til virksomhedens identitet.

Det opadrettede solcellepanel behøves således ikke arkitektonisk at blive behandlet æstetisk i forhold til den konkrete bygning, men kan være en standardudførelse.

I afsnit 2.4 side 19, er materialevalg nærmere beskrevet.

Scenarier for hhv. 4-5 etagers ejendomme i forhold til 1 etagers ejendomme har været afprøvet i 3D modeller i forhold til at bestemme den rette balance i forhold forskellige beskuervinkler.

Ligeledes har det været undersøgt hvilken stativvinkel der kan accepteres i afvigelse fra lodret for ikke at synes "at vælte" når den placeres på en bygning med vandret tag.

Det er valgt at benytte velafprøvede fæstningsmetoder til bygningens tag og der er således taget udgangspunkt i SolarVenti eksisterende samarbejdspartner Mul10Metals system for fæstninger og fastgørelse til flade tage. SolarVenti benytter Mul10Metal systemer til fastgørelse af deres varmluftsolfangere.

I Danmark er vi vant til mindre "afvigelser" visuelt i bygningernes større flader, så som ventilationshætter, skorstene mv. Det er visuelle afvigelser, som ikke ødelægger helhedsindtrykket af en tagflade eller en facade.

Placering af 3 trekantmoduler over hinanden vurderes af giver tilstrækkelig afdækning på både 1 etage og 4 -5 etagers ejendomme. Det tillades at PV-inddækningen kun dækker for udsynet i størrelsesordenen 80-90 pct., hvilket sikrer at et nyt helhedsindtryk opnås.

En 100 pct. visuel afdækning af hele ventilationssystemet set fra terræn vil i de fleste tilfælde ikke være nødvendig rent æstetisk, og derfor en unødvendig investering.

Det vil ofte kræve uforholdsvist høje afdækninger der ikke vil give den rette proportionelle balance mellem facade og tag.

Selve trekantmodulernes og konstruktionens opbygning beskrives i afsnit 2.5 side 21.

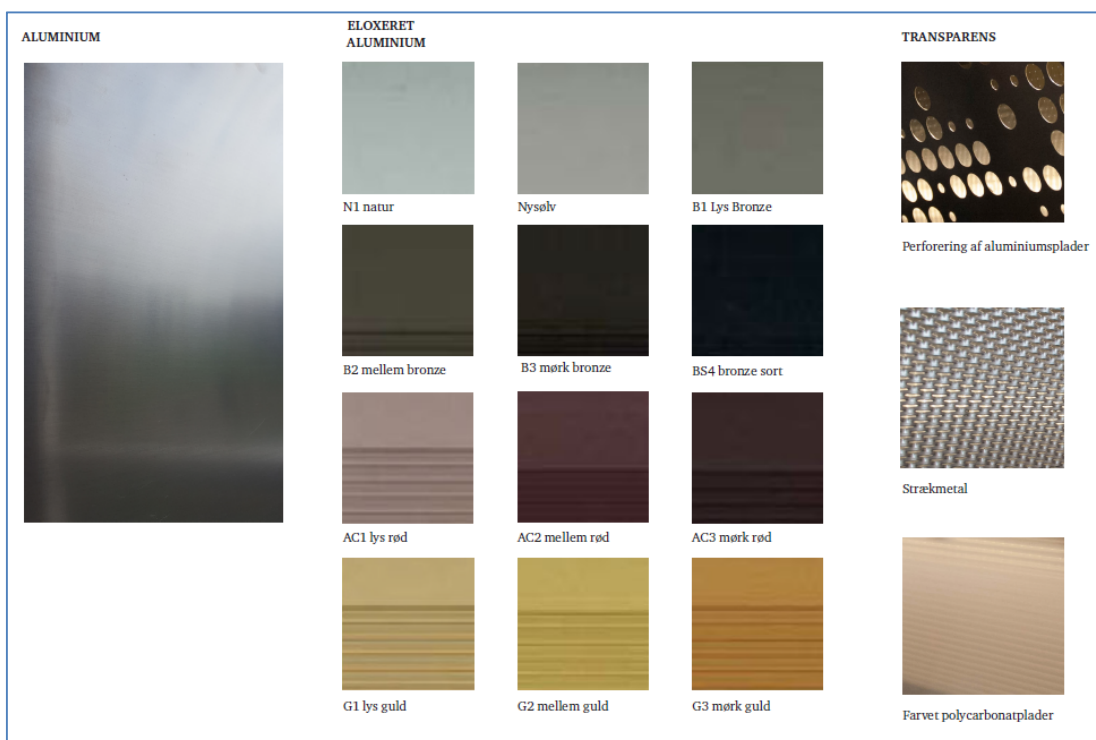
2.4 MATERIALEVALG

Det er afgørende for produktets succes at systemet lader sig indpasse med den pågældende ejendoms æstetiske udtryk og dermed at materialeholdningen er afstemt til ejendommens visuelle udtryk.

Samtidig er det vigtigt for prisen at sikre enkelthed i produktionen, og høj gentagelseeffekt.

Der er igennem en række tests i 1:1 fremkommet følgende grundlæggende systematik:

Trekantmodulet bukkets af plademateriale i aluminium, evt. med en bestemt eloxering, der som det angives i Figur 19 kan gives varierende udtryk. Såfremt transparens og overfladebehandling ønskes, skabes det ved hjælp af enten perforering i pladematerialet før bukning, eller udskæring af felt for montage af dækplade på den side at trekanterne, der peger ned mod beskueren.



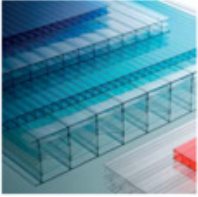
Figur 19 Materialevalg for inddækningspladen

Dækpladen kan bestå af forskellige materialer, f.eks. strækmetal eller kanalplast, dvs. farvet polycarbonatplade. Disse materialer rummer muligheden for ved hjælp af LED bånd i trekantmodulets inderside, at opnå en lyseffekt om aftenen. Eksempler på polycarbonatplade og perforeret aluminium er vist i Figur 20.


Materialer:

Ingen beklædning - Alu-overflade



















Farvede Polycarbonatplader



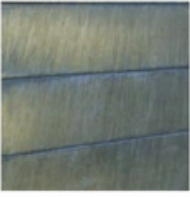
Perforeret Aluminium



Exoleret Aluminium

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |  |
| N1 natur | Nysetv | B1 lys bronze | G1 lys guld | G2 mellem guld | G3 mørk guld |
|  |  |  |  |  |  |
| B2 mellem bronze | B3 mørk bronze | B54 bronze sort | D2 desert | D3 desert | D4 desert |
|  |  |  |  |  |  |
| AC1 lys rød | AC2 mellem rød | AC3 mørk rød | Corten | Rustfri | Cuprum |

Tombak



Standardfarver (RAL-farver)

Figur 20 Eksempler på materialevalg til inddækningspladen

Stativet udføres i Mul10Metals standardvarer, eloxeret sort for derved at træde i baggrunden synsmæssigt, når man ser på standardmodulet.

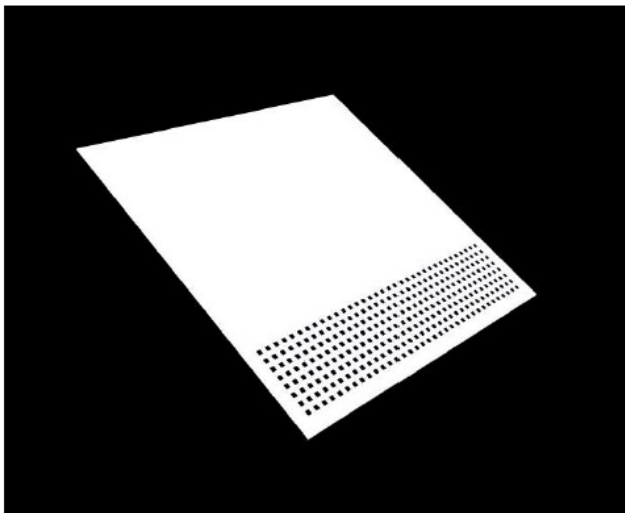
2.5 KONSTRUKTIONENS OPBYGNING I PRAKSIS

2.5.1 Standardmodulets opbygning

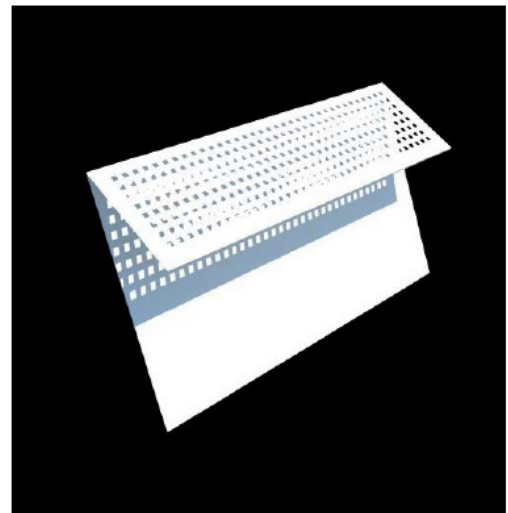
Standardmodulets opbygning med 3 trekanten er monteret på et stativ af aluprofiler, som tidligere er vist på Figur 17, side 17.

I de næste figurer er vist de principielle trin i produktionsprocessen til opbygning af en enkelt trekant.

En trekant er opbygget af 1,5 mm aluminiumsplade. Der udstanses firkantede huller, som vil kunne give adgang til kølig luft til bagsiden af solcellepanelet, se senere. Pladen bukkes første gang, jf. Figur 21.



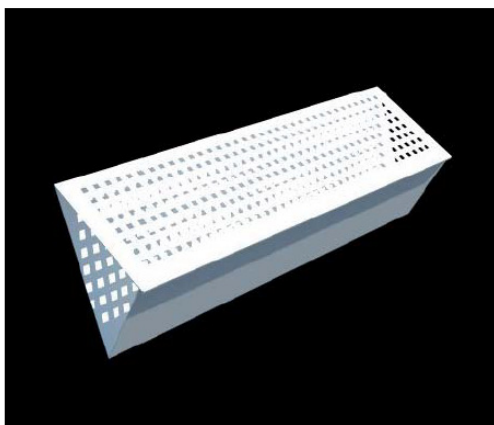
Trin 1: aluminiumsplade med bukket drypnæse og køleribber.



Trin 2: bukning af bagplade

Figur 21 Trin 1 og 2 i produktionsprocessen

De næste trin i processen er vist i Figur 22. Pladen bukkes en gang mere, og aluminiumstrekanten samles med vinkelprofil og nitter.



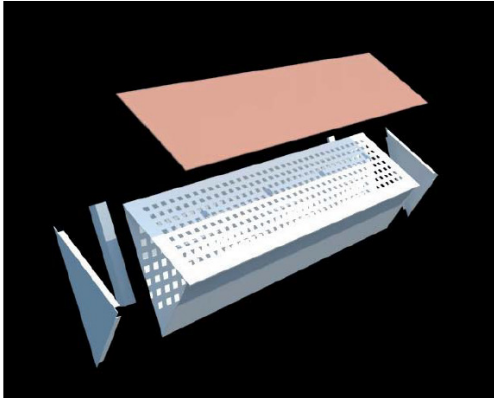
Trin 3: bukning af front



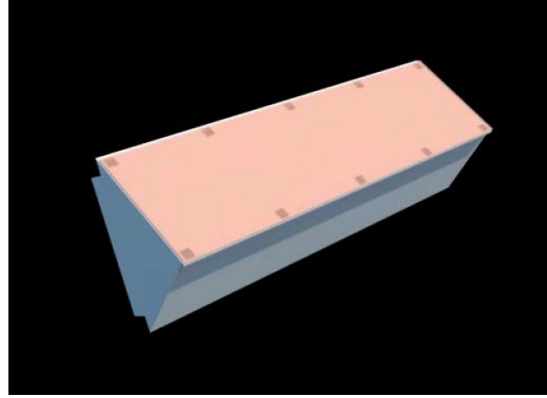
Trin 4: aluminiumsplade samles med nitter ved vinkelprofil

Figur 22 Trin 3 og 4 i produktionsprocessen

I de næste produktionstrin, jf. Figur 23, monteres solcellepanelet, på den side der er vendt mod solen. Der monteres endvidere trekantede endestykker, udført som net, sådan at fugle mv. ikke kan bygge reder i trekkanterne.



Trin 4: de enkelte dele af panelet med solceller



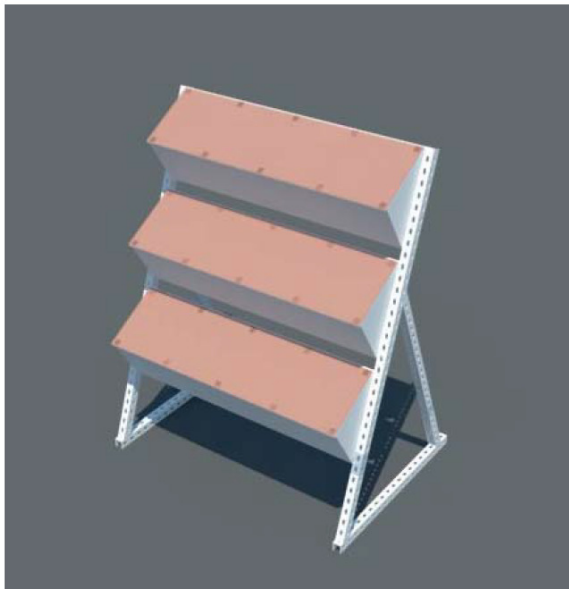
Trin 5: Samlet panel med solceller

Figur 23 Produktionstrin 4 og 5 i produktionsprocessen

Det færdige standardmodul er vist i Figur 24. De tre solcellepaneler er vendt mod solen.

De nedadvendte flader kan bestå af trekkanternes rene aluminium, evt. med udstansede huller i ensartede eller forskellige størrelser som nævnt tidligere.

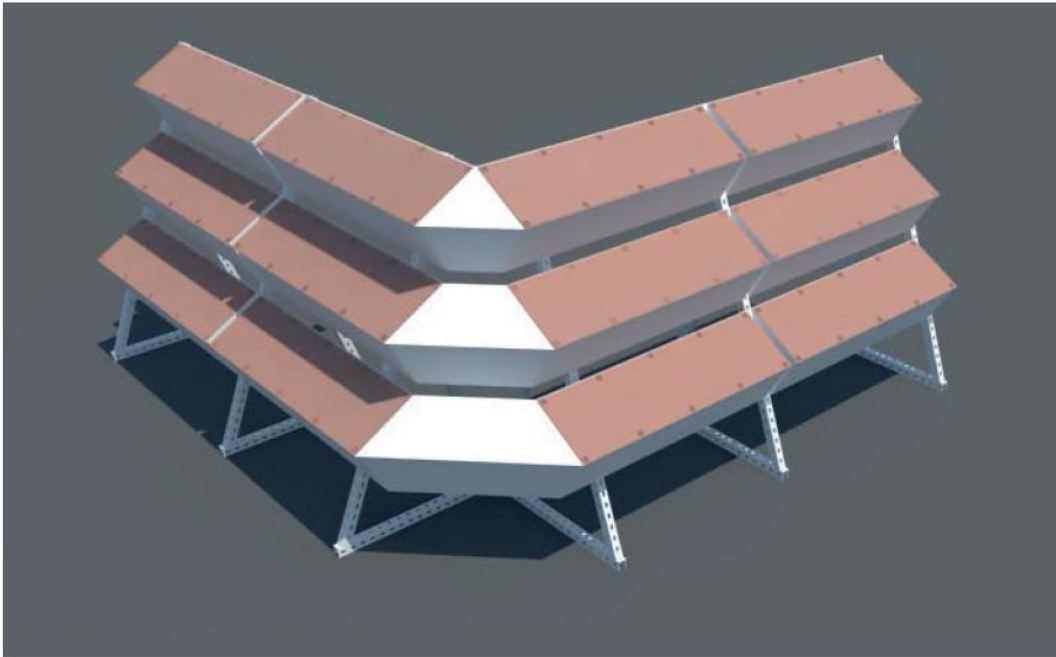
Der er beslag på trekkanterne, sådan at der alternativt kan monteres plader, her kaldet "inddækningsplader", som kan vælges i forskellige materialer, jf. materialebibliotek i afsnit 2.4. side 19.



Figur 24 Prototypen med 3 trekkanter monteret på Mul10Metal aluprofiler

Ofte vil det være muligt at opstille standardmoduler mod flere verdenshjørner. Der er derfor designet et hjørnemodul, som visuelt forbinder de to rækker af standardmoduler, som altid er placeret vinkelret på hinanden. Hjørnemodulet opbygges af aluminiumsplader, der monteres på de 2 standardmoduler der grænser op til, jf. modellen i Figur 25.

De plader der vender op mod solen, er sorte eloxerede aluminiumsplader, dvs. samme farve som solcellerne. De flader der er monteret mod gadeniveau, påføres inddækningsplader, som de øvrige standardmoduler.



Figur 25 Model af prototypen, inkl. hjørnemodul

I Figur 26 er vist en prototype monteret på Mul10Metal aluprofilstativer inkl. hjørnemodul.



Figur 26 Prototypen inkl. hjørnemodul

Solcellepanelerne ses tydeligt på billedet i Figur 26. Der ses langsgående elektriske forbindelser på langs af panelerne. Disse elektriske metalforbindelser ses ikke fra fortovsniveau, når standardmodulet er placeret på taget. Der er det kun de nedadvendte flader der er synlige herfra.

Inddækningspladerne vælges ud fra det ønskede arkitektoniske udtryk af PV-inddækningen i forhold til bygningens visuelle udtryk. De kan også vælges ud fra brandingmæssige ønsker.

2.5.2 Aluminiumstrekanten - detaljer

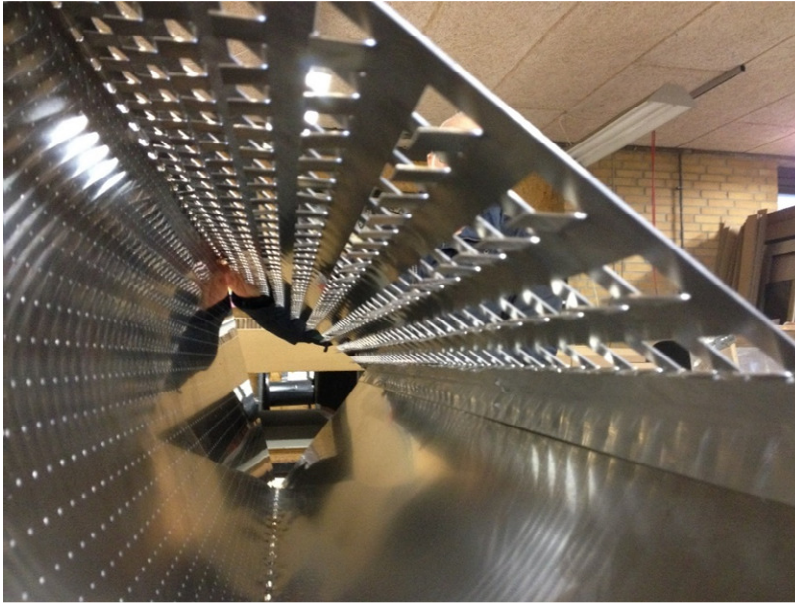
I Figur 27 er vist den side af alutrekanten, hvorpå solcellerne monteres. Det er den side der kommer til at pege opad, når trekanten er monteret på standardmodulet, jf. Figur 18 side 17.



Figur 27 Aluminiumstrekant - side med udstansede kølefiner

De firkantede huller er frembragt ved at der er udstanset firkantede "U'er". Derefter er u'erne bukket ind i trekantet, jf. Figur 28.

Derved er der etableret en kølefinne, som kan bortlede varme fra solcellepanelet, der er limet til aluminiumstrekanten. Solcellerne bliver midt på sommeren varme, og det har den virkning af ydelsen på solcellerne falder, og det kan derfor, om muligt, være ønskeligt at køle solcellepanelerne.



Figur 28 Kølefinner i højre side af billedet

Når det blæser, hvad det jo som oftest gør, kan der etableres en tværventilation på langs af trekanten, som er 1,5 meter lang. De to ender i trekanten afsluttes med trekantprofiler med store huller, hvorpå der på bagsiden er etableret et insektnet, eller alternativt kun et fastgjort insektnet. Luften der ved tværventilation passerer trekanten, afkøler kølefinnerne, og dermed solcellepanelerne.

Ved vindstille som er et særtilfælde vil der formentlig etableres en cirkulation af varm luft der cirkulere mod uret i Figur 25, pga. opdrift, dvs. at drivkraften er densitetsforskelle i luften langs de forskellige flader i trekanten, som skyldes forskellige temperaturer.

Fladen med kølefinner, hvorpå solcellepanelerne sidder vil blive varm, og opvarme luften, der stiger opad langs siden til højre i trekanten af Figur 28. Der skabes hermed et lokalt lavtryk til højre i trekanten. Luften presses ved toppen af trekanten videre ned langs fladen til venstre i Figur 28.

Denne flade sidder i skyggesiden af standardmodulet, og er derfor kølig. Luften der presses ind for oven af fladen, vil blive afkølet og vil falde ned langs fladen, og der dannes derved et lokalt højtryk i bunden af trekanten.

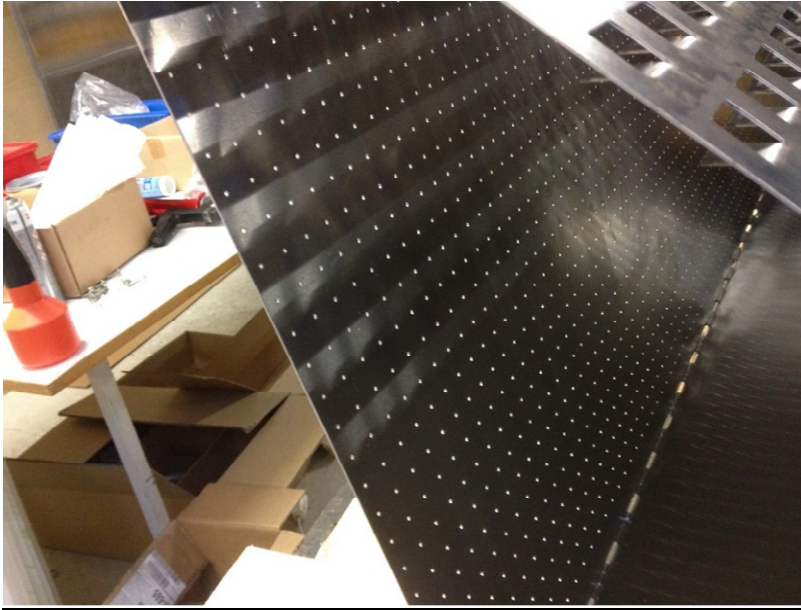
Luften vil på grund af højtrykket i bunden af trekanten bevæge sig langs den side af trekanten, hvor inddækningspladerne sidder, mod lavtrykket dannet ud for bunden af den side af trekanten, hvor solcellepanelerne sidder. På den måde må der forventes etableret en cirkulation af luft i trekanten mod uret i Figur 28, Luftstrømmen vil afkøle luftfinnerne og dermed solcellepanelerne.

Der er ikke lavet målinger på hvad effekt tværventilation og opdrift har på afkølingen af solcellepaneler under drift. Kølefinnernes udstansningsretning kunne tænkes at forskellig effekt ved tværventilation og opdrift.

Oprindeligt var der en idé i projektets idéfase om at man i hvert fald teoretisk kunne tilslutte trekanternes luftvolumen til ventilatorer, og dermed forcere en afkøling af kølefinnerne, samt

evt. udnytte den opvarmede luft fra trekantene i visse perioder af året til ventilation i bygningen.

Lufthuller i bagpladen skulle fungere som indtag, jf. Figur 29, samtidig med at den ene ende af trekanten var helt lukket. Den anden ende af trekanten skulle tilsluttes en udsugningsslange. Hvis den opvarmede luft skulle tilsluttes et ventilationssystem, da ville man sætte et filter langs bagpladen, som rensede udeluftens indhold af pollen mv. Men det vil blive for dyrt at etablere den slags systemer, og er ikke undersøgt yderligere.



Figur 29 Huller i bagpladen for indtag til ventilation

I aluminiumstrekanten udstanses der et hul, sådan at der er plads til el-boksen på bagsiden af solcellepanelet. Dette er vist i Figur 30.



Figur 30 Udstandsning i plade for elboks på solcelle

2.5.3 De arkitektoniske inddækningsplader

Konceptet for prototypen og modulopbygningen inkl. materialevalg er beskrevet i notatet i Bilag 4. Dette notat dannede baggrund for den Mock-up Model, som SolarVenti producerede og demonstrerede på en workshop.

I de følgende figurer er der vist billeder fra en test af prototypen hos SolarVenti. Stativernes aluprofiler er i testen udført i blankt aluminium. Testen viste, at det ikke var det rigtige farvevalg til profilerne fra Mul10Metal, og farven/materialet på aluprofilerne blev derfor ændret til eloxeret sort aluminium efterfølgende.

Testen viste også at aluprofilerne fra Mul10Metal ved hjørnemodulet skal føres helt hen til der hvor hjørnemodulet starter.

I Figur 31, som var første test, er der benyttet strækmetal til venstre og udstansede huller i aluminiumstrekkanterne til højre.



Figur 31 Strækmetal tv. - Trekant med store huller th.

Det viste sig ved testen at hullerne på 40 mm. i diameter i den højre plade i Figur 31 er for store visuelt. Hullerne må maksimalt være 20 mm.

I Figur 32 er der benyttet zink, som inddækningsplade, og det fremgår af testen og billedet, at inddækningsplader af zink ikke egner sig til dette formål, idet der kommer et uheldigt spil i overfladen, sådan at pladen ikke fremstår skarpt.



Figur 32 Strækmetal tv. - Zink th.

De sorte inddækningsplader i Figur 33 er udført i eloxeret aluminium, og fungerer fint i testen, og vil kunne bruges i praksis.



Figur 33 Sort plade tv. - Zink th.

Aluminiumstrekkanterne tv. i Figur 34 med varierende hulstørrelse fungerer fint, og vil kunne bruges i forskellige sammenhænge, også belyst bagfra om aftenen, når det er mørkt.

Udstansningen af hulmønstret foregår efter en programmeret skabelon, som kan ændres efter behov.



Figur 34 Aluminiumstrekanten med varierende huller tv. - Zink th.

I Figur 35, er der testet eloxeret aluminium i farven natur. Det er en flot ensartet flade, der vil kunne bruges i mange sammenhænge.



Figur 35 Eloxeret aluminium farve natur tv. - Zink th.

I Figur 36 og Figur 37 er der til venstre benyttet eloxeret aluminium i farven guld. Det er er en flot inddækningsplade, som er godkendt ved testen.



Figur 36 Eloxeret aluminium farve guld tv. - Zink th.



Figur 37 Samme materiale som foregående figur, set fra anden vinkel

I Figur 38 er der til højre, vist en inddækningsplade i polycarbonat påmonteret en aluminiumstrekanter med store huller. Selve polycarbonatpladen fungerer fint visuelt, men den skal ikke monteres på en trekant med huller. Den kan også monteres på en trekant med en

udstanset firkant, jf. Figur 39, hvilket give mulighed for lyseffekter om aftenen, når det er mørkt.



Figur 38 Eloxeret aluminium farve guld tv. - Polycarbonat th.

I de næste figurer, Figur 39 og Figur 40, er der vist 2 eksempler på inddækningsplader, som er gennemtrængelige for lys bagfra.



Figur 39 Inddækningsplader af strækmetal, belyst bagfra



Figur 40 Inddækningsplade af polycarbonat, belyst bagfra

Lyskilden er i dette tilfælde ét LED-bånd, der kun bruger en begrænset el-effekt. Hvis man vil have større effekt kan der monteres 2 LED-bånd. LED-båndene kan programmeres til at have diverse lyseffekter.

De viste inddækninger er eksempler på inddækninger, der kan få opmærksomhed fra forbigående, når det er mørkt, og på den måde kan PV-inddækningen indgå i branding/markedsføringen af virksomheden.

Resultatet af testene som blev gennemført på SolarVenti, viste at inddækningsplader i farverne: sort, guld, natur fungerer fint. Zink dumpede i testen.

Derudover kan strækmetal og polycarbonatplade bruges som inddækningsplade.

Forskellige hulformationer i selve aluminiumstrekanten kan også bruges.

Testen af prototypen viser også at aluprofilerne som trekanten er monteret på, skal være i farven sort, og at der ved lave tage, skal monteres et net bag trekanten, der hindrer indkig mellem trekanten til tagaggregaterne.

2.5.4 Udfordringer i produktudviklingen.

Det har heldigvis været muligt at finde løsninger på forskellige problemstillinger i produktudviklingen og produktionen hos SolarVenti, der både opfylder arkitektoniske og holdbarhedsmæssige krav, samt krav om den mest økonomiske fremstillingsproces.

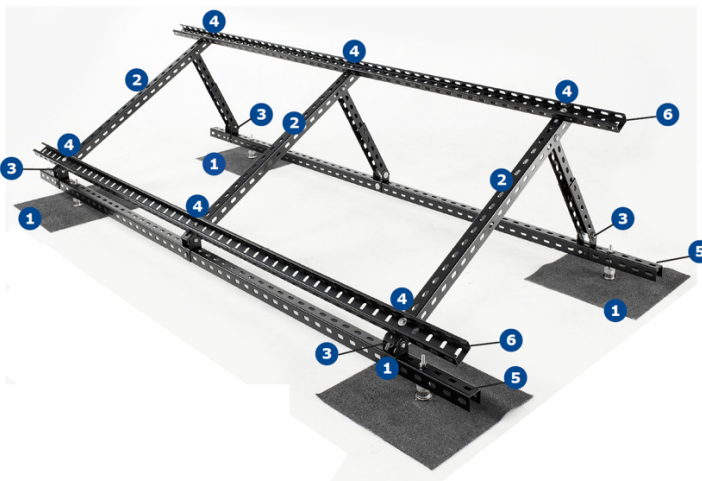
Nogle af udfordringerne og løsningerne er oplistet i det følgende:

- 1) At finde en stærk udformning af trekanten, der samtidig er billig i produktion. Den oprindelige tanke var at lave en opbygning som fik sin stabilitet med nogle kraftige profiler i enderne af de 3-kantede moduler. Styrken i trekanten fås nu i stedet ved at udnytte styrkerne i den formbukkede trekant. Denne løsning er langt billigere og enklere at producere.

- 2) Størrelsen på moduler omfangsmæssigt blev tilpasset de standardplader man kan få i aluminium, og som samtidig er de maximale dimensioner de fleste automatiske stansemaskiner kan bearbejde = 125 cm i bredden. Dette fik SolarVenti til at passe med de ønskede arkitektoniske krav.
- 3) Moduler skal kunne monteres og serviceres individuelt. Dette blev løst ved en enkel ombukning af modulenderne, så hvert enkelt modul kan monteres (og afmonteres) uden at andre moduler berøres. El-tilslutning kan desuden foretages fra hvert enkelt element.
- 4) Metoder til at fastgøre forskellige typer dekorative inddækningsplader/facadeplader på fronten er fundet – og kan nu tilpasses flere forskellige materialevalg.

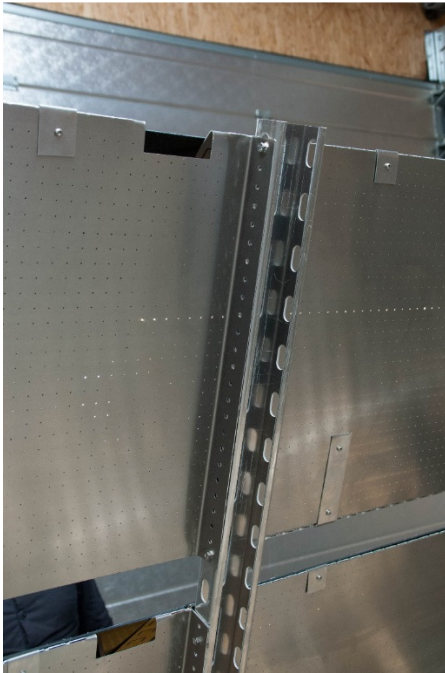
2.5.5 Konsolsystemet fra Mul10Metal

Trekanterne skal monteres på et konsolsystem fra producenten Mul10Metal. Figur 41 viser den principielle opbygning med diverse aluprofiler. Konsolsystemet er monteret på konsolfødder.



Figur 41 Konsolsystem fra Mul10Metal

I Figur 42 er der vist hvordan aluminiumstrekanterne er monteret på et Mul10Metal aluprofil.



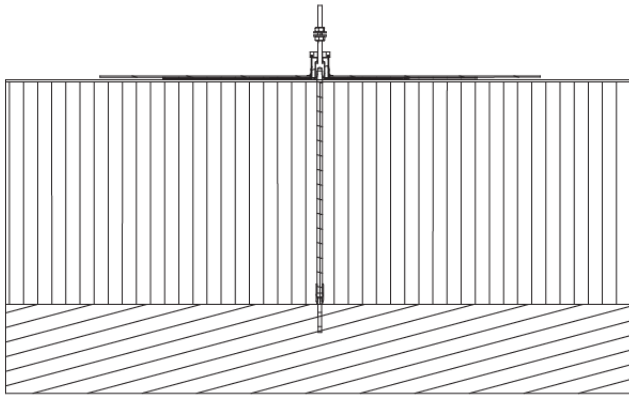
Figur 42 Opsætning af trekant på Mul10Metal aluprofil

I langt de fleste tilfælde, vil PV-inddækningssystemet skulle monteres på flade betontage, hvorpå der er overliggende isolering, afsluttet med tagpap. Figur 43 viser detaljerne i konsolfoden, inkl. gevindstang.



Figur 43 Konsolfod med gevindstang til tagpaptag

Gevindstangen skal føres ned igennem isoleringen og bores ned i betondækket. Dette er vist på Figur 44.



Figur 44 Gevindstang monteret gennem isolering og forankret i beton.

3 INSPIRATIONSCASES

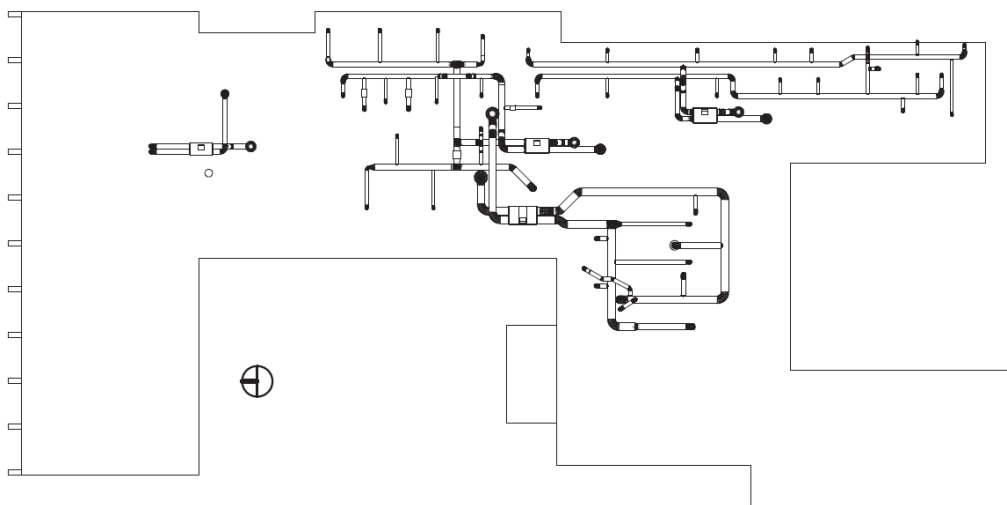
Udviklingsarbejdet har taget udgangspunkt i konkrete cases. Den første case var Tre Ege Forsorgshjem i Brabrand, som illustrerer problematikken med et uheldigt visuelt udtryk. Den endelige prototype var ikke udviklet på det tidspunkt, så løsningen var det første spæde forsøg på at få synsmæssigt inddækket tagaggregater og ventilationskanaler.

3.1 TRE EGE FORSORGSHJEM

Tre Ege Forsorgshjem har på taget mange ventilationskanaler, som det fremgår af Figur 45

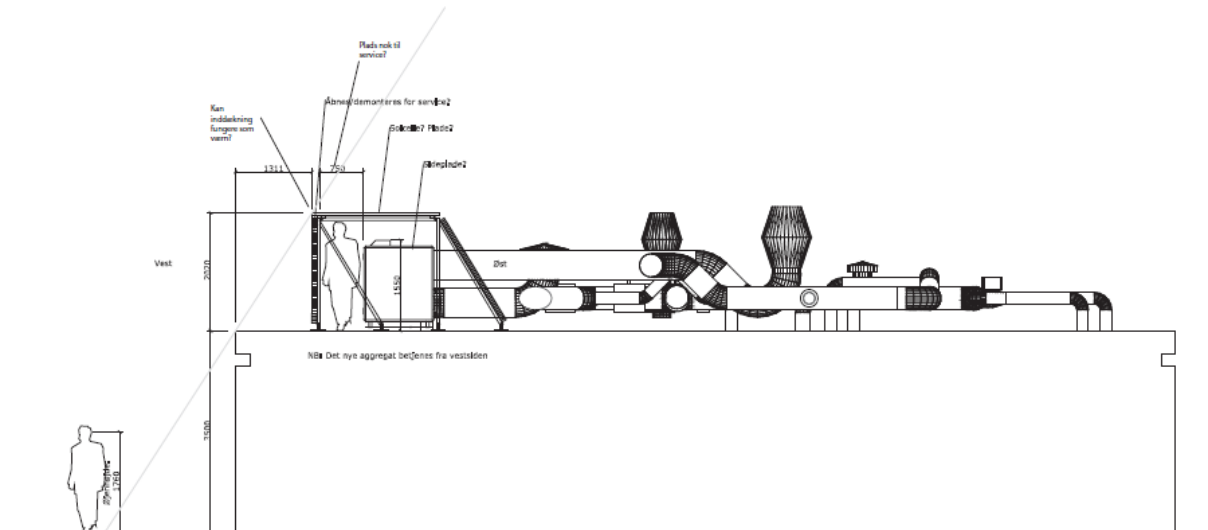


Figur 45. Tre Ege Forsorgshjem, eksisterende forhold



Figur 46 Ventilationsaggregater og kanaler

Casen dannede baggrund for indledende overvejelser om, hvordan tagaggregaterne kunne inddækkes ikke kun synsmæssigt, men også mod regnvand mv. fra oven. Det kan være i form af en vandret eller næste vandret trapezplade monteret på den øvrige konstruktion.



Figur 47 Vandafvisende Inddækning af ventilationsaggregat



Figur 48 Arkitektonisk taginddækning udført med almindelige solpaneler

Casen er illustreret yderligere i Bilag 1.

3.2 KIWI

Kiwi, der nu har solgt sine forretninger i Danmark, havde en butik i Malling. Ventilationsaggregat med tilhørende ventilationskanaler ses meget tydeligt fra vejniveau, og er meget skæmmende for den lave bygning, set fra 3 sider. Netop dette tagaggregat gav inspirationen til projektet, idet en visuel inddækning foran tagaggregaterne kunne højne det visuelle udtryk betydeligt. Hvis solceller på denne visuelle inddækning foran tagaggregaterne, så samtidig kunne være med til at betale investeringen hjem, så ville det være fint.

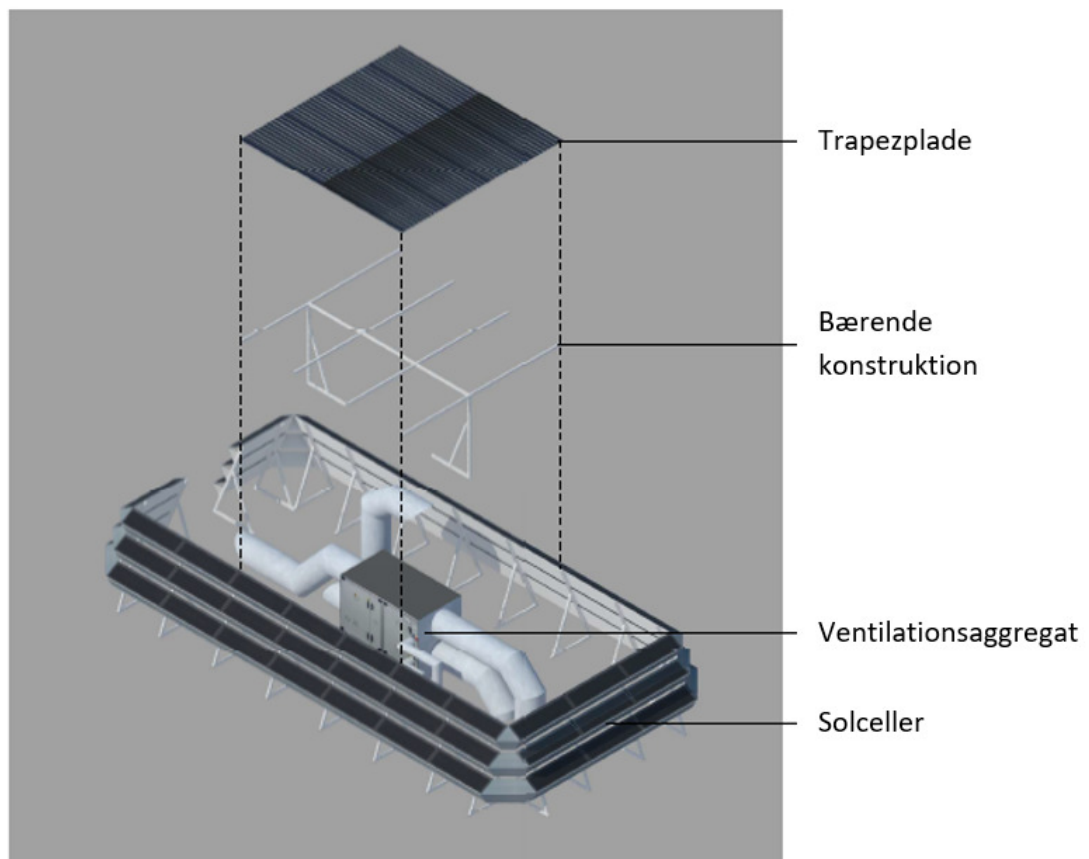


Figur 49 Kiwi butik, 8340 Malling



Figur 50 Kiwi butik, set fra syd

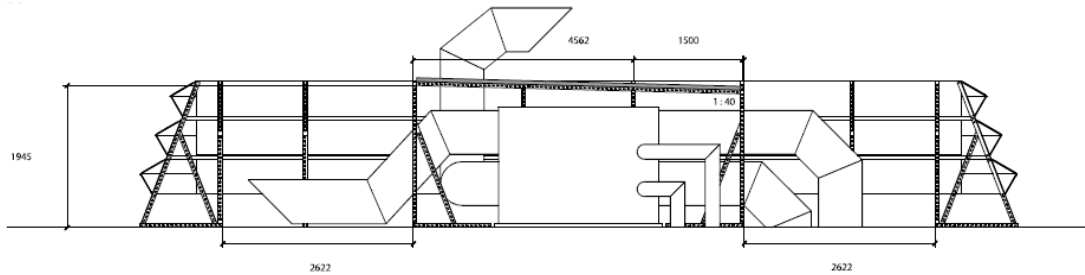
Krydsrum har tegnet en principiel løsning på den visuelle udfordring, bestående af inddækning fra alle verdenshjørner. Der er adgang til tagaggregaterne ved at et standardmodul ikke monteres.



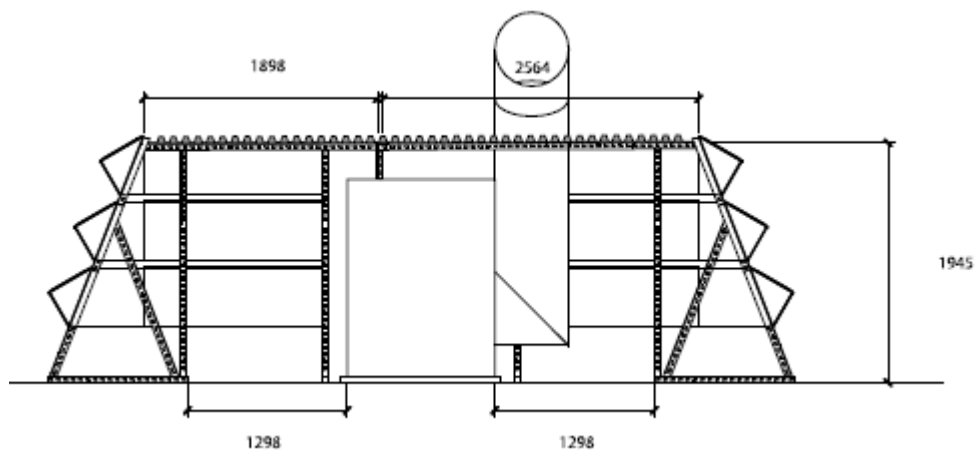
Figur 51 PV-inddækning af tagaggregaterne - princip

Inddækningspladerne på trekanternes nederste flade vælges ud fra arkitektoniske vurderinger eller brandingmæssige valg. F.eks. et farvevalg, der gengiver farver i forretningens logo.

I den principielle løsning er der arbejdet med en vandret afdækning af ventilationsaggregatet bestående af trapezplader med en svag hældning, sådan at regnvand kan bortledes.



Figur 52 Trapezplader med lille hældning



Figur 53 Snit af tagkonstruktion, som bærer trapezplader

Denne løsning kan tage det værste regnvand der kommer direkte fra oven. Standardmodulerne tager også en del regnvand men er ikke helt tætte, idet der er afstand mellem trekantene med solceller. For enderne er der åbent, men da trapezpladerne går en del længere ud end udbredelsen af ventilationsaggregatet, kommer der ikke direkte slagregn ind på ventilationsaggregatet.

Så løsningen vil minimere den direkte vandpåvirkning, men ikke være tæt som de traditionelle skurløsninger.

Casen er yderligere illustreret og beskrevet i Bilag 2.

3.3 HARALDSHUS

I forbindelse med projektet har Krydsrum arkitekter identificeret bygningen Haraldshus, beliggende på hjørnet af Haraldsgade og Vermundsgade, København Ø, og været i dialog med ejendommens ejer Nordea Ejendomme. Casen er nærmere beskrevet i Bilag 3.

Bygningen benyttes til udlejning af kontorlokaler. Krydsrum har i de følgende visualiseringer illustreret, hvordan prototypens front bestående af 2 aluprofiler med 3 trekantede monteret foran, kan ændre det arkitektoniske udtryk af bygningen ved at skjule ventilationsaggregater m.v.



Figur 54 Haraldshus, eksisterende forhold, set mod nord



Figur 55 Haraldshus med PV-inddækning.

Som tidligere beskrevet i projektudviklingen fandt vi, bl.a. igennem arbejdet med PV-inddækningen på Haraldshus ud af, at det måtte accepteres at ikke alle dele af ventilationsanlægget skjules bag inddækningen.

F.eks. ses det af nedenstående billeder på Figur 56 og Figur 57, at 3 trekanter i en række moduler er nok til at skabe den ønskede æstetiske "oprydning" i udtrykket. Flere trekanter eller moduler i højden som helt ville skjule det bagvedliggende ville både blive for dyrt og for "tungt" i udtrykket. Der er casen arbejdet frem til den rette balance.



Figur 56 Haraldshus, eksisterende forhold, set mod vest



Figur 57 Haraldshus med PV-inddækning

I denne case som ligger i et tæt befolket og trafikeret område er der eksperimenteret med eventuelle lyseffekter i modulerne. For rette kundesegment i rette kontekst kunne dette have interesse med for at opnå en branding-effekt om aftenen i form af energiproducerende lysreklamer.



Figur 58 Haraldshus med alternativ PV-inddækning

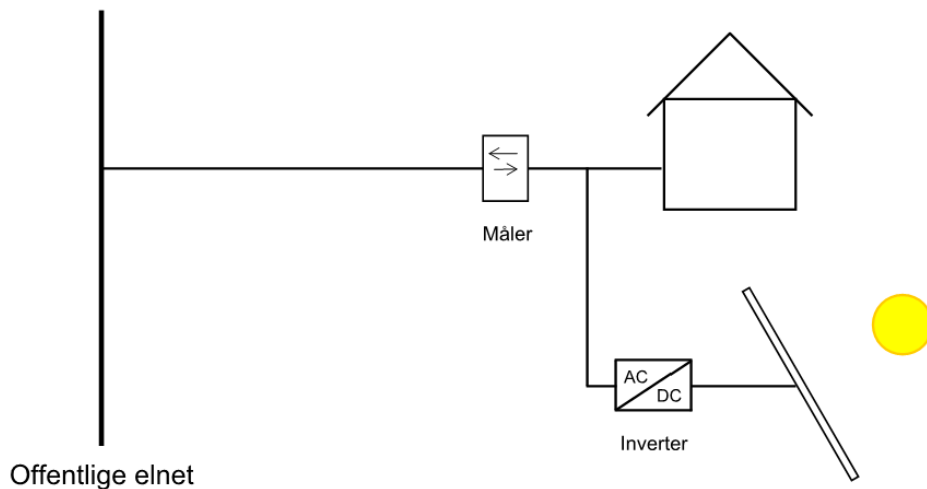


Figur 59 Haraldshus med eksempel på lyseffekter

4 EL-TILSLUTNING

4.1 DEN FYSISKE TILSLUTNING

Figur 60 viser princippet i hvordan jævnstrøm produceret på solcelleanlægget, via en inverter, konverteres til vekselstrøm, som derefter kan bruges i forbrugerens egen elinstallation. Overskydende solcelleproduktion sælges til nettet, når produktionen overstiger forbruget. Når forbruget overstiger solcelleproduktionen, suppleres solcelleproduktionen med el-køb fra nettet. El-måleren skal derfor være af den type, som kan måle på strøm der går begge veje.



Figur 60 Solcelleanlæg tilsluttet forbrugsinstallation og off. elnet - princip

I forbindelse med solcellernes tilslutning til det offentlige net er der en del arbejdsfunktioner og komponenter der skal indkøbes. Noget af arbejdet skal udføres af en autoriseret El-installatør, som også står for det nødvendige papirarbejde med registrering af anlægget hos Energinet.dk, mv.

Solcellernes tilslutning til nettet omfatter følgende arbejder:

- Tilslutte solcellepanelerne i serie, dvs. indkøb og montage af kabler på tag.
- Inverter indkøb og montering, ofte på en væg indendørs
- Ny elmåler, der kan måle strøm begge veje (betales af elselskabet)
- Kabelføring af kabler indendørs
- Gruppetavle for solcelleanlægget (der er normalt plads i eks. hovedtavle)
- Selve tilslutningen + Papirarbejde (er ret omfattende)

4.2 REGLER FOR ELTILSLUTNING OG TAKSTER

Elektricitet fremstillet på solenergi eller anden vedvarende energi er undtaget fra betaling af afgift hvis det forbruges af producenten selv forstået som et direkte forbrug via et internt el-net. Forbrug ud over egenproduktion via det kollektive el-forsyningsnet er ikke fritaget for afgift.

Tidligere gjaldt 60/40 øre afregningsreglen. Forbrugeren kunne sælge strømmen til 60 øre/kWh de første 10 år, for derefter at få en afregningspris på 40 øre/kWh. Det var den generelle regel.

Tidligere (2011) var der også en attraktiv årsbaseret *nettoafregningsordning* også kaldet "nettomålerordningen". Den betød at det overskud af solcellestrøm der var om sommeren, regnskabsmæssigt kunne modregnes i det underskud, der var af solcellestrøm om vinteren, hvor solen ikke skinner så meget. Overskudsproduktionen af strøm om sommeren tilførtes naturligvis fysisk det offentlige net. Man talte om at strømmen blev "lagret" på nettet til brug om vinteren.

Alt i alt betød det, at forbrugeren kun skulle betale elselskabet for nettoforbruget af el til normal takst, set over et år. Elmåleren der blev sat op af elselskabet kunne måle strømme der gik begge både ind og ud af bygningen. Ordningen betød at forbrugerne kunne etablere ret store anlæg, hvor produktionen af strøm var meget større end behovet om sommeren.

I 2013, blev der etableret en støtteordning som skulle fremme brugen af solceller. Der blev opstillet en pulje på 20 MWp, som man kunne søge. og få en forhøjet afregningspris ved salg af el til det offentlige el-net i de første 10 år. Derefter var forbrugeren sikret en afregningspris på 40 øre/kWh. I Figur 61 er vist de forhøjede afregningspriser for strøm solgt til det offentlige elnet.

| Faste afregningspriser i 10 år (kr/kWh) | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|---|------|------|------|------|------|
| 1. Solcelleanlæg <= 6 kW per husstand | 1,30 | 1,16 | 1,02 | 0,88 | 0,74 |
| 2. Fællesanlæg på tag/bygninger | 1,45 | 1,28 | 1,11 | 0,94 | 0,77 |
| 3. Fællesanlæg på jord og lign. | 0,90 | 0,84 | 0,78 | 0,72 | 0,66 |

Figur 61 Forhøjede afregningspriser for solgt strøm

I Danmark er salg af elektricitet produceret af VE-anlæg skattepligtigt. Der skal ikke betales skat af den del af den producerede strøm der anvendes til at dække egetforbrug, men kun den andel som overføres til det kollektive elnet. Der er et bundfradrag på 7000 kr. hvilket medfører at de fleste private ejere af VE-anlæg, som forbruger størstedelen af den egenproducerede strøm, ikke skal betale skat. Derudover var der i 2011 og lidt frem skattefradragsmuligheder, der var meget attraktive.

Ovenstående attraktive regler, gjorde at der kom et meget stort boom i antallet af nyopførte solcelleanlæg.

I flere omgange er det senere politisk sket en række indgreb lovgivningsmæssigt, sådan at mulighederne for at etablere nye solcelleanlæg i Danmark er kraftigt reduceret, da boomet også viste sig at havde nogle negative effekter.

I maj 2016 blev 60/40 øre afregningsreglen helt afskaffet. Dvs. at man derefter var nødt til at afregne solgt el til markedsprisen. El sælges på spotmarkedet hos Nord Pool Elspot til markedsprisen.

Denne pris ligger på ca. 30 øre/kWh, altså noget under tidligere tiders afregningspriser for solgt strøm til el-nettet.

Nettomålerordningen på årsbasis blev også sløjftet, sådan at der kun regnskabsmæssigt kan "lagres" strøm inden for hver hele klokke-time.

Når man ansøger om tilladelse til at etablere sit anlæg, hos Energinet.dk, skal man tilmelde anlægget til en nettoafregningsgruppe. Grupperne har numrene 1-5.

For nogle grupper er der ikke tale om timeafregning, men øjeblikksafregning. Dvs. at det for disse grupper slet ikke regnskabsmæssigt er muligt at "lagre" energi. Timeafregning og øjeblikksafregning har gjort, at det kun er rentabelt at etablere solcelleanlæg med en mindre maksimaleffekt, sådan at al strøm til stort set enhver tid, også om sommeren, kan aftages af forbrugeren selv.

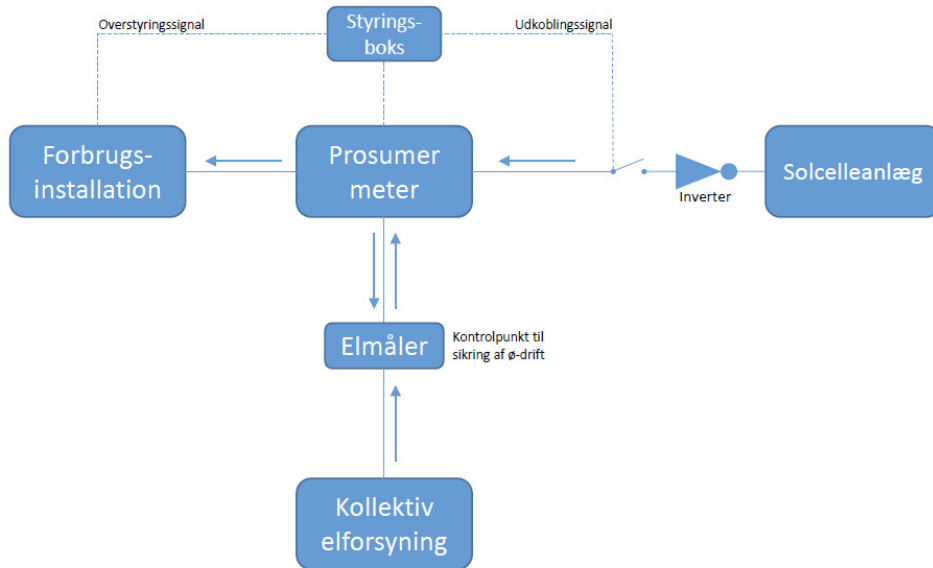
Hvis man som forbruger selv vil gøre brug af den strøm som anlægget producerer og ikke kun sælge til el-nettet, skal man altid søge Energinet.dk om nettoafregning. Endvidere skal forbrugeren selv finde en balanceansvarlig og en el-leverandør, der vil købe eventuel overskudsproduktion. Den balanceansvarlige virksomhed, søger for at der er balance på det offentlige el-net.

Mange forsyningsselskaber har indført en ekstra tarif til solcelleejere kaldet "rådighedstarif". Rådighedsbetalingen skal betales af den mængde solcelleproduceret elektricitet, som bliver forbrugt af anlæggets ejer, og skal dække omkostningerne fra net-selskabet som stadig har el-kapacitet til rådighed på nettet.

Størrelsen af rådighedstariffen er forskellig for de forskellige tilslutningsselskaber, men er typisk omkring 10-15 øre/kWh for den forbrugte egenproducerede strøm.

I projektets idefase, var der tanker om det var muligt at etablere et solcelleanlæg, hvor ventilatorer i ventilationsanlægget placeret på taget af en bygning kunne få strøm fra egenproduceret strøm eller fra det offentlige net, når solen ikke skinnede. Dog med det tvist, at der ikke kunne leveres og sælges strøm til det offentlige elnet. Det vil sige at det ville være en form for delvist nettilsluttet solcelleanlæg.

Tanken var, at de så kunne have visse fordele i forhold til afgifter og selskabsdannelse i den kommunale sektor, jf. senere i rapportens afsnit 7.1 side 57.



Figur 62 Eltilslutning der forhindrer salg til det off. el-net

Energinet.dk, der er besluttende myndighed inden for etablering af solcelleanlæg, har afvist denne anlægsudformning, idet alle solcelleanlæg, hvor man vil bruge egenproduceret strøm skal være med i en nettoafregningsordning. Forudsætningen for at være med i en nettoafregningsordning er at solcelleanlægget er nettilsluttet, herunder at overskudsproduktion skal kunne sælges til det offentlige elnet.

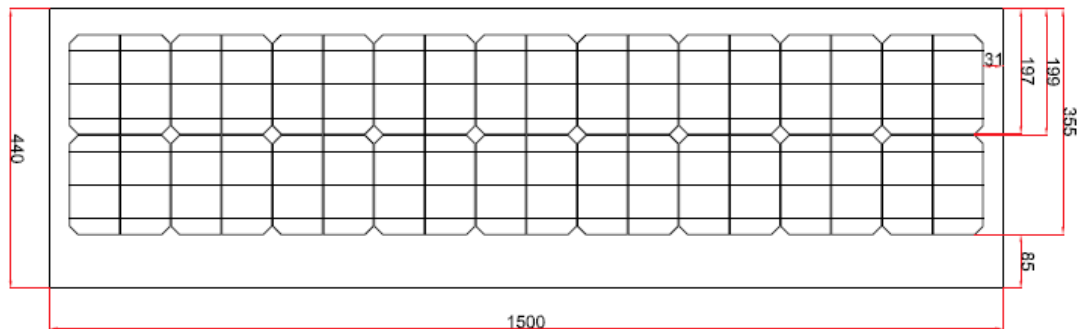
Dette uanset at det ikke vil ske i praksis, pga. at solcelleproduktionen er meget lille i forhold til det mindste elforbrug i bygningen. Dette også uanset om anlægget var tilkøbt en batteristation til lagring af overskudsproduktion.

En batteriløsning kan i øvrigt være med til at øve rentabiliteten i solcelleanlæg, idet el, som produceres på et tidspunkt, hvor der ikke er brug for al strøm, kan lagres til et senere tidspunkt og derved reducere behovet for at købe el fra elnettet. Dermed reduceres afgiftsbetalingen tilsvarende. Batteridrift er ikke undersøgt i projektet, idet solcelledriften med PV-inddækningen bliver beskeden i forhold til egetforbruget.

5 PROTOTYPENS PRODUKTION AF EL

5.1 SOLCELLEPANELERNES YDELSE

I Figur 63 er der vist en tegning af et af de solcellepaneler, der monteres på de 3 trekanter på standardmodulet.



Figur 63 Solcellepanelet bestående af 18 solceller

Solcellepanelet er 1,5 meter langt og 0,4 meter bredt, og består af 18 solceller. Arealet af solcellepanelet, dvs. de ydre mål inkl. glas er 0,6 m².

Solcellerne består af 18 solceller, der tilsammen udgør tilsammen 0,400 m².

Produktionen af elektricitet fra solcellepanelet er fra producentens side opgivet til at yde 80 Wp. Det kan omregnes til $80 \text{ Wp}/0,4 \text{ m}^2 = 200 \text{ Wp/m}^2$ solcelle. Dette svarer til en effektivitet på 20 pct.

Dvs. at 20 pct. af solindstrålingen (W) der rammer *selve solcellerne*, omdannes til elektricitet (W).

Man kan også beregne følgende tal: $80 \text{ Wp}/0,6 \text{ m}^2 = 133,3 \text{ Wp/m}^2$ solcellepanel.

Dvs. at 13,3 pct. af solindstrålingen (W) der rammer *solcellepanelet*, omdannes til elektricitet (W).

Solcelleeffektiviteten testes i laboratorier, og testen forgår ved at der sendes en indstråling ned på den enkelte solcelle, svarende til 1000 W/m², hvorefter man måler den elektricitet som solcellen producerer (W).

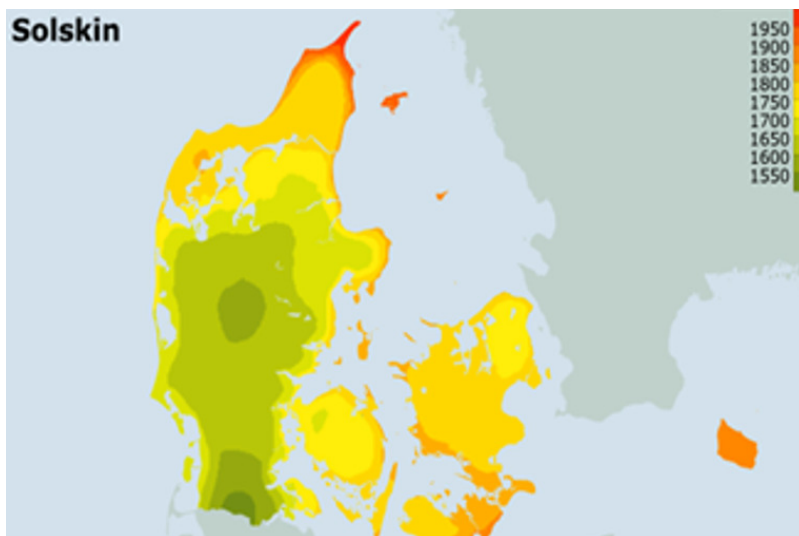
Solindstrålingen der på årsbasis rammer solcellepanelet afhænger en lang række forhold:

- A.
 - Placering på jordoverfladen (geolokation)
 - Antallet af solskinstimer

- B.
 - Azimutvinklet på solcellepanelet
 - Hældningen på panelet.

- C.
 - Evt. skygger på solcellerne fra træer, bygninger, master, etc.
 - Evt. selvskygge i et standardmodul (se senere)

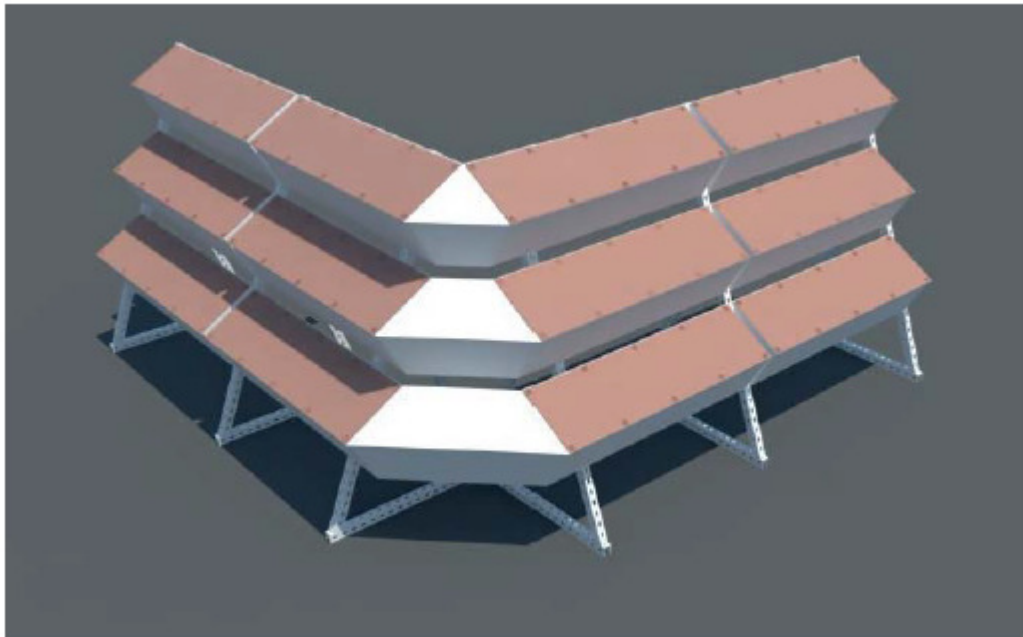
Vedrørende punkt A, så findes der vejrdata for den årlige indstråling (kWh/m^2) på en vandret flade, målt forskellige steder i landet. Indstrålingen er selvfølgelig afhængig af breddegraden på jorden, og vejret.



Figur 64 Solskinstimer i Danmark, (DMI)

Som det fremgår af Figur 64, så er der store forskelle i antallet af solskinstimer forskellige steder i landet. Figuren viser et gennemsnit og antallet af solskinstimer varierer omkring dette gennemsnit år for år.

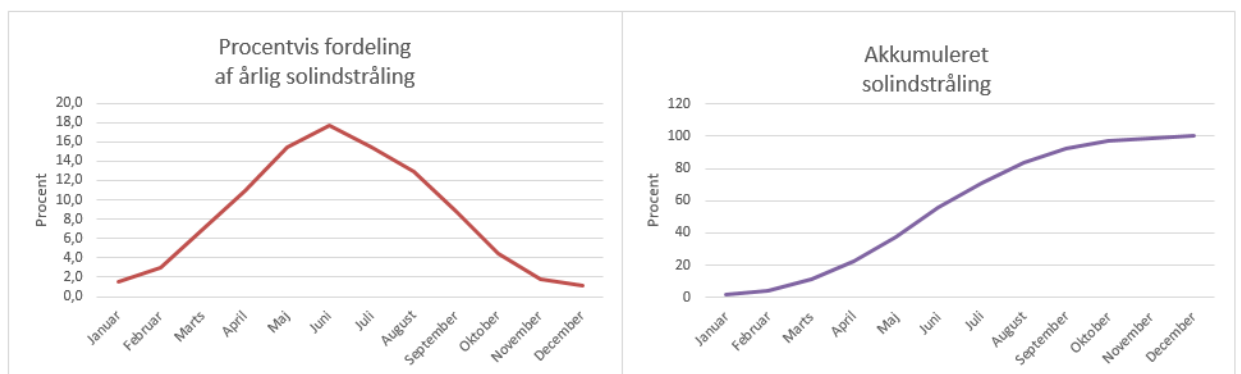
Vedrørende punkt B så opgives for det aktuelle anlæg azimutvinkler for alle dele af anlægget, idet det kan indeholde flere orienteringer. F.eks. vil et producerende solcelleanlæg kunne bestå af 2 anlæg, eksempelvis et delanlæg orienteret mod sydøst og et andet delanlæg orienteret mod sydvest. De to dele er sammenbygget med et hjørne modul, der ikke indeholder solceller, men kun fungerer som en visuel inddækning. Figur 65 viser et eksempel på et anlæg med to orienteringer.



Figur 65 PV-inddækning med to orienteringer

Vedrørende punkt C, skal man være opmærksom på at der ikke er skygge fra bygninger, master eller lignende på anlægget. Kortvarig skygge på et specifikt tidspunkt af året betyder ikke nødvendigvis at produktionen falder nævneværdigt. Vedrørende selvskygge, se afsnit 5.2.

Figur 66 viser den procentvise fordeling af solindstråling over året, dels procentvis fordeling pr. måned til venstre i figuren og dels de tilhørende akkumulerede værdier til højre i figuren.

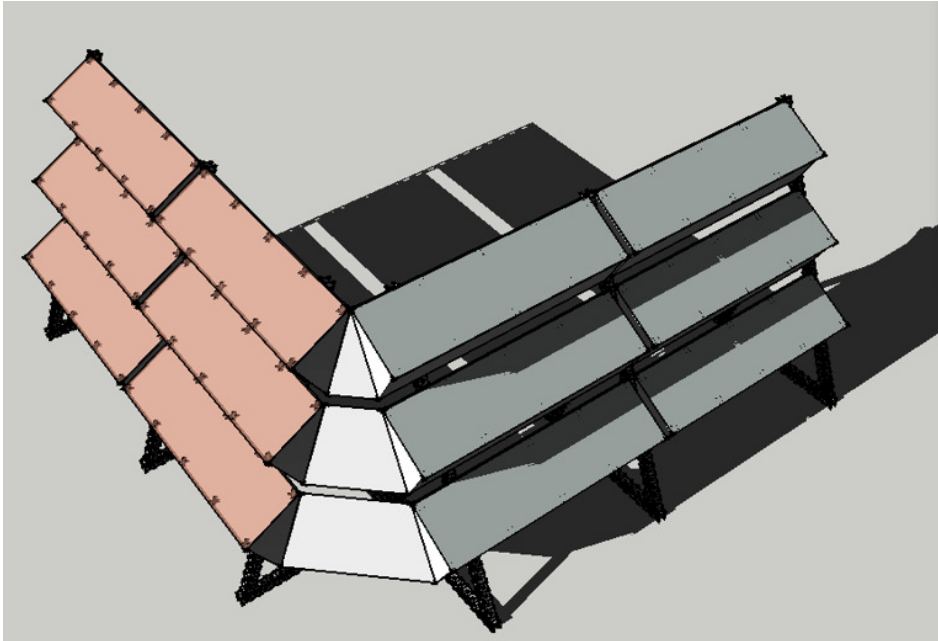


Figur 66 Fordeling af solindstråling over året

Det fremgår af Figur 66, at indstrålingen i en tredjedel af året, i november, december, januar og februar udgør ca. 7 pct. af årsindstrålingen. En skyggepåvirkning nogle timer i disse måneder får derfor begrænset betydning. I andre dele af året må der en nøjere vurdering til.

5.2 SELVSKYGGE

PV-inddækningsmodulernes udformning med 3 trekanter placeret over hinanden medfører at der på visse tidspunkter af døgnet kan forekomme skygge på de to nederste trekanter. I Figur 67 er der vist et eksempel hvor 2 moduler er orienteret mod vest og 2 moduler orienteret mod syd. De to sektioner er forbundet med et hjørnemodul. Figuren viser skyggen kl. 17.00 den 6. maj.



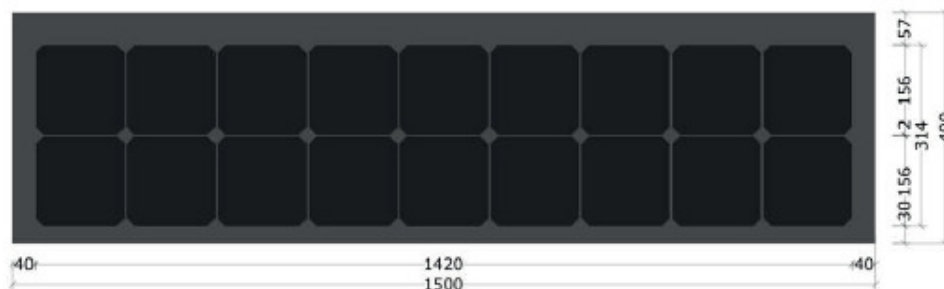
Figur 67 Selvskygge den 6. maj, kl. 17.00

For modulet orienteret mod syd og placeret tættest på hjørnemodulet stammer skyggen på de to nederste solcellepaneler udelukkende fra trekanten på modulet selv.

For modulet orienteret mod syd og placeret længst væk fra hjørnemodulet stammer skyggen på de to nederste solcellepaneler dels fra nabomodulet og dels fra trekanten på modulet selv.

Det ses at det kun er den øverste del af solcellepanelerne i de to nederste rækker, der er skyggebelagt.

Når der er skygge på en solcelle i et solcellepanel, betyder det at solcelleproduktionen stopper helt i den serie, som solcellen er placeret i.



Figur 68 Solcellepanelets opbygning

De 9 øverste solceller er forbundet i en serie, og de 9 nederste er forbundet i en serie.

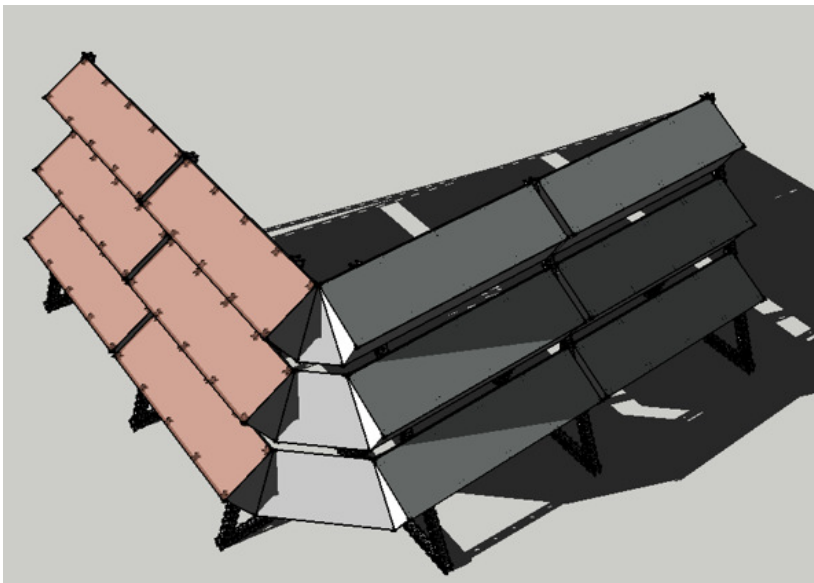
Dvs. at hvis der kommer skygge på en solcelle i den øverste række, så stopper produktionen i alle solceller i den øverste række, mens den nederste række producerer 100 pct. Resultatet er en reduktion på 50 pct. samlet set for solcellepanelet.

Konsekvensen af skyggerne i Figur 67 side 51 er at de to nederste rækker i de 2 moduler orienteret mod syd kun producerer 50 pct. Den øverste række i de 2 moduler producerer 100 pct. Den samlede effekt af selvskyggen er, at de 2 moduler tilsammen kun producerer $2/3$ i forhold til solpositioner, hvor der ikke er skygge på nogen af modulerne. Ydelsesreduktionen kan også udtrykkes som 33,3 pct.

Der er mange parametre, der påvirker skyggedannelsen. De væsentligste er opført herunder:

- Solens placering på himlen. Solhøjden og azimutvinklen afhænger af anlæggets placering på kloden samt varierer henover året.
- Solcellepanelernes hældning.
- Modulernes orientering.
- Trekanternes opbygning
- Trekanternes indbyrdes placering

Figur 69 viser skyggedannelsen en time senere, samme dag. Her er det kun den øverste række solceller der producerer, og der produceres samlet set kun $1/3$ i forhold til solpositioner, hvor der ikke er skygge på nogen af modulerne orienteret mod syd. Ydelsesreduktionen er 66,7 pct.



Figur 69 Selvskygge den 6. maj, kl. 18.00

I Figur 70 er der vist ydelsesreduktionerne i et modul orienteret mod syd som funktion af måned og tidspunkt på dagen. Der er udarbejdet tilsvarende tabeller for sydvest, sydøst,

vest og øst. Ydelsesreduktionerne for standardmodulet med 3 trekanten er indlagt i beregningsmodellen.

| Ydelsesreduktion grundet selvskygge – Orientering: Syd | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| Time: | Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | Maj | Juni | Juli | Aug. | Sep. | Okt. | Nov. | Dec. |
| 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 4 | - | - | - | - | 67% | 67% | 67% | - | - | - | - | - |
| 5 | - | - | - | 67% | 67% | 67% | 67% | 67% | - | - | - | - |
| 6 | - | - | 0% | 67% | 33% | 67% | 67% | 67% | 67% | - | - | - |
| 7 | - | - | 0% | 16% | 33% | 67% | 67% | 33% | 0% | 0% | - | - |
| 8 | - | 0% | 0% | 0% | 0% | 16% | 16% | 0% | 0% | 0% | 0% | - |
| 9 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 10 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 11 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 12 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 13 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 14 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 15 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 16 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 16% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 17 | 0% | 0% | 0% | 0% | 33% | 33% | 33% | 16% | 0% | 0% | 0% | - |
| 18 | - | 0% | 0% | 67% | 67% | 67% | 67% | 67% | 0% | 0% | - | - |
| 19 | - | - | 0% | 67% | 67% | 67% | 67% | 67% | 67% | - | - | - |
| 20 | - | - | - | 67% | 67% | 67% | 67% | 67% | - | - | - | - |
| 21 | - | - | - | - | 67% | 67% | 67% | - | - | - | - | - |
| 22 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 23 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Figur 70 Ydelsesreduktion grundet selvskygge, orientering mod syd

Bilag 5 indeholder yderligere oplysninger om effekten af selvskygge.

5.3 TAB I SYSTEMET

I et solcelleanlæg vil der udover tab i solcellerne altid være et yderligere tab i kabler og invertere, mv.

Tabet afhænger af en række forhold, bl.a. hvilken inverter der er anvendt.

| Systemfaktor kan vurderes til: | Montage af moduler: | |
|--|---------------------|-------------------|
| | <i>Fritstående</i> | <i>Integreret</i> |
| Skyggefrit anlæg, højeffektiv vekselretter | 0,85 | 0,8 |
| Gennemsnitsanlæg, standard vekselretter | 0,75 | 0,7 |
| Anlæg med nogen skygge i sommerperiode | 0,65 | 0,6 |

Figur 71 Systemtab i solcelleanlæg

I modelberegningerne, jf. kapitel 8 side 60, er der regnet med en systemfaktor på 0,85. Endvidere er der i modellen indregnet effekten af selvskygge.

6 ØKONOMI

6.1 INVESTERINGEN

Prisen på et anlæg består af mange dele. Til planlægningsformål tages der udgangspunkt i prisen på 1 standardmodul. Et standardmodul består af 3 trekanter, jf. Figur 17, side17.

Prisen er opdelt på følgende elementer, og der er anført en omtrentlig pris:

SolarVenti

| | |
|---------------------------|------|
| 3 trekanter af aluminium | 1600 |
| 3 solceller i special mål | 2200 |
| Eloxering | 250 |

Inverter

| | |
|-------------------------|-----|
| Inverter pris pr. modul | 380 |
|-------------------------|-----|

Mul10Metal

| | |
|--------------------------------|-----|
| Konsolfødder, ekskl. transport | 800 |
| Mul10 system, ekskl. transport | 750 |

Montage på byggepladsen

| | |
|-------------------------------------|-----|
| Montage af konsolfødder | 500 |
| Montage af alustystem | 450 |
| Montage af trekanter fra SolarVenti | 350 |

| | |
|--|-----|
| El-installation på tag og i indbygning | 800 |
|--|-----|

| | |
|-------------|---|
| Faldsikring | 0 |
|-------------|---|

| | |
|--|-----|
| Transport (inkl. kran på lastbil, derfor ingen stillads) | 400 |
|--|-----|

Større udgifter

| | |
|-----------------------------|-----|
| Stillads, lift eller hejs | 0 |
| Arkitekt (valg af system) | 240 |
| Ingeniør (beregning) | 180 |
| Evt. statikberegning | 0 |
| Evt. Køreplader | 0 |
| Evt. Tilsyn og byggeledelse | 0 |

Royalty

| | |
|------------------------|-----|
| Til Krydsrum og Ekolab | 500 |
|------------------------|-----|

I alt

9.400

Der er ikke indregnet faldsikring, idet det forudsættes at al arbejde kan foregå i en afstand på mindst 2 meter til tagets kant. Der er ikke indregnet evt. statikberegning af tagets bæreevne, tilsyn og byggeledelse i investeringen.

Kommentarer til overslaget. Solcellepanelerne er dyre, idet de koster 800 kr. pr. stk., idet de er fremstillet i specialmål.

Antallet af nødvendige konsolfødder er større end det Mul10Metal normalt leverer, og det skyldes, at der kommer et stort vindpres på den opretstående konstruktion. Konsolfødderne har fat i betonen i taget med gevindstænger, og der vil vindpåvirkning være et stort træk i disse.

Som konsekvens heraf skal der bruges 50 pct. flere konsolfødder, end i de konstruktioner som Mul10Metal normalt leverer til, hvor der er tale om konstruktioner der er langt mindre i højden.

6.2 EL-PRISER FOR FORSKELLIGE FORBRUGERE

Prisen på el er forskellig for private kunder og erhvervs-kunder. Private kunder kan ikke trække moms fra, hvorved prisen bliver 25 pct. dyrere for denne gruppe.

For erhvervs-kunder varierer prisen afhængig af, hvor stor kundens elforbrug er. For store kunder forhandles elprisen mellem kunden og el-udbyderen. Kunder med store elforbrug kan få modregnet visse afgifter på el. Det gælder f.eks. produktionsvirksomheder, der benytter større mængder elektricitet i produktionen.

For den mindre erhvervs-kunde er elpriserne nogenlunde ens, og i realiteten uden moms, idet virksomheden kan trække moms fra i den udgående moms.

Ud over de private kunder og erhvervs-kunderne der det offentlige, dvs. primært kommunerne. Danske kommuner betaler moms når de køber varer og tjenesteydelser hos eksterne leverandører. Kommunernes udgifter til moms kan deles op i to kategorier. Dels de momsbetalinger, som kan fradrages som indgående moms i et momsregnskab i forbindelse med momsregistreret virksomhed, og dels momsbetalinger, som refunderes via den kommunale momsudligningsordning. Så kommunerne betaler reelt ikke moms af deres el-indkøb.

En analyse af el-priserne, har givet anledning til beregning af følgende gennemsnitspriser, ekskl. abonnement:

Privat kunde: 2,2 kr./kWh inkl. afgifter og moms. Inkl. PSO-afgift på ca. 0,2 kr./kWh.

Erhvervs-kunde: 1,6 kr./kWh inkl. afgifter og ekskl. moms. Inkl. PSO-afgifte på ca. 0,2 kr./kWh.

Der er indgået en politisk aftale om at PSO-afgiften udfases over 5 år i perioden fra 2017 til 2022. Dette vil isoleret set give billigere el-priser til forbrugerne.

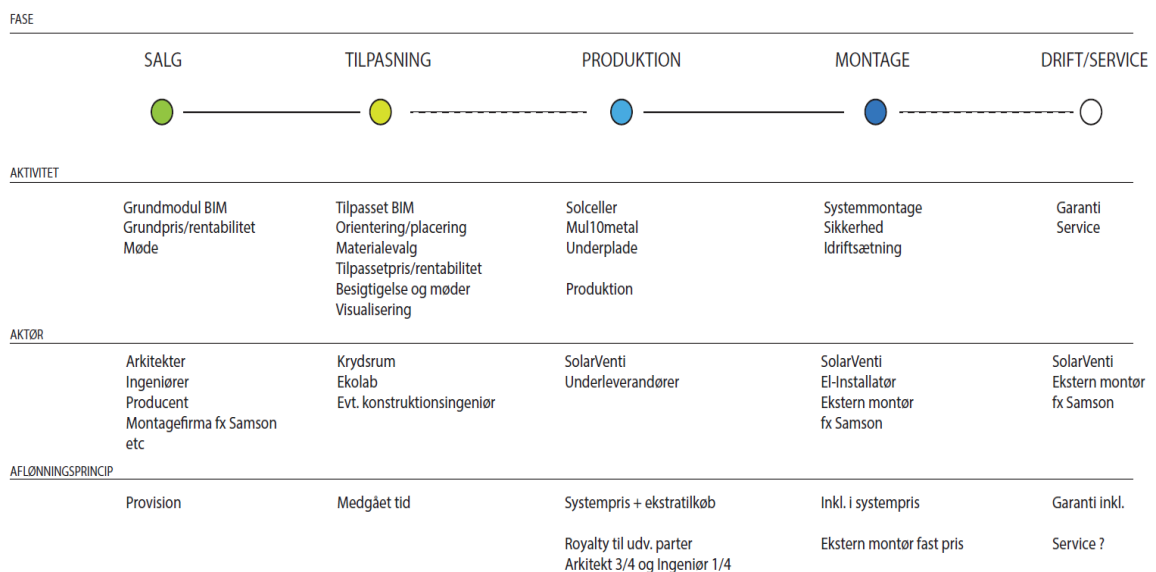
6.3 UDGIFTER TIL DRIFT OG VEDLIGEHOLD

Udgifterne til drift og vedligehold er begrænset. Invertere holder ikke hele anlæggets levetid, og derfor skal den skiftes på et tidspunkt. Man kan ikke på forhånd sige noget om, hvornår en inverter ikke virker længere, men det ligger i spændet 10 til 15 år. I de økonomiske beregninger er der regnet med en levetid på 12 år, hvorefter der reinvesteres i invertere.

6.4 LEVERANCEKÆDEN

I forbindelse med alle projekter vil der være en værdikæde eller leverancekæde, bestående af aktiviteter udført af forskellige aktører. I det aktuelle projekt, blev der hurtigt opstillet en leverancekæde for det aktuelle projekt, jf. Figur 72, bestående af:

- Salg
- Tilpasning
- Produktion
- Montage
- Drift/service



Figur 72 Leverancekæden

Salg kan udføres af forskellige aktører, jf. Figur 72. Det vil primært være producent og et tilknyttet montagefirma, der vil stå for salgsaktiviteter.

Inden projekt kan godkendes af en bygherre, vil der være en vis tilpasning af produktet til den aktuelle kontekst, dvs. bygningens aktuelle arkitektur, tagaggregaternes placering på taget, tagets bæreevne, mv. Det kan evt. blive nødvendigt med en statisk beregning af et vandret tag, hvis der er tvivl om bæreevnen.

Når ordren er afgivet, kan produktionen gå i gang. Det drejer sig om produktionen af aluminiumstrekanter hos SolarVenti. Der kan ligeledes afgives ordre på inddækningsplader, stativer og konsolfødder hos Mul10Metal, advisering af montagefirma for montage.

Selve montagen udføres af et tagfirma og el-installatørfirma. Driften af solcelleanlægget bør være problemfri. Solcellerne har en så stor hældning, at de er selvrensende.

7 MARKEDET

7.1 MARKEDSSEGMENTER OG REGLER

Markedet for solceller kan groft deles op i nogle hovedgrupper: det offentlige markedssegment, dvs. primært kommuner og erhvervssegmentet (produktion, liberale erhverv, etc.) og det private segment, dvs. overvejende villaer. Det private segment er ikke interessant i nærværende sammenhæng.

Kommunerne

Det kommunale marked har solceller, er påvirket af den lovgivning, der findes inden for elforsyning. Der er nemlig krav om at små el-producerende solcelleanlæg, betragtes som et lille elværk, og derfor skal udskilles i et særligt produktionselskab, der sælger strømmen tilbage til kommunen.

Dvs. at eksempelvis en skole ikke kan få glæde af sin egenproducerede solcellestrøm uden afgifter. Skolen skal nemlig købe strømmen af sit eget solcelleanlæg pålagt afgifter. Det ødelægger økonomien i solcelleprojekter hos kommunerne.

Mange kommuner, har derfor måttet skrinlægge opførelsen af solcelleanlæg, eksempelvis Aarhus Kommune, der havde planer om at opføre 11,5 MW solcelleanlæg, for at opnå CO₂-politiske mål i kommunen. Konsekvensen isoleret set, har betydet at kommunen har måttet sænke klimaambitionen om at nå et mål på 40 procents CO₂-reduktion på kommunens egne bygninger til et reduceret mål på 30 procents reduktion.

Der har så været visse muligheder for kommunerne at søge nogle puljer, hvor kommunerne kunne ansøge om dispensation for selskabsudskillelse, og derved slippe for afgifter på egenproduceret strøm. Der er også ved nybyg visse muligheder for dispensation.

Så længe at en kommune ikke kan få dispensation for selskabsdannelse i forbindelse med etablering af et solcelleanlæg, er rentabiliteten økonomisk ikke tilstede. I forbindelse med nybyg er der dog visse muligheder for at få dispensation.

Erhverv

Erhverv omfatter mange brancher i Danmark. Der er nogle hovedgrupper af brancher, der fylder meget med hensyn til antal bygninger, og det er: a) Fremstillingsvirksomheder, b) Handelsvirksomheder, c) Liberale erhverv og d) Hotel og restaurantvirksomheder.

Mulige kunder, der kunne ønske sig en PV-inddækning omfatter kunder, for hvem bygningens ydre fremtoning vurderes af betydning for virksomhedens ve og vel.

Potentielle kunder ejer eller lejere af bygninger med flade tage, hvortil der er indkig til tagaggregater, som skæmmer det visuelle helhedsindtryk af bygningen. Bygningen skal derudover have en beliggenhed, hvor der er mange forbipasserende eller kunder til virksomheden.

Det vurderes at produktet kan finde lige god anvendelse i de forskellige brancher, når ovenstående betingelser er til stede.

7.2 MARKEDSMODTAGELSE

Hovedformålet med produktet er at forhindre visuelt indblik til grimme tagaggregater. Hvis produktet via integrerede solceller og solcellestrøm kan være med til at tilbagebetale noget af investeringen vil det være fint.

En manglende visuel inddækning kan have u hensigtsmæssige konsekvenser i forhold til virksomhedens omdømme pga. uskøn arkitektur. Det kan være et generelt omdømme i lokalsamfundet og hos kunder. Disse forhold kan med forsigtighed prissættes.

En visuel inddækning kan også udformes med henblik på en decideret brandingeffekt, med tilpassede motiver, farvevalg og lyssætninger, så det ud over hindret indblik til grimme tagaggregater kan have en decideret økonomisk brandingeffekt.

Den udviklede PV-inddækning kan tilpasses begge behov, dvs. alene som arkitektonisk forskønnelse eller i kombination med branding.

PV-inddækningen er relativt dyrt, idet overslagsprisen siger 9.400 kr. pr. færdigmonteret standardmodul. Da produktet er relativt dyrt, må markedet forventes at ligge i forbindelse med større projekter. F.eks. i forbindelse med nybyggeri og større renoveringer.

I forbindelse med nybyggeri, sker der ofte det at bygherren fra arkitektens side bliver præsenteret for visualiseringer helt uden tagaggregater. Det endelige resultat, når bygningen står færdig viser sig ofte at være meget forskellige fra visualiseringerne fra arkitekten. Et smukt arkitektonisk bygværk i visualiseringen er forandret til en bygning, der kan være decideret uskøn eller uharmonisk. Det findes der flere eksempler på, også inden for kommunale byggerier. Et eksempel er det nyopførte Furesø Rådhus, vist i Figur 73, set fra terrænen. Tagaggregaterne bliver endnu mere tydelige når bygningen ses fra de nærliggende etageboliger.



Figur 73 Furesø Rådhus

Figur 74 viser med en visualisering, hvordan den udviklede prototype kan højne æstetikken, sådan at bygningen fremtræder mere harmonisk.



Figur 74 Furesø Rådhus – visualisering

I forbindelse med nybyg, ville merinvesteringen i en PV-inddækning udgøre få promille, og bygherrens ønsker om at få en nydelig bygning trods fremtrædende tagaggregater kunne tilfredsstilles.

I forbindelse med renoveringssager, hvor investeringen er mindre, men alligevel betydelig kan en PV-inddækning også være relevant.

Man kan evt. vælge en udgave af inddækningen uden solcelledelen, hvorved investeringen reduceres til ca. 6.000 kr., jf. overslaget i afsnit 6.1 side 54. Når solcelledelen ikke er monteret kan produktet også have interesse for det kommunale segment, som ellers ikke kan bruge PV-inddækningen pga. af gældende regler for solceller på kommunale bygninger, jf. afsnit 7.1.

I erhvervssegmentet kan man ved en merinvestering på 3.400 få solcelledelen med og merinvesteringen har en positiv nuværdi og en simpel tilbagebetalingstid på 10 år, jf. senere i afsnit 8.4, side 62.

Ved eksisterende byggerier vil PV-inddækningen også kunne bruges, men investeringen vil syne af mere, idet den ikke kan dækkes ind under et større projektbudget. Men her kan brandingeffekt og ønsket om en grønnere profil have betydning for købsbeslutningen.

Det må forventes at investeringer i erhvervssegmentet vil ligge i vækstområder i Danmark, hvor der er gang i økonomien, og økonomien til en forskønnelse af bygningen er til stede.

En PV-inddækning kan hæve salgsværdien af bygningen. I forbindelse med en bygning, hvor tagaggregaterne er stærkt forstyrrende for det visuelle indtryk af bygningen som helhed, kan en forøgelse af salgsværdien være afgørende for en købsbeslutning.

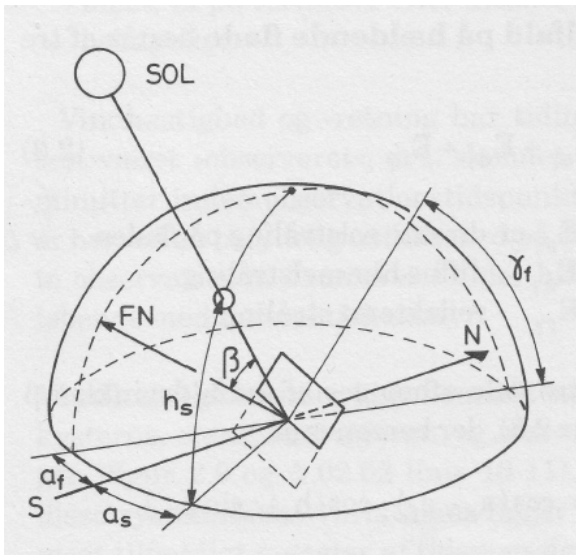
8 MODELBEREGNER

8.1 INDLEDNING

I forbindelse med projektet er der udviklet en økonomimodel, der kan beregne rentabiliteten af et PV-inddækningsprojekt. Modellen bruger data fra det danske referenceår DRY, således at solcellepanelernes udnyttelse af solindstrålingen kan fastlægges.

8.2 SOLINDSTRÅLING PÅ ET SOLCELLEPANEL

Beregningskernen i modellen beregner solindstrålingen afhængig af solens aktuelle placering på himlen på et givet tidspunkt. Solens placering er givet ved solhøjden h_s og azimuth a_s , jf. Figur 75. Fladen der modtager strålingen er beskrevet ved vinklen α_f , som er fladens azimuth og fladens hældning med vandret γ_f .



Figur 75 Solens placering på himlen (Stampe, 2006)

Normalstrålingen fra solen E_0 er den direkte solstråling der rammer en plan vinkelret på retningen mod solen, efter reduktion af passage af atmosfæren. Himmelstrålingen E_d er den diffuse solindstråling som rammer et vandret plan.

Timeværdier for normalstrålingen og den diffuse stråling fremgår af DRY, det danske referenceår. Her er endvidere angivet skydække til hver time. DRY danner baggrund for beregningerne i modellen.

Hvor meget af solindstrålingen der kommer et solcellepanel til gode, beliggende i et plan afhænger bl.a. af indfaldsvinklen β , som er vinklen mellem retningen til solen og fladenormalen FN, jf. Figur 75. Vinklen har indflydelse på hvor meget en flade med solceller kan optage, både når det gælder direkte solindstråling, diffus indstråling og reflekteret indstråling fra terræn.

Der findes formler, der kan tilnærme den resulterende samlede solindstråling på en flade. Disse formler er benyttet i modellen. Hvis man integrerer eller summer alle timeværdier for et år, har man den samlede årlige solindstråling på solcellepanelet. Den direkte solindstråling i modellen udgør $1002 \text{ kWh/m}^2\text{-år}$. Dertil kommer bidraget fra den diffuse stråling og den reflekterede stråling.

Den samlede solinstråling udnyttes til at producere jævnstrøm i solcellerne. Men der vil altid være et elektricitetstab i selve solcellerne samt tab i kabler og inverter.

Der vil ligeledes være et tab pga. selvskygge internt på standardmodulet, som indregnes som i modellen. Selvskyggetabet er beskrevet i afsnit 5.2 side 51.

Solcellers effektivitet falder en smule mindre år for år. I modellen er der regnet med at effektiviteten falder med 0,5 pct. i forhold til effektiviteten det første år.

Oftentimes vil en løsning indeholde PV-inddækninger med to eller tre orienteringer, forbundet af et eller flere hjørnemoduler, jf. Figur 65 side 50. Modellen er opbygget således at den kan håndtere produktionsberegninger på op til tre orienteringer af solceller og beregne den samlede rentabilitet på anlægget.

8.3 FORBRUG OG PRODUKTION

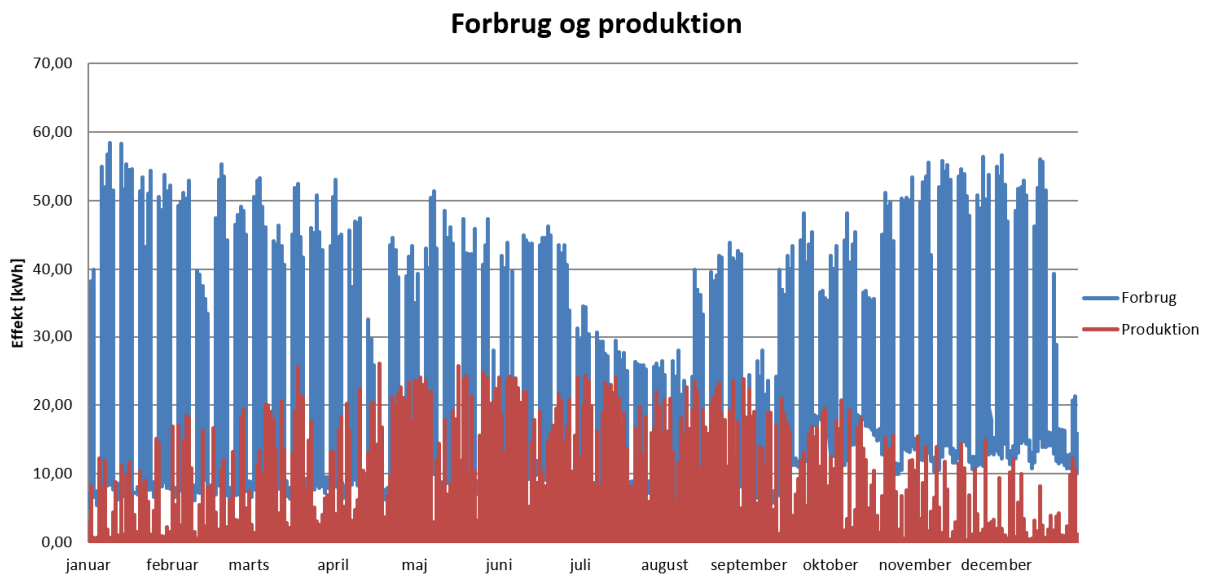
I modellen kan der indlægges aktuelle forbrugsdata, dvs. timeværdier for forbrug for en aktuel kunde. Alternativt kan man regne med nogle standardforbrugsmønstre. F.eks. er der indlagt et forbrugsmønster for en kontorbygning. Dette forbrugsmønster er en standardforbrugsfordeling der ganges op og ned i modellen, så det svarer til et aktuelt årsforbrug hos forbrugeren.

Når der er produktion af solcellestrøm er det ønskeligt, at forbrugeren selv kan forbruge al solcellestrøm. Hvis der i en time ikke er forbrug hos forbrugeren, må den producerede strøm sælges til nettet.

I Figur 76 er der vist et eksempel på timeværdier for forbrug for en forbruger og produktion af solcellestrøm fra et installeret solcelleanlæg. Selv om det umiddelbart ser ud som om at al produceret strøm kan forbruges af kunden selv, så beregner programmet at 11 pct. af den producerede strøm må sælges til nettet.

Ved et nærstudie af Figur 76 vil man se, at der eksempelvis i slutningen af august er tidspunkter, hvor der ikke er en blå stav (forbrug) bag den røde stav (produktion). I dette og lignende tilfælde må overskydende solcellestrøm sælges til nettet.

Programmet har i eksemplet beregnet at den samlede årlige produktion af solcellestrøm (summen af de røde stave) udgør 17 pct. af det samlede årsforbrug (summen af de blå stave).



Figur 76 Forbrug og solcelleproduktion

8.4 RENTABILITETSBEREGNING

Der vil kunne udregnes en rentabilitet for en PV-inddækning, idet der er indtægter ved at der spares el-indkøb hos en el-leverandør, for den strøm kunden selv kan forbruge af den producerede solcellestrøm. Der vil normalt ikke være salg til el-nettet, idet solcellepanelerne er ret små arealmæssigt og det betyder at al solcellestrøm kan forbruges af kunden selv.

På udgiftssiden ligger omkostninger til aluminiumstrekanten, stativer, solceller, montage af anlægget og drift/vedligehold. I den sidste post indregnes der en udskiftning af inverter(e) efter 12 år.

8.4.1 Forudsætninger

Rentabiliteten er beregnet for en Reference (A), med nogle standardforudsætninger vedr. prisstigninger på el, kalkulationsrente, orientering af PV-inddækningen, mv.

For at illustrere følsomheden for ændringer i forudsætningerne, som er benyttet i referencen, er der beregnet rentabilitet for nogle andre cases (B, C, D, etc.), jf. afsnit 8.4.2 side 64.

Da markedet vurderes kun at findes inden for erhverv, er elpriserne for erhverv benyttet.

Basisforudsætninger

I forbindelse med beregning af rentabilitet bruges beregningsprincipperne fra Statens Byggeforskningsinstituts anvisning 132, (SBI-anvisning 132).

Der skal i forudsætninger i beregningsmodellen indtastes følgende:

- Nominel kalkulationsrente
- Forventet prisstigninger på el (i løbende priser)
- Forventet prisstigning pr år for løbende vedligeholdelsesudgifter (i løbende priser)

- Løbende udgifter til solcelleinddækningen pr. år (opgivet prisniveau år 0)
- Projektperiode, her sat til 25 år.

Vedrørende projektperioden, da indtastes normalt den forventede økonomiske levetid, dvs. normalt 25 år.

Den økonomiske levetid er pr. definition, den varighed, der giver den største positive nuværdi. Et anlægs økonomiske levetid vil altid være mindre end eller lig med anlæggets tekniske levetid.

Den nominelle kalkulationsrente afhænger af byherrens krav til denne.

Forventede prisstigninger på el er svær at fastsætte over en 25-årig periode. Historisk har den i nyere tid ligget på 3 - 5 pct. i løbende priser, men i disse år sker der en stor omlægning af elsektoren, så det er ikke givet at denne stigningstakt vil fortsætte. Der er aktuelt modsatte tendenser, idet PSO-afgiften udfases over 5 år.

Der vil være løbende udgifter til at vedligeholde anlægget, men de vil være begrænsede.

Beregningsmodellen beregner nuværdien efter 25 år fra investeringstidspunktet.

Desuden beregnes den simple tilbagebetalingstid, hvor der ikke indregnes nogen tilbagediskontering på besparelser og reinvestering i invertere mv.. Invertere reinvesteres efter 12 år og efter 24 år.

I Referencen er der regnet med følgende forudsætninger:

- Nominel kalkulationsrente: 5%
- Prisstigning på el: 3%
- Løbende omkostninger: 0,25%
- Projektperiode: 25 år
- Forventede prisstigninger på løbende udgifter: 2,5%

Elpriser

Erhvervskunden skal søge Energinet.dk om lov til at benytte egenproduceret strøm, dvs. at man skal søge om optagelse i nettomålerordningen, jf. nettoafregningsordningen beskrevet i afsnit 7.1, side 57.

I standardforudsætningerne er elprisen som kunden køber strøm til hos el-selskabet sat til 1,60 kr./kWh, inkl. PSO afgift på 20 øre/kWh. I følsomhedsanalysen er der et scenarie, hvor PSO-afgiften er sat til 0 øre/kWh, idet den udfases over 5 år.

Prisen for solgt el er sat til 32 øre/kWh, men det har ikke den store betydning, idet 99 pct. eller mere af strømmen produceret på PV-inddækningen bruges af erhvervskunden selv.

Investeringen

Investeringen i et gennemsnitsmodul er beregnet på baggrund af en case, hvor der etableres 13 moduler. På den baggrund er der beregnet en gennemsnitsudgift pr. modul, jf. prisoversigten i 6.1, afsnit 54.

Gennemsnitsprisen vil falde ved projekter der indeholder mere end 13 moduler. Hvis der etableres det dobbelte antal vurderes prisen at falde. Dvs. at prisen i forhold til standardforudsætningen er faldet med ca. 10 pct. Der er i følsomhedsanalysen beregnet hvad det betyder for rentabiliteten at investeringen falder med 20 pct.

Orienteringen

I Referencen (A), er der regnet med at modulet er orienteret mod syd. Der er foretaget følsomhedsanalyse på orienteringer mod sydøst/sydvest og øst/vest.

Prisstigning på el

I Referencen er der regnet med en gennemsnitlig prisstigning på 3 pct. i løbende priser. Der er foretaget følsomhedsanalyse på en prisstigning på 0 pct. i løbende priser.

PSO-afgift

PSO-afgiften er i Referencen sat til 20 øre/kWh. I følsomhedsanalysen er der en case, hvor PSO-afgiften er 0 øre/kWh. PSO-afgiften udfases over 5 år. Dvs. at elprisen som kunden betaler hos elseskabet er reduceret fra 1,6 kr./kWh til 1,4 kr./kW i denne case.

Kalkulationsrenten

I standardforudsætningerne er der regnet med en kalkulationsrente på 5 pct. Hvis en bygherre kan nøjes med en lavere kalkulationsrente, så forbedres nuværdien efter 25 år. I følsomhedsanalysen er der et scenarie, hvor kalkulationsrenten er sat til 3 pct.

8.4.2 Beregningsresultater

Der er på baggrund af forudsætningerne oplyst i sidste afsnit og parametervariationer inden for prisstigning på el, kalkulationsrente, orientering, PSO-afgift, investering, beregnet den simple tilbagebetalingstid og nuværdien efter 25 år.

Resultaterne af rentabilitetsberegningerne fra beregningsmodellen, er vist i Figur 77.

| Erhverv | A | B | C | D | F | G | H |
|----------------------------|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Investering | 9.400 | 9.400 | 9.400 | 9.400 | 9.400 | 9.400 | 10.340 |
| Prisstigning på el | 3 pct. | 3 pct. | 3 pct. | 0 pct | 3 pct | 3 pct. | 3 pct. |
| Kalkulationsrente | 5 pct. | 5 pct. | 5 pct. | 5 pct. | 3 pct | 5 pct. | 5 pct. |
| Orientering | Syd | Sydøst/sydvest | Øst/vest | Syd | Syd | Syd | Syd |
| PSO afgift | 20 øre/kWh | 20 øre/kWh | 20 øre/kWh | 20 øre/kWh | 20 øre/kWh | 0 øre/kWh | 20 øre/kWh |
| Elpris, erhverv | 1,6 kr./kWh | 1,6 kr./kWh | 1,6 kr./kWh | 1,6 kr./kWh | 1,6 kr./kWh | 1,4 kr./kWh | 1,6 kr./kWh |
| Simpel tilbagebetalingstid | 34 | 38 | 62 | 34 | 34 | 40 | 37 |
| Nuværdi efter 25 år | -4.700 | -5.400 | -7.200 | -6.200 | -3.400 | -5.600 | -5.800 |

Figur 77 Resultater fra følsomhedsanalyse

Scenarie A udgør referencen. Investeringens delposter er beskrevet i afsnit 6.1, side 54. Prisstigninger på el i løbende priser er sat til 3 pct. og bygherrens kalkulationsrente er sat til 5 pct. Referencen er gældende PV-inddækningsmoduler orienteret mod syd, som er den mest optimale orientering. Der er regnet med en PSO-afgift på 20 øre/kWh og en elpris på etableringstidspunktet på 1,6 kr./kWh inkl. afgifter for erhverv, ekskl. moms.

I Referencen A er den simple tilbagebetalingstid 34 år, hvilket viser at det ikke er rentabelt at sætte en PV-inddækning op på taget, hvis den vurderes isoleret økonomisk i forhold til de

sparede udgifter til indkøb af el fra el-nettet. Det bekræftes af at nuværdien efter 25 år, er lig -4.700 kr.

I scenarie B og C, er eneste ændring at orienteringen for PV-modulerne er mod sydøst/sydvest (B) og øst/vest (C). Som forventet forringer det rentabiliteten, idet den simple tilbagebetalingstid stiger til 38 år i scenarie B, og 62 år i scenarie C. Nuværdien bliver mindre i forhold til referencen (A), idet nuværdien er -5.400 kr. i scenarie B, og -7.200 kr. i scenarie C.

I scenarie D prisstigningen på el sat til 0 pct. i løbende priser, i forhold til referencen, hvor den er 3 pct. Dvs. at besparelsen i el-køb efter år 0, bliver mindre. Det ses også i beregningsresultatet, idet nuværdien falder fra -4.700 kr. i referencen til -6.200 kr. i scenarie D. Den simple tilbagebetalingstid er den samme, idet denne kun udtrykker investeringen i forhold til indtægten (sparet udgift til el-køb). Der indregnes således ikke nuværdifaktor på renter og prisstigninger på el. Den simple tilbagebetalingstid, kaldes ofte også den statiske tilbagebetalingstid.

I scenarie F er kalkulationsrenten sat ned fra 5 pct. til 3 pct., hvilket forbedrer nuværdien fra -4.700 kr. i referencen til -3.400 kr.

I scenarie G, er PSO-afgiften sat til 0 øre/kWh, hvilket er den situation som vil opstå i 2022, når PSO-afgiften er helt udfaset. Den simple tilbagebetalingstid stiger til 40 år i forhold til referencens 34 år, hvilket skyldes at de sparede udgifter til elkøb, bliver mindre. Det betyder også at nuværdien efter 25 år, falder i forhold til referencen til -5.600 kr.

I scenarie H er investeringen i forhold til referencen hævet med 10 pct., for at se hvor prisfølsom rentabiliteten er. Den simple tilbagebetalingstid stiger fra 34 år til 37 år, og nuværdien efter 25 år falder til -5.800 kr.

Vandret inddækning

På grund af den utilfredsstillende rentabilitet er der ikke arbejdet videre med merinvesteringer i en vandret inddækning med trapezplader, der kunne forhindre direkte slagregn på ventilationsaggregater. Heller ikke trapezplader monteret solceller. Det vurderes at det ikke vil øge rentabiliteten væsentligt.

8.4.3 Fortolkning af rentabilitetsberegningerne

I det følgende er der angivet årsager til den lave rentabilitet.

Årsagerne til den lave rentabilitet

Der er to forhold der gør sig gældende, nemlig at investeringen er høj, og indtægterne fra solcelleproduktionen er små.

Hvad er årsagen til at investeringen er så stor som den er. Det er der flere grunde til:

- Solcellepanelerne har vist sig at være meget dyrere end forventet, når de skal indkøbes i specialmål. Specialmål har været nødvendige, for at solcellepanelerne har kunnet passe ind i en arkitektonisk løsning.
- I langt de fleste tilfælde, vil PV-inddækningssystemet skulle monteres på flade betontage, hvorpå der er overliggende isolering, afsluttet med tagpap. Fastgørelsen

af PV-inddækningen på et sådant tag har vist sig at være meget dyrt. Dertil kommer at PV-inddækningskonstruktionen er ret høj, hvilket har som konsekvens, at der kommer mange vindkræfter på konstruktionen. Det betyder at der skal investeres ekstra i fastgørelse af PV-inddækningen til taget, hvilket koster ekstra. Der skal nemlig etableres flere konsolfødder for at holde PV-inddækningen fast i stormvejr.

- På grund af det relative lille areal, som solcellepanelerne dækker på PV-inddækningen bliver produktionen lille pr. standardmodul. Dette minimerer indtægterne ved at der spares el-indkøb ved at bruge egenproduceret strøm. Dette på trods af at solcellerne har en høj effektivitet på 20 pct.

Merinvestering i solcelledelen

Kan det betale sig at etablere solceller på de opadvendte flader på alu-trekanterne, hvis der allerede er etableret en PV-inddækning på et tagpaptag, oven på en betonkonstruktion? Selve Inddækningen med stativer inkl. alutrekanten på tag, men uden solceller, inverter og el-installation koster 6.020 kr. ifølge overslaget. Merinvesteringen ved at indkøbe og montere solcellepaneler, samt at få anlægget tilsluttet til el-installationen inkl. indkøb og montering af inverter koster 3.380 kr. I alt 9.400 kr.

Hvis man regner på merinvesteringen i solcelledelen marginalt, hvad er rentabiliteten for denne investering alene? Kan det betale sig at merinvestere i solcelledelen, hvis man har besluttet sig for at investere i inddækningen af arkitektoniske eller brandingmæssige årsager.

For at besvare dette spørgsmål er der for de parametre, der er gældende i referencen A beregnet rentabiliteten for en merinvestering på 3.380 kr. i forhold til en inddækning uden solcellepaneler. Indtægterne fra sparet el-indkøb udgør indtægterne og skal tilbagebetale investeringen på de 3.380 kr. Nuværdien efter 25 år er på +2.800 kr. og den simple tilbagebetalingstid er beregnet til 10 år.

9 FORMIDLING

Under projektforsløbet har Krydsrum Arkitekter formidlet projektet i flere sammenhænge.

Niels Jakubiak Andersen fra Krydsrum Arkitekter har holdt et indlæg på Kunstakademiet Arkitektsskole med titlen "*Energiproducerende inddækning af tagaggregater som arkitektonisk element*". Arrangøren var Solar City Danmark.

Solar City Danmark arbejder for, at Danmark bliver et udviklings- og demonstrationsområde indenfor solenergi og energioptimeret byggeri med løsninger af høj arkitektonisk kvalitet.

Medlemmer af foreningen findes indenfor kategorierne: private virksomheder, kommuner og offentlige virksomheder, faglige organisationer, foreninger og enkeltpersoner.

Niels Jakubiak Andersen har derudover skrevet en artikel om projektet til Danmarks største website inden for byggeri: Byggeplads.dk.

10 KONKLUSION

Målet med projektet var at udvikle og designe en æstetisk energiproducerende inddækning af tagaggregater, som fremstår som et arkitektonisk velintegreret og inspirerende æstetisk element.

Ideen var endvidere at inddækningen skulle være modulbaseret, sådan at det kan forhindre indkig til tagaggregater og ventilationskanaler på taget.

Elproduktionen etableres ved at integrere solcellepaneler på den visuelle inddækning, og elproduktionen fra solcellepanelerne, kan være med til at tilbagebetale investeringen.

Konklusionen på projektet er at der er opnået nogle delmål.

Det er på baggrund af research af bygninger med grimme tagaggregater i felten, jf. afsnit 1.2 side 7 og afsnit 1.3 side 10, etableret en forståelse af hvordan den PV-inddækning kan forhindre indkig.

Dette aspekt er studeret nøjere i tre inspirationscases, som har været vigtige for udviklingsprocessen af PV-inddækningen. Inspirationscasene er beskrevet i afsnit 3 side 36.

I forbindelse med arkitekternes arbejde med inspirationscasene er der arbejdet med form og visuelt udtryk, jf. afsnit 2.3 side 17, herunder også et detaljeret studie af mulige farver, udtryk og materialevalg, jf. afsnit 2.4, side 19.

Udviklingen af produktet har været en lang og iterativ proces, hvor arkitekter og produktionsfolk og ingeniører har samarbejdet om at få problemer og udfordringer løst undervejs.

Disse udfordringer og resultatet i form af et standardmodul er beskrevet i afsnit 2.5, side 21 og fremefter.

Konklusionen er på denne del af projektet er, at det er lykkedes at producere en arkitektonisk tilfredsstillende løsning med solcellepaneler. Løsningen er modulopbygget og er tilpasningsdygtig i forhold til forskellige bygningers arkitektoniske udtryk, idet det er nemt at udskifte inddækningspladerne svarende til det ønskede arkitektoniske visuelle udtryk.

En del af projektet har været at udvikle en beregningsmodel, som vil kunne beregne produktion og rentabilitet på PV-inddækningsprojekter. Modellen er beskrevet i afsnit 8 side 60.

En ide i projektet var at undersøge om PV-inddækningsmodulerne kunne suppleres med en vandret afdækning for at forhindre at der kommer regnvand på ventilationsaggregater, som derved kunne forlænge levetiden af disse.

Det er arkitektonisk og ingeniørmæssigt undersøgt i afsnit 3.2 side 38, som omhandler inspirationscase fra KIWI butik. På grund af den utilfredsstillende rentabilitet i etablering af PV-inddækninger, er vurderingen at det ikke vil kunne øge rentabiliteten væsentligt ved at etablere vandrette afdækninger hverken med eller uden vandrette solceller.

Rentabilitetsberegningerne fortaget med modellen har vist at PV-inddækningen ikke rentabel, hvis den vurderes isoleret økonomisk i forhold til solcelleproduktionen. Dette skyldes at det er et relativt dyrt produkt med dyre monteringsomkostninger og en relativ lille produktion af solcellestrøm på PV-inddækningsmodulet, på trods af højeffektive solceller.

Selv om PV-inddækningen ikke er rentabel vurderet strengt økonomisk i forhold til solcelleproduktionen, kan virksomhederne kan have andre motiver for at købe en PV-

inddækning, bl.a. æstetiske overvejelser. I det følgende er der oplistet fire forskellige købsmotiver for erhvervsvirksomheder.

En manglende PV-inddækning, og dermed indkig til grimme tagaggregater kan have uhensigtsmæssige konsekvenser i forhold til kunders opfattelse af virksomheden og den offentlige omtale. Disse konsekvenser kan eventuelt med forsigtighed prissættes.

Hvis PV-inddækningen udformes med henblik på en decideret branding, ved tilpassede motiver, farvevalg og lyssætninger, så kan den ud over en højnelse af æstetikken, have en decideret økonomisk brandingeffekt.

Solcellerne på PV-inddækningen kan være med til at styrke en grøn profil hos virksomheden. Et sidste købsmotiv hos kunden kan være at det øger salgsværdien af bygningen ved salg.

Markedet vurderes at ligge primært i forbindelse med nybyggeri og større renoveringssager på grund den relative høje pris. En merinvestering i en PV-inddækning vil kun udgøre få promille i forbindelse med nybyggeri og lidt mere ved større renoveringssager.

Hvis den udviklede inddækning vælges uden solcelledelen kan kunderne også være kommuner, der ønsker at undgå visuelt indkig til grimme tagaggregater på bygningstage i forbindelse med nybyggeri eller renoveringssager. Ved at fravælge solcelledelen er de ikke bundet af de restriktive regler der gælder for solcellestrøm produceret på kommunale solcelleanlæg, jf. afsnit 7.1, side 57, og samtidig er inddækningen billigere uden solcellepanelerne.

Referenceliste

SBI-anvisning 132. (1982). *Økonomisk vurdering af energibesparende foranstaltninger.*

Stampe. (2006). *Varme- og klimateknik.* Danvak Aps.

FIGURLISTE

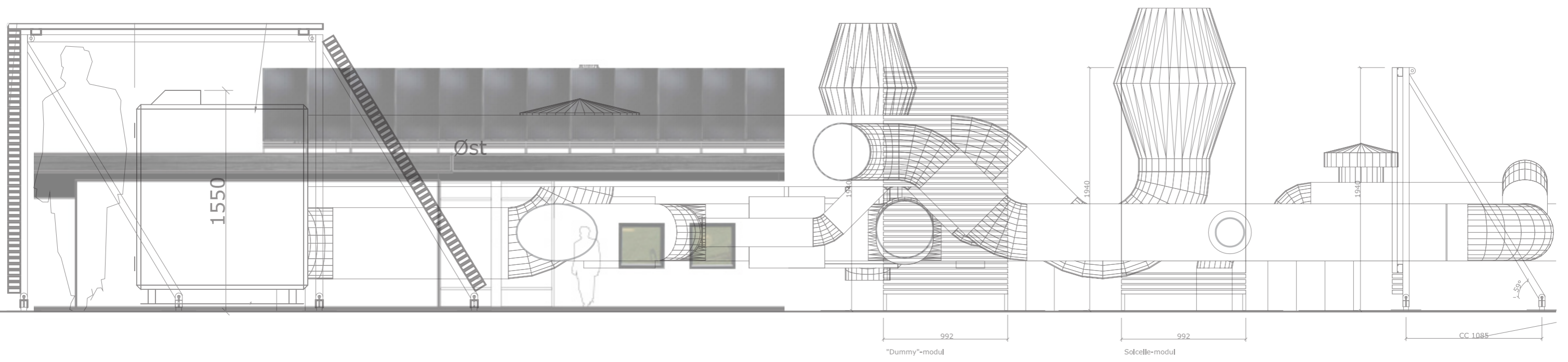
| | |
|---|----|
| Figur 1 IKEA Skejby ved Aarhus, 8200 Århus N | 7 |
| Figur 2 Tre Ege Forsorgshjem, 8220 Brabrand | 8 |
| Figur 3 Fakta butik, 8355 Solbjerg | 8 |
| Figur 4 KIWI Butik, 8340 Maling, | 8 |
| Figur 5 Kobæk Strand Conferencecenter, 4230 Skælskør | 9 |
| Figur 6 Njalsgade, 2300 København S | 9 |
| Figur 7 Skanderborgvej, 8260 Viby J. | 9 |
| Figur 8 Ventilationskanaler, hvor der er brug for visuel inddækning | 10 |
| Figur 9 Principtegning af en tørkøler | 11 |
| Figur 10 Modulopbygget tørkøler (tt-coil) | 11 |
| Figur 11 Tørkøler med 3 ventilatorer til venstre i billedet | 12 |
| Figur 12 Køleunit med indbygget tørkøler (Thermocold) | 12 |
| Figur 13 Ventilationsaggregat uden inddækning | 13 |
| Figur 14 Rustdannelse i karm på ventilationsaggregat | 13 |
| Figur 15 PV-inddækning kan forhindre indkig til tagaggregater - princip | 15 |
| Figur 16 Årligt solindfald afh. af hældningsvinkel og azimut | 16 |
| Figur 17 Standardmodulets opbygning | 17 |
| Figur 18 Detaljer i trekanternes opbygning | 17 |
| Figur 19 Materialevalg for inddækningspladen | 19 |
| Figur 20 Eksempler på materialevalg til inddækningspladen | 20 |
| Figur 21 Trin 1 og 2 i produktionsprocessen | 21 |
| Figur 22 Trin 3 og 4 i produktionsprocessen | 21 |
| Figur 23 Produktionstrin 4 og 5 i produktionsprocessen | 22 |
| Figur 24 Prototypen med 3 trekanter monteret på Mul10Metal aluprofiler | 22 |
| Figur 25 Model af prototypen, inkl. hjørnemodul | 23 |
| Figur 26 Prototypen inkl. hjørnemodul | 23 |
| Figur 27 Aluminiumstrekant - side med udstansede kølefiner | 24 |
| Figur 28 Kølefiner i højre side af billedet | 25 |
| Figur 29 Huller i bagpladen for indtag til ventilation | 26 |
| Figur 30 Udstandsning i plade for elboks på solcelle | 26 |
| Figur 31 Strækmetal tv. - Trekant med store huller th. | 27 |
| Figur 32 Strækmetal tv. - Zink th. | 28 |
| Figur 33 Sort plade tv. - Zink th. | 28 |
| Figur 34 Aluminiumstrekanten med varierende huller tv. - Zink th. | 29 |
| Figur 35 Eloxeret aluminium farve natur tv. - Zink th. | 29 |
| Figur 36 Eloxeret aluminium farve guld tv. - Zink th. | 30 |
| Figur 37 Samme materiale som foregående figur, set fra anden vinkel | 30 |
| Figur 38 Eloxeret aluminium farve guld tv. - Polycarbonat th. | 31 |
| Figur 39 Inddækningsplader af strækmetal, belyst bagfra | 31 |
| Figur 40 Inddækningsplade af polycarbonat, belyst bagfra | 32 |
| Figur 41 Konsolsystem fra Mul10Metal | 33 |
| Figur 42 Opsætning af trekant på Mul10Metal aluprofil | 34 |
| Figur 43 Konsolfod med gevindstang til tagpaptag | 34 |
| Figur 44 Gevindstang monteret gennem isolering og forankret i beton. | 35 |
| Figur 45. Tre Ege Forsorgshjem, eksisterende forhold | 36 |
| Figur 46 Ventilationsaggregater og kanaler | 36 |
| Figur 47 Vandafvisende Inddækning af ventilationsaggregat | 37 |
| Figur 48 Arkitektonisk taginddækning udført med almindelige solpaneler | 37 |
| Figur 49 Kiwi butik, 8340 Maling | 38 |

| | |
|--|----|
| Figur 50 Kiwi butik, set fra syd..... | 39 |
| Figur 51 PV-inddækning af tagaggregaterne - princip | 39 |
| Figur 52 Trapezplader med lille hældning..... | 40 |
| Figur 53 Snit at tagkonstruktion, som bærer trapezplader | 40 |
| Figur 54 Haraldshus, eksisterende forhold, set mod nord..... | 41 |
| Figur 55 Haraldshus med PV-inddækning..... | 41 |
| Figur 56 Haraldshus, eksisterende forhold, set mod vest | 42 |
| Figur 57 Haraldshus med PV-inddækning | 42 |
| Figur 58 Haraldshus med alternativ PV-inddækning..... | 43 |
| Figur 59 Haraldshus med eksempel på lyseffekter | 43 |
| Figur 60 Solcelleanlæg tilsluttet forbrugsinstallation og off. elnet - princip | 44 |
| Figur 61 Forhøjede afregningspriser for solgt strøm | 45 |
| Figur 62 Eltilslutning der forhindrer salg til det off. el-net | 47 |
| Figur 63 Solcellepanelet bestående af 18 solceller | 48 |
| Figur 64 Solskinstimer i Danmark, (DMI) | 49 |
| Figur 65 PV-inddækning med to orienteringer | 50 |
| Figur 66 Fordeling af solindstråling over året..... | 50 |
| Figur 67 Selvskygge den 6. maj, kl. 17.00 | 51 |
| Figur 68 Solcellepanelets opbygning..... | 51 |
| Figur 69 Selvskygge den 6. maj, kl. 18.00 | 52 |
| Figur 70 Ydelsesreduktion grundet selvskygge, orientering mod syd | 53 |
| Figur 71 Systemtab i solcelleanlæg..... | 53 |
| Figur 72 Leverancekæden..... | 56 |
| Figur 73 Furesø Rådhus | 58 |
| Figur 74 Furesø Rådhus – visualisering | 59 |
| Figur 75 Solens placering på himlen (Stampe, 2006)..... | 60 |
| Figur 76 Forbrug og solcelleproduktion | 62 |
| Figur 77 Resultater fra følsomhedsanalyse | 64 |

Bilag 1

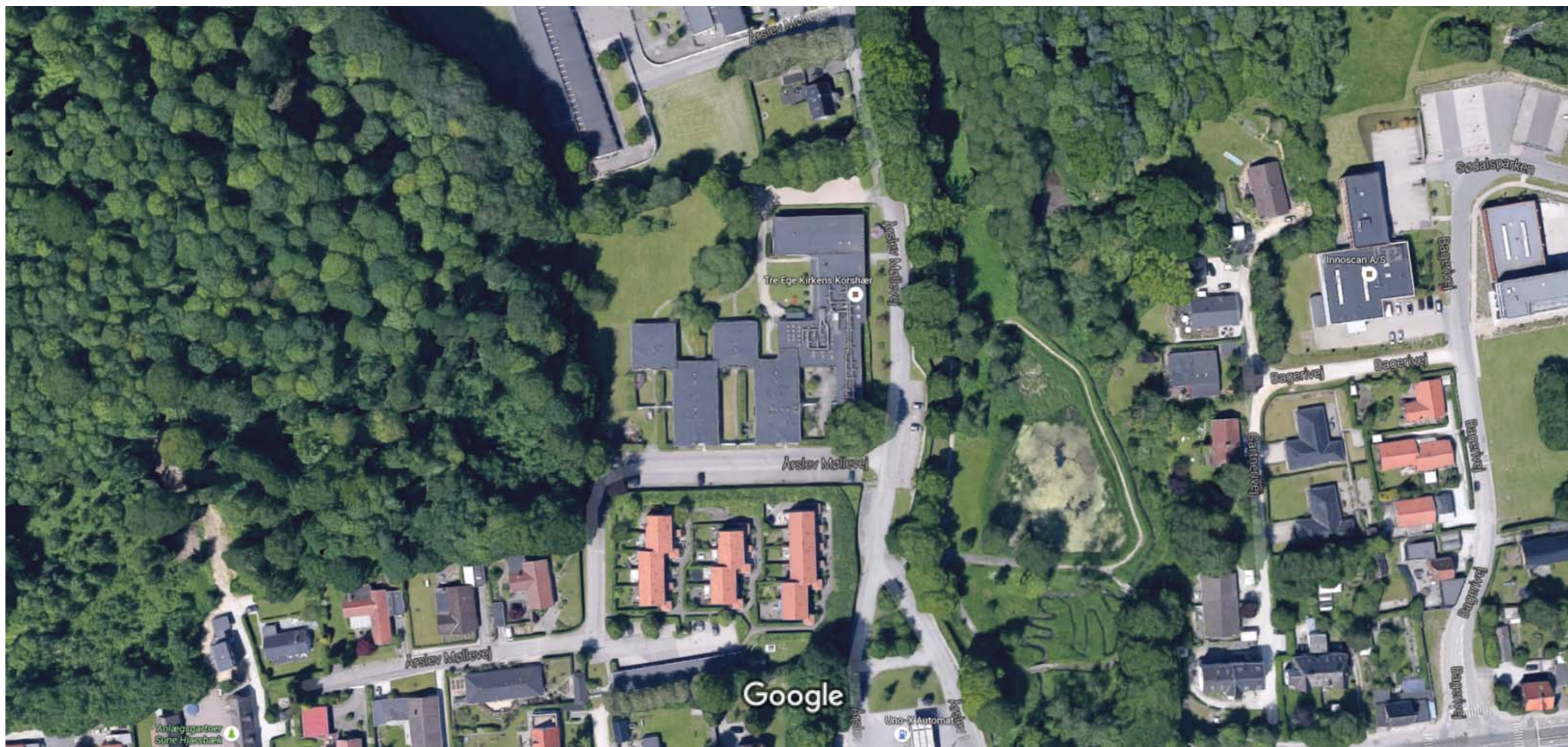
Tre Ege Forsorgshjem

Inspirationscase



Tre Ege Forsøgshjem

*Æstetisk energiproducerende
inddækning af tagaggregater*



Luftfoto af Tre Ege Forsogshjem

Billeder ©2016 Google, Kortdata ©2016 Google 20 m



Kig fra bygningens vestside, hvor de eksisterende installationer tydeligt ses –især pga. terrænet som stiger fra øst mod vest.



Tagplan eksisterende forhold 1:800



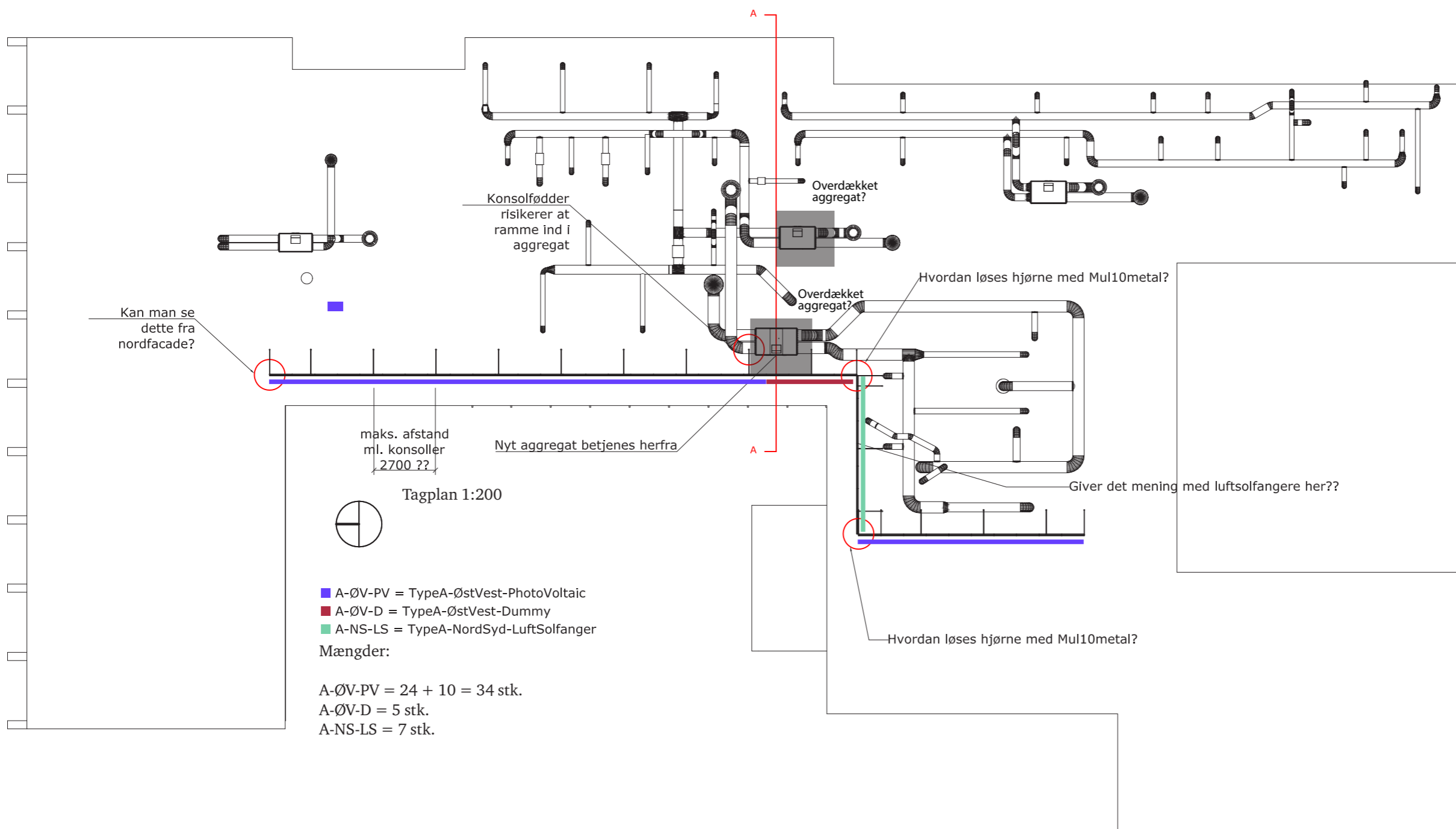
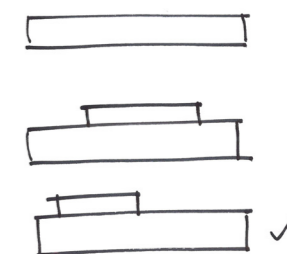
Visualisering af vestfacaden med solceller og lameller



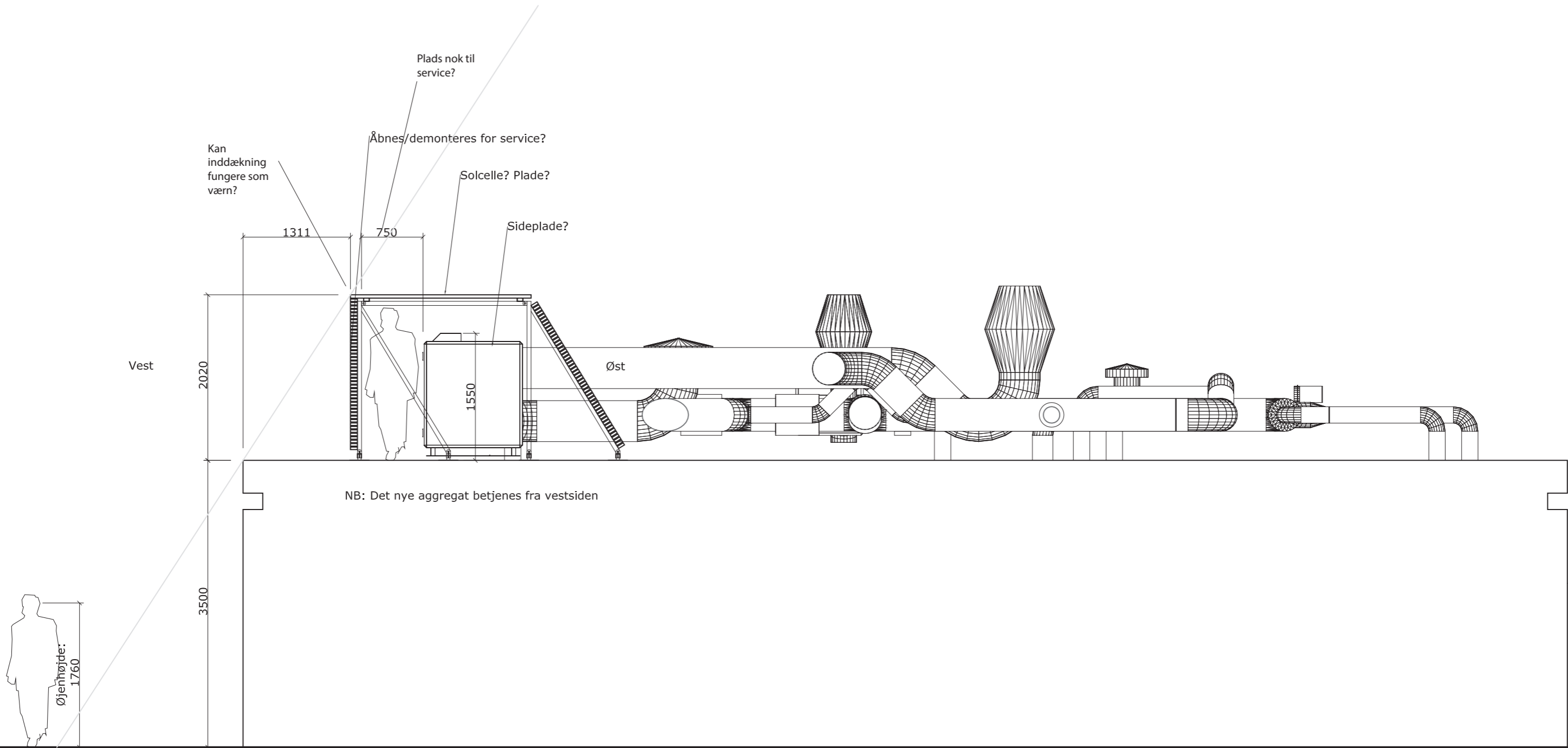
Vestfacade 1:200
(Foreløbig optegning – der mangler textures på vinduer mv.)

Om arkitekturen

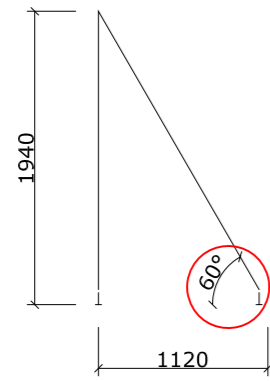
Der er tale om et hus, givet vis fra 1960'erne/70'erne, tegnet af Friis & Moltke. Huset har karakteristika, der minder om fx Wohlert/Bo's Louisiana og Jørn Utzons Kingohuse. Idéen er at bygge et fladt hus, der består af en række "knopskydninger" – også kaldet "Det additive princip". Huset får sin nærhed til omgivelserne med sin ene etage (man er på niveau med landskabet) og store vinduespartier. Der opstår en dynamik/bevægelse ved at lade bygningsvoluminerne påhæfte sig hinanden på en ikke-symmetrisk streng, hvilket man kunne dyrke videre i snittet. Se principskitse herunder:



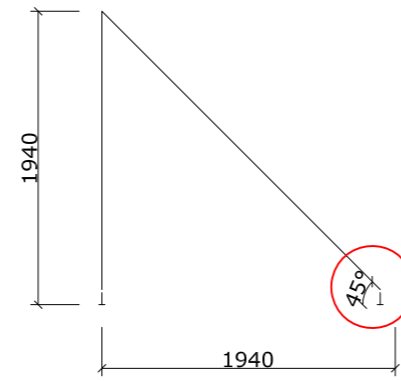
- A-ØV-PV = TypeA-ØstVest-PhotoVoltaic
■ A-ØV-D = TypeA-ØstVest-Dummy
■ A-NS-LS = TypeA-NordSyd-LuftSolfanger
 Mængder:
 A-ØV-PV = 24 + 10 = 34 stk.
 A-ØV-D = 5 stk.
 A-NS-LS = 7 stk.



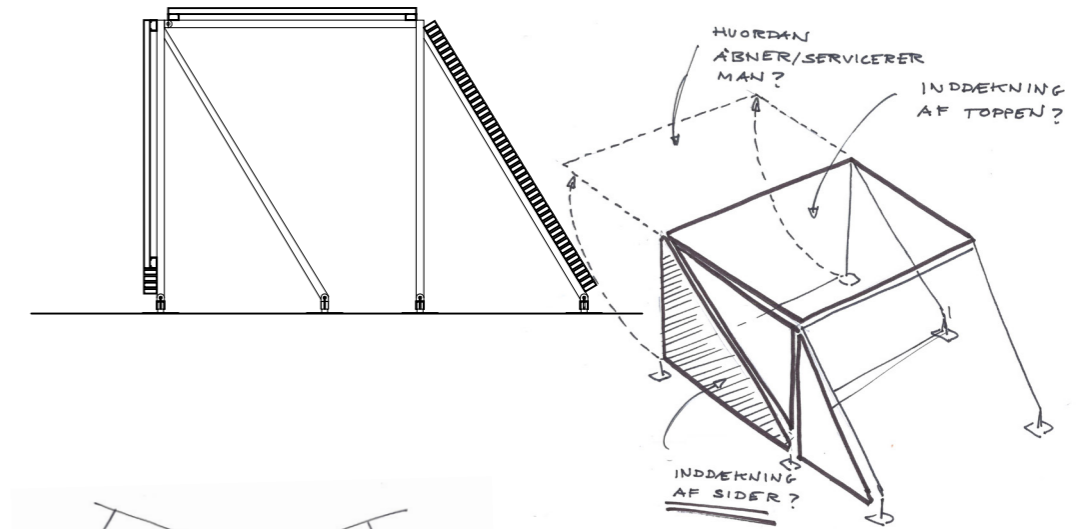
TYPE A



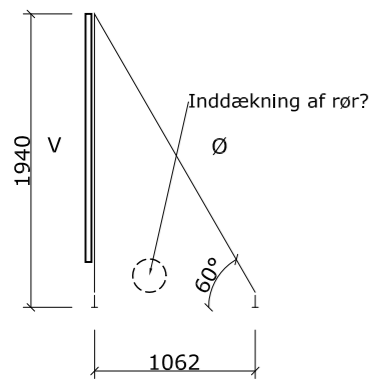
TYPE B



Side/tag-inddækning og hjørnemoduler

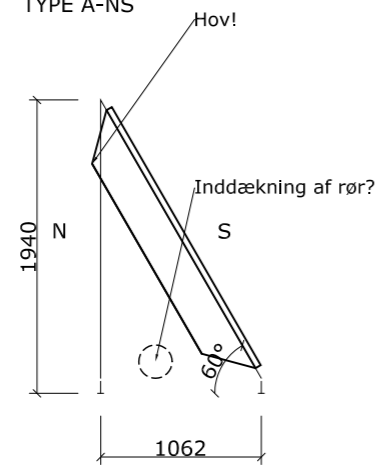


TYPE A-ØV



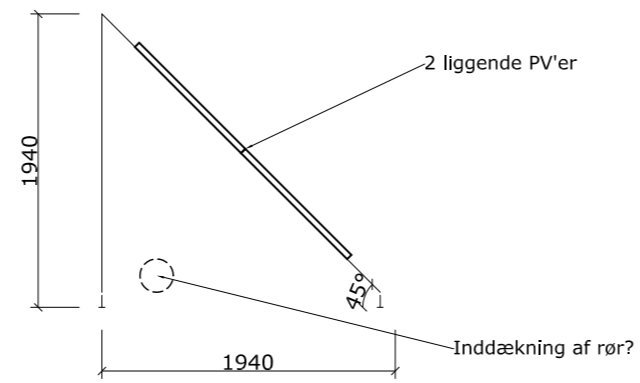
Solcelle mod vest

TYPE A-NS

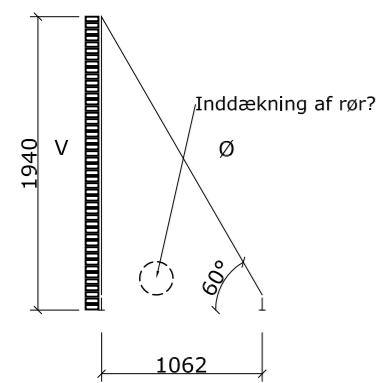


Luftsolfanger mod syd

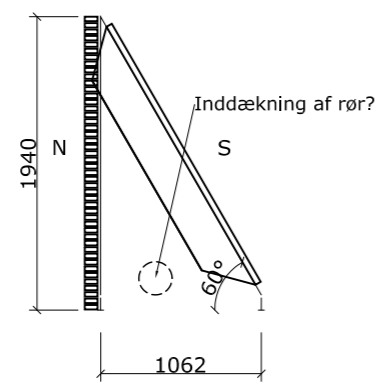
TYPE B-NS



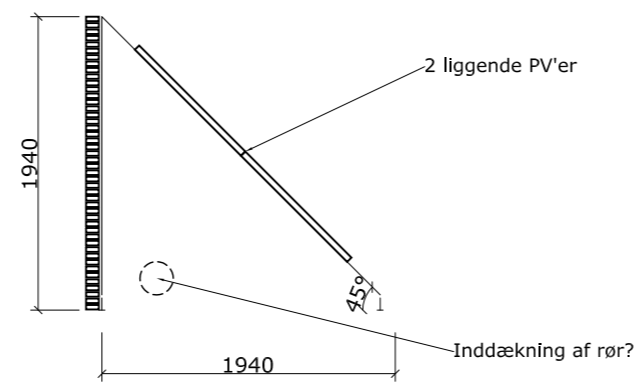
Solceller mod syd



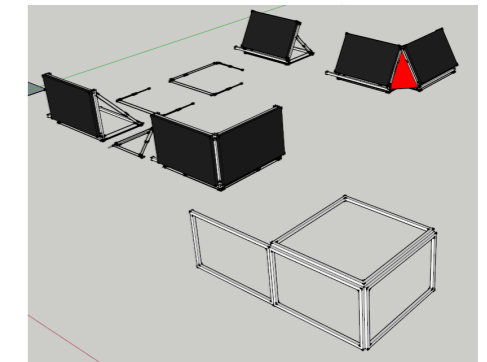
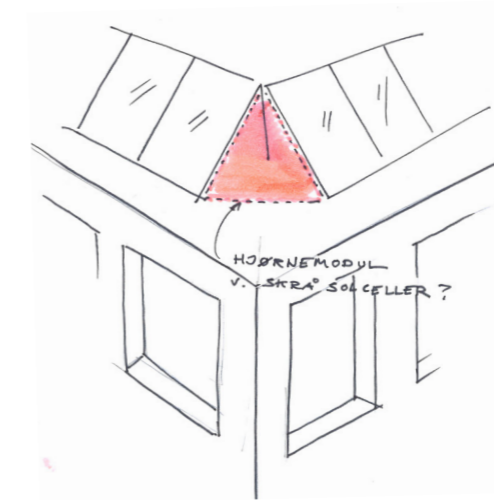
Dummy mod vest



Dummy mod nord



Dummy mod nord



Note v/CM

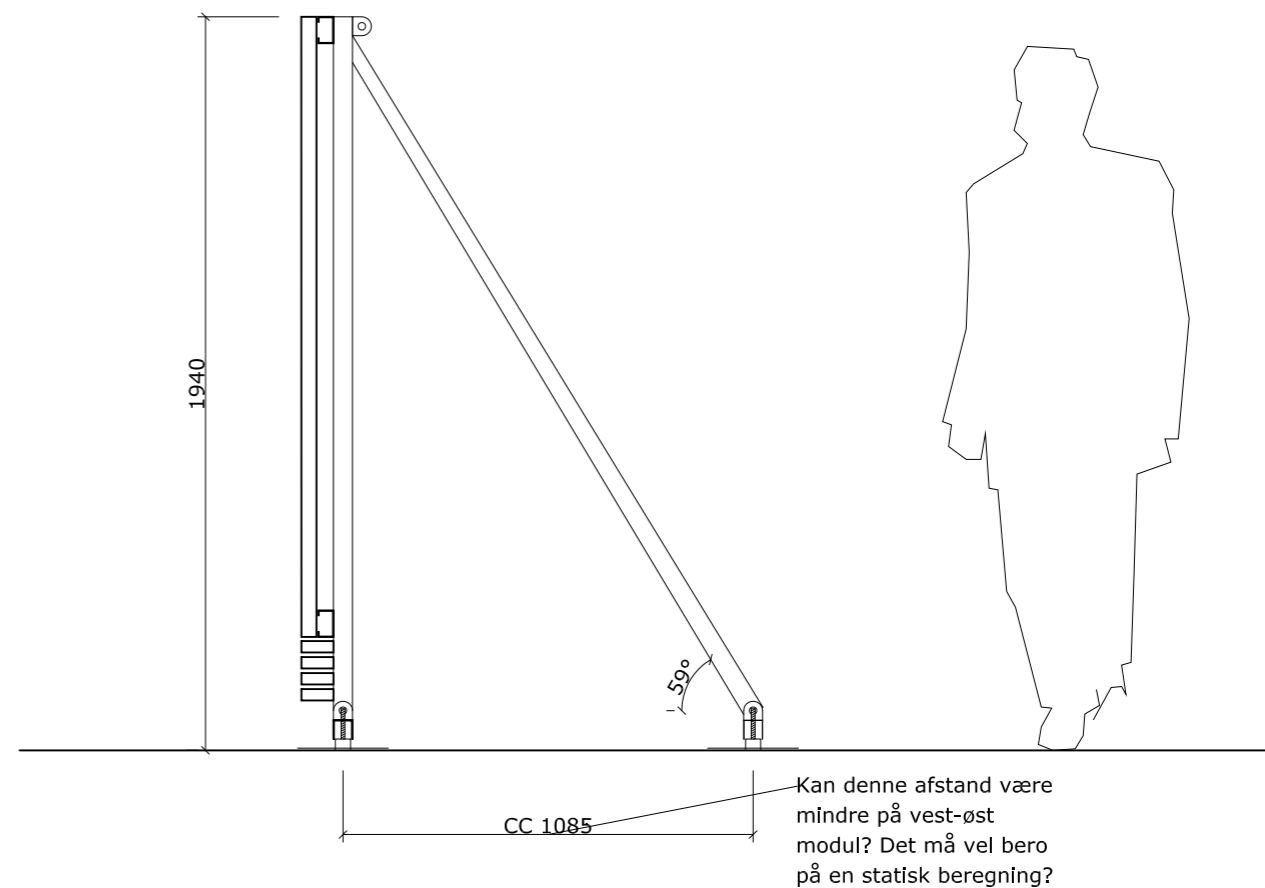
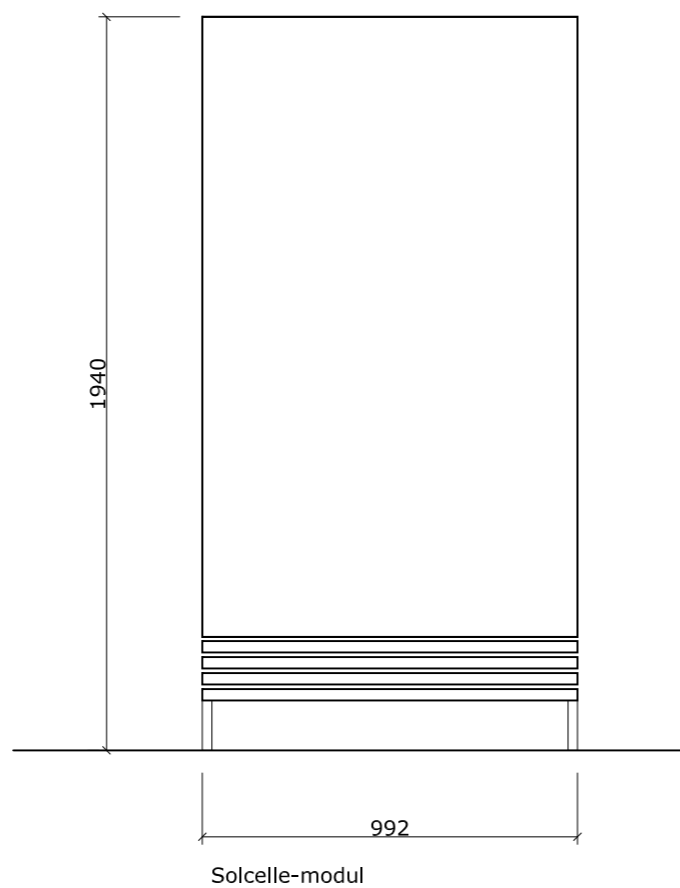
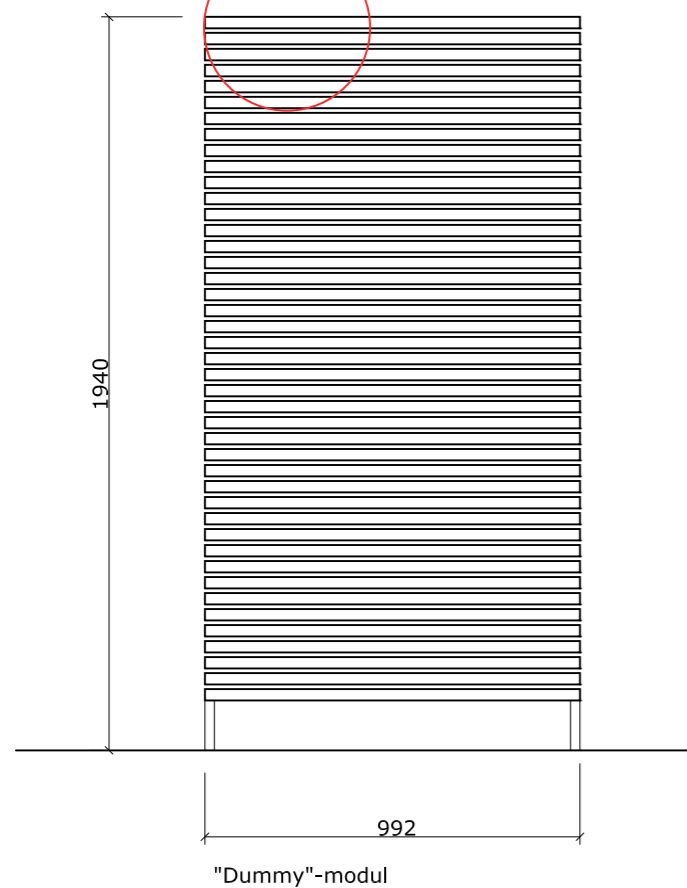
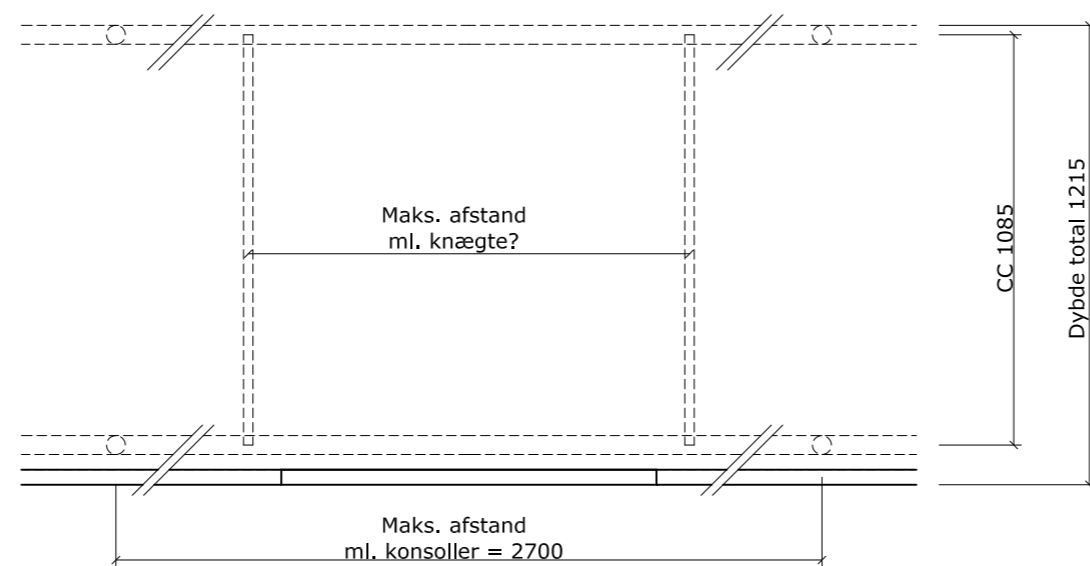
Der er uanede muligheder, men det vigtigste må være at systemet beholder Mul10metals fleksibilitet i kraft af hulstænger, drejeled og konsolfødder.

Det bliver tydeligt at man er nødt til at udvikle et optimeringsværktøj, der hjælper arkitekten (dvs. den æstetisk projekterende) til at vælge en løsning, der også yder hensigtsmæssigt ift. energimæssig og livsforlængende effekt.

Jeg foreslår at man udvikler en række moduler (som her til venstre) som modellerer som families i Revit og dernæst kan vurderes ud fra 3 hovedparametre:

- Æstetisk effekt (gives subjektivt)
- Energimæssig effekt (fra solceller og luftsolfangere)
- Livsforlængende effekt (hvor meget længere kan et inddækket aggregat holde?)

Materiale?



Bilag 2

Kiwi Malling

Inspirationscase

KIWI Malling

*Æstetisk energiproducerende
inddækning af tagaggregater*



Luftfoto af site for Kiwi Malling, Krekærlundsvej 2, 8340 Malling

Om arkitekturen

KIWI Malling er et supermarked beliggende ca. 15 km syd for Århus. Supermarkedet åbnede d. 14 maj 2016, og er ca. 700 kvadratmeter stort. Stedet befinder sig tæt op ad et trafikalt knudepunkt mellem 451 Oddervej, Bredgade og Krekærvej.

Bygningskomplekset er i gule teglsten med kun ganske få åbninger og indgange, hvilket er typisk for et supermarked, hvor man er interesseret i at holde indendørstemperaturen jævn hele året. Dette gør at bygningens homogene facader kan fremstå introverte og lukkede.

Et andet dominerende træk i facaden er de markante installationer placeret centralt på tagfladen. Installationerne udgøres af et ca. 3m³ betjeningspanel og ventilationskanaler.

Disse tagaggregater skal have en æstetisk energiproducerende inddækning. Solceller som det energiproducerende element i inddækningen. En helhedsorienteret løsning og materialevalg som det æstetiske.

Et tiltag som hænger godt sammen med KIWI's vision om, at de vil være Danmarks sundeste discountkæde, hvilket bl.a. betyder at KIWI arbejder målrettet med at nedbringe deres elforbrug, affaldsmængder og spild.

Bygherre: Innovater Byg

REGISTERING AF BYGNING



KIWI Malling - østlige facade mod Krekærlundsvej



KIWI Malling, vestlige facade mod 451 Oddervej

REGISTERING AF TAGAGGREGATER

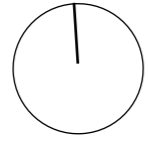


Betjeningspaneler



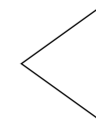
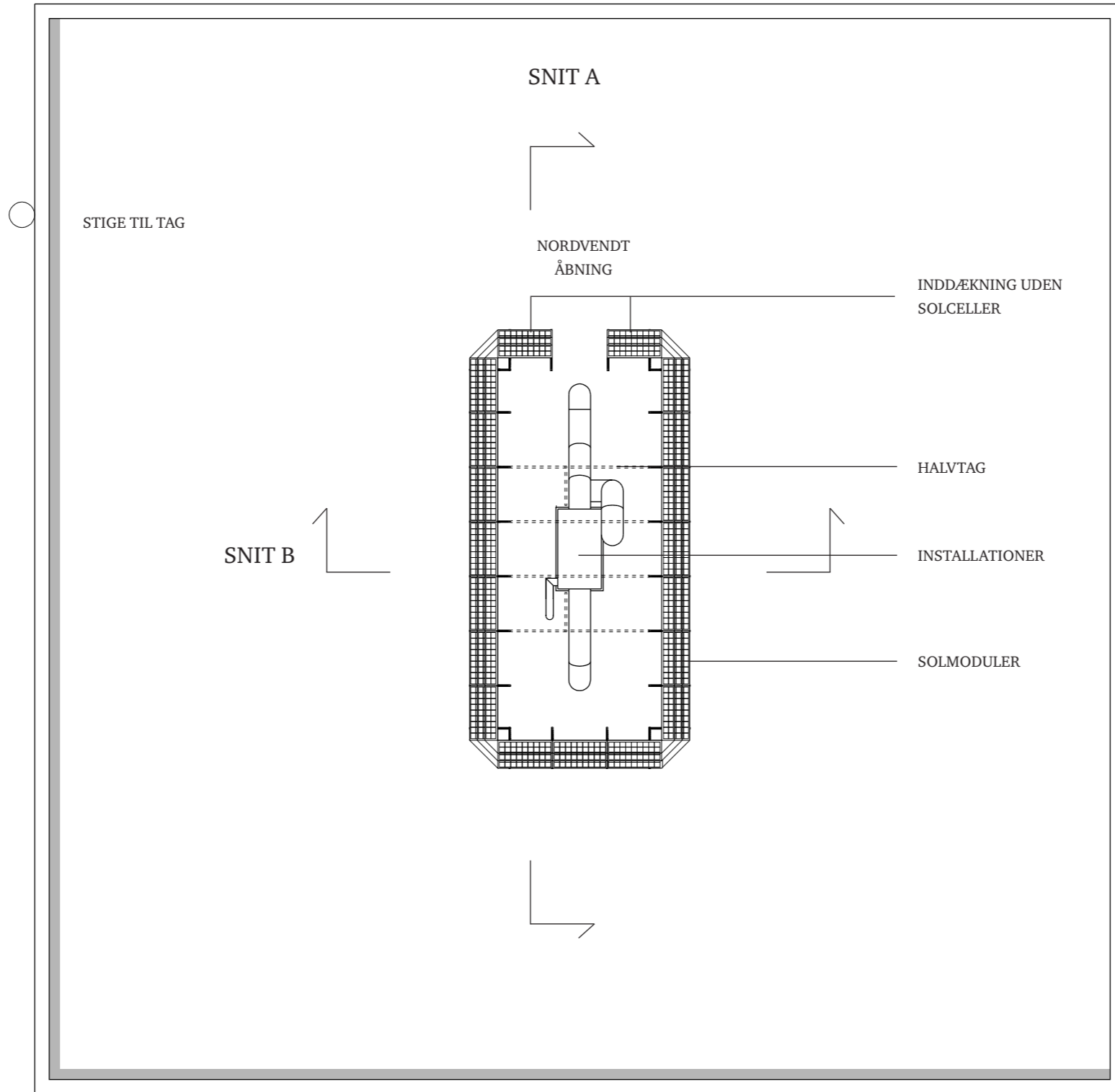
Installationskanaler

TAGPLAN - FREMTIDIGE FORHOLD



1 : 150

BREDGADE

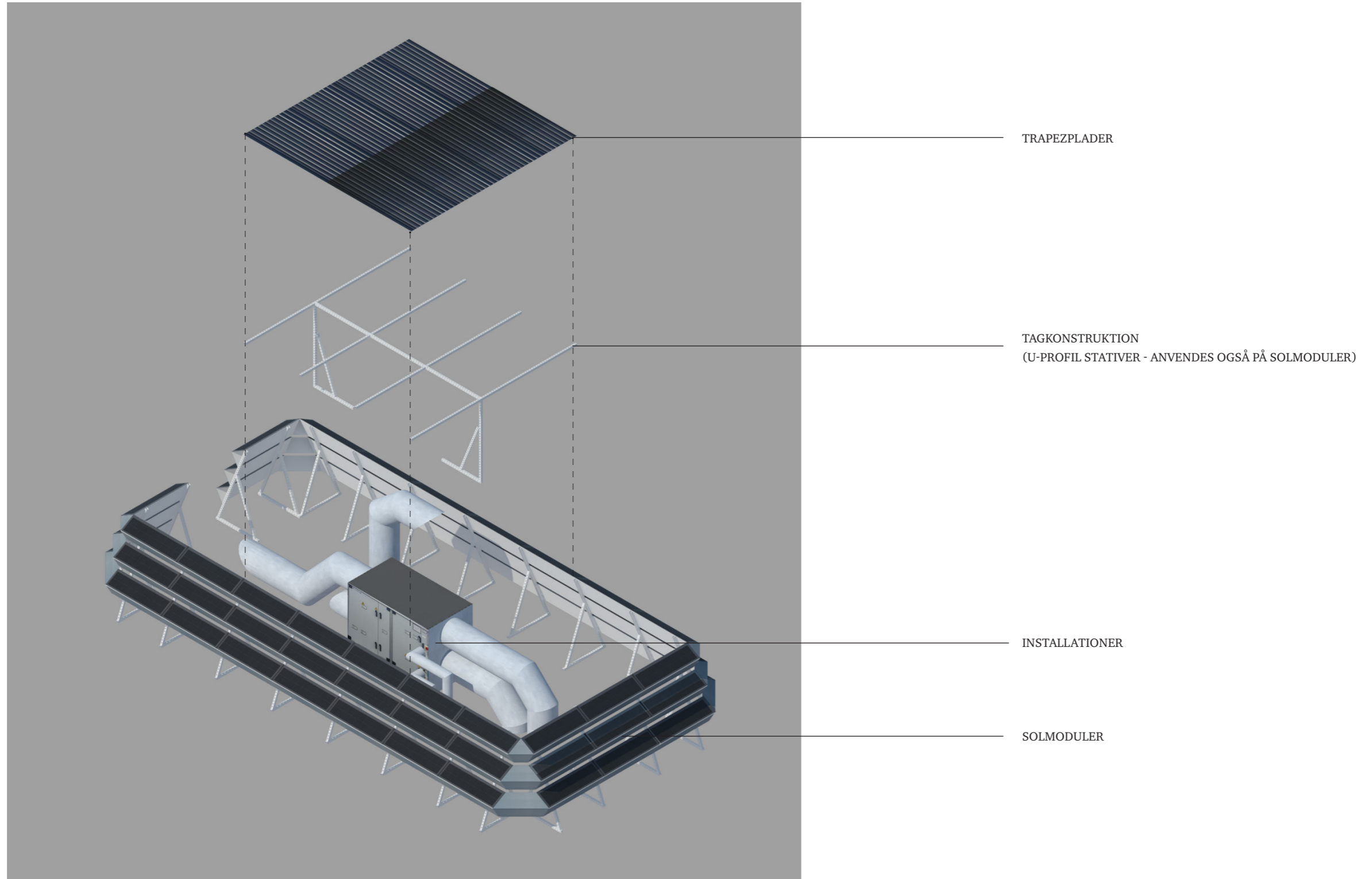


INDGANG

KREFÆRLUNDSVEJ

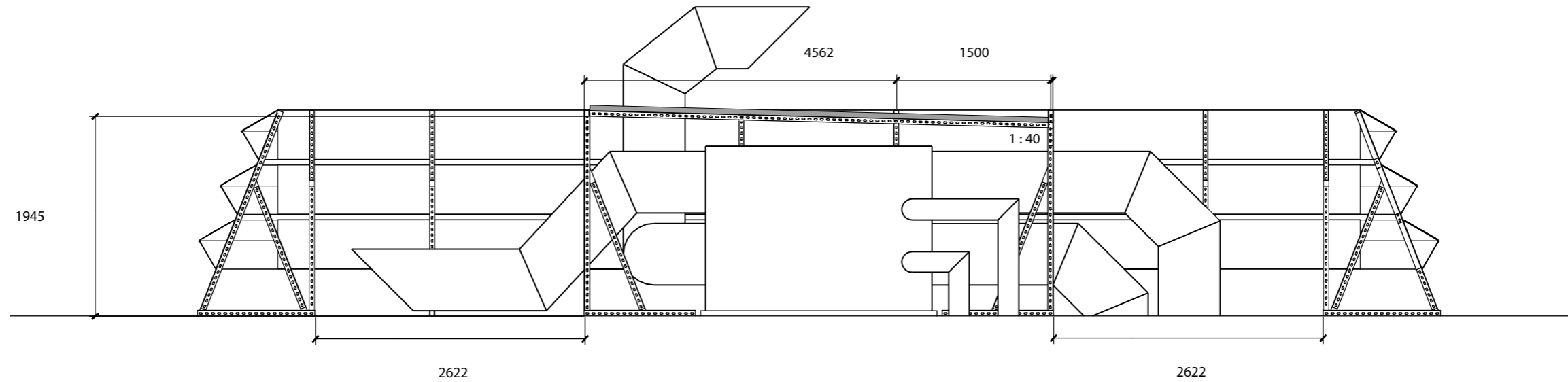
SKUR

SPRÆNGT ISOMETRI AF TAGPLAN - FREMTIDIGE FORHOLD

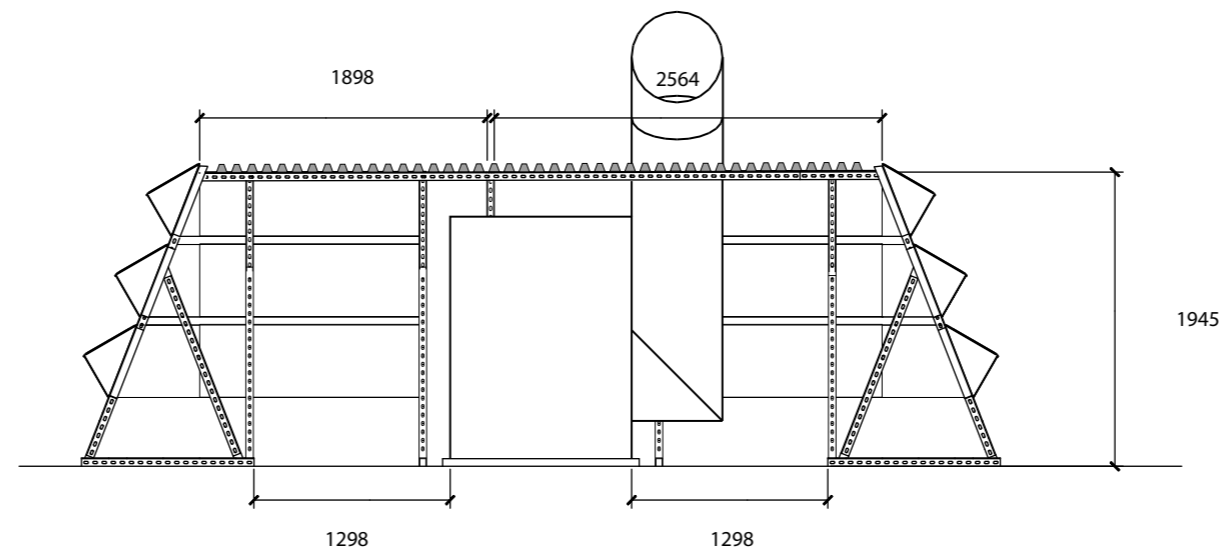


SNIT IGENNEM FORSLAG - FREMTIDIGE
FORHOLD

SNIT A / 1 : 50

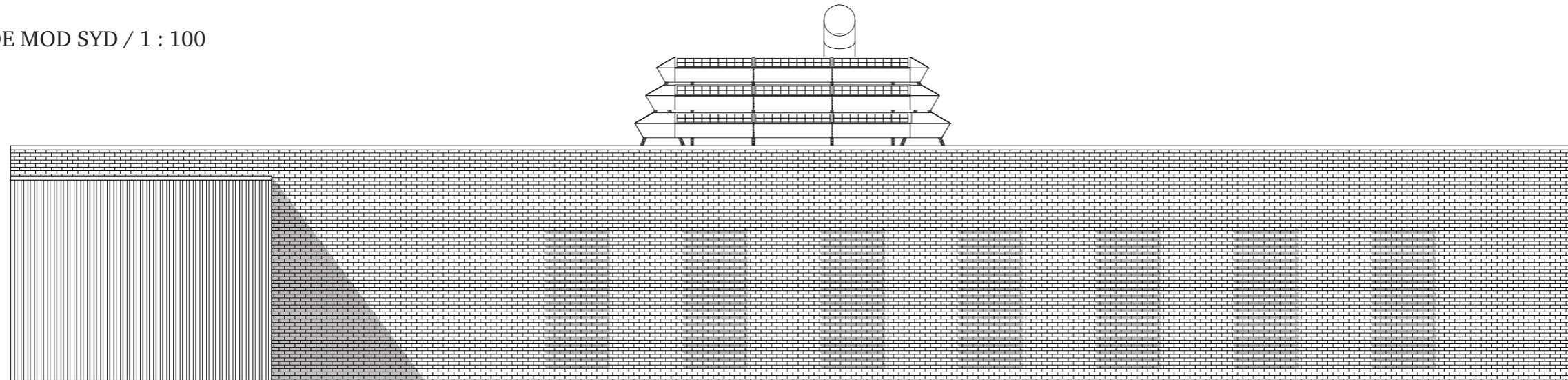


SNIT B / 1 : 50

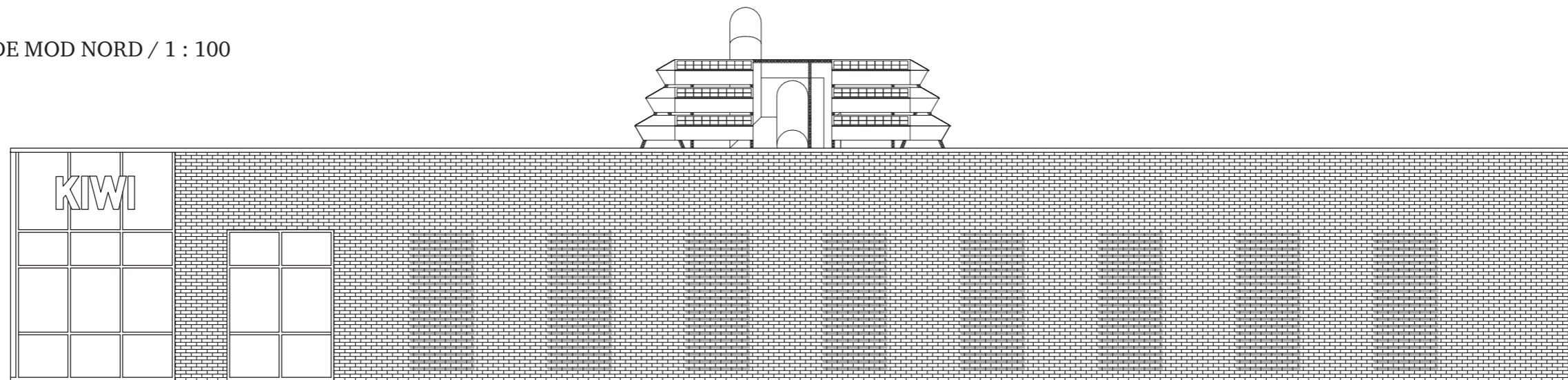


KIWI MALLING - FREMTIDIGE FACADER

FACADE MOD SYD / 1 : 100

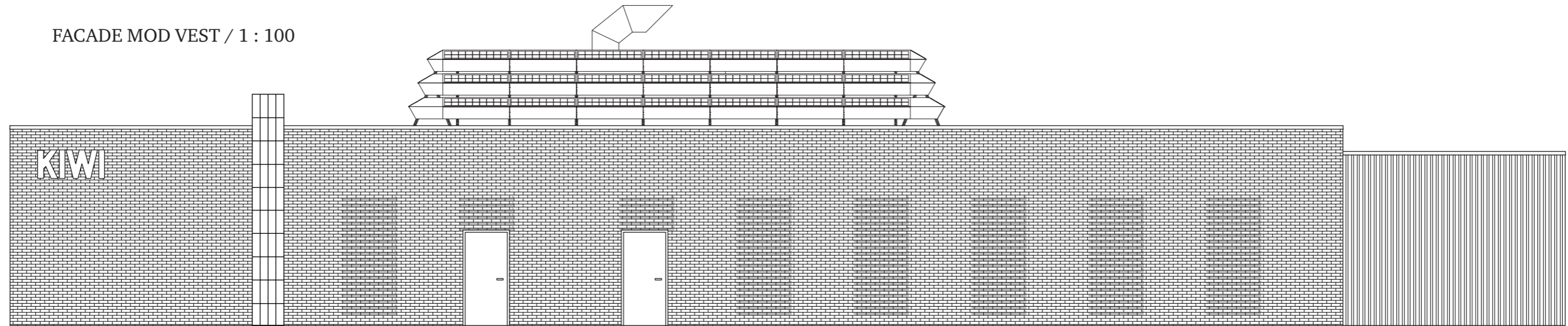


FACADE MOD NORD / 1 : 100

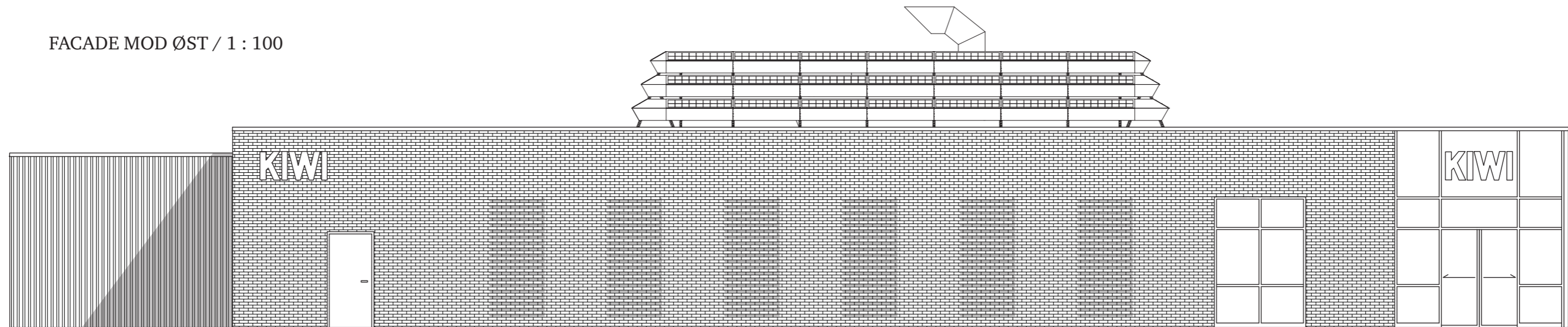


KIWI MALLING - FREMTIDIGE FACADER

FACADE MOD VEST / 1 : 100

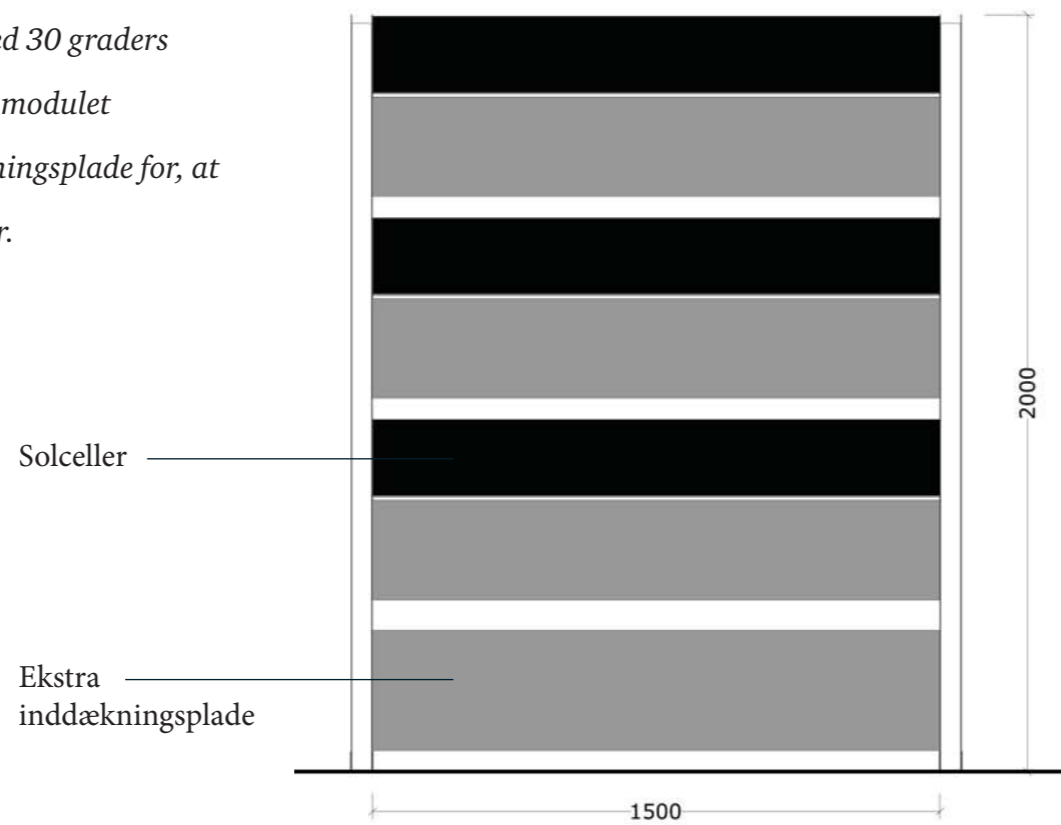


FACADE MOD ØST / 1 : 100

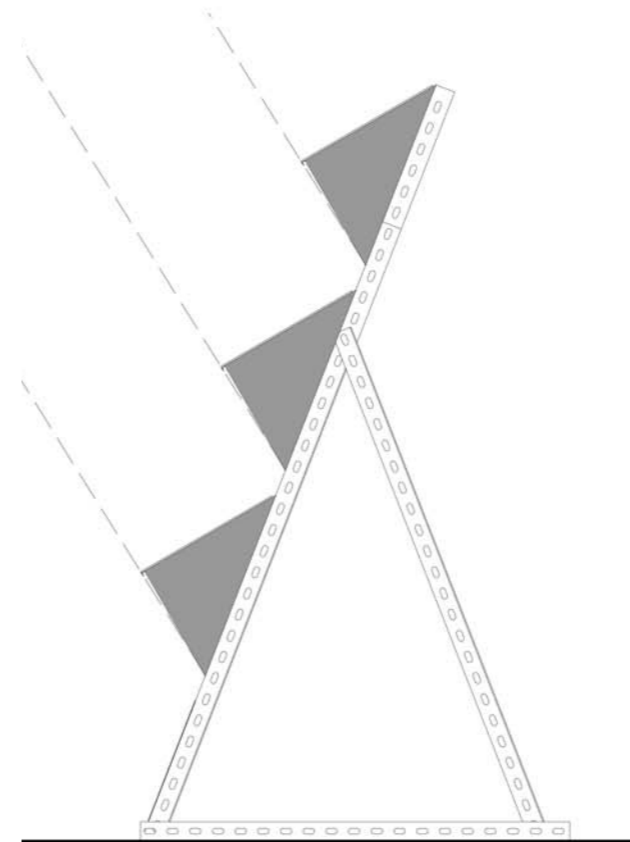


KONCEPT MODEL KA 01

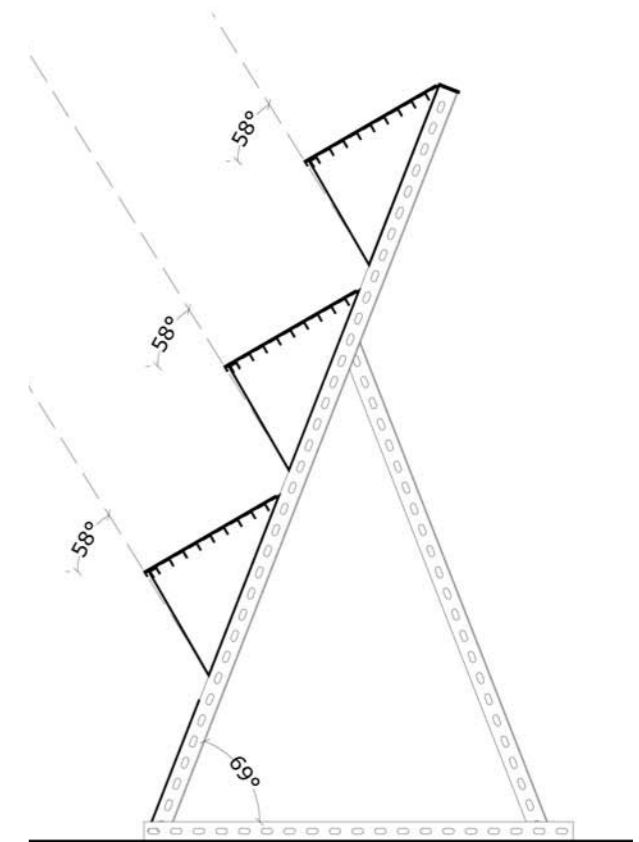
Model KA 01 er konstrueret med 30 graders hældning. Ved 1 plans hus kan modulet forsynes med et ekstra inddækningsplade for, at skjule de tekniske installationer.



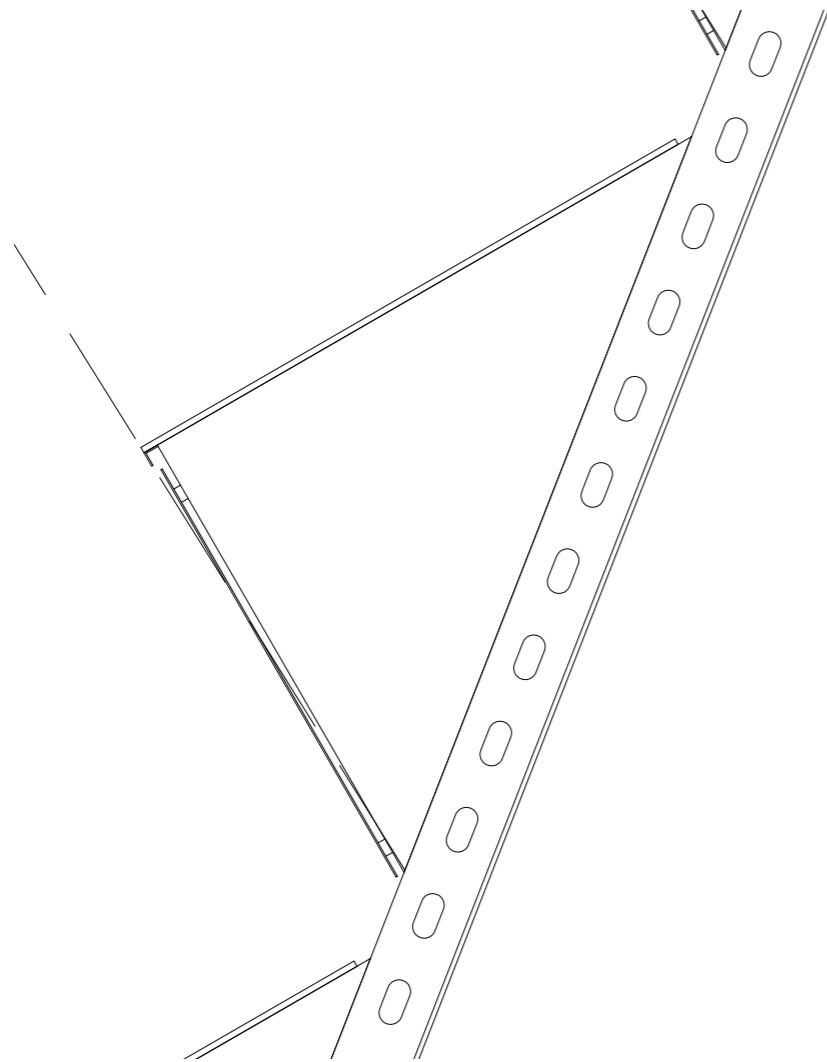
Opstalt af front 1:20



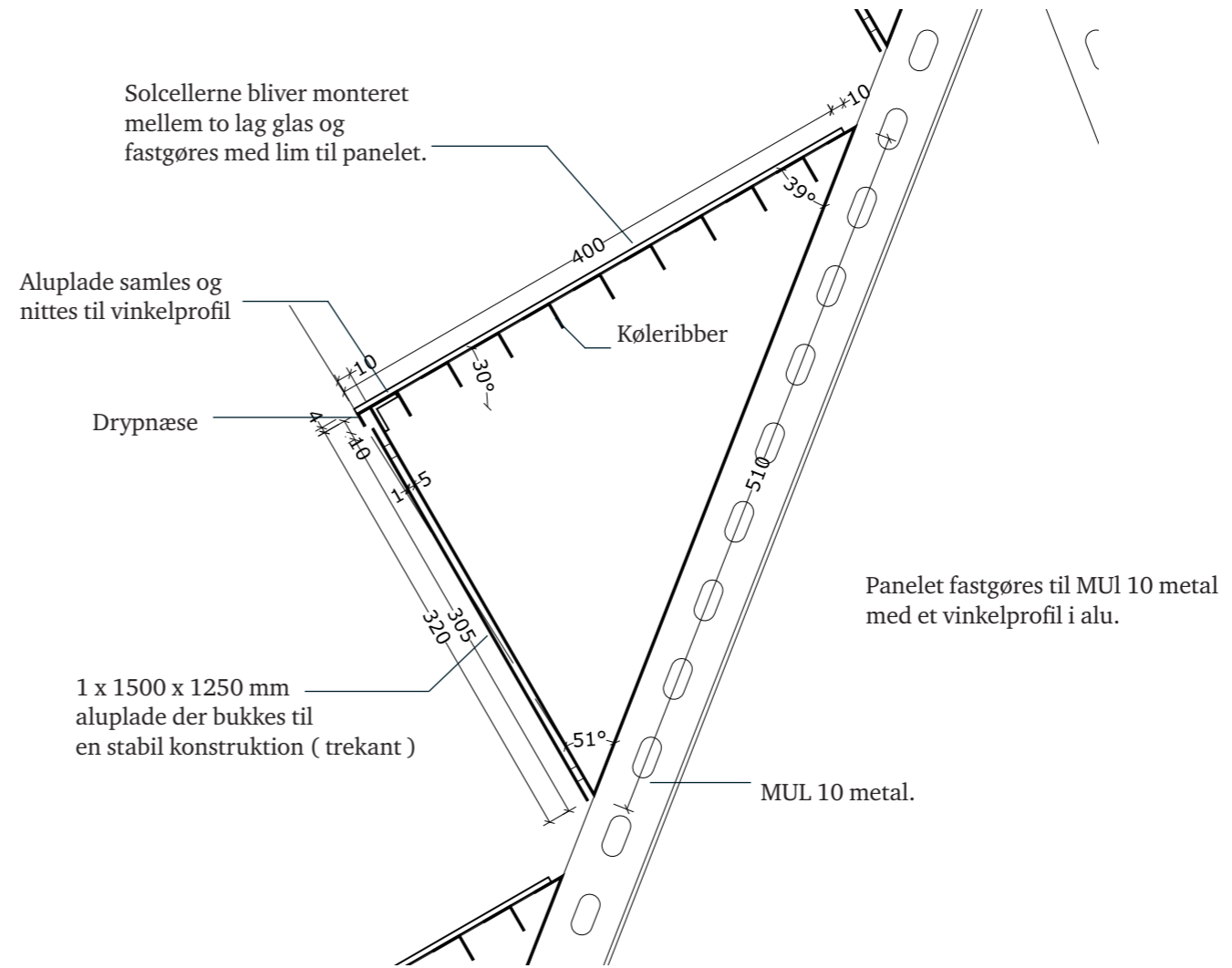
Opstalt af profil 1:20



Snit 1:20



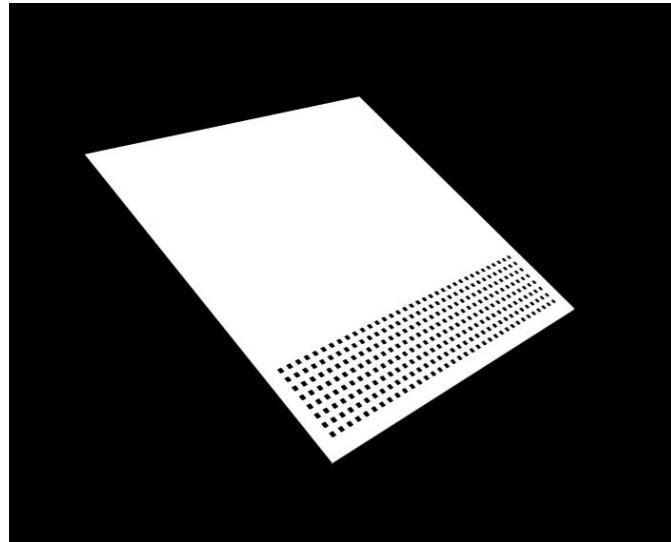
Opstalt af profil 1:5



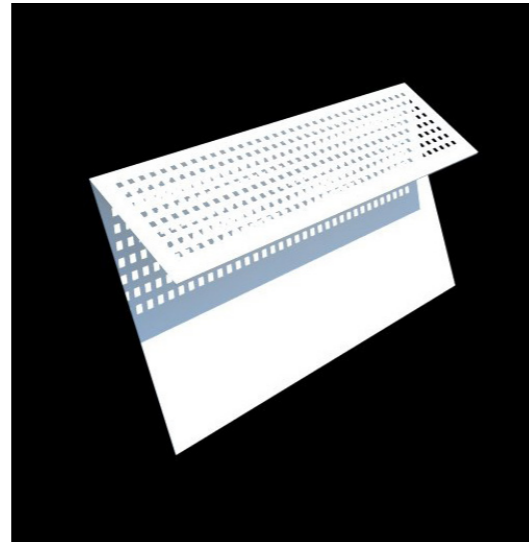
Lodret snit 1:5

MONTAGE

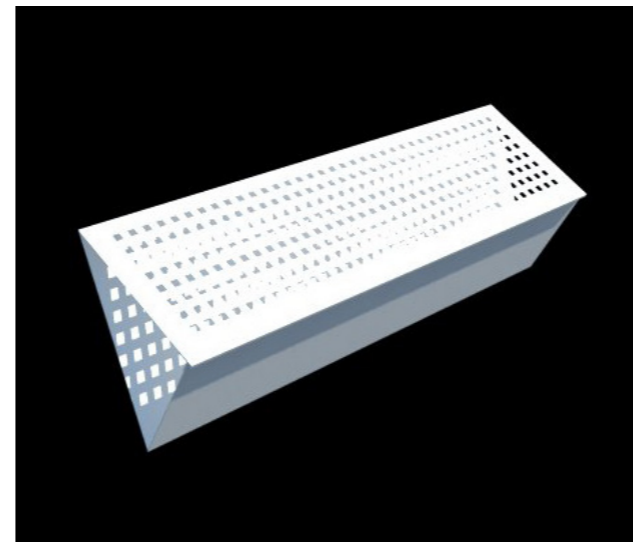
Panelet er konstrueret med 1 x 1500 x 1500 mm aluminiumsplade der bukkes i et stykke og samles med nitter omkring et aluprofil. I aluminiumspladen under solcellerne er der konstrueret køleribber der kan sænke temperaturen på solcellerne med nogle grader. For hver grad køleribberne kan sænke temperaturen, forbedres solcellernes ydelser med en 1/2 procent.



Trin 1: aluminiumsplade med bukket drypnæse og køleribber.



Trin 2: bukning af bagplade



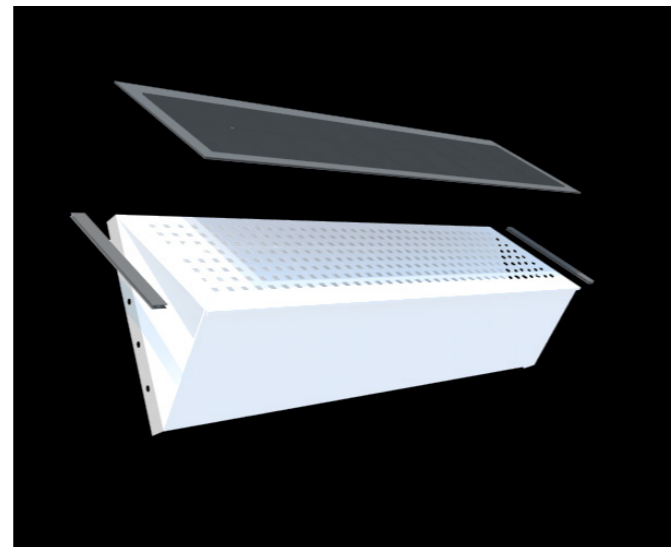
Trin 3: bukning af front



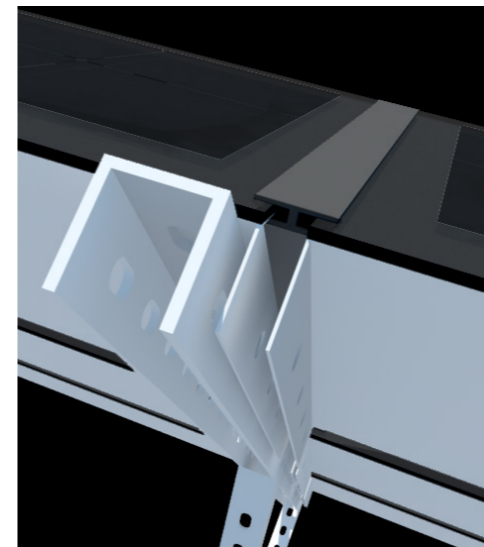
Trin 4: aluminiumsplade samles med nitter ved vinkelprofil



Trin 5: bukning af bagplade



Trin 6: de enkelte dele af panelet med solceller og u profil beslag

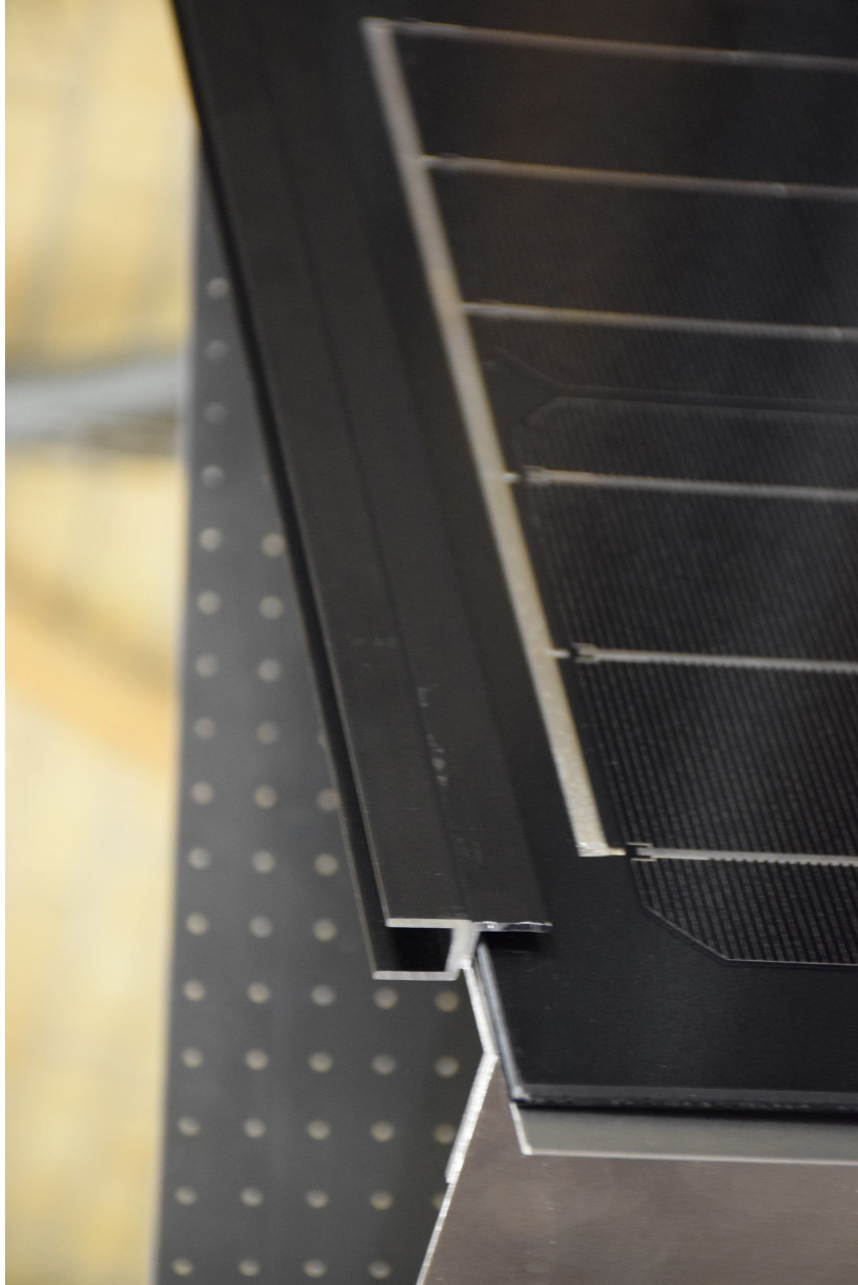


Trin 7: paneler monteres på Mul 10 metal stativ



Trin 8: Samlet panel med solceller monteret på Mul 10 metal stativ

MONTAGE - U-PROFIL



U-profil som binder paneler sammen på tværs

TEKNISK DATA



| Hældning | Placering/retning af solpaneler | | | | | | | | | |
|----------|---------------------------------|----------|----|-----|----|---------|----|-----|----|----|
| | SYD | SYD VEST | | SYD | | SYD ØST | | ØST | | |
| 0° | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 |
| 5° | 86 | 88 | 89 | 89 | 90 | 90 | 90 | 89 | 89 | 88 |
| 10° | 86 | 89 | 91 | 92 | 93 | 93 | 93 | 92 | 91 | 89 |
| 15° | 85 | 90 | 92 | 94 | 95 | 95 | 95 | 94 | 92 | 89 |
| 20° | 84 | 91 | 93 | 95 | 97 | 97 | 97 | 95 | 93 | 89 |
| 25° | 83 | 91 | 94 | 97 | 98 | 99 | 98 | 95 | 94 | 89 |
| 30° | 81 | 91 | 94 | 98 | 99 | 100 | 99 | 97 | 94 | 88 |
| 35° | 80 | 90 | 94 | 97 | 99 | 100 | 99 | 97 | 94 | 88 |
| 40° | 78 | 89 | 94 | 97 | 99 | 100 | 99 | 97 | 94 | 88 |
| 45° | 77 | 88 | 93 | 96 | 99 | 99 | 99 | 96 | 93 | 88 |
| 60° | 70 | 83 | 88 | 93 | 94 | 94 | 94 | 92 | 88 | 83 |
| 70° | 66 | 78 | 82 | 86 | 88 | 88 | 87 | 86 | 83 | 80 |
| 90° | 44 | 64 | 68 | 70 | 72 | 72 | 72 | 70 | 68 | 64 |

Diagram på sol/hældning

GENERELT:

Cellerne er som standart sorte eller grå med en ensartet overflade. Cellerne bliver ofte skåret til i kvadrater for, at få mindre afstanden mellem cellerne i panelet.

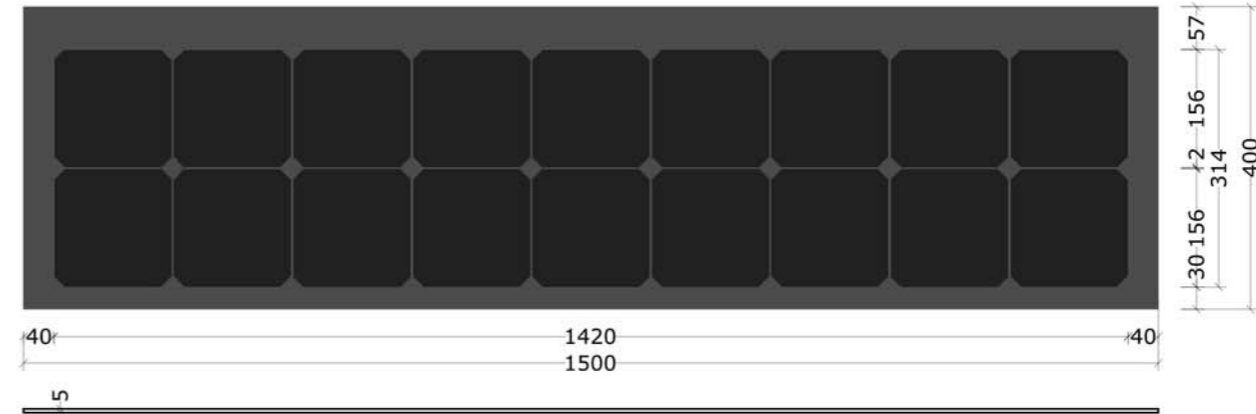
MONTERING

Cellerne er monteret på et metalgitter, der fungerer som kontaktnet. Cellerne bliver monteret mellem to lag glas eller et lag glas og et lag plast. Ofte er cellerne monteret på en hvid baggrund for at reflektere det lys, der falder ind mellem cellerne, dette er med til at hold temperaturen så lav som muligt, hvilket giver den højeste effekt.

FAKTA:

Årligt udbytte 130 kWh/m²
 De mest effektive, men også de dyreste solceller på markedet.
 Levetid: 40 - 50 år.

FORELØBIGT TRYK - 20170307



Plan og snit af solcellerpanelet 1:10

Solarventi A/S

Monokrydsstallinske solceller limet mellem 2 lag glas

Mono Solar panel

teknisk data:

Den går fra ca. 86 watt ned til 80 watt ved 18 volt
 480,00 kr pr. stk + moms ved bestilling af 100 stk.

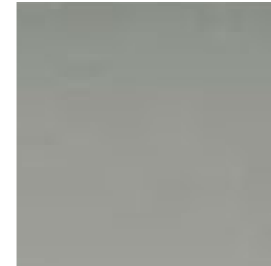
ALUMINIUM



ELOXERET ALUMINIUM



N1 natur



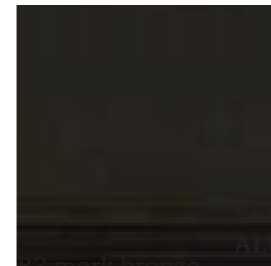
Nysølv



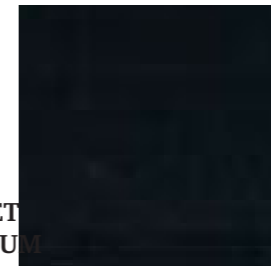
B1 Lys Bronze



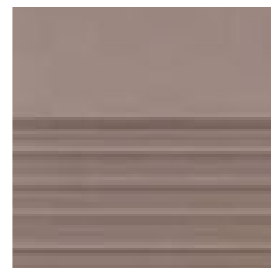
B2 mellem bronze



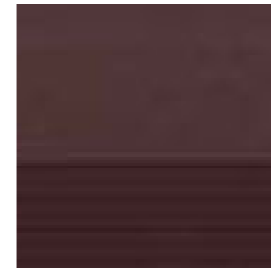
B3 mørk bronze



BS4 bronze sort



AC1 lys rød



AC2 mellem rød



AC3 mørk rød



G1 lys guld



G2 mellem guld

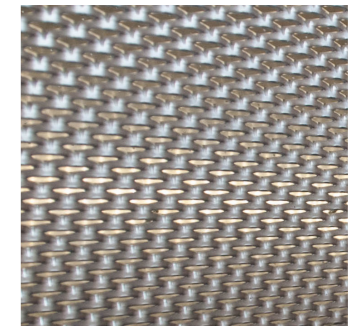


G3 mørk guld

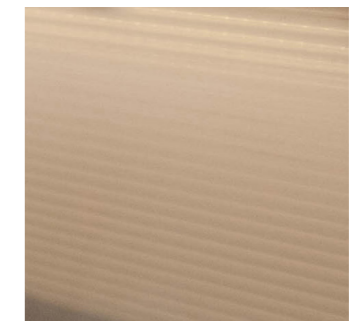
TRANSPARENS



Perforering af aluminiumsplader



Strækmetal

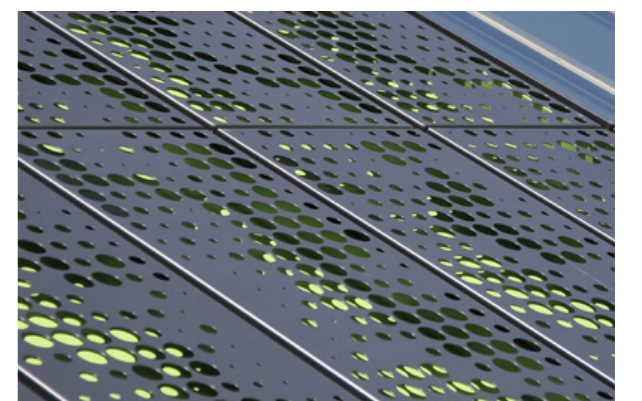
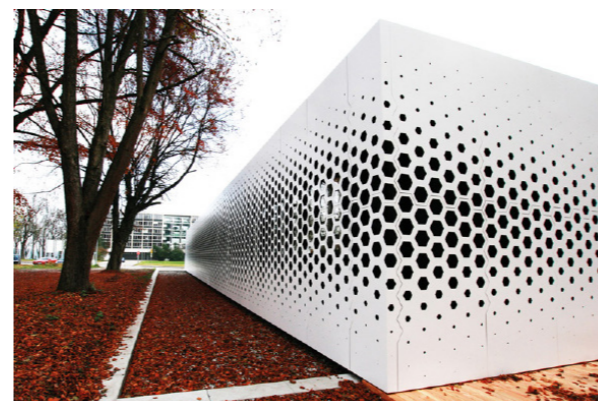
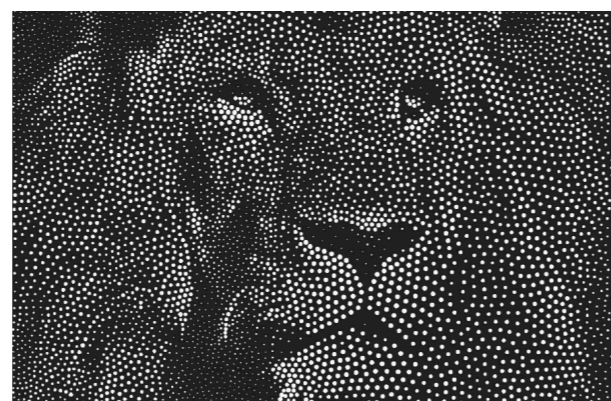
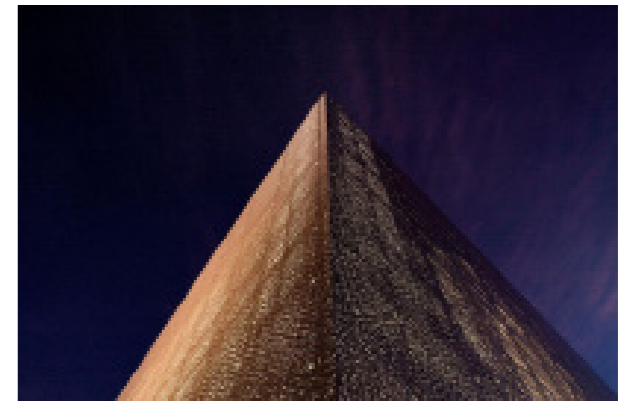
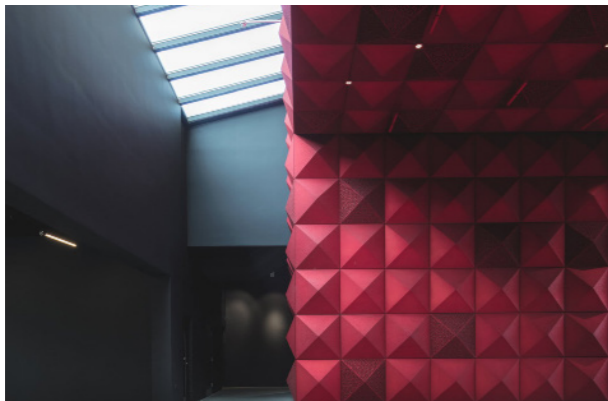


Farvet polycarbonatplader

INSPIRATION

FORELØBIGT TRYK -
20170307

REFERENCER



Bilag 3

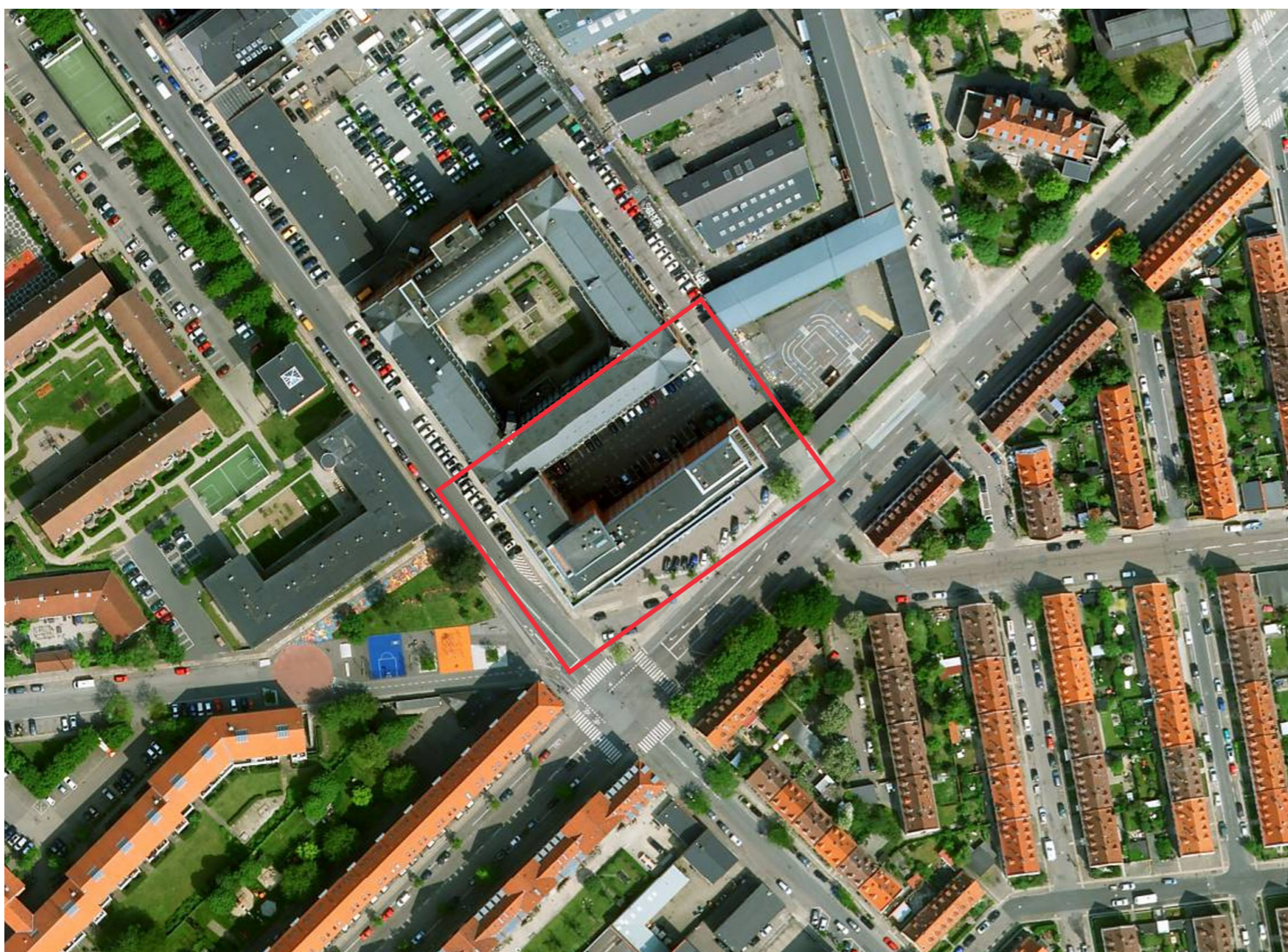
Haraldshus

Inspirationscase

Haraldshus

*Æstetisk energiproducerende
inddækning af tagaggregater*

KRXDSRUM
ARKITEKTER



Luftfoto af Haraldshus, Haraldsgade/vermondsgade, København Ø

Om arkitekturen

Bygningskomplekset mod Haraldsgade/Vermundsgade er tegnet af arkitekt Alfred Thomsen i 1921 til fabrikanten Lauritz Knudsen. Arkitekturen havde på dette tidspunkt karakter som et tidstypisk industribyggeri fra 1920'erne der minder om funktionalismen, med beton og store vinduespartier i jern og glas.

Fabrikanten Lauritz Knudsen udviklede sig på Haraldsgade til at blive noget af en institution i dansk erhvervsliv, der på et tidspunkt beskæftigede 4000 medarbejdere. I 1968 fusionerede Lauritz Knudsen med sin største konkurrent på det danske marked og flyttede til Valby.

Fra midten af 1980'erne har dele af byggeriet mod Haraldsgade/Vermundsgade gennemgået en større renovering, hvor bl.a. vinduerne er udskiftet og den nuværende murstensfacade er påført bygningen. Dele af den oprindelige arkitektur fra 20'erne er således blevet erstattet af et tidstypisk billede af en administrationsbygning fra 80'erne.

I 2016 er der blevet installeret mekanisk ventilation i den del af byggeriet der blev renoveret i 80'erne og fremstår i dag med meget dominerende ind og udsugningsanlæg på taget.

Bygherre: Nordea Pension Danmark
Lejer: Naturstyrelsen

REGISTERING AF
TAGAGGREGATER



Haraldshus, syd - vest facade mod Haraldsgade og vermondsgade.



Haraldshus, østfacade.

REGISTERING AF
TAGAGGREGATER



Haraldshus, østfacade mod baggård.

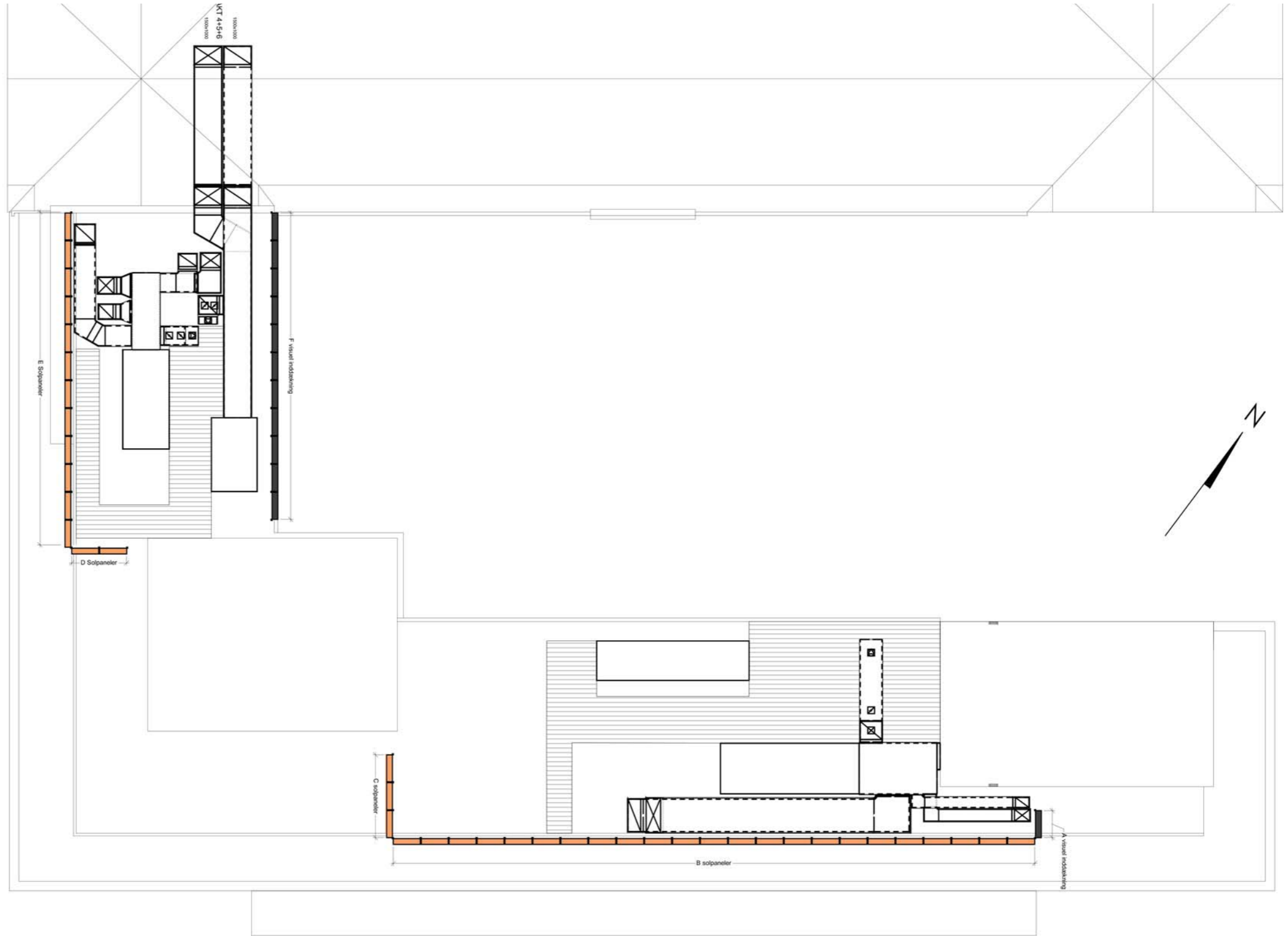


Haraldshus, vestfacade mod Vermondsgade.



TAGPLAN
FREMTIDIGE FORHOLD

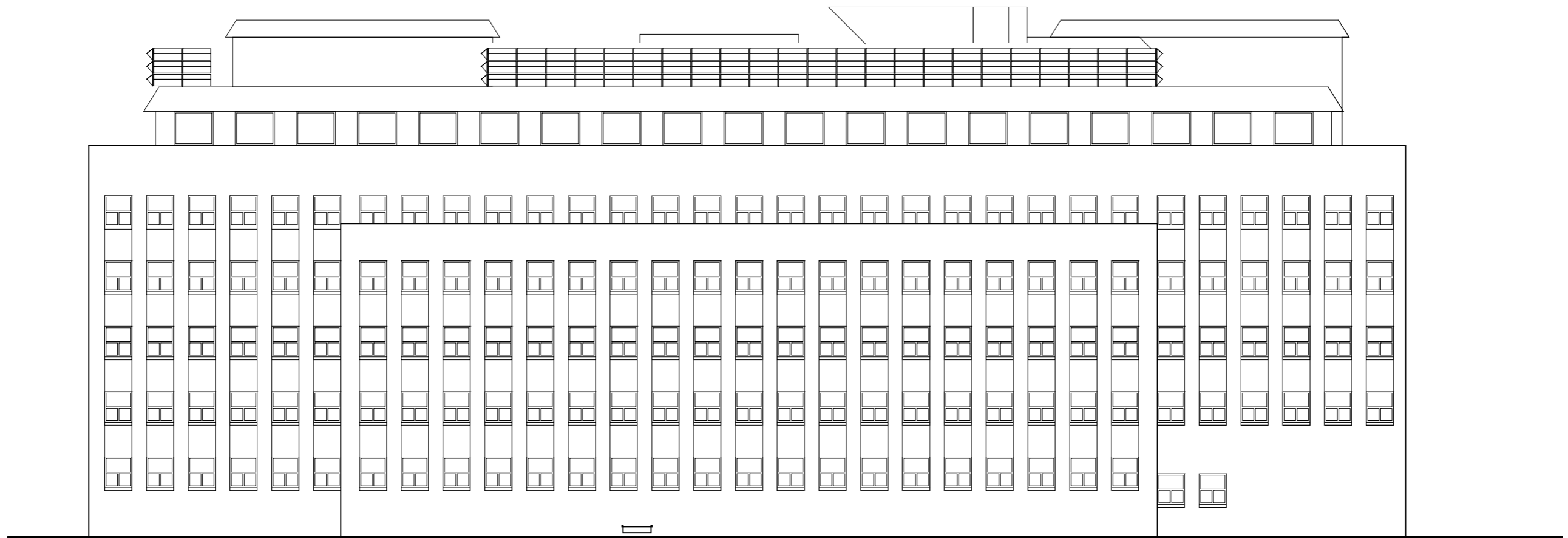
Vermundsgade



1:200

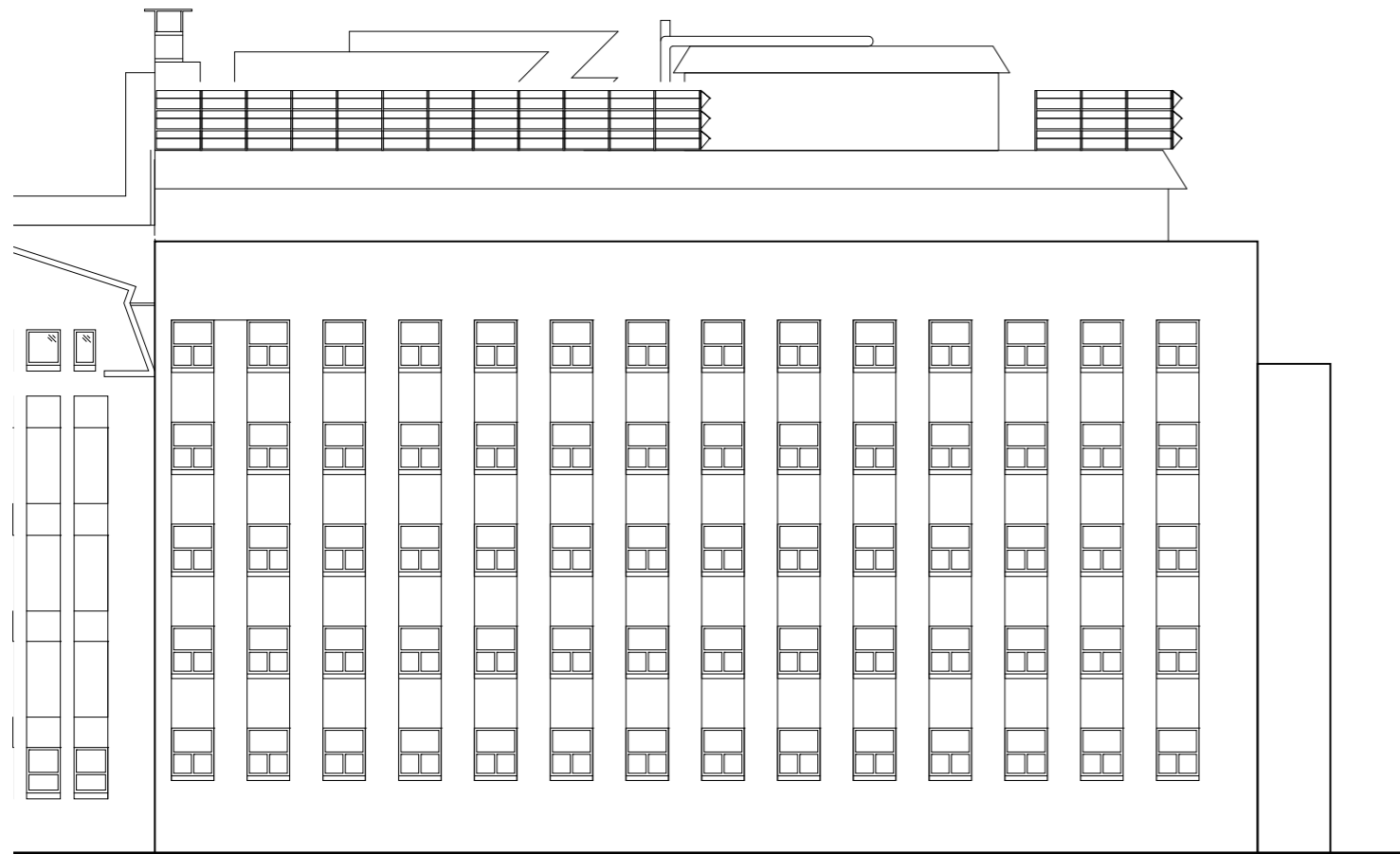
Haraldsgade

FACADE MOD HARALDSGADE
FREMTIDIGE FORHOLD

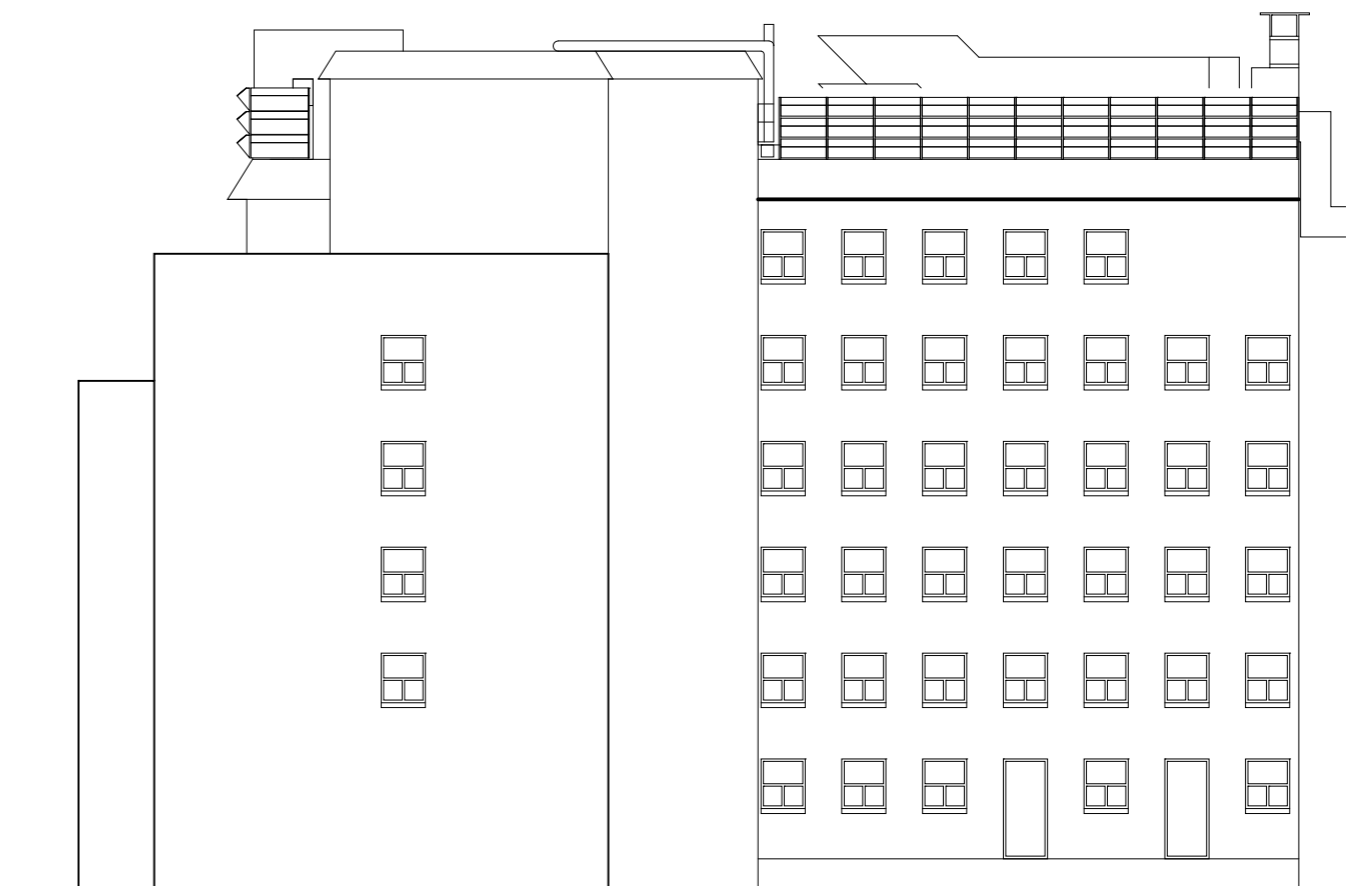


Facade mod syd (Haraldsgade) 1:200

FACADE VERMUNDSGADE
FREMTIDIGE FORHOLD

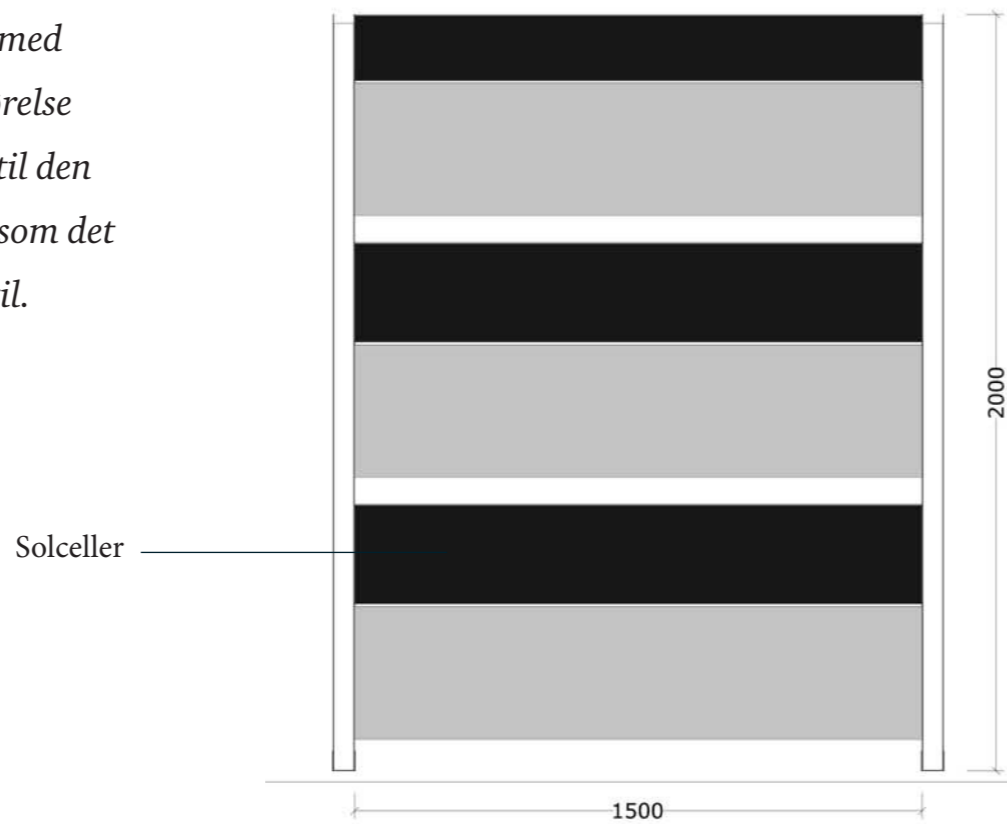


Facade mod vest (Vermundsgade) 1:200

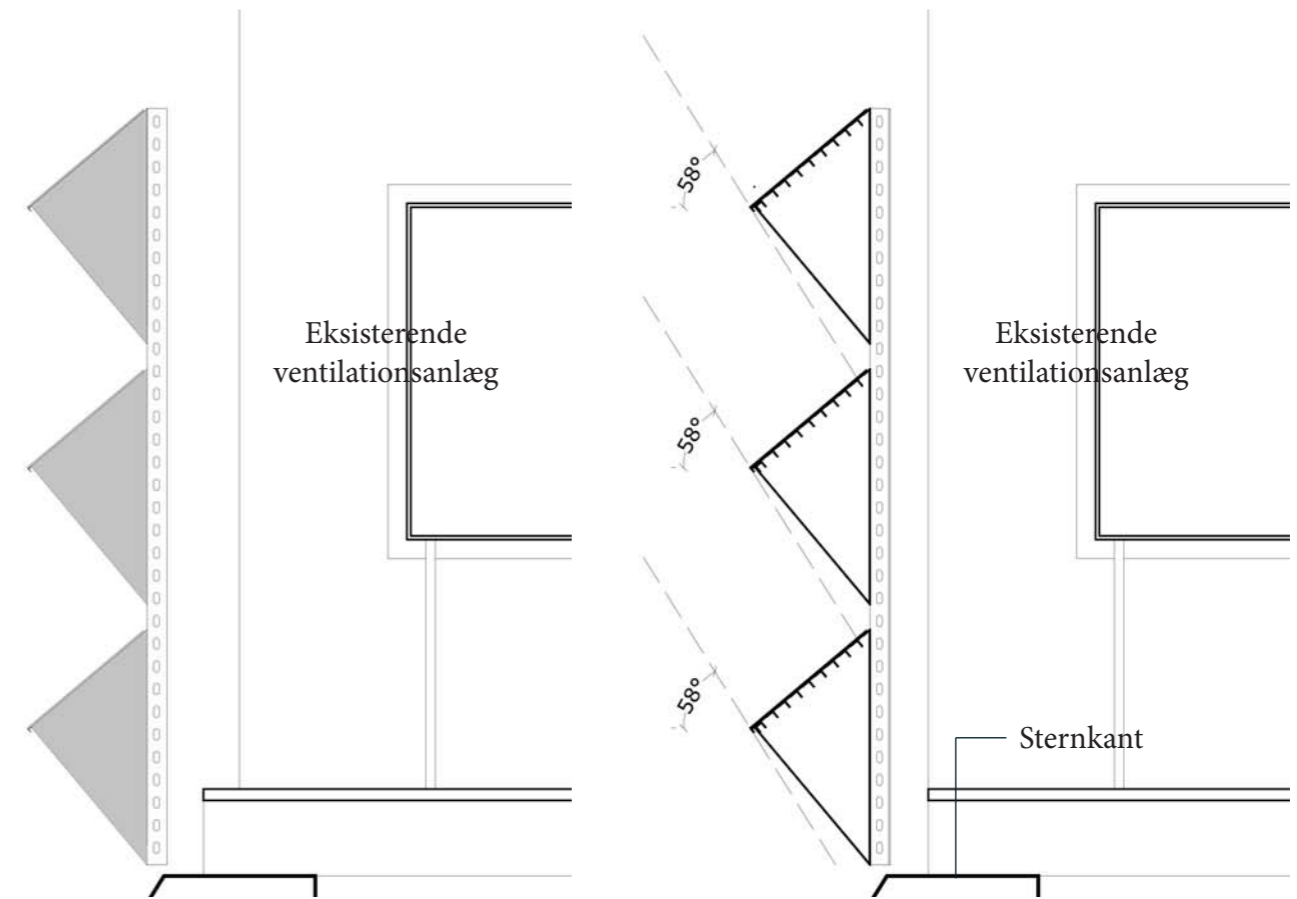


Facade mod øst (baggård) 1:200

Model KA 02 er konstrueret med 40 graders hældning. Fastgørelse af inddækningspanelet sker til den eksisterende stålkonstruktion som det tekniske anlæg er monteret til.

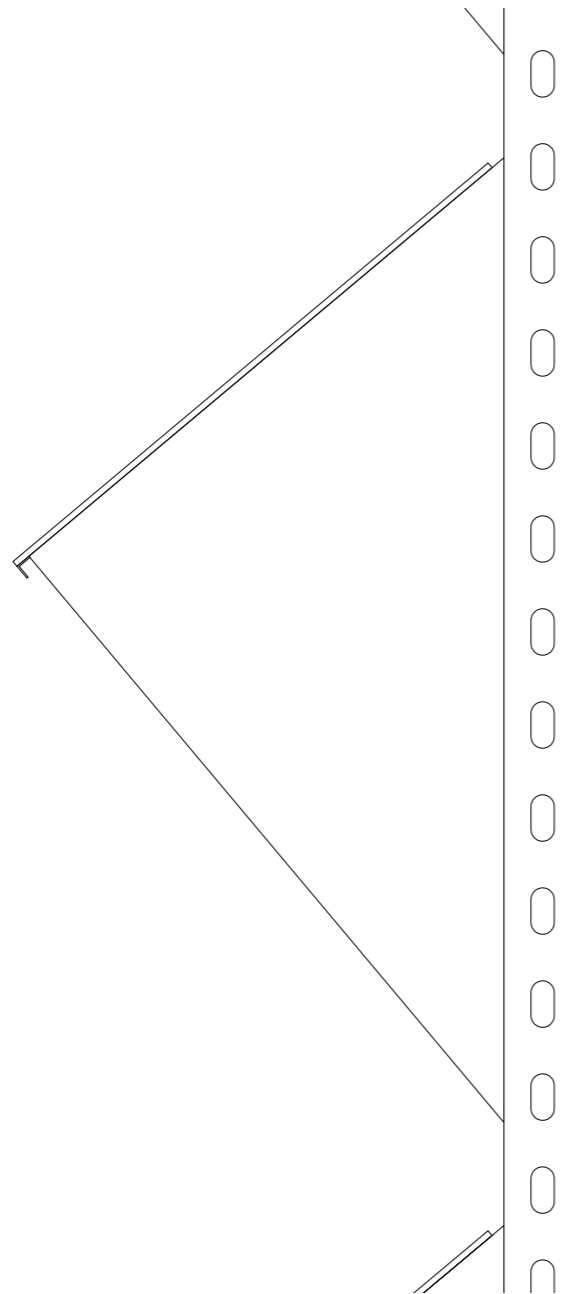


Opstalt af front 1:20

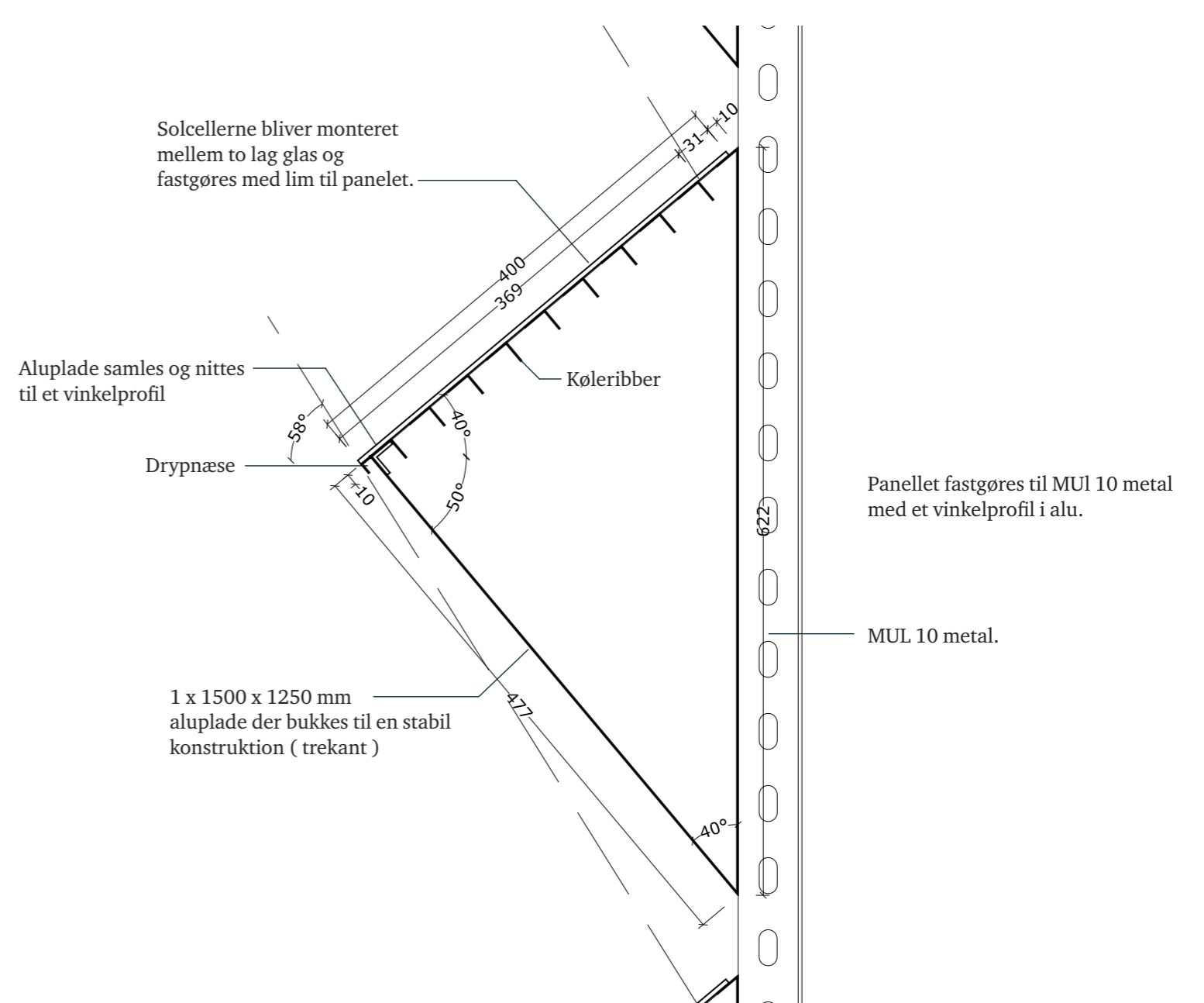


Opstalt af profil 1:20

Snit 1:20



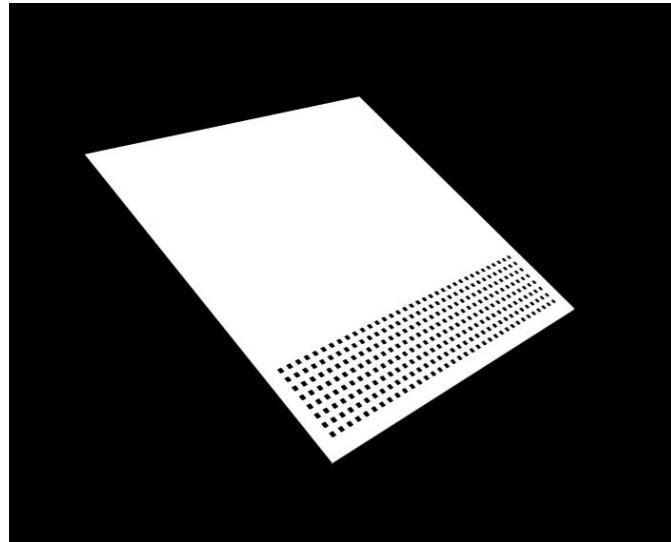
Opstalt af profil 1:5



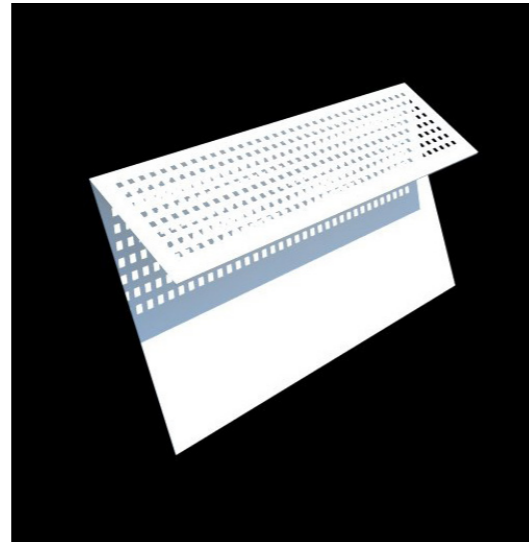
Lodret snit 1:5

MONTAGE

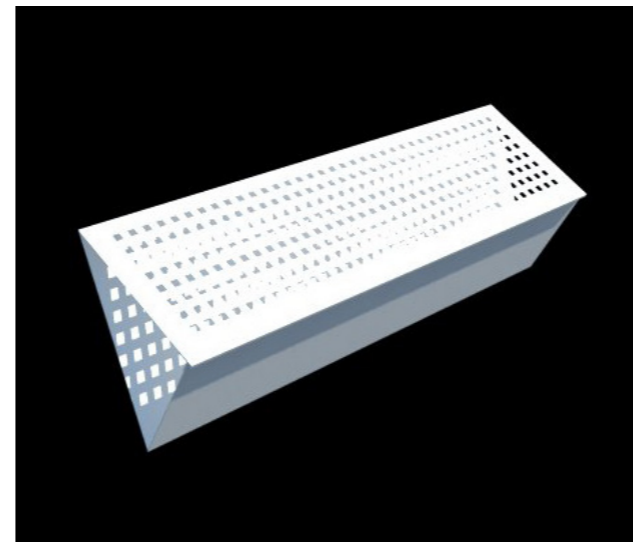
Panelet er konstrueret med 1 x 1500 x 1500 mm aluminiumsplade der bukkes i et stykke og samles med nitter omkring et aluprofil. I aluminiumspladen under solcellerne er der konstrueret køleribber der kan sænke temperaturen på solcellerne med nogle grader. For hver grad køleribberne kan sænke temperaturen, forbedres solcellernes ydelser med en 1/2 procent.



Trin 1: aluminiumsplade med bukket drypnæse og køleribber.



Trin 2: bukning af bagplade



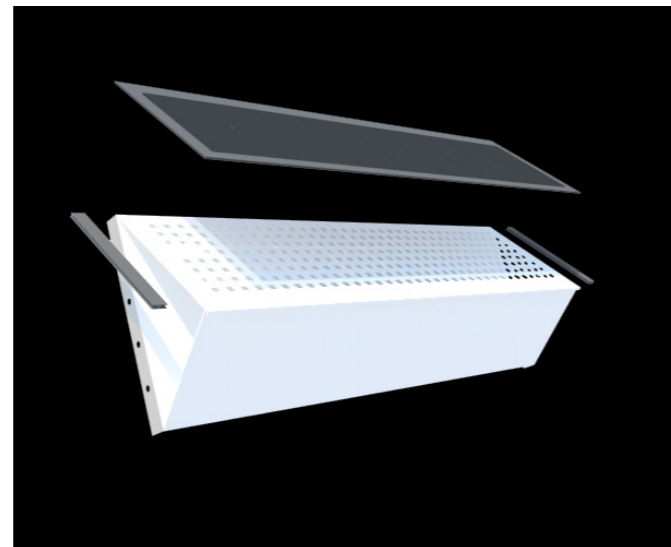
Trin 3: bukning af front



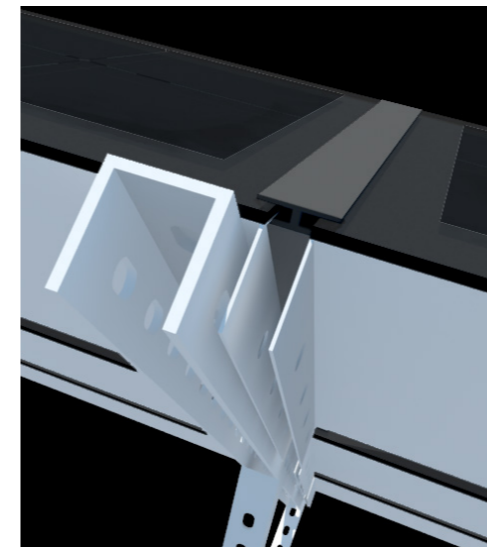
Trin 4: aluminiumsplade samles med nitter ved vinkelprofil



Trin 5: bukning af bagplade



Trin 6: de enkelte dele af panelet med solceller og u profil beslag

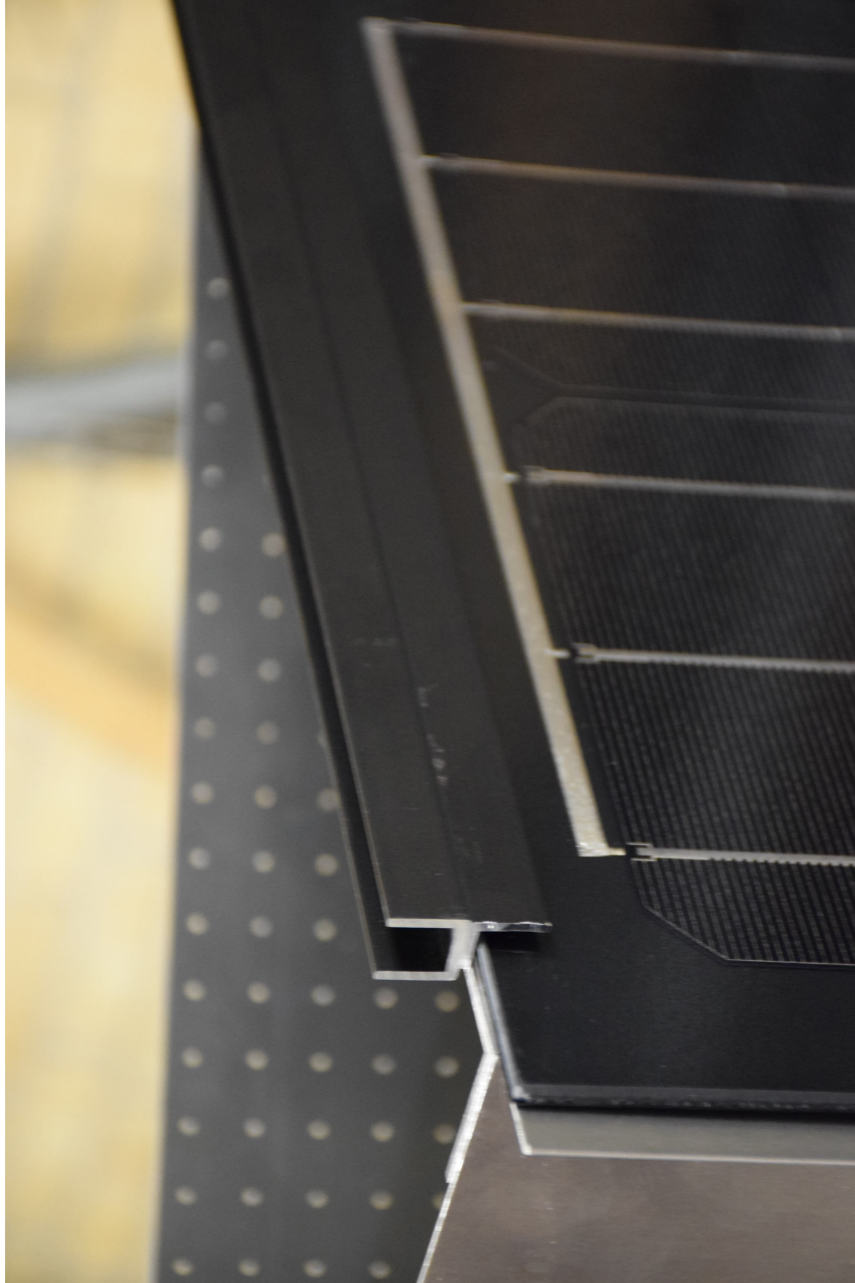


Trin 7: paneler monteres på Mul 10 metal stativ



Trin 8: Samlet panel med solceller monteret på Mul 10 metal stativ

MONTAGE
U-PROFIL



U-profil som binder paneler sammen på tværs

TEKNISK DATA



| Hældning | Placering/retning af solpaneler | | | | | | | | | | |
|----------|---------------------------------|----|----------|----|-----|-----|---------|----|-----|----|----|
| | SYD | | SYD VEST | | SYD | | SYD ØST | | ØST | | |
| 0° | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 |
| 5° | 86 | 88 | 89 | 89 | 90 | 90 | 90 | 89 | 89 | 88 | 86 |
| 10° | 86 | 89 | 91 | 92 | 93 | 93 | 93 | 92 | 91 | 89 | 86 |
| 15° | 85 | 90 | 92 | 94 | 95 | 95 | 95 | 94 | 92 | 90 | 85 |
| 20° | 84 | 91 | 93 | 95 | 97 | 97 | 97 | 95 | 93 | 91 | 84 |
| 25° | 83 | 91 | 94 | 97 | 98 | 99 | 98 | 95 | 94 | 91 | 83 |
| 30° | 81 | 91 | 94 | 98 | 99 | 100 | 99 | 97 | 94 | 91 | 81 |
| 35° | 80 | 90 | 94 | 97 | 99 | 100 | 99 | 97 | 94 | 90 | 80 |
| 40° | 78 | 89 | 94 | 97 | 99 | 100 | 99 | 97 | 94 | 89 | 78 |
| 45° | 77 | 88 | 93 | 96 | 99 | 99 | 99 | 96 | 93 | 88 | 77 |
| 60° | 70 | 83 | 88 | 93 | 94 | 94 | 94 | 92 | 88 | 83 | 70 |
| 70° | 66 | 78 | 82 | 86 | 88 | 88 | 87 | 86 | 88 | 83 | 70 |
| 90° | 44 | 64 | 68 | 70 | 72 | 72 | 72 | 70 | 68 | 64 | 44 |

Diagram på sol/hældning

GENERELT:

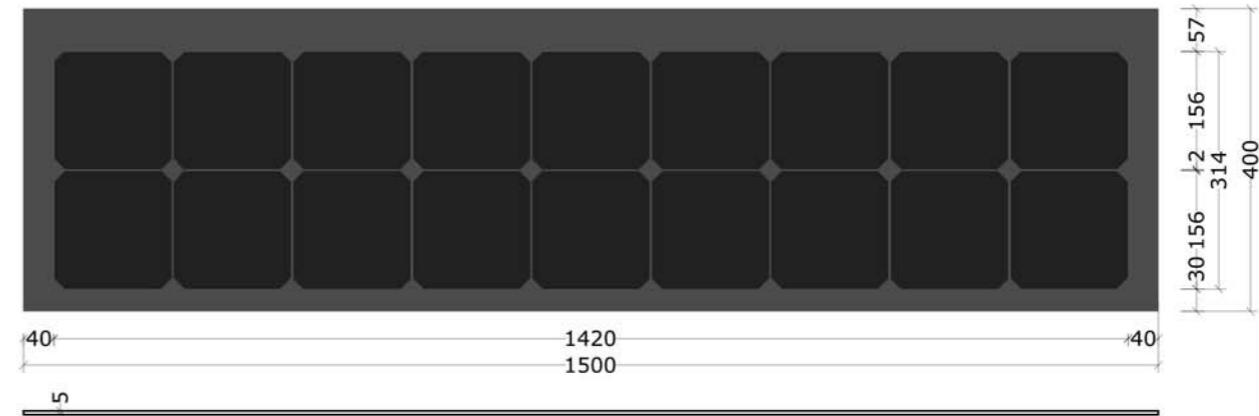
Cellerne er som standart sorte eller grå med en ensartet overflade. Cellerne bliver ofte skåret til i kvadrater for, at få mindre afstanden mellem cellerne i panelet.

MONTERING

Cellerne er monteret på et metalgitter, der fungerer som kontaktnet. Cellerne bliver monteret mellem to lag glas eller et lag glas og et lag plast. Ofte er cellerne monteret på en hvid baggrund for at reflektere det lys, der falder ind mellem cellerne, dette er med til at hold temperaturen så lav som muligt, hvilket giver den højeste effekt.

FAKTA:

Årligt udbytte 130 kWh/m²
De mest effektive, men også de dyreste solceller på markedet.
Levetid: 40 - 50 år.



Plan og snit af solcellerpanelet 1:10

Solarventi A/S

Monokrydsstallinske solceller limet mellem 2 lag glas

Mono Solar panel

teknisk data:

Den går fra ca. 86 watt ned til 80 watt ved 18 volt
480,00 kr pr. stk + moms ved bestilling af 100 stk.

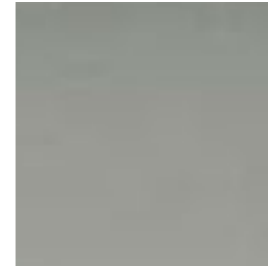
ALUMINIUM



ELOXERET ALUMINIUM



N1 natur



Nysølv



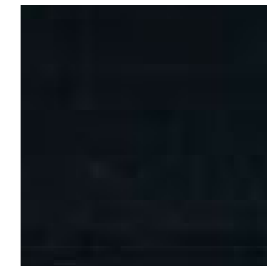
B1 Lys Bronze



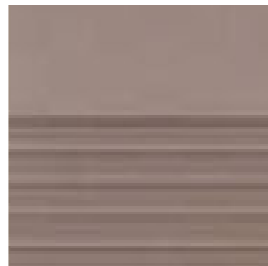
B2 mellem bronze



B3 mørk bronze



BS4 bronze sort



AC1 lys rød



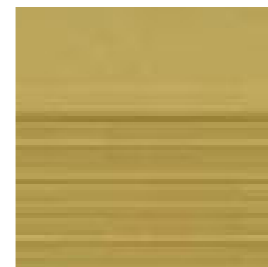
AC2 mellem rød



AC3 mørk rød



G1 lys guld

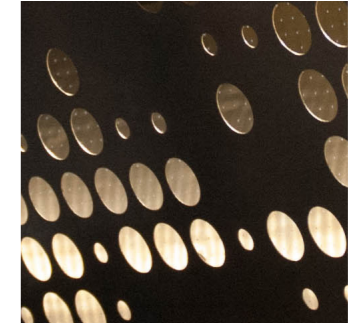


G2 mellem guld

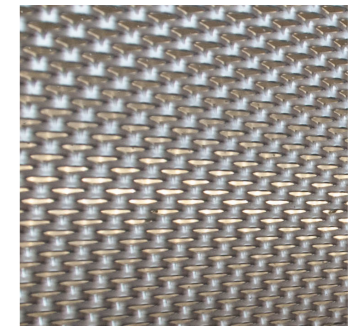


G3 mørk guld

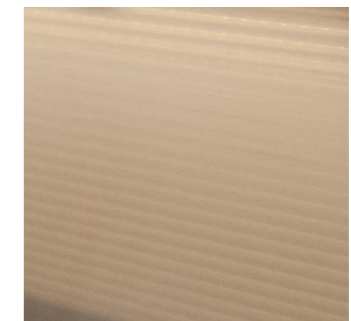
TRANSPARENS



Perforering af aluminiumsplader



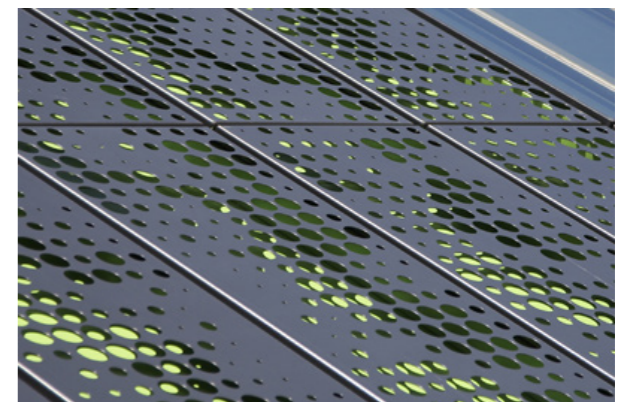
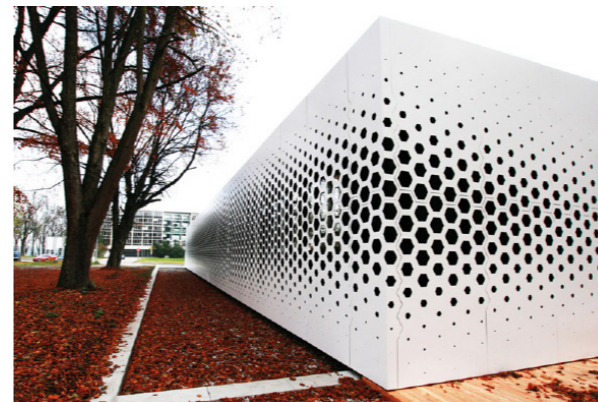
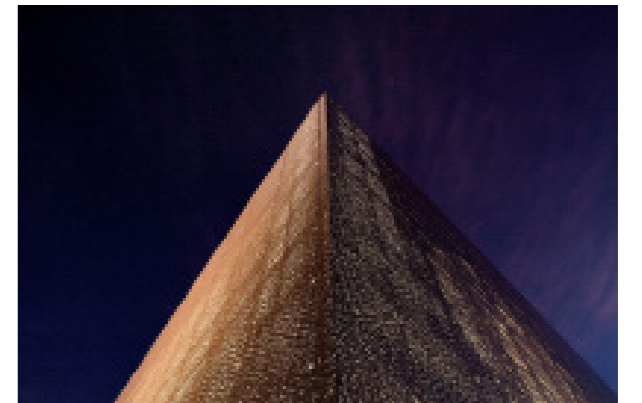
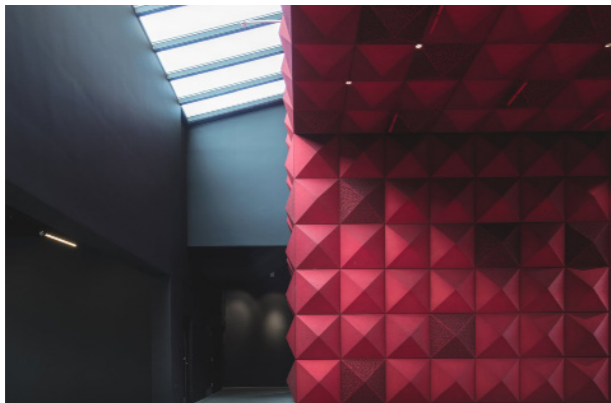
Strækmetal



Farvet polycarbonatplader

INSPIRATION

REFERENCER



HARALDSHUS - Materialestudie

Forslag 1: N1 Natur



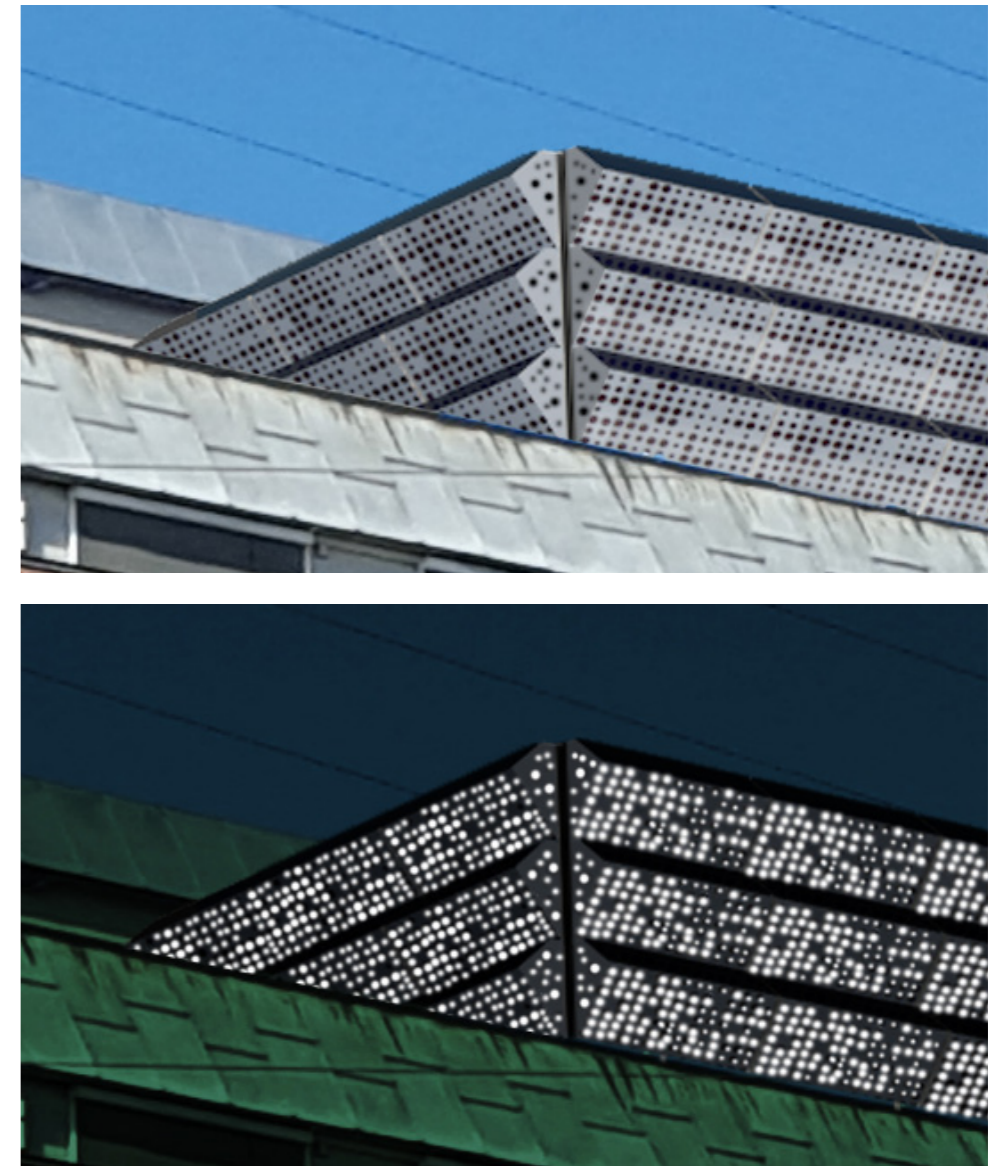
HARALDSHUS - Materialestudie

Forslag 2: Perforeret

Haraldshus set fra Vermundsgade



Udsnit af inddækning

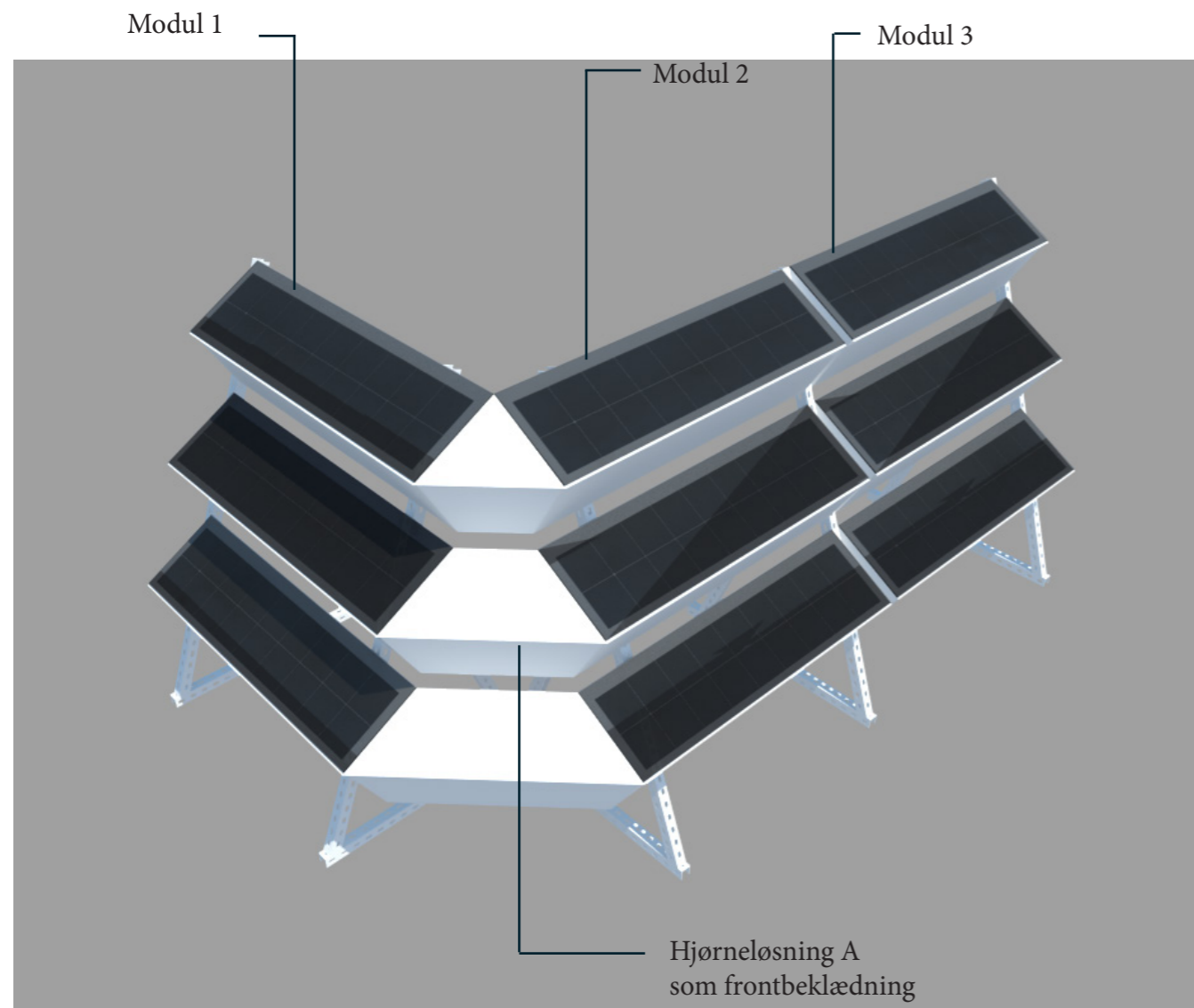


Bilag 4

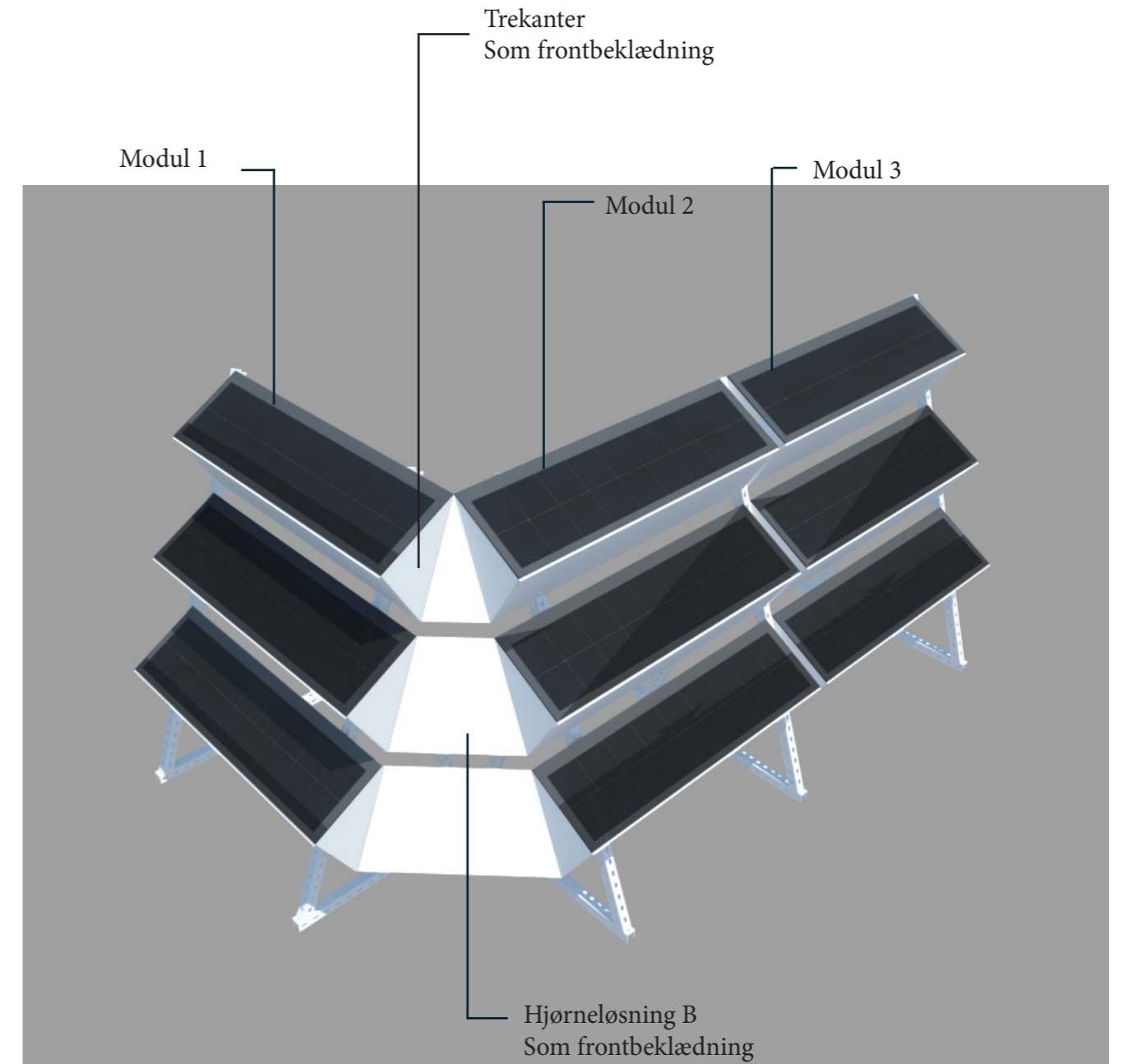
Mock-up model af prototypen

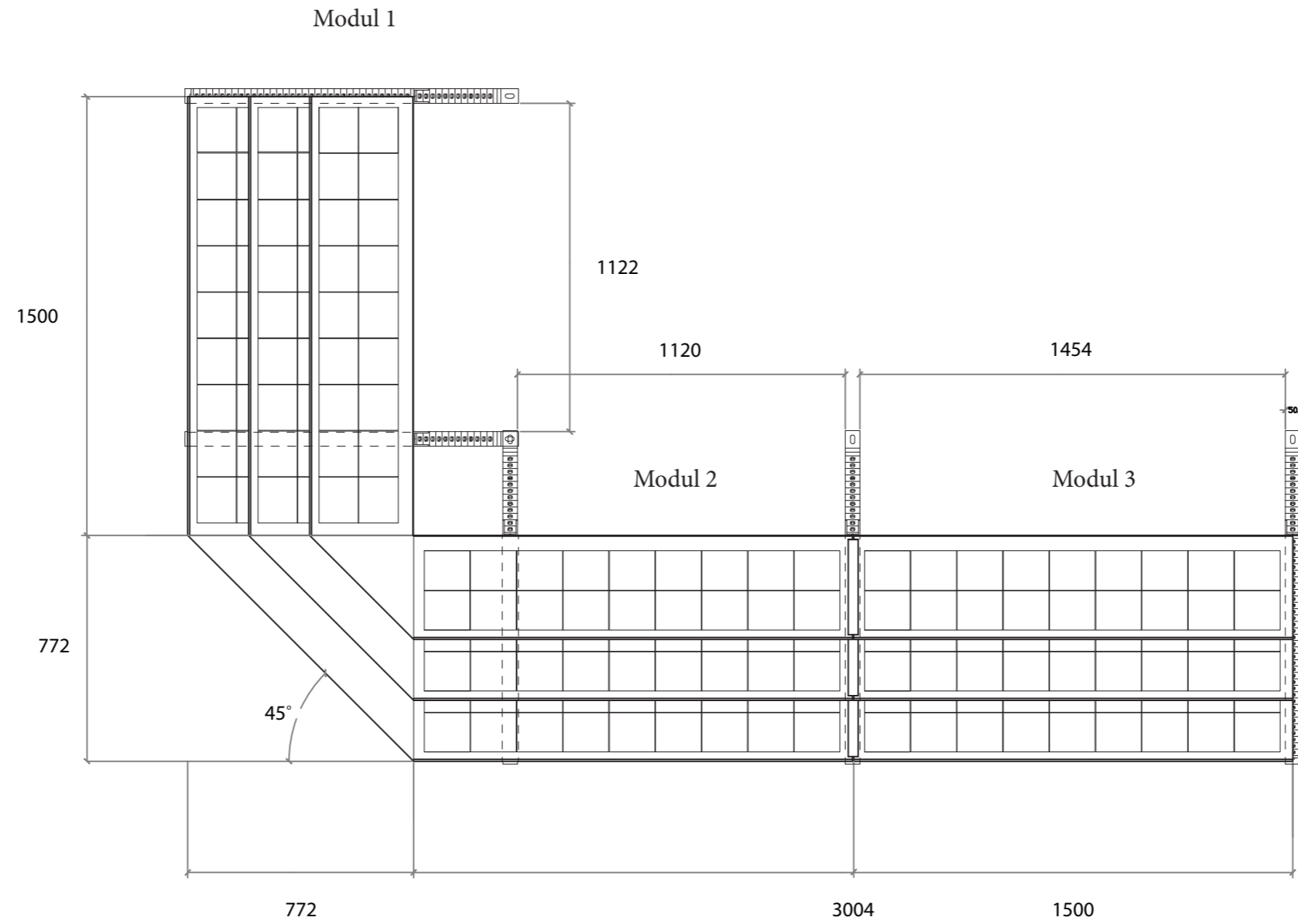
KONCEPT MODEL KA 01 - MOCK UP MODEL

Opstalt med hjørneløsning A



Opstalt af hjørneløsning B

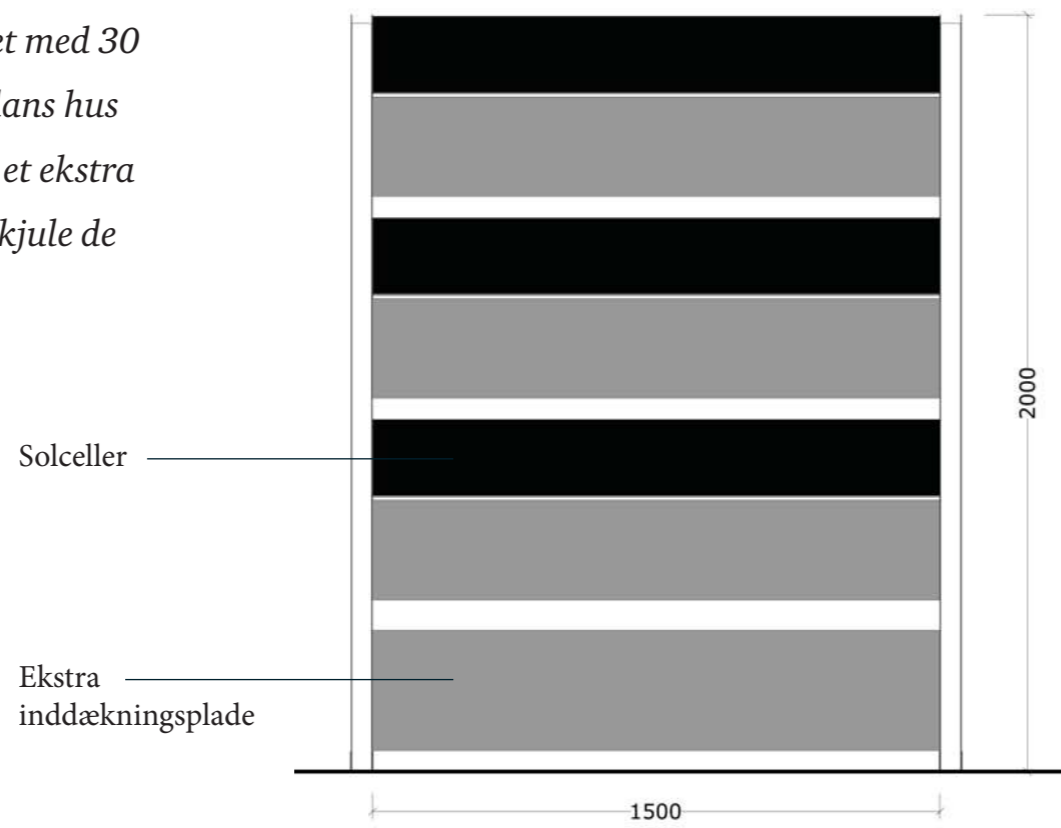




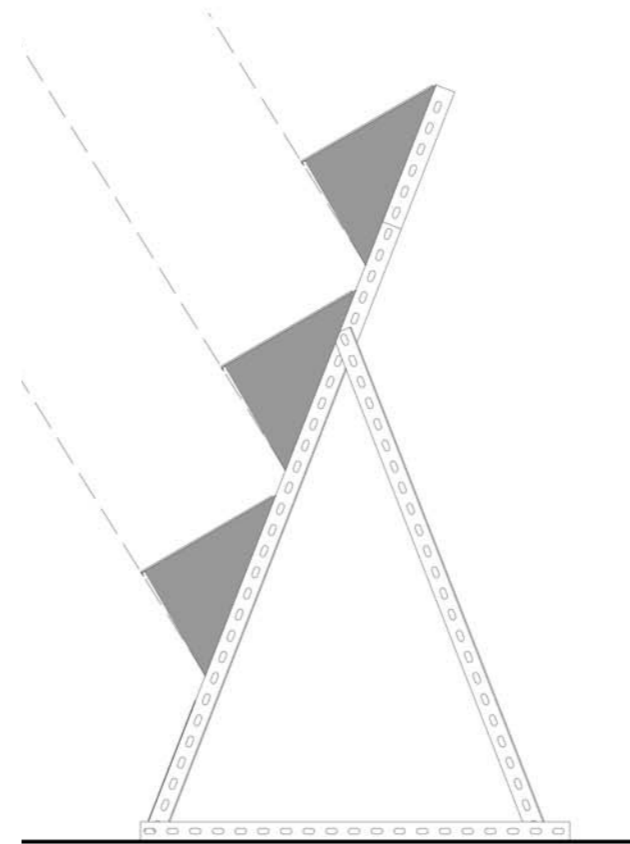
Plan af Model KA 01, 1:20

KONCEPT MODEL KA 01 - MOCK UP MODEL

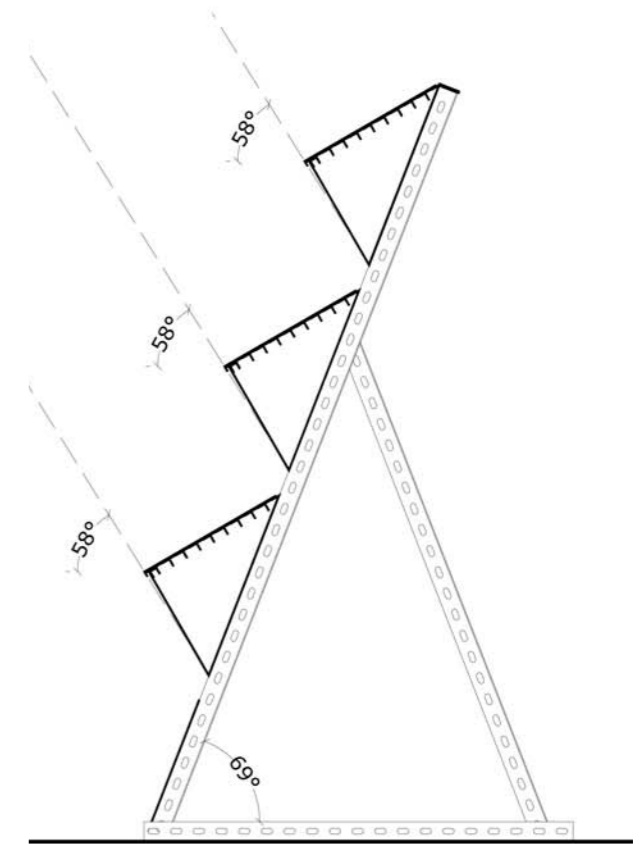
Model KA 01 er konstrueret med 30 graders hældning. Ved 1 plans hus kan modulet forsynes med et ekstra inddækningsplade for, at skjule de tekniske installationer.



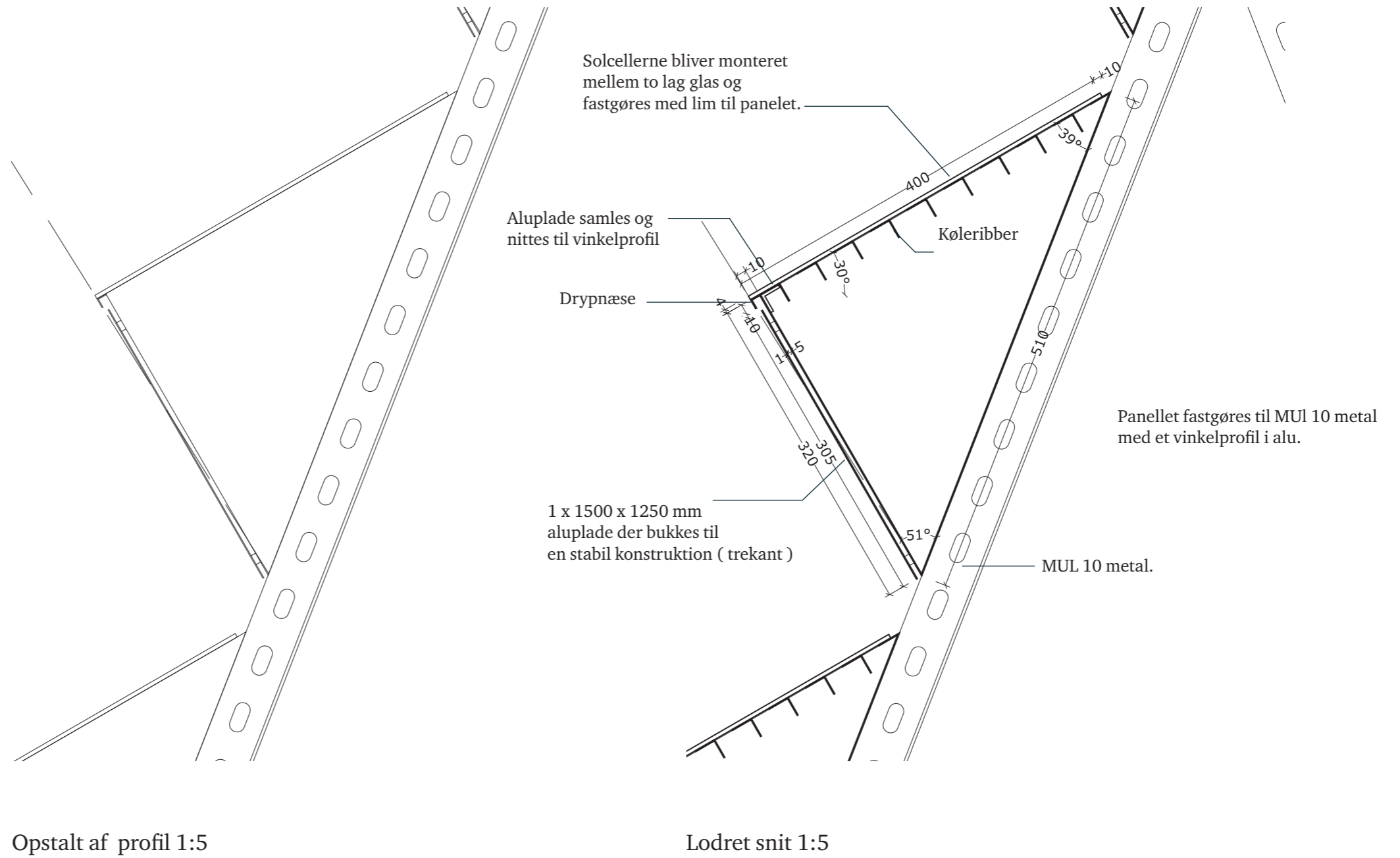
Opstalt af front 1:20



Opstalt af profil 1:20

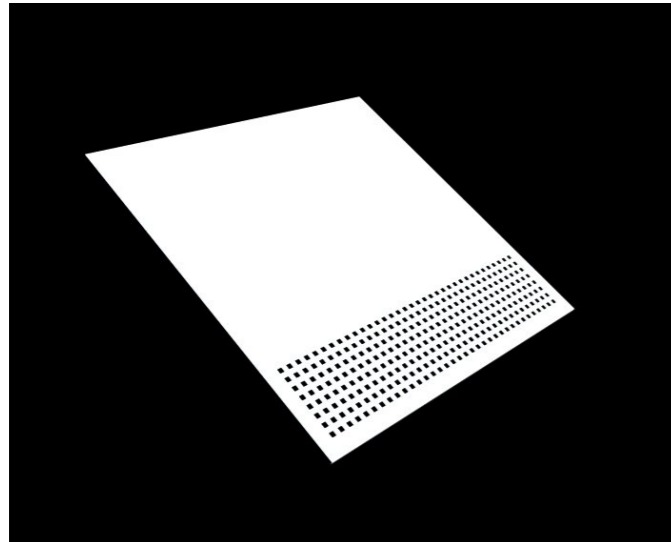


Snit 1:20

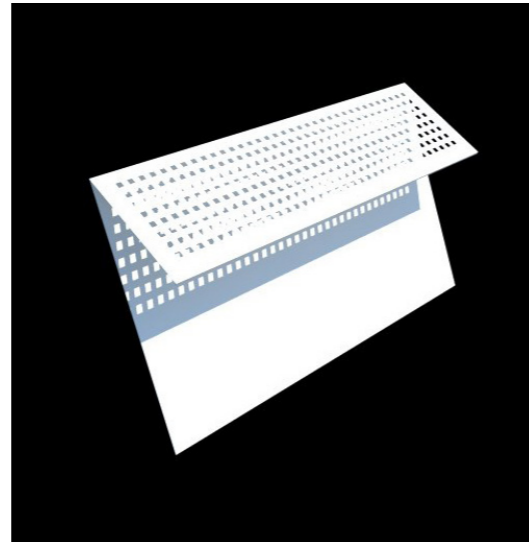


MONTAGE

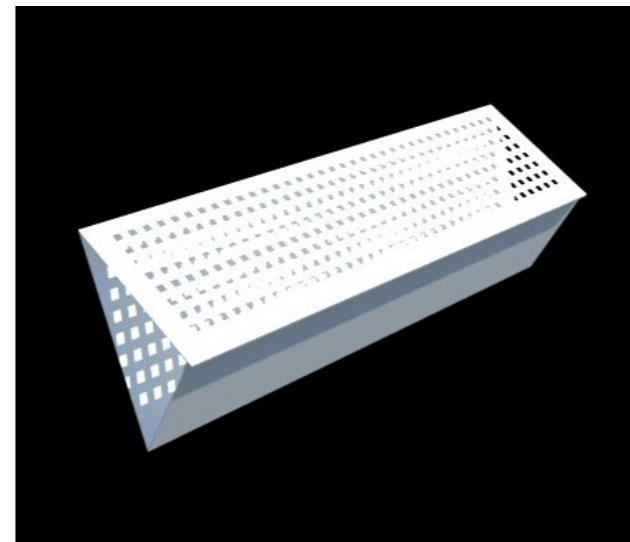
Panelet er konstrueret med 1 x 1500 x 1500 mm aluminiumsplade der bukkes i et stykke og samles med nitter omkring et aluprofil. I aluminiumspladen under solcellerne er der konstrueret køleribber der kan sænke temperaturen på solcellerne med nogle grader. For hver grad køleribberne kan sænke temperaturen, forbedres solcellernes ydelser med en 1/2 procent.



Trin 1: aluminiumsplade med bukket drypnæse og køleribber.



Trin 2: bukning af bagplade



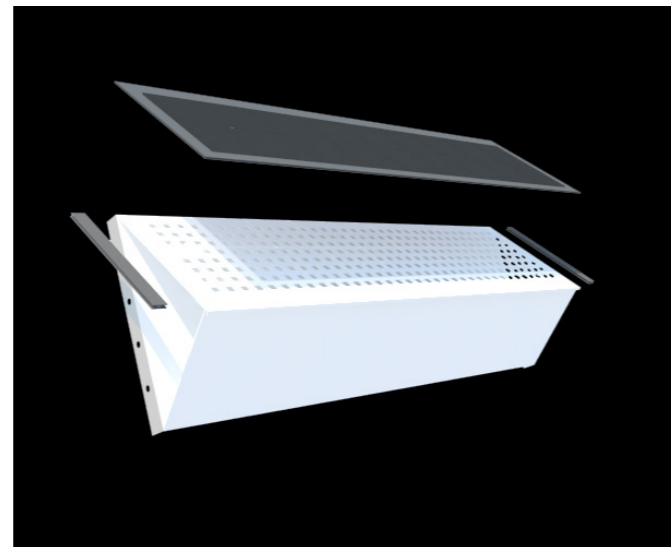
Trin 3: bukning af front



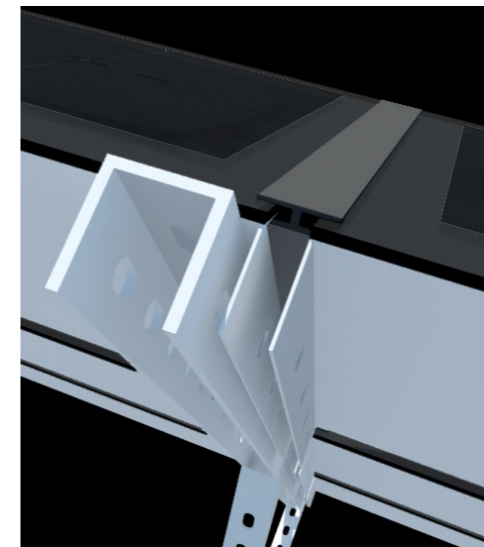
Trin 4: aluminiumsplade samles med nitter ved vinkelprofil



Trin 5: bukning af bagplade



Trin 6: de enkelte dele af panelet med solceller og u profil beslag

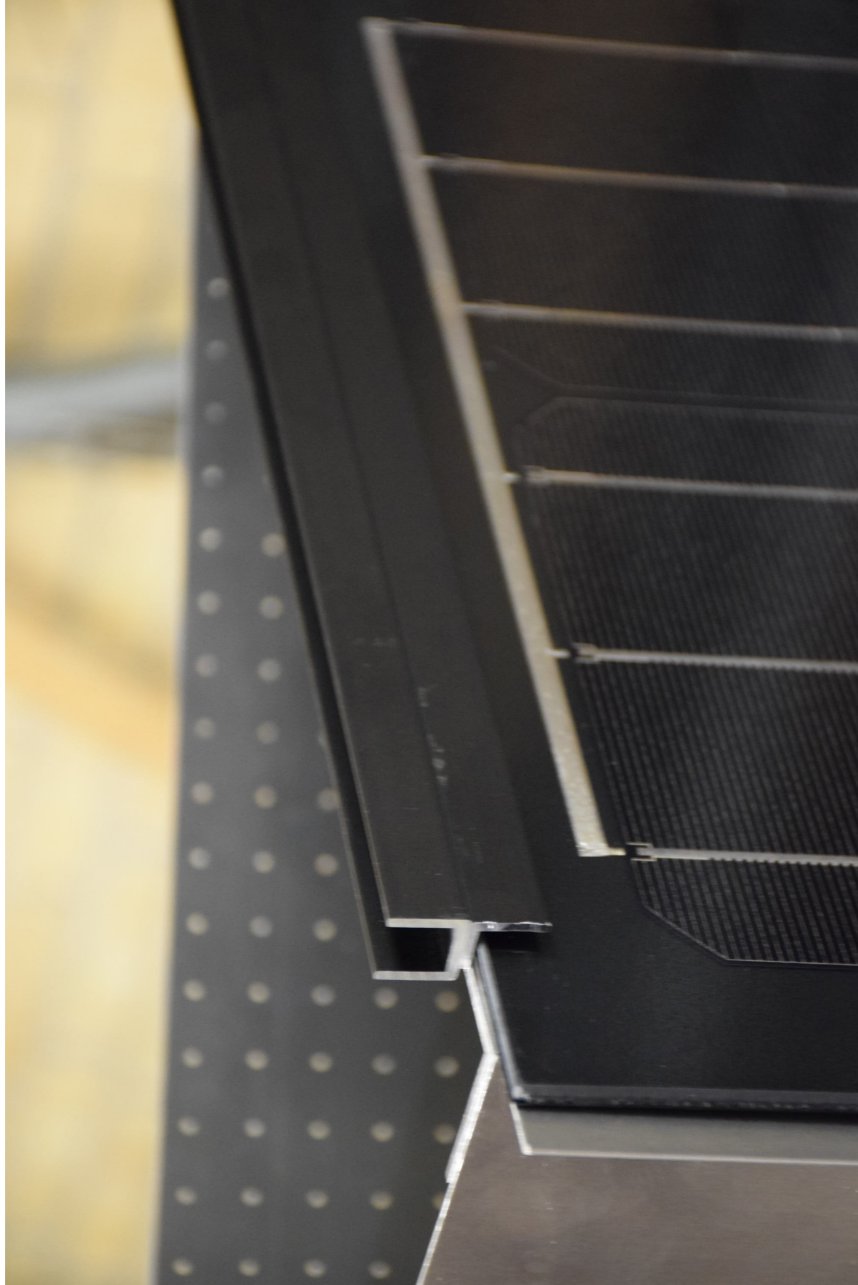


Trin 7: paneler monteres på Mul 10 metal stativ



Trin 8: Samlet panel med solceller monteret på Mul 10 metal stativ

MONTAGE - U-PROFIL



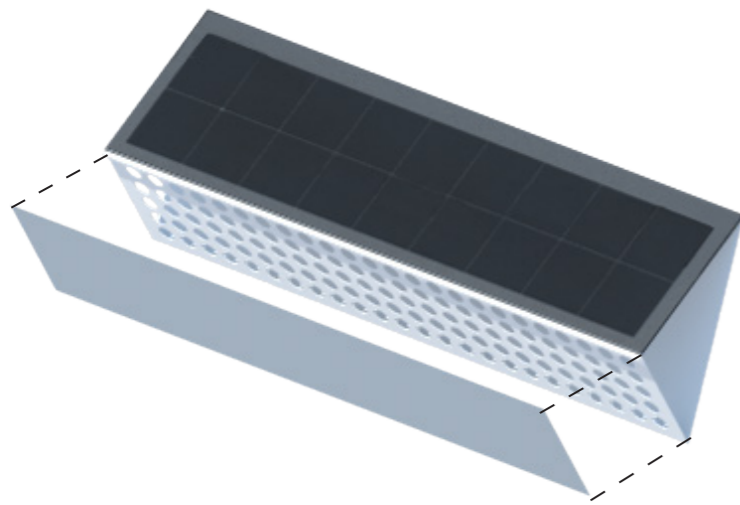
U-profil som binder paneler sammen på tværs

Koncept for "Modul 1":

Paneler perforeres (huller med 20mm diameter)

Montering af andet materiale

(Bagvedliggende LED lyspaneler)



LED: Greenline A/S

Brovejen 10, 4930 Maribo Tlf: +45 70 22 20 26

LEVERANDØR: HAI Horsens (Eloxeret aluminium)

Sverigesvej 9, 8700 Horsens

Tlf: +45 75 62 22 88

LEVERANDØR: Jens Lauritsens (Tombak)

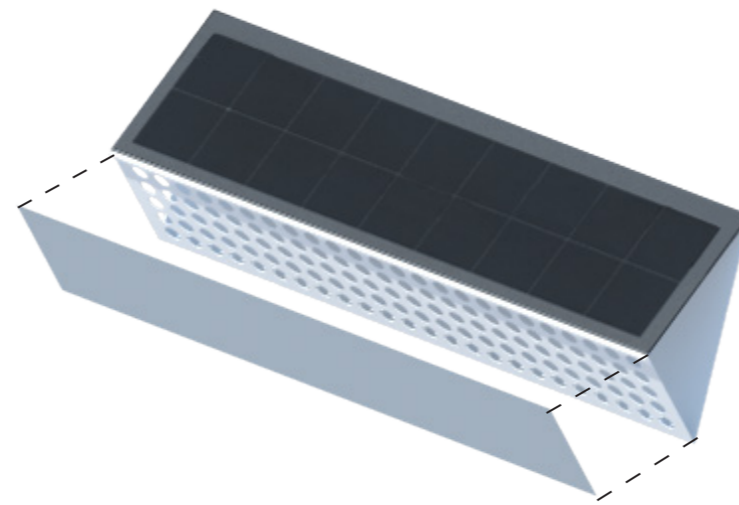
Bavnehøj 225, Egtved Tlf: +45 75 55 43 13

Koncept for "Modul 2":

Paneler perforeres (huller med 40mm diameter)

Montering af andet materiale

(Bagvedliggende LED lyspaneler)



LEVERANDØR: Muncholm (Zink)

Tolsagervej 4, Hadsten

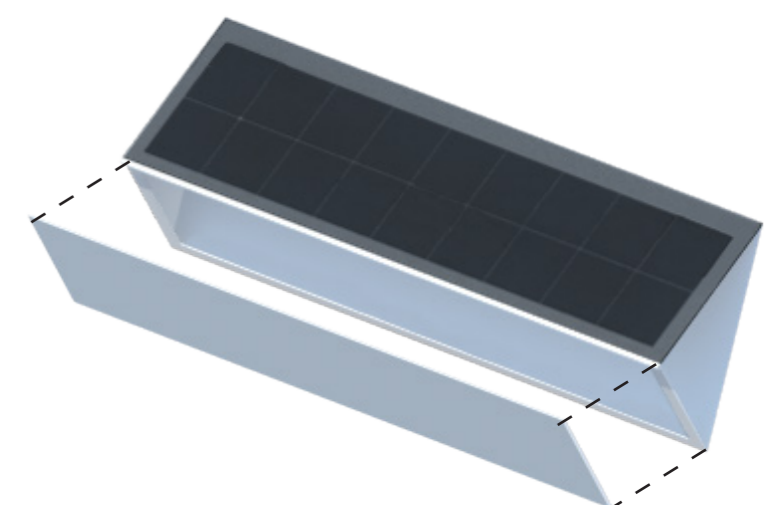
Søren Klausen Tlf: +45 86 21 50 55

Koncept for "Modul 3":

Udskæring i paneler

Montering af andet materiale

(Bagvedliggende LED lyspaneler)



LEVERANDØR: Solarventi (Opal kanalplade)

Hans Jørgen Tlf: +45 86 96 67 00

LEVERANDØR: Semitech (strækmetal)

Brian Kristensen Tlf: +45 58 30 20 23

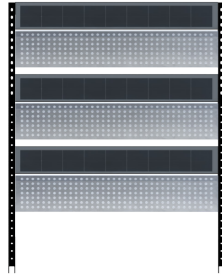
LEVERANDØR: HAI Horsens (aluminium til perforering)

Sverigesvej 9, 8700 Horsens

Tlf: +45 75 62 22 88

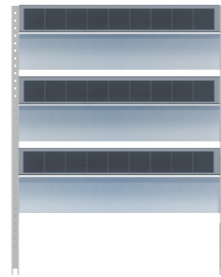
MODUL 1:

De tre paneler der udgør Modul 1 perforeres med huller med diameter 20 mm.
(Bagvedliggende LED lyspaneler)

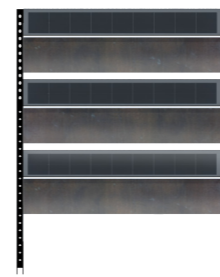


Modul 1 uddybet: s. 9

Materialer til montering på modul 1:



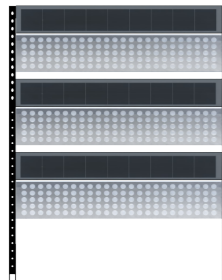
FORSLAG 1: N1 Natur s. 10



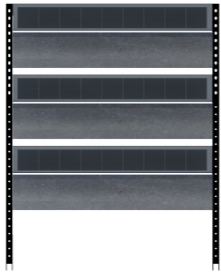
FORSLAG 2: Tombak s. 11

MODUL 2:

De tre paneler der udgør Modul 2 perforeres med huller med diameter 40 mm.
(Bagvedliggende LED lyspaneler)



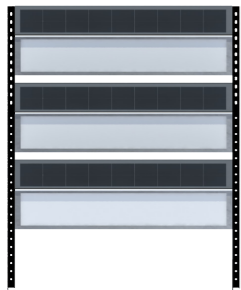
Modul 2 uddybet: s. 12



FORSLAG 3: Zink s. 13

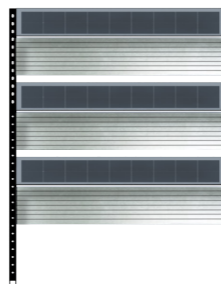
MODUL 3:

De tre paneler der udgør Modul 3 udskæres til rammer.
(Bagvedliggende LED lyspaneler)

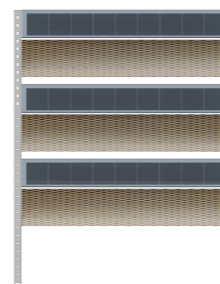


Modul 3 uddybet: s. 14

Materialer til montering på modul 3:



FORSLAG 4: Opal kanalplade



FORSLAG 5: Strækmetal (mørk guld) s. 16

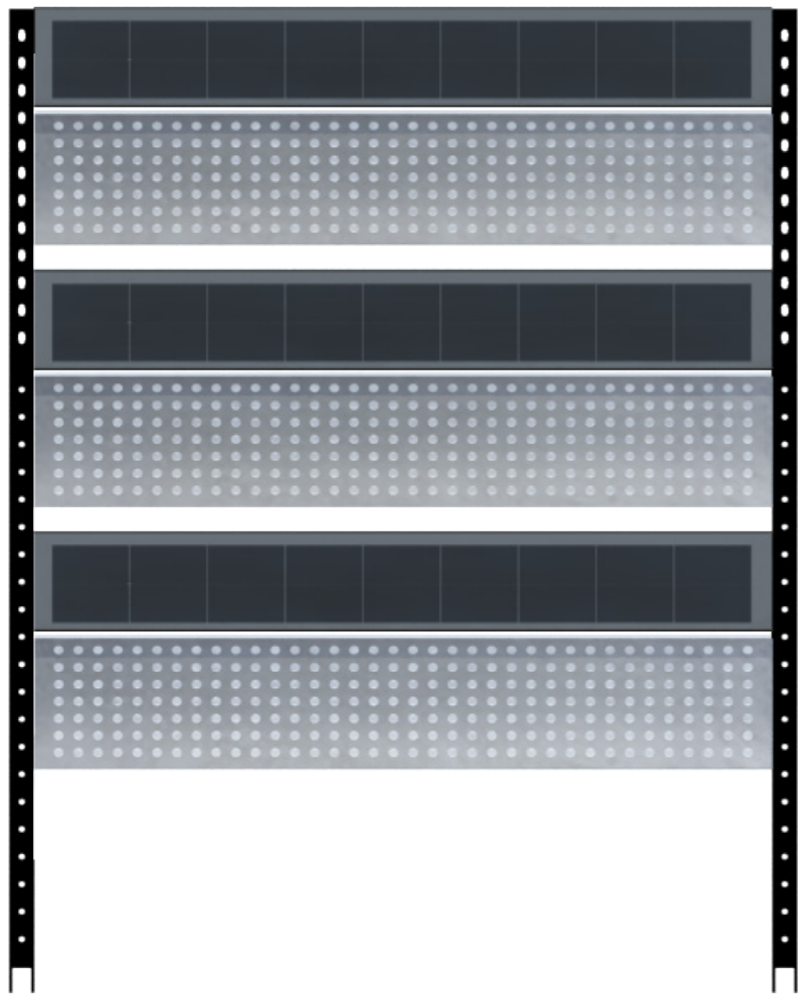


FORSLAG 6: Perforet alu. (varieret) s. 17

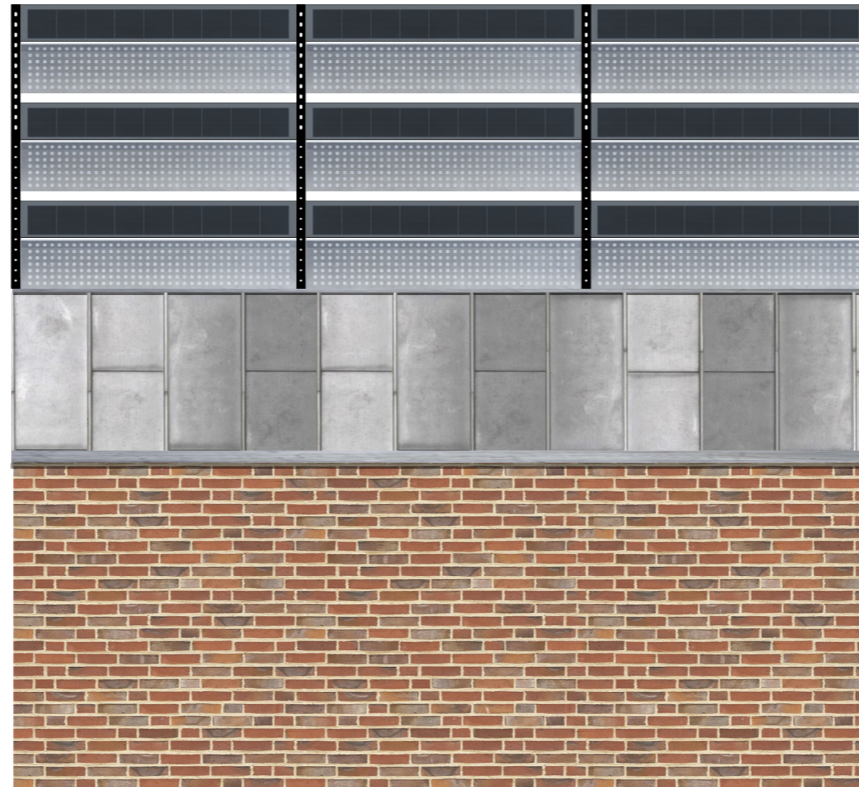
MODUL 1

Perforeret aluminiumsplade (Integreret i panel) - Med små huller (diameter 20mm)

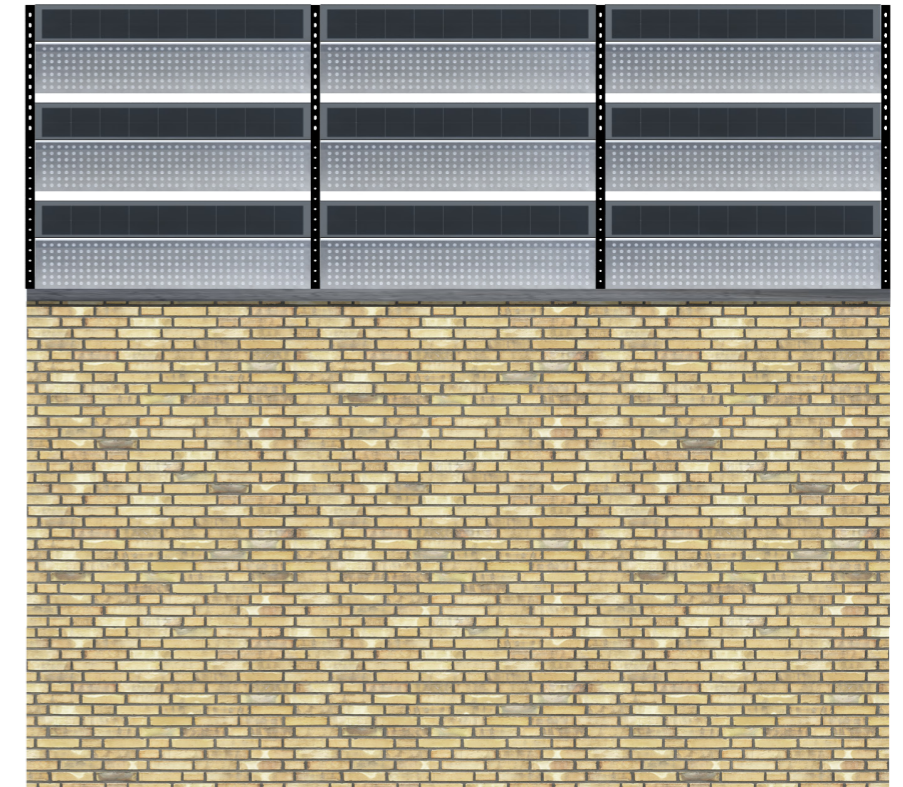
Stativ - Sort Bagvedliggende LED belysning



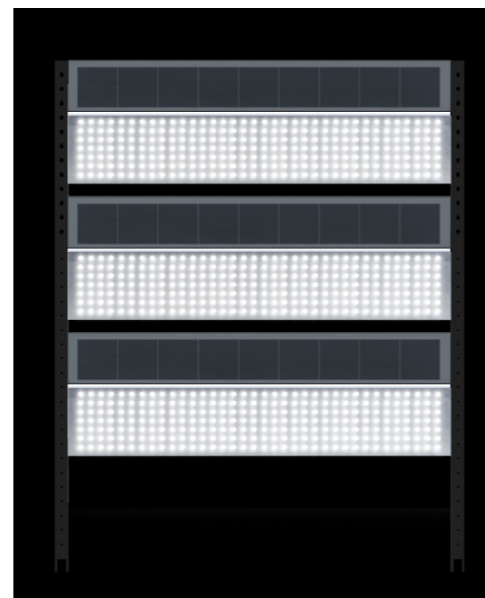
Haraldshus



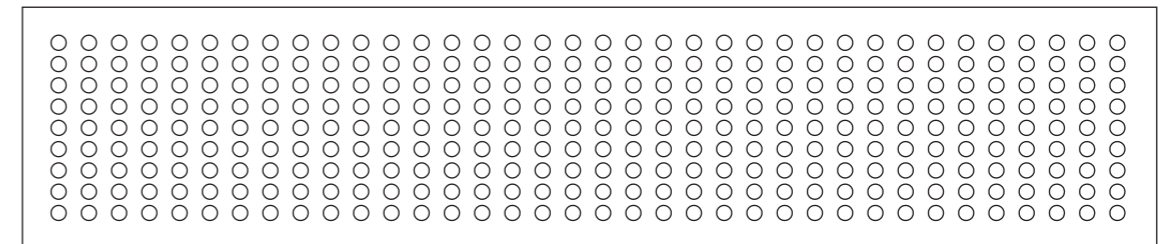
KiWi Mallings



Bagvedliggende LED belysning



Detalje af perforeret aluminiumsplade / 1 : 10

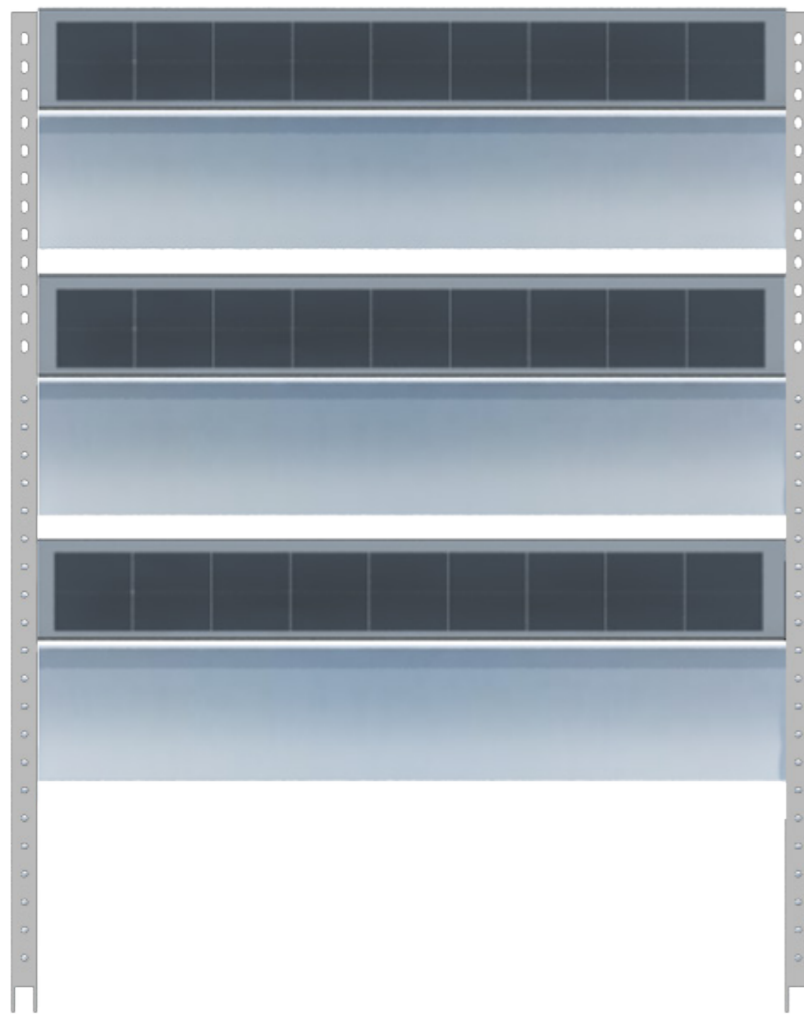


Materiale til montering på modul 1

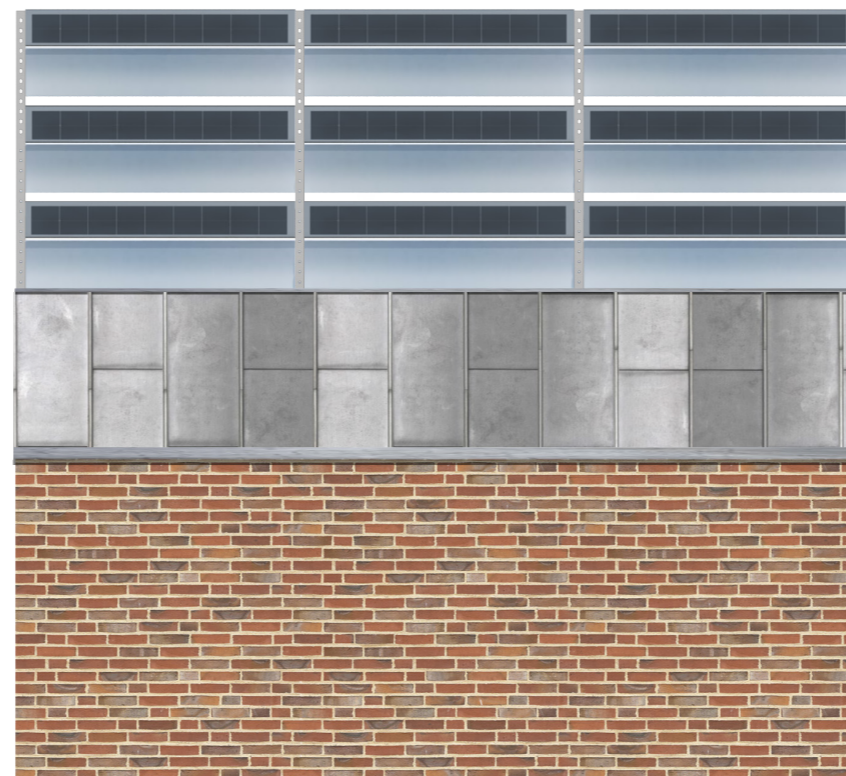
Forslag 1

Eloxeret aluminium - 2mm tykkelse - Farve: N1 natur

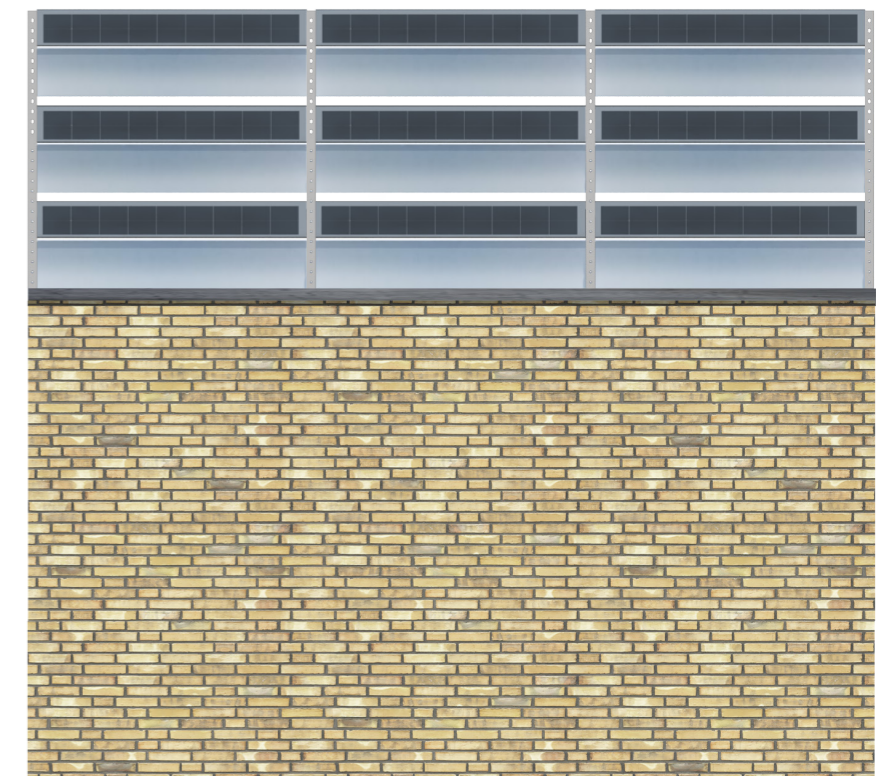
Stativ - Ubehandlet (blankt metal)



Haraldshus



KiWi Malling

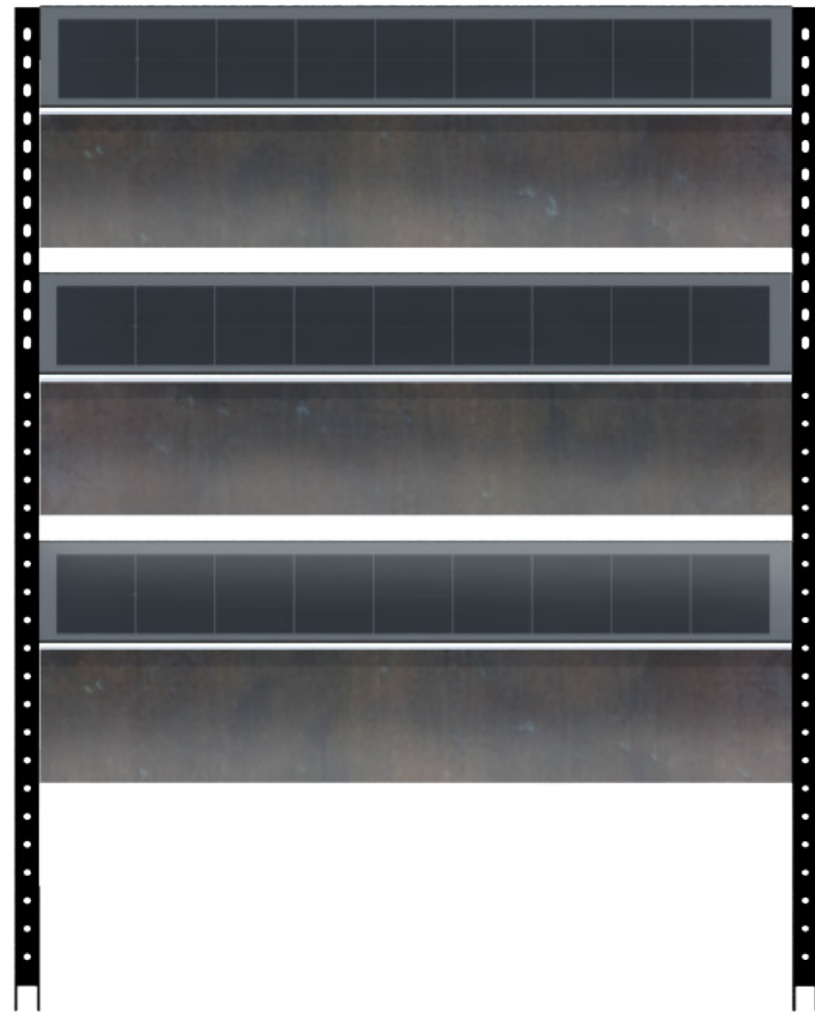


Materiale til montering på modul 1

Forslag 2

Tombak 2 mm - Monteret på panel

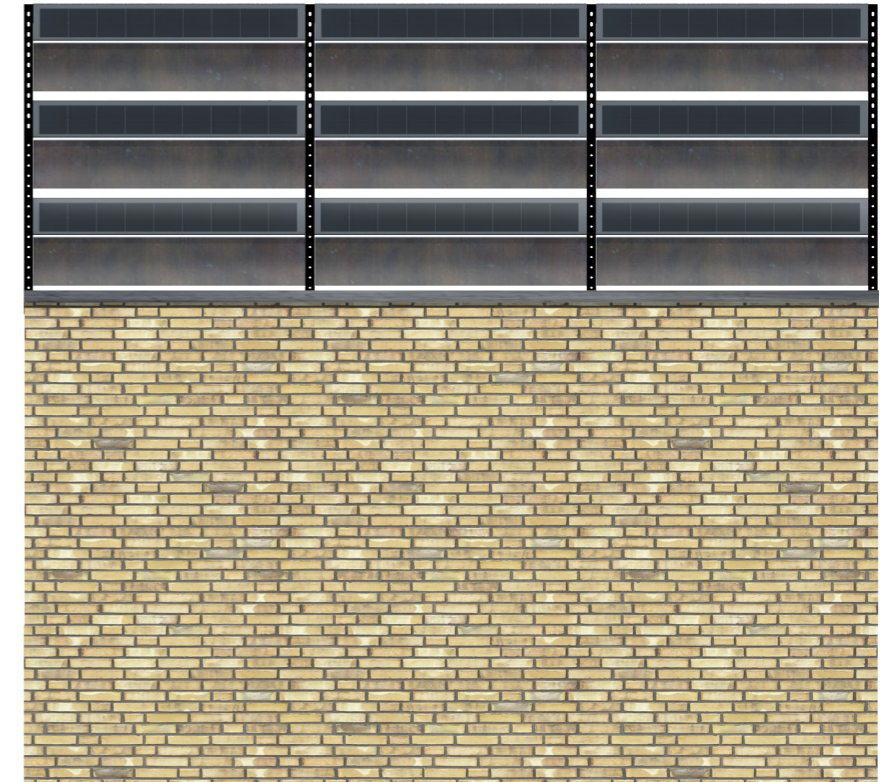
Stativ - Sort



Haraldshus



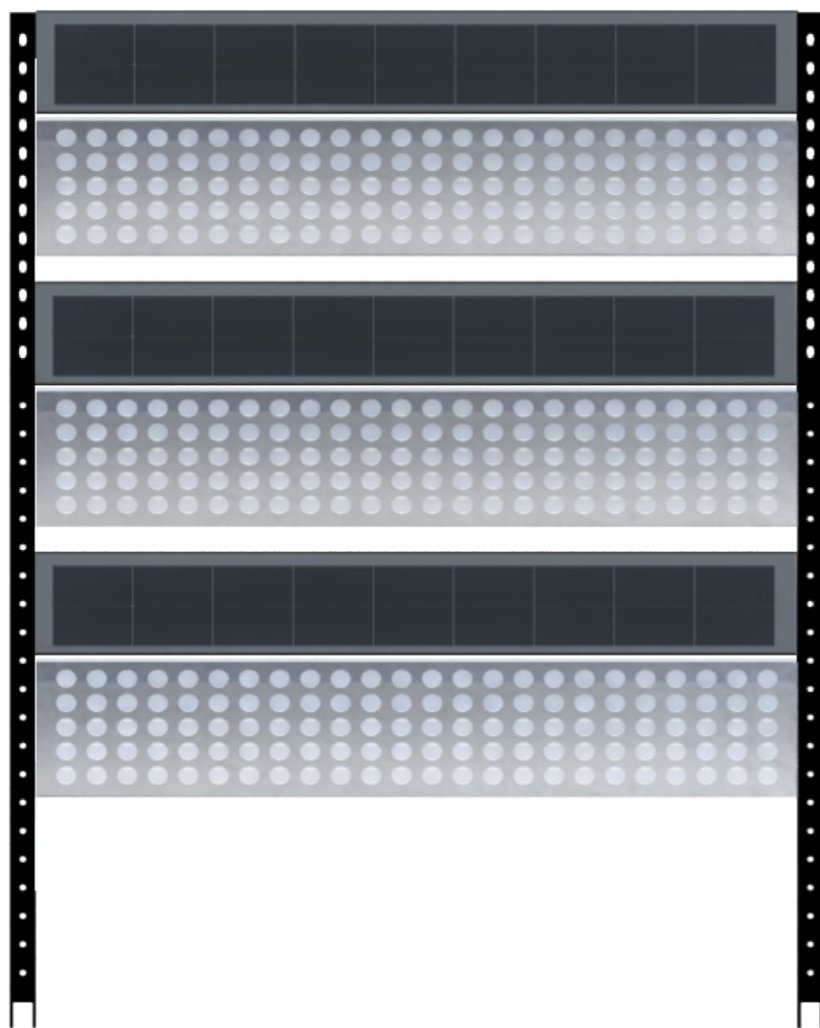
KiWi Malling



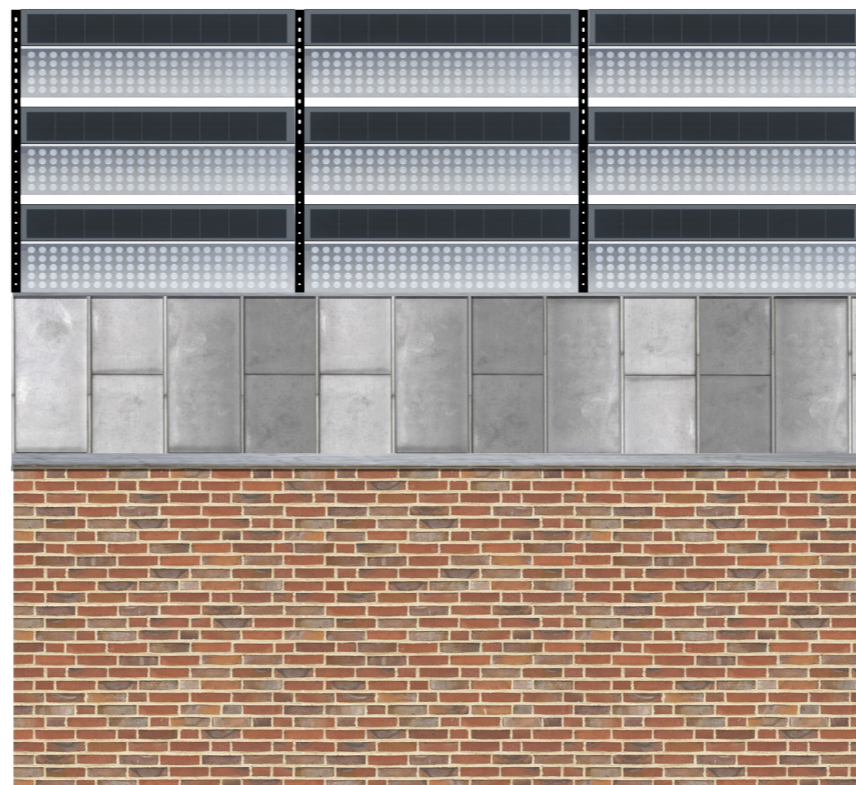
MODUL 2

Perforeret aluminiumsplade (integreret i panel) - Med store huller (diameter 40mm)

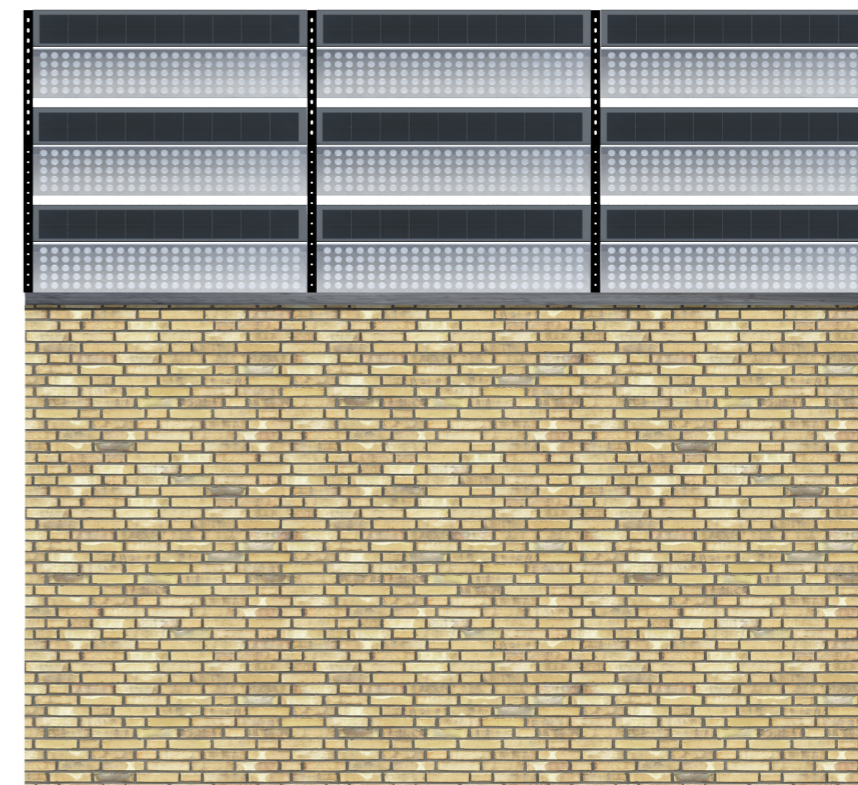
Stativ - Sort Bagvedliggende LED belysning



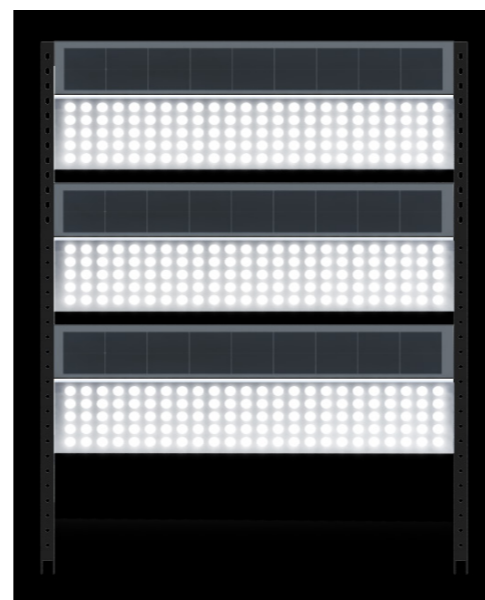
Haraldshus



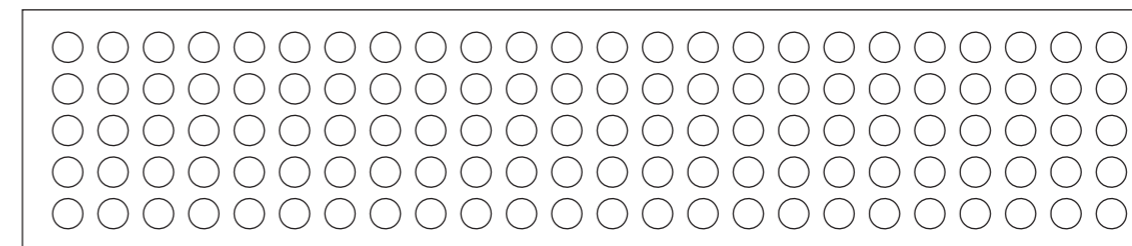
KiWi Malling



Bagvedliggende LED belysning



Detalje af perforeret aluminiumsplade / 1 : 10

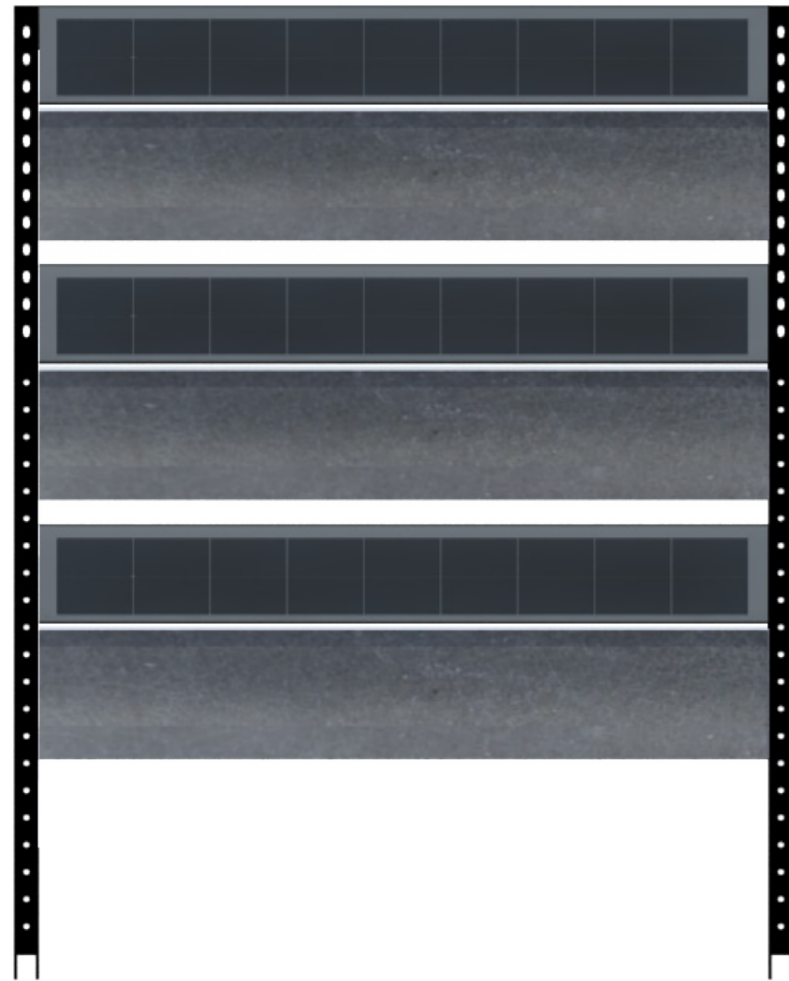


Materiale til montering på modul 1

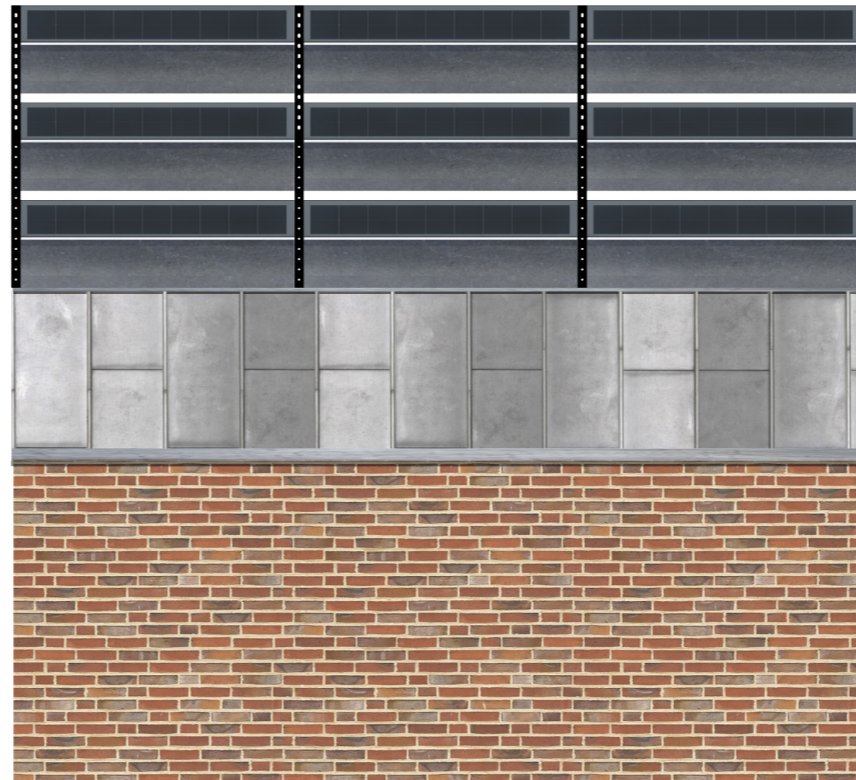
Forslag 3

Zinkplade 2 mm - Monteret på panel

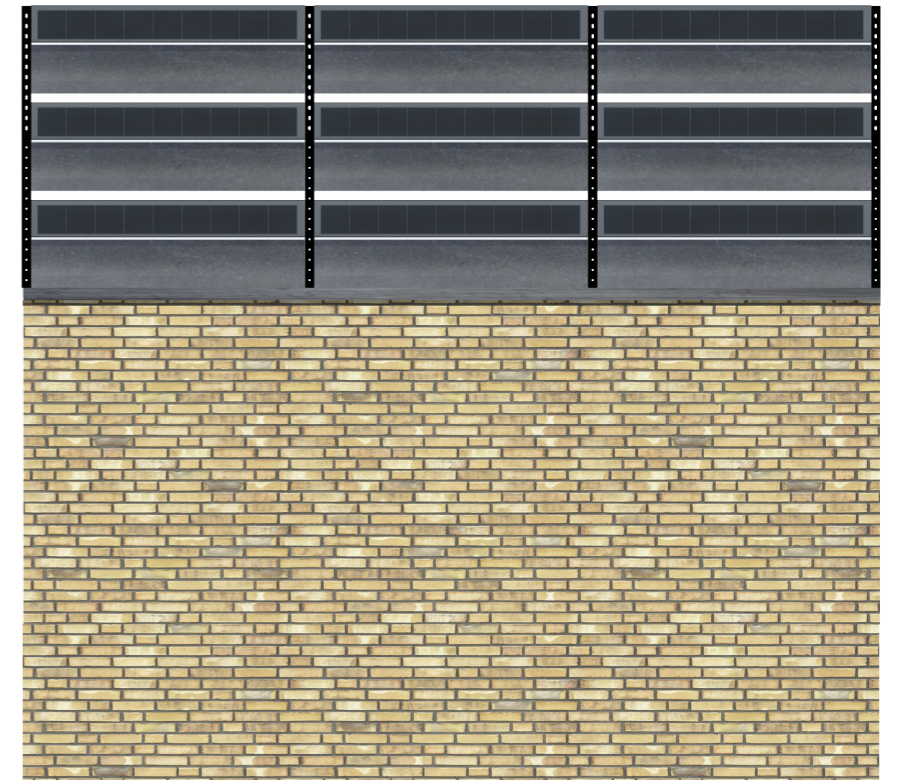
Stativ - Sort



Haraldshus



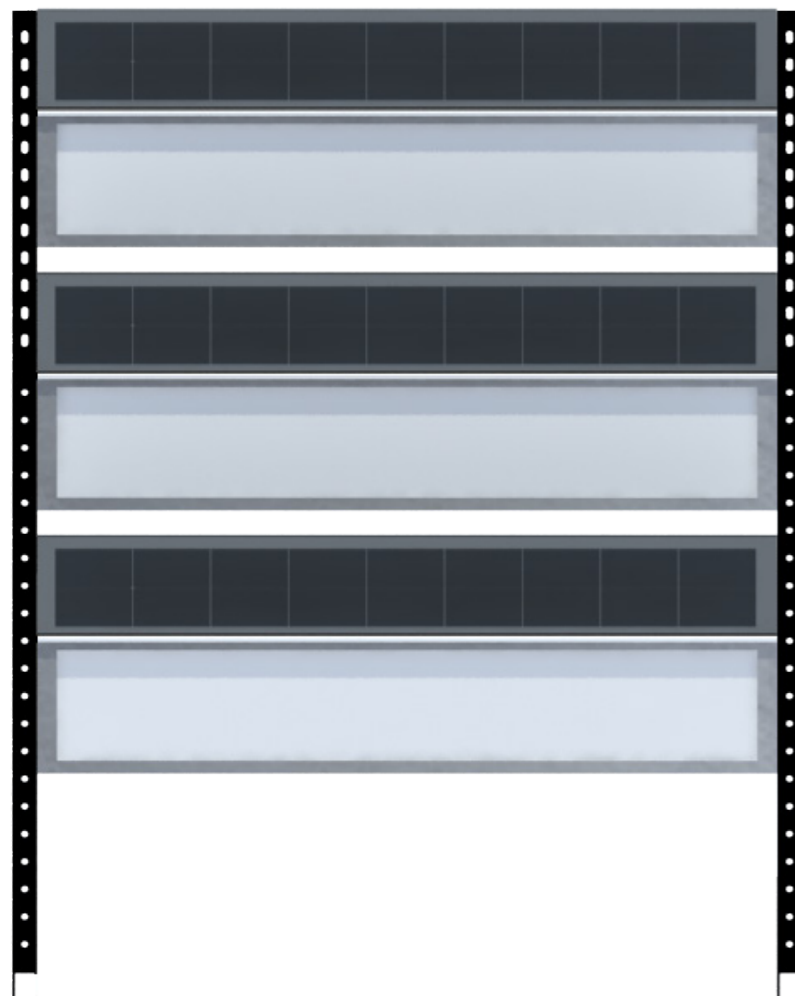
KiWi Malling



MODUL 3

Udskæring i aluminiumsplade (integreret i panel) - Med 30-40 mm til kant

Stativ - Sort Bagvedliggende LED belysning

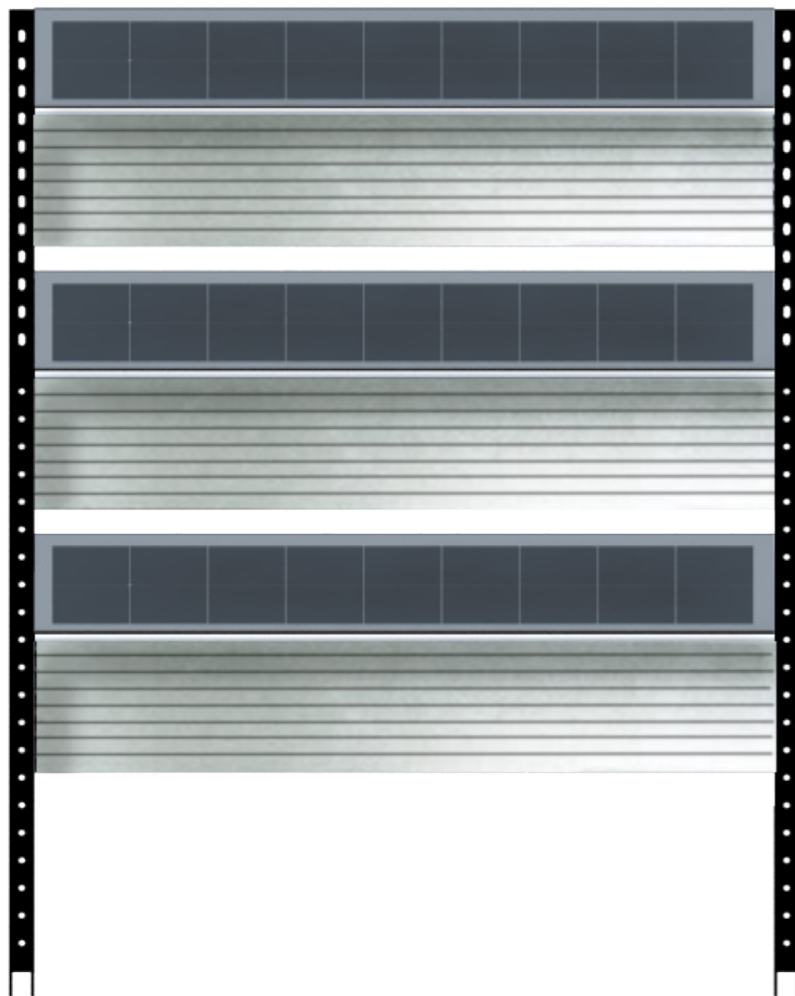


Materiale til montering på modul 2

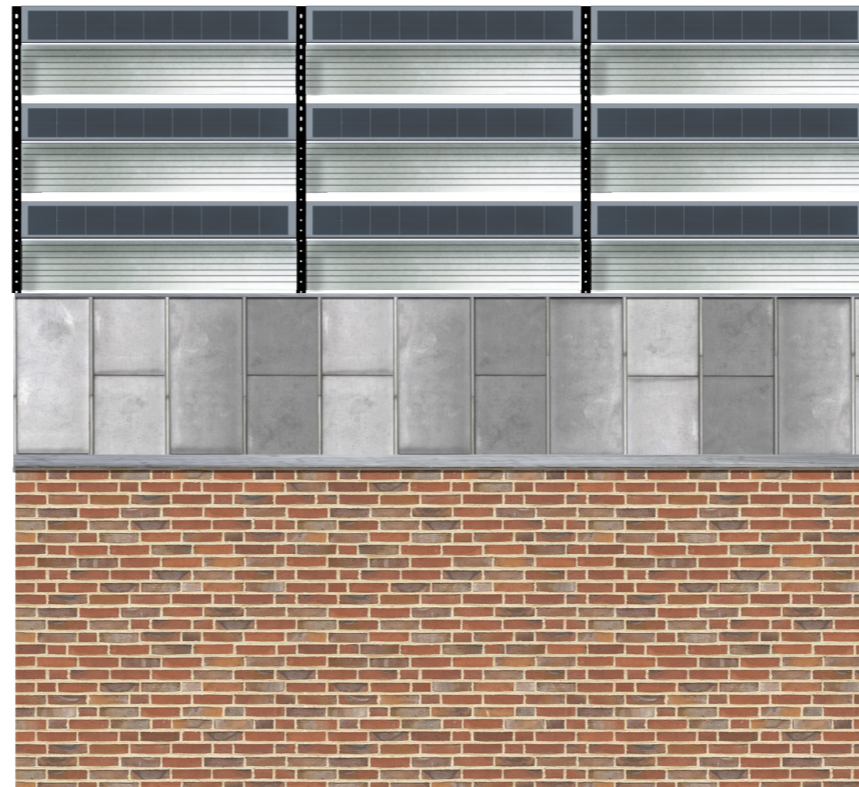
Forslag 4

Opal kanalplade (Solarventi) - Monteret på panel

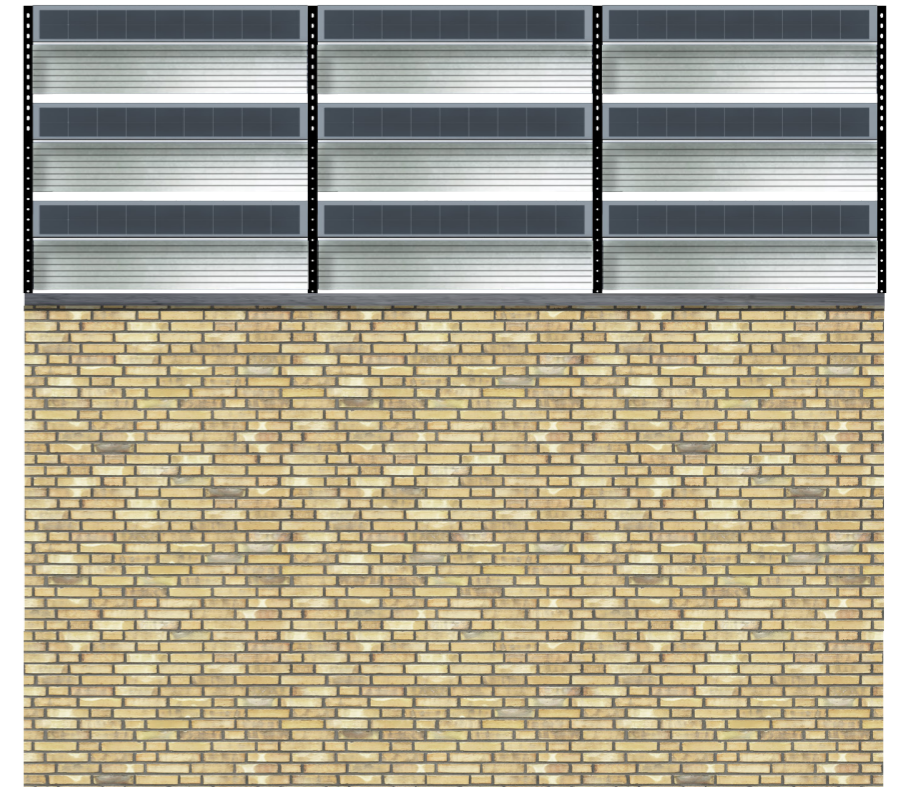
Stativ - Sort



Haraldshus



KiWi Malling

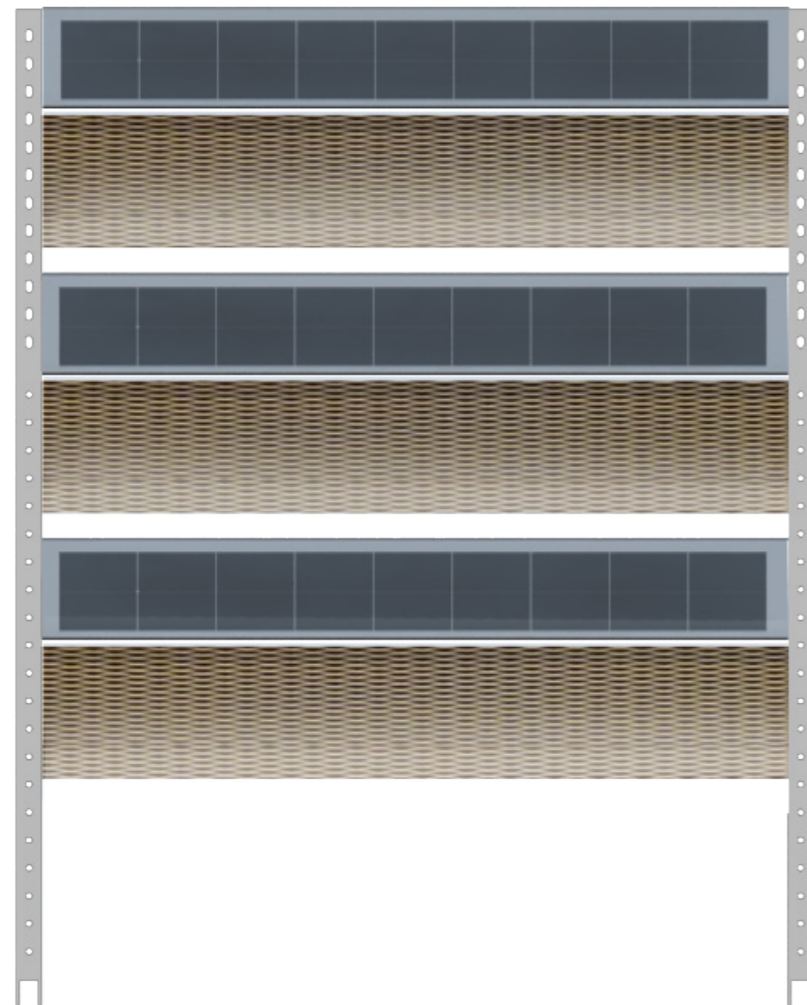


Materiale til montering på modul 3

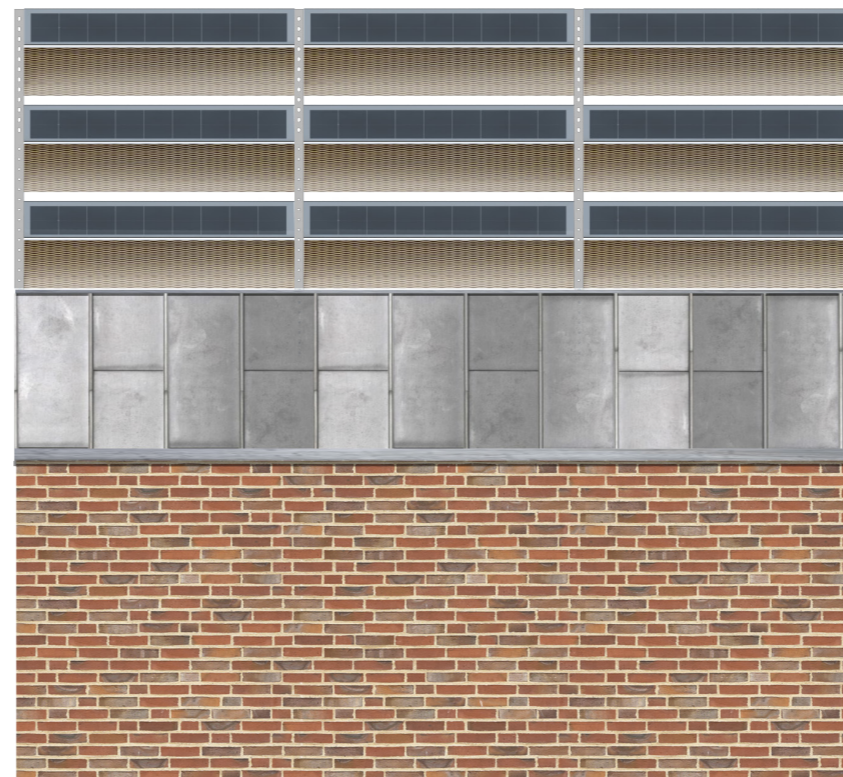
Forslag 5

Strækmetal (type: Schafer) - 2mm tykkelse - Farve: Mørk guld

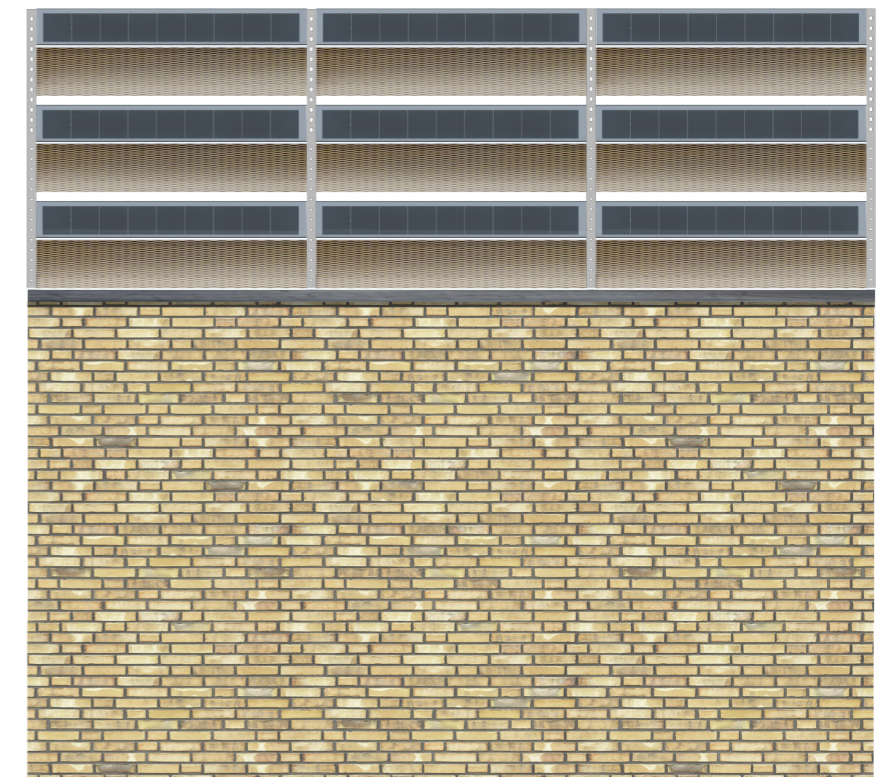
Stativ - Ubehandlet (blankt metal)



Haraldshus



KiWi Malling

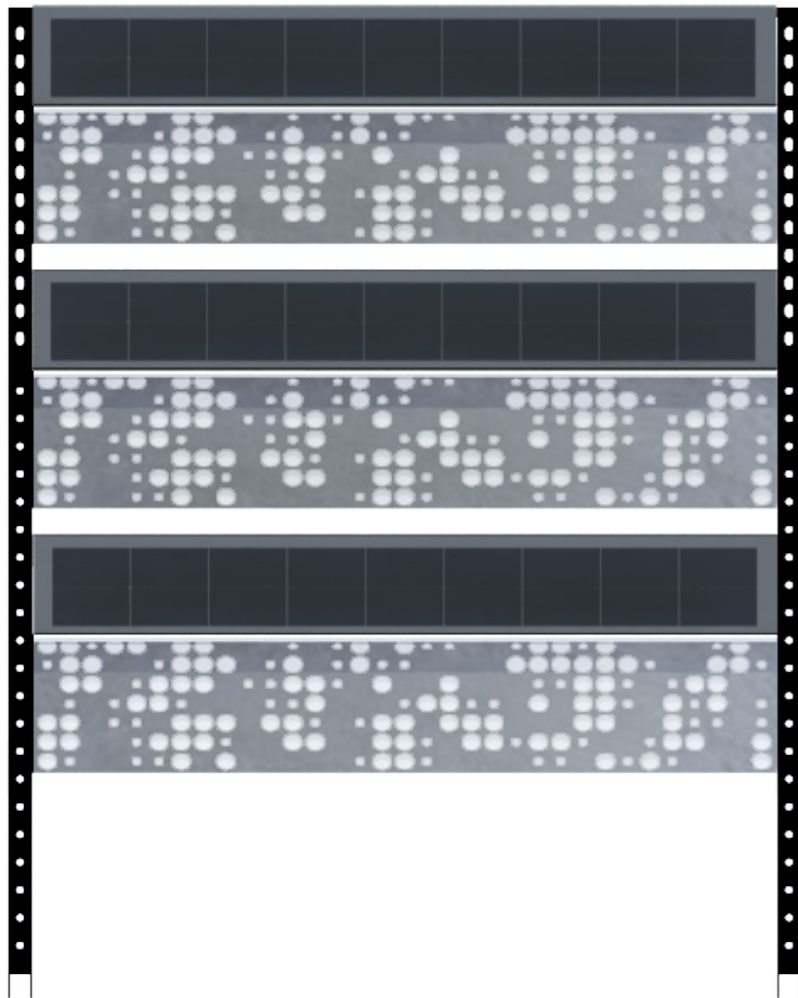


Materiale til montering på modul 3

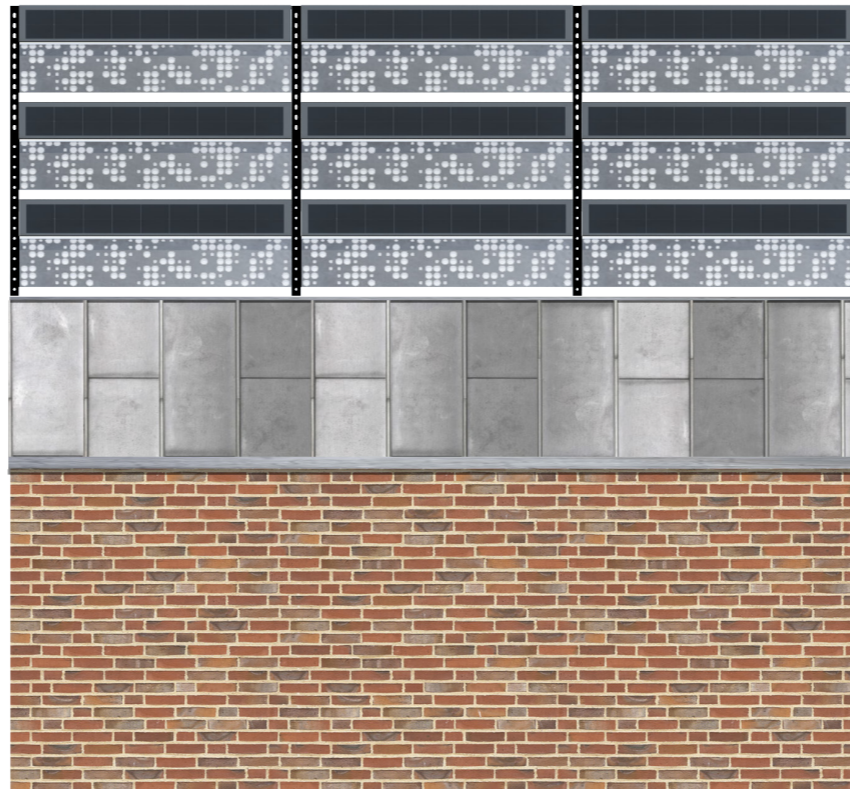
Forslag 6

Perforeret aluminiumsplade - Med varierede hulstørrelser (35/15 mm)

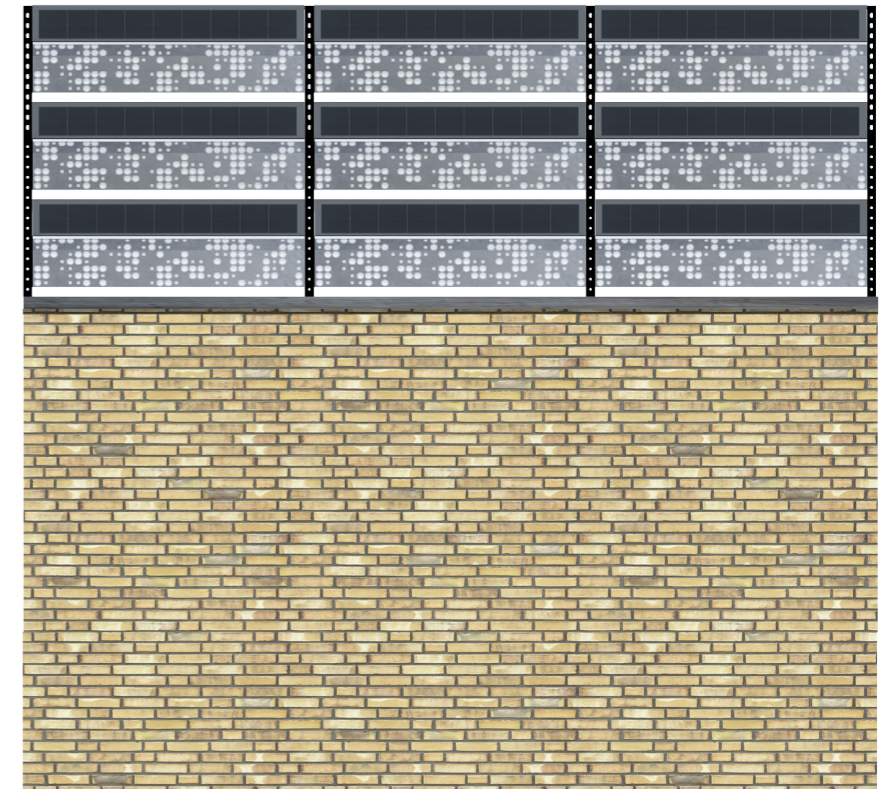
Stativ - Sort



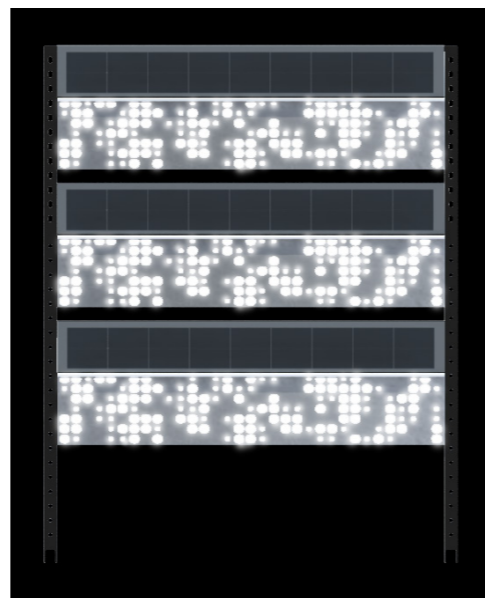
Haraldshus



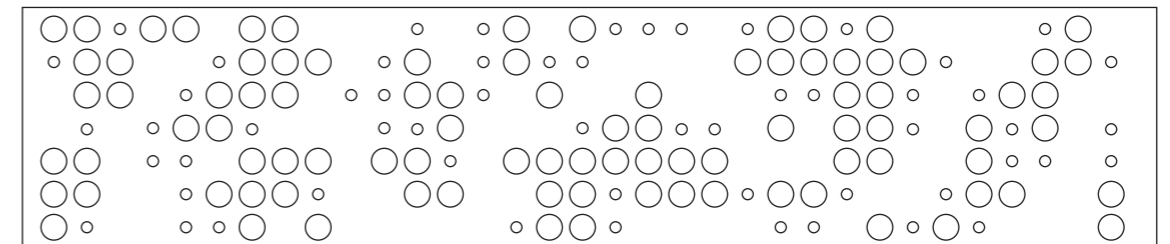
KiWi Malling



Bagvedliggende LED belysning



Detalje af perforeret aluminiumsplade / 1 : 10



Bilag 5

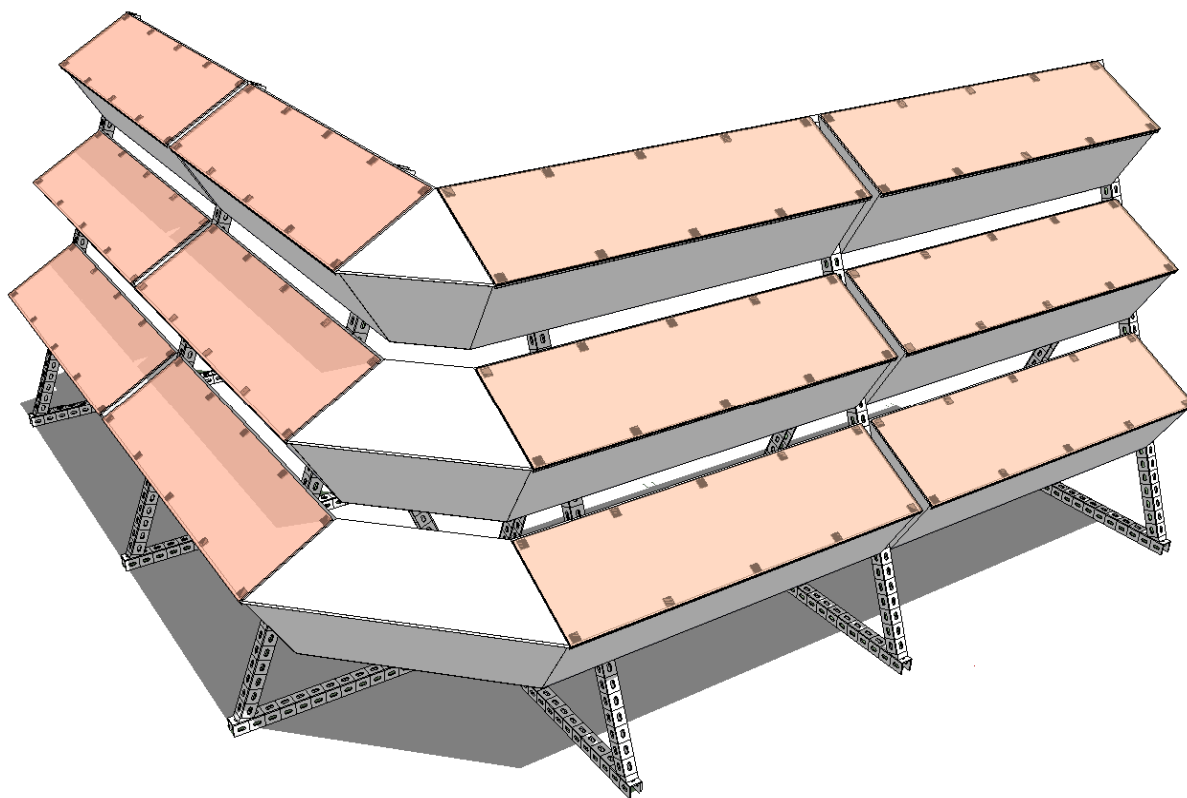
Analyse af selvskygge

Analyse af selvskygge på inddækningsmodul

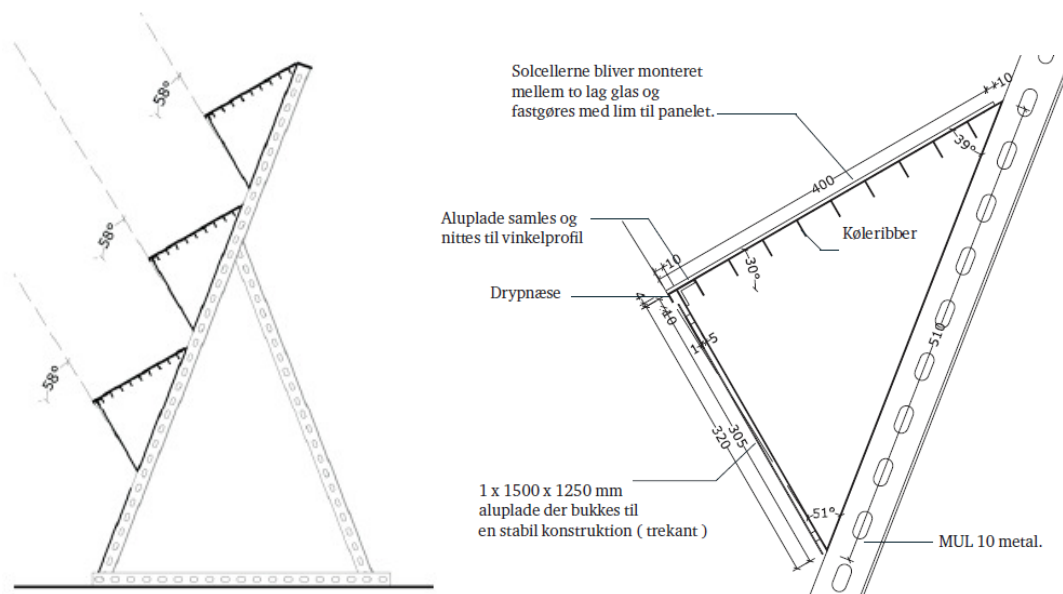
Inddækningsmodulernes udformning medfører en risiko for ydelsesreduktion grundet skygge på solcellerne fra ovenstående trekanter og sidestående moduler. Denne skygge er efterfølgende benævnt som selvskygge. Dette notat har til formål at bestemme ydelsesreduktionen fra solcellerne grundet selvskyggen. Der er mange parametre, der påvirker skyggedannelsen. De væsentligste er oplistet herunder:

- Solens placering på himlen. Solhøjden og azimutvinklen afhænger af anlæggets placering på kloden samt variere henover året.
- Solcellepanelernes hældning.
- Modulernes orientering.
- Modulernes højde samt opbygning.

Den analyserede modulopbygning hvorpå skyggerne er analyseret i dette notat, fremgår af nedenstående figur. Modulet er i denne analyse placeret i København.

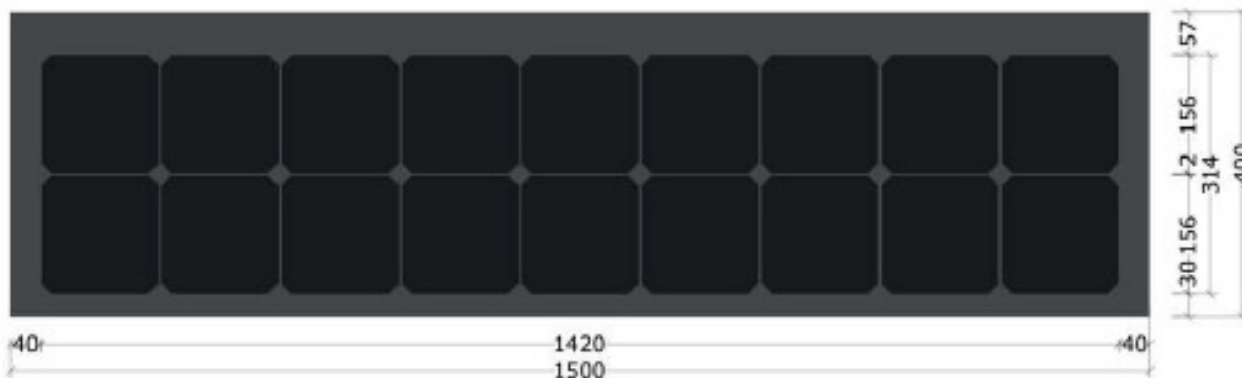


Figuren viser en 3D model af fire standardmoduler - hver med 3 rækker solceller. En snittegning med vinkel, samt et snit af inddækningskassen fremgår på nedenstående figur:

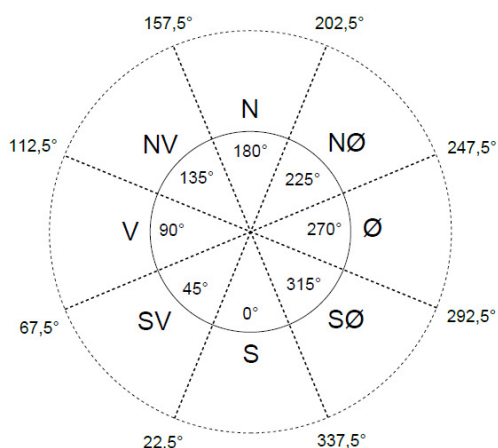


Der er valgt en metode til analyse af selvskyggen fra modulerne, hvor modulerne modelleres i 3D i programmet SketchUp, hvor man kan placere anlægget på en geolokation og derved se skyggepåvirkningen på modulerne med solens forskellige placeringer på himlen. Selvskyggen er hermed vurderet for alle døgnets timer på baggrund af ét døgn pr. måned. Det er vurderet tilstrækkelig ud fra en stikprøvekontrol med én dag i midten af måneden og herefter antage tilsvarende solhøjde og vinkel - og dermed selvskygge - for resten af denne måned.

Til bestemmelse af ydelsesreduktionen grundet skygger er det vigtigt at have kendskab til solcellepanelernes opbygning. Det antages i denne analyse at solcellerne er opført som normalt i branchen med lodret bypass. Dette vil sige at en evt. skygge kun vil fjerne produktionen i den række solceller den skygger for. På nedenstående figur fremgår en figur af solcellepanelet.



Orienteringen af modulerne har også stor indflydelse på selvskyggen. Derfor er det valgt at analysere på ydelsestab for 8 orienteringer: S, SV, V, NV, N, NØ, Ø og SØ. Ved hver orientering er der produceret en skyggetabel, hvoraf det fremgår, hvornår på dagen der forekommer selvskygge. Inddelingen i orientering til skyggeberegningen fremgår af nedenstående figur:



Det indvendige gradtal beskriver azimutvinklen for de 8 orienteringer, og de ydre gradtal viser de grænseflader til udvælgelse af den passende skyggetabel.

Skyggetabeller:

En skyggetabel for orienteringen syd fremgår herunder:

| Ydelsesreduktion grundet selvskygge – Orientering: Syd | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| Time: | Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | Maj | Juni | Juli | Aug. | Sep. | Okt. | Nov. | Dec. |
| 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 4 | - | - | - | - | 67% | 67% | 67% | - | - | - | - | - |
| 5 | - | - | - | 67% | 67% | 67% | 67% | 67% | - | - | - | - |
| 6 | - | - | 0% | 67% | 33% | 67% | 67% | 67% | 67% | - | - | - |
| 7 | - | - | 0% | 16% | 33% | 67% | 67% | 33% | 0% | 0% | - | - |
| 8 | - | 0% | 0% | 0% | 0% | 16% | 16% | 0% | 0% | 0% | 0% | - |
| 9 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 10 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 11 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 12 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 13 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 14 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 15 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 16 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 16% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 17 | 0% | 0% | 0% | 0% | 33% | 33% | 33% | 16% | 0% | 0% | 0% | - |
| 18 | - | 0% | 0% | 67% | 67% | 67% | 67% | 67% | 0% | 0% | - | - |
| 19 | - | - | 0% | 67% | 67% | 67% | 67% | 67% | 67% | - | - | - |
| 20 | - | - | - | 67% | 67% | 67% | 67% | 67% | - | - | - | - |
| 21 | - | - | - | - | 67% | 67% | 67% | - | - | - | - | - |
| 22 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 23 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Skyggetabellen viser reduktionen i ydelse fra solcellerne over en time. Dette betyder at hvis et solcelleanlæg uden skygge producere 1 kWh over time 17 (16:00-17:00) i en dag i juni, reduceres ydelsen til 1 kWh · (100%-33%) = 0,67 kWh.

Nedenstående billeder viser det vinklede modul med selvskygge, der betyder en ydelsesreduktion på 33% og 67% ved et modul med 3 rækker solceller. I beregningen er der også medtaget halve reduktioner – 33% og 50%.

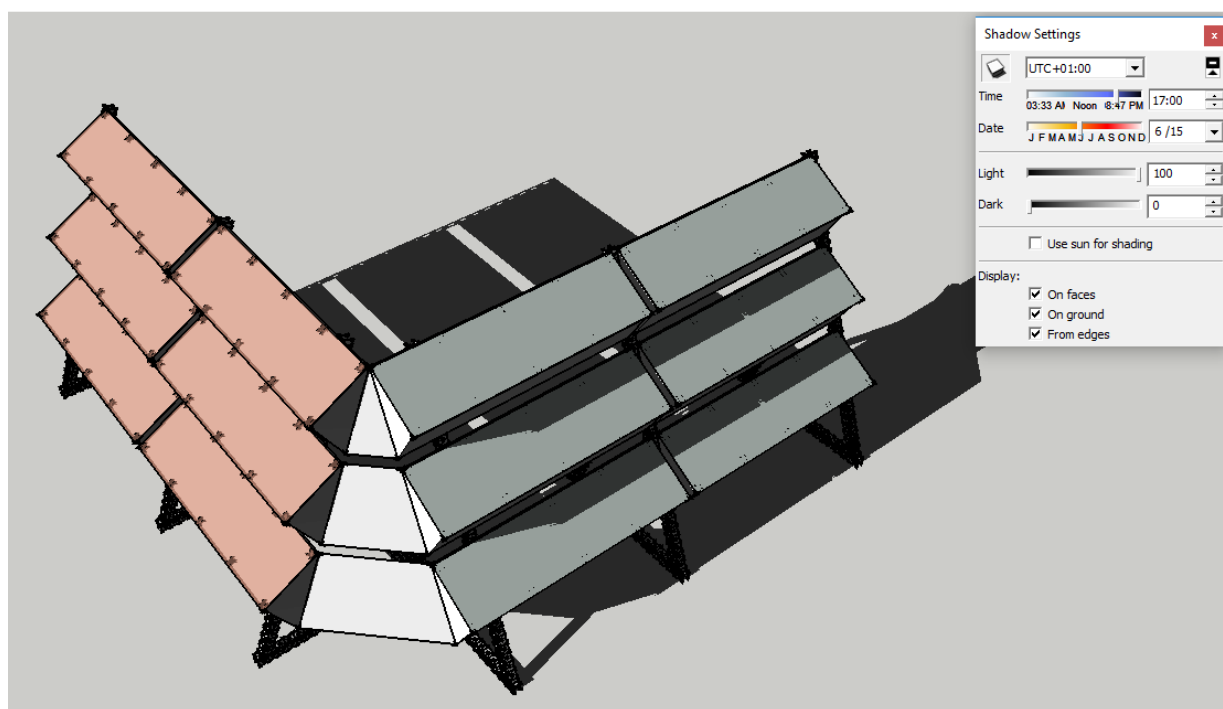
Hvis der er mere eller mindre end 3 rækker solceller vil den samlede reduktion i procent være anderledes, men skyggerne vil falde tilsvarende på de enkelte moduler.

16% reduktion:

En reduktion på 16% betyder at skyggen over en time bevæger sig fra 0% reduktion til 33% reduktion. Det er derfor vurderet at det kun af halvdelen af denne time der er en 33% reduktion.

33% reduktion:

Skyggen dækker øverste række på de to nederste moduler, hvorved de kun producere med halv ydelse. For hele modulet er der derved kun 4/6 tilbage af produktionen hvilket betyder en ydelsesreduktion på 33%

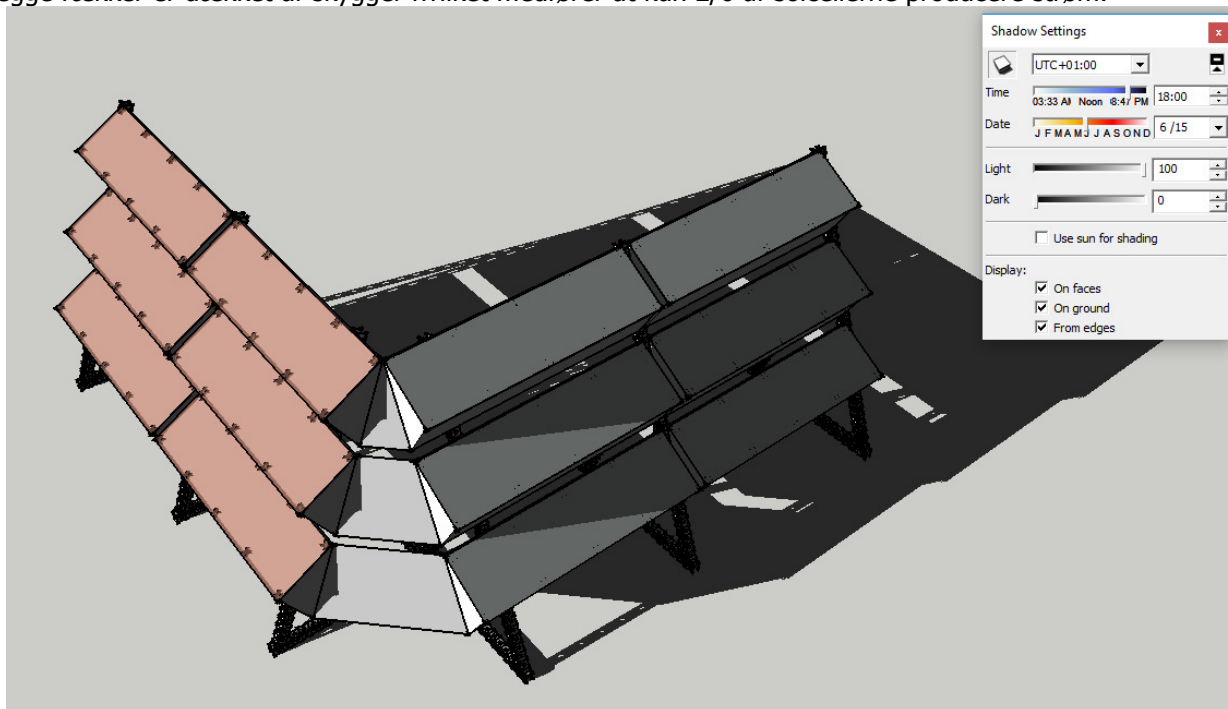


50% reduktion:

En reduktion på 50% betyder at skyggen over en time bevæger sig fra 33% reduktion til 67% reduktion. Det er derfor vurderet at det kun af halvdelen af denne time der er en 67% reduktion hvor resten reduceres med 33%.

67% reduktion:

Begge rækker er dækket af skygger hvilket medfører at kun 2/6 af solcellerne producerer strøm.



Nedenstående tabel viser systemfaktoren forårsaget af selvskygge på et anlæg i de 8 forskellige orienteringer. Dette tab benævnes herefter som skyggefaktoren. Faktoren beskriver forskellen mellem produktionen med eller uden selvskyggerne. Reduktionen er ikke problematisk så længe anlægget vender mod syd eller sydvest, men ved de andre orienteringer er der et stort ydelsestab grundet selvskygge.

| Orientering | Skyggefaktor |
|-------------|--------------|
| Syd | 94,8% |
| Sydvest | 90,9% |
| Vest | 76,1% |
| Øst | 72,6% |
| Sydøst | 87,8% |

Parametervariation:

Til undersøgelse af mulige ydelsesforbedringer på standardmodul udføres en parametervariation på trekantskassetternes egenskaber.

Der er analyseret på 3 forskellige orienteringer med og uden selvskygge for at undersøge hvilke faktorer der medfører en forøgelse eller et fald i ydelsen.

Parametervariationerne er:

- Tiltning af stativer til en solcellehældning på 15°.
- Lodret stativ med alternativ opbygning af trekanter.
- Ændring af opbygningen af trekantskassetterne til en slankere model med en solcellehældning på 50°.
- Forøget afstand mellem trekantskassetterne fra 60 mm i standardmodul til 180 mm.

Nedenstående tabel viser referenceværdierne for ydelsen på et anlæg med 10m² solcellepaneler og en systemfaktor på 0,85.

| Parametervariation | Ydelse [kWh] | | |
|--|----------------|-------|-------|
| | S | V | Ø |
| Ydelse fra standardmodul uden selvskygge | 1.256 | 1.029 | 1.043 |
| | Relativ ydelse | | |
| Ydelse fra standardmodul med selvskygge | 1.193 | 784 | 757 |
| Skyggefaktor | 95,0% | 76,1% | 72,6% |

Tiltning af stativer:

Solcellerne får et større skyggetab, når inddækningsmodulerne har en orientering der vender mere mod vest eller øst, jf. tabellen ovenfor.

Ved at tilte monteringsstativerne fra hældningen på 61° mod vandret til 46° har solcellerne på trekantskassetterne en hældning på 15°. Denne hældning burde medføre en forøget ydelse mod øst og vest, men skyggefaktoren vil være dårligere for orienteringer mod syd.

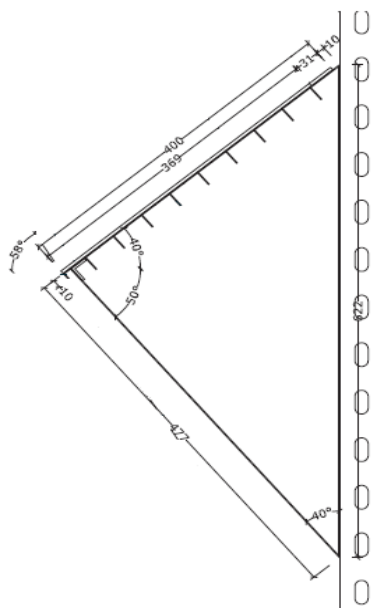
| Anlæg med 15° hældning på solcellepaneler | S | V | Ø |
|---|-------|-------|-------|
| Ydelse uden selvskygge | 1.201 | 1.071 | 1.079 |
| Ydelse med selvskygge | 1.131 | 812 | 797 |
| Ydelse uden selvskygge sammenlignet med standardmodul | -4,4% | 4,1% | 3,5% |
| Skyggefaktor | 94,2% | 75,8% | 73,8% |
| Ydelse med selvskygge sammenlignet med standardmodul | -5,2% | 3,6% | 5,2% |

Ydelsen uden selvskygge viser den maksimale produktion uden skygge på anlægget og kan bruges til at sammenligne de forskellige solcellehældninger. Ved det sydvendte anlæg er der en 4,4% lavere produktion sammenlignet med standardmodulet hvis ikke selvskyggen medregnes.

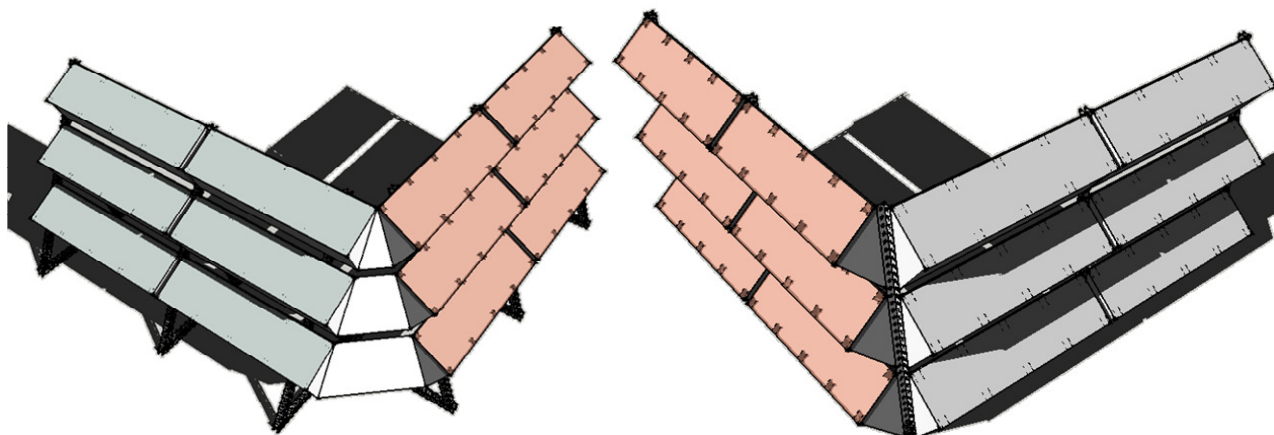
Når skyggefaktoren medregnes kan det ses at tiltning af stativet i den sydvendte orientering ikke er en fordel da den yder 5,2% mindre end et standardmodul. Derimod er der en større ydelse mod øst og vest som skyldes at en større del af hele døgnets solindfald kan ramme cellerne ved den flade hældning. Derfor kan det konkluderes at det er muligt at få en større ydelse ud af standardmodulet mod øst og vest ved at tilte stativet således hældningen er ca. 46° i stedet for de 61°.

Lodrette stativer:

Hvis der ikke er plads til det vinklede stativ kan der udvikles en anderledes type trekantskassetter der er beregnet til lodrette stativer. Trekantskassetten fremgår af nedenstående snittegning:



Den lodrette opstilling vil medføre en dårligere skyggefaktor hvilket betyder en lavere ydelse. På nedenstående figur fremgår hjørnemodulet med selvskygge d. 15 juni klokken 16.00 for både det lodrette og vinklede stativ:



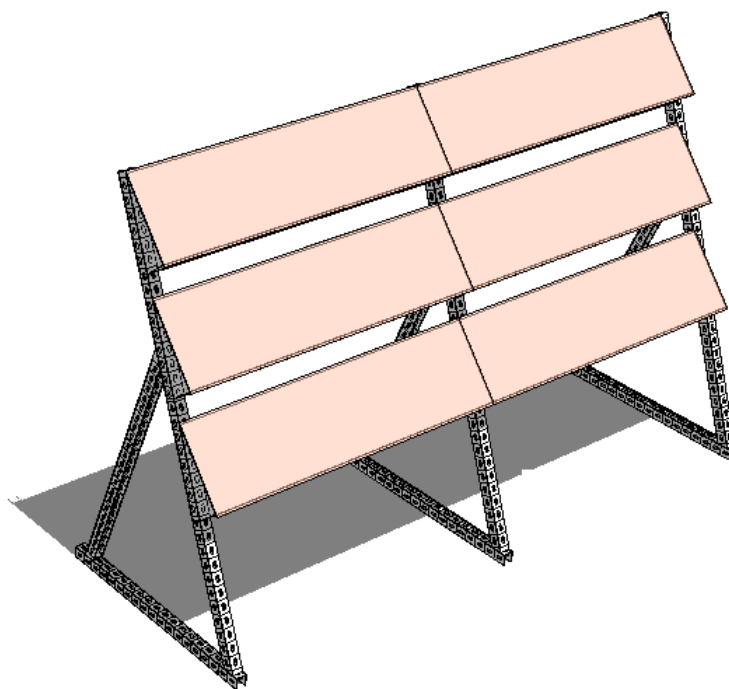
På figuren ses, at der forekommer mere selvskygge på det lodrette modul på det givne tidspunkt. Set over et år har dette en påvirkning af ydelsen som fremgår af nedenstående tabel:

| Lodret anlæg | S | V | Ø |
|---|-------|-------|-------|
| Anlæg uden selvskygge | 1.264 | 995 | 1.011 |
| Anlæg med selvskygge | 1.159 | 749 | 693 |
| Ydelse uden selvskygge sammenlignet med standardmodul | 0,7% | -3,4% | -3,0% |
| Skyggefaktor | 91,6% | 75,3% | 68,5% |
| Ydelse med selvskygge sammenlignet med standardmodul | -2,9% | -4,4% | -8,5% |

Den lodrette opstilling medfører en ydelsesreduktion, hvor solcellerne ikke producerer optimalt. Den lodrette løsning kan dog stadig bruges hvis der er pladmangel i en given case, eller hvis det ikke er energiproduktionen, der er vigtigst for brugerne.

Slankere trekantskassetter:

Selvskyggen medfører et relativt stort ydelsestab på standardmodulet. Ved et forsøg på at nedsætte ydelsestabet beregnes skyggefaktoren på en ny trekantskasette hvis snit fremgår af nedenstående figur:



Ved den nye trekantskasette har solcellerne en hældning på 50°, og derved en lavere ydelse sammenlignet med 30°. Men da trekantskassetterne er slankere vil der også forekomme en bedre skyggefaktor som kan opveje herfor.

| Anlæg med 50° hældning på solcellepaneler | S | V | Ø |
|---|-------|-------|-------|
| Ydelse uden selvskygge | 1.241 | 947 | 966 |
| Ydelse med selvskygge | 1.194 | 773 | 749 |
| Ydelse uden selvskygge sammenlignet med standardmodul | -1,2% | -8,0% | -7,4% |
| Skyggefaktor | 96,2% | 81,6% | 77,5% |
| Ydelse med selvskygge sammenlignet med standardmodul | 0,1% | -1,4% | -1,1% |

Ved den slankere trekantskassette forekommer der som forventet en bedre skyggefaktor, men ydelsestabet inkl. skyggefaktoren giver en lavere ydelse mod vest og øst grundet en ikke-optimal hældning. Da den ikke giver stor nok stigning i ydelsen til at modsvare den lavere produktion vurderes det ikke som en optimal løsning da det, grundet trekantskassetternes slankere opbygning ved 50°, ikke er muligt at få en ret stor inddækningsflade, så den arkitektoniske del af projektet mister effekt.

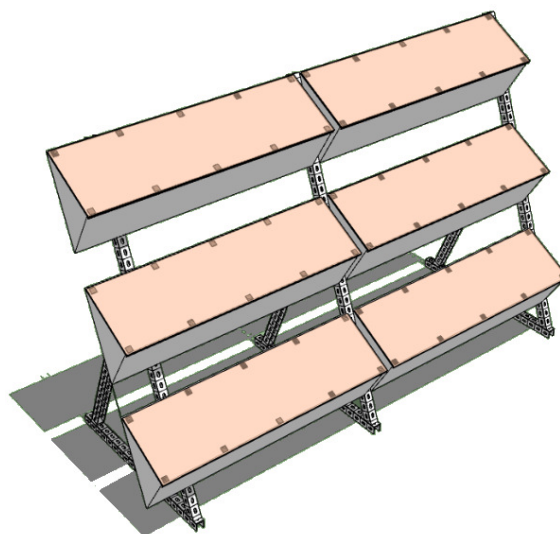
Forøget afstand mellem trekantskassetter

Hvis afstanden mellem trekantskassetterne forøges vil selvskyggen forsinkes tidsmæssigt, hvorfor der vil være en forøgelse i ydelsen. Skyggedannelsen vil derfor være den samme, men der går længere tid før den rammer solcellerne.

Det fremgår også af nedenstående tabel med resultatet af analysen som viser at skyggefaktoren er højere på alle tre orienteringer hvilket betyder en større ydelse.

| Anlæg med 180mm afstand mellem trekantskassetter | S | V | Ø |
|---|-------|-------|-------|
| Ydelse uden selvskygge | 1.256 | 1.029 | 1.043 |
| Ydelse med selvskygge | 1.203 | 797 | 779 |
| Ydelse uden selvskygge sammenlignet med standardmodul | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Skyggefaktor | 95,8% | 77,4% | 74,7% |
| Ydelse med selvskygge sammenlignet med standardmodul | 0,8% | 1,7% | 2,9% |

På nedenstående figur fremgår inddækningsmodulet med en afstand på 180mm mellem trekantskassetterne:



Som det kan ses på figuren er afstanden mellem kassetterne mere tydelig end før. Det er derfor muligt at denne løsning af arkitektoniske hensyn ikke er optimal til mange bygningstyper. Dog hvis anlægget står højt placeret er det muligt at sprækken er usynlig da beskuere ser inddækningsmodulet fra en høj vinkel. Sprækken mellem kassetterne kan inddækkes med en plade tilsvarende undersiden.

Hele modulet vil også stige i højden hvis afstanden mellem kassetterne skal være større, hvilket ligeledes ikke er optimalt på mange bygninger. Alternativt kan den ekstra højde på modulet anvendes til en ekstra række trekantskassetter.

Konklusion:

På baggrund af analysen af selvskygge på solcellemodulerne kan det konkluderes, at det er vigtigt at solcelleinddækningsmodulerne er fleksible, da det ikke er den samme løsning der vil være optimal i hvert tilfælde. Mod øst og vest vil det oftest give mening at tilte stativerne til 46° hvis der ønskes i højere ydelse fra solcellerne. I nogle cases, som f.eks. casen på Haraldshus, er der ikke plads til det vinklede stativ, hvor der i stedet kan opsættes det lodrette stativ med en anden opbygning på trekantskassetterne.

Det skal i hver case afklares hvad der er vigtigst for kunden – Ydelse eller arkitektonisk værdi. Dette har en stor indflydelse på hvilken anlægsopbygning der er optimal.

Herudover skal modulerne med solceller så vidt muligt vendes mod syd eller som alternativ sydvest eller sydøst. Modulerne kan vendes mod øst eller vest, men der vil være en stor skyggefaktor, der reducerer solindfaldet på solcellerne, som i forvejen producerer mindre i disse orienteringer ift. syd, grundet lavere solindfald.

