

Final report

1.1 Project details

Project title	Plug'n'play facade med bygningsintegrerede solceller
Project identification (program abbrev. and file)	EUDP J. nr. 1937-0007
Name of the programme which has funded the project	EUDP
Project managing company/institution (name and address)	HSHansen A/S, Bredgade 4, 6940 Lem
Project partners	Gaia Solar A/S Teknologisk Institut
CVR (central business register)	73492114
Date for submission	31-12-2015

1.2 Short description of project objective and results

1.2.1 Short description of project objective and results

The project objective was to develop and demonstrate intelligent, cost-effective individual façade units with integrated solar cells and solar screens. Everything should be prefabricated and have the ability to be mounted in a modular fashion, being connected without cabling, but with built-in male / female connectors. The solar cells should be able to charge the battery that acts as a power source for the solar screens.

The project result is a facade concept in which the solar cell and inverter is installed in a prefabricated facade element. This element can be mounted in the same way as the surrounding elements. After mounting the façade element, the solar cell is connected to an electrical system installed in the building.

We have managed to make a realizable and economical prefabricated facade element with solar cells that have a mounting method with "Plug'n'play" character.

1.2.2 Kort beskrivelse af projektmål og resultater

Projektet formål var at udvikle og demonstrere intelligente, omkostningseffektive selvstændige facadeunits med indbyggede solceller og solafskærmende screens. Alt skulle laves præfab og kunne opbygges modulært og sættes sammen uden kabling, men med indbyggede han/hun stik. Der skulle samtidigt være mulighed for opladning til batteri som energikilde til solafskærmning.

Projektets resultat er blevet et facadekoncept, hvor solcelle og inverter er installeret i et præfabrikeret facadeelement. Dette element kan monteres på samme måde som de omkringliggende elementer. Efter montage forbindes solcelleelementet til et strømførende system i monteret i bygningen.

Vi har formået at lave et realiserbart og økonomisk præfabrikeret facadeelement med solceller, som har en montage metode med "Plug'n'play"-karakter.

1.3 Executive summary

1.3.1 Formål

Plug'n'play facadeprojektet havde som formål at udvikle og demonstrere et intelligent og omkostningseffektivt byggelement med indbyggede solceller. Gennem brug af præfabrikation og modulopbygning, skulle produktet være et omkostningseffektivt "hyldeprodukt" som bygherrer i fremtiden kunne benytte i deres byggeri.

Både i det nuværende Bygningsreglement BR15, samt det kommende BR20 er kravene til energirammerne hver gang strammet med 25 % ift. forrige Bygningsreglement. Det sætter ydeevnekrav til isolering af klimaskærmen og på sigt endog positivt bidrag til energirammen for at kompensere for energitab til fx ventilation. Derfor er der behov for nye smarte facade-løsninger, der kan bidrage til at overholde de krav der sættes til bygningerne.

HSHansen har et veludviklet og helt unikt facadesystem, der er modulopbygget i units og som er meget hurtigt at montere på byggepladsen. Netop montagetiden og lukningen af bygninger er en meget vigtig ting for en optimeret byggeproces. Ønskes der solceller på facaden vil en samtidig integrering af solceller i disse units kunne skære yderligere i tidsplaner for et projekt, og spare væsentlig tid og dermed penge for entreprenør og bygherre.¹ Ligeledes er der en vis arkitektonisk frihed i moduleringen.²

1.3.2 Hovedaktiviteter

1.3.2.1 Videns indhentning

Et væsentligt element i denne ansøgning er samlingsdetaljen for de elektriske komponenter, dvs. han/hun stikkene som modulerne samles over. Det er et kritisk område, da el sikkerheden er meget vigtig og det kan være vanskeligt at tilgå det når først modulerne er samlet.

Der har løbende, gennem projektet, foregået omfattende videns indhentning på dette område.

Denne samlingsdetalje er afgørende for konceptets succes, da det er dette stik der bestemmer hvor nemt eller svært det er at koble facadeelementet ved montage. Dermed afgør denne samling om konceptet kan karakteriseres som værende "Plug'n'play".

Det har været nødvendigt at afprøve mange forskellige koblingsmetoder i produktudviklingsfasen. Udvælgelsen af disse, har i høj grad været baseret på viden indhentet i denne fase af projektet.

Føringsveje i elementet har desuden været et fokuspunkt i videns indhentningen. Det har været nødvendigt at finde viden om hvordan man optimalt kan designe disse føringsveje i præfabrikere elementer, med tanke på tilgængelighed i det færdige byggeri. Hvor stort er behovet for at elektrikere har nem adgang til systemet, og hvilke komponenter skal vi prioritere at lave nem adgang til. Al viden om tilgængelighed i driftsfasen, har vi dermed skullet indhente i denne fase af projektet.

I relation til udvikling af solcellesystemdesign for det enkelte facadeelement er der, som del af videns indhentningen, udarbejdet rapport over forskellige typer mikroinvertere ⁶, og dertil hørende specifikationer, med henblik på at finde en optimal inverterløsning for det enkelte facadeelement.

¹ Systemet kan ses beskrevet i bilag 02

² Der kan ses eksempler i bilag 05

⁶ Rapport vedr. inverter typer bilag 06

I relation til dette er der også undersøgt hvad solcellemoduler på det enkelte element er i stand til at drive af teknisk solafskærmning, ventilation med mere.

Afslutningsvis er der også lavet vidensindhentning og arbejde relateret til anvendelse af Schneider Canalis´ s strømførende skinnedsystem som plug´n´play-teknik, herunder beregninger med henblik på benchmarking denne op imod traditionel montage af facadeintegrerede solceller.

1.3.2.2 Produktudvikling

Der blev, i denne fase, arbejdet meget med hvordan solcelleindbygningen i "præ-fab"-elementerne kunne foretages med fokus på vekselvirkning med de øvrige moduler. Ud over at skabe et solidt og funktionsdygtigt element, har den primære fokus været at skabe et element som kan monteres på enkel og effektiv måde.

Det har desuden været afgørende at kunne lave et facadeelement med en tilfredsstillende tæthed. Derfor er der lavet 3D modeller af samplingsdetaljerne, for at kunne simulere hvordan sammenkoblingen i praksis vil kunne ske.

Der har i produktudviklingen været fokus på, at kunne nedbringe montagetid og samtidig "flytte" så mange timer væk fra byggepladen og ind i produktionen som muligt. Herved opnås en langt mere præcis styring af timer og udførelse. Ligeledes har udviklingen også fokuseret på, at kunne konverterer montagetimer til hardware. Det skyldes netop det forhold, at hardware prisen er en "engangsomkostning" og at montagetid kun kan estimeres men ikke endelig styres. Herved kan der opnås en sikker kostpriskalkulation som er rigtig og som resulterer i en mere præcis udførelse.

Endelig skal der være en plan for hvordan samplingsdetaljen skal kunne tilgås når først modulerne er samlet.³

Udviklingsforløbet har været igennem tre faser, som hver repræsenterer en overordnet strategi eller tilgang til at løse plug´n´play-problematikken. Erkendelser og erfaringer er ført videre fra hver fase – og har dermed medvirket til at styrke den efterfølgende udvikling og afslutningsvis det endelige resultat.

1.3.2.2.1 Fase 1: Plug´n´play-funktionalitet indbygget i facadeelementernes ramme – hvor efterfølgende tilslutning er overflødiggjort

Dette har været projektets indledningsvise ønske at løse. Det smarte ved denne løsning har været at minimere udgifter til solcelletilslutning – da placering og montage af facadeelementet automatisk kobler solcellemoduler til hinanden.

Denne løsning viste sig dog at have en række problemstillinger:

- I tilfælde af eventuelle problemer med tilkobling ville det være umuligt/meget svært at komme til tilslutning mellem elementer
- Fugt kunne medvirke til at stik kunne irre
- At tilslutningsstik ikke var robuste nok til at kunne holde i håndtering og placering af facadeelementet

Disse forhold har medført at der i stedet blev undersøgt muligheder for at lave plug´n´play mellem facadeelement og strømførende system i bygningen.

1.3.2.2.2 Fase 2: Plug´n´play via anvendelse af Schneider Electric Canalis skinnedsystem i bygningen, hvorpå mikroinvertere fra facadeelement kan "plugges" i

Ideen med dette har været at en eller flere mikroinvertere fra det enkelte facadeelement blot har kunne "plugges" i en strømførende skinne, som allerede er installeret i bygningen.

Denne løsning viste nogle styrker ved at konvertere mandetimer til hardware inden for samme prisniveau. Svagheden har dog været at binde sig op på et meget specifikt produkt (i dette tilfælde Schneider Canalis) – og også at skulle bruge energi på at overbevise bygherre om at anvende specifikt strømførende system – da løsningen har været betinget af dette.

Samlet set har det betydet, at vi i stedet valgte at gå videre med aspekter fra både fase 1 og 2 og sammentænke disse i den løsning vi er endt med i fase 3.

1.3.2.2.3 Fase 3: Strømføring integreret i facadeelement, som tillader optimeret plug'n'play-tilkobling af solceller

Denne løsning er den endelige, og dermed og er dermed beskrevet i detaljen i denne afsluttende rapport.

For at kunne udføre en hurtig montagemetode er der udviklet en nem og simpel måde for isætning af solcellepanelet i facadeelementet. Metoden gør at solcellepanelet kan monteres direkte i facadeelementet uden at skulle introducere rammer, kanter og lignende.⁴

1.3.2.3 Udvikling af prototype

På baggrund af skitseforslaget er der lavet 4 forskellige "full size"-facadeelementer med indbyggede solceller og han/hun stik til nabomoduler. Disse 4 elementer repræsenterer forskellige designudgaver af det endelige koncept. Prototyperne er udviklet over flere sessions med alle projektdeltagere, og har derfor gennemgået et større antal iterationer før de endelige prototyper har været færdig.

HSHansen har udviklet prototyperne på fabrikken i Lem, og dermed har udviklingen af disse også taget udgangspunkt i de erfaringer, som de daglige produktionsmedarbejdere har med produktion af facadeelementer.⁵

Gaia Solar har produceret en række solcellemoduler til brug i facadeelement prototyperne. I forbindelse med produktion af disse er der arbejdet på at udvikle solcellemoduler i andre farver end sort med et homogent udtryk, fx grøn, blå og grå, som kan medvirke til at skabe en mere acceptabel æstetik og udtryk på facadeelementet, som gør det mere sandsynligt at bygherrer eller rådgivere vælger facadeintegrerede solceller.

1.3.2.4 Test af prototype

De 4 facadeelementer har været monteret sammen, for at teste montagemetoder og efterfølgende tilgængelighed af servicerbare installationer. Alle 4 facademoduler har været monteret som ét samlet element. Dette er testet for tæthed på Teknologisk Institut.

Derudover er det samlede element testet hos HSHansen på fabrikken i Lem for solindstråling og energiproduktion ved tilslutning til nettet med henblik på at dokumentere virkning og system design.

De 4 facadeelementer har været monteret sammen, for at teste montagemetoder og efterfølgende tilgængelighed af servicerbare installationer. Alle 4 facademoduler har været monteret som ét samlet element. Da føringsveje internt i elementet gennembryder klimaskærmen er det vigtigt, at de valgte løsninger stadig skaber den tæthed som er krævet i

³ Eksempel på installationsadgang er vist i bilag 03

⁴ Metoden er beskrevet i bilag 01

⁵ Produktionstegningen kan ses på bilag 04

Bygningsreglementet. Der er derfor udført tæthedstest for vand og vind jfr. hhv. DS EN 1027 og DS EN 1026 på Teknologisk institut.

1.3.2.5 Etablering af Demoanlæg

Der foreligger planer om at indbygge konceptet i et projekt med start i det kommende år. Der er stor interesse for at udnytte facader til at implementere solceller, og HSHansen har på nuværende tidspunkt flere projekter som kunne være interessante at implementere facadekonceptet i.

1.3.2.6 Projektets mål for det energiteknologiske og kommercielle udbytte

Ses der på det samlede facadebranche volumen i Danmark (facader, vinduer, døre, m.v.) er der en samlet omsætning på ca. 1,2 mia. kr./år. Antages der en gennemsnitlig ca. salgspris på 3.000 kr./m² bliver der installeret ca. 400.000 m²/år. Vi anslår at der bygges ca. 150.000 m² facader, og er godt 25% af fladen direkte eller tilnærmet sydvendt vil potentialet for solceller være på ca. 40.000 m² hvoraf halvdelen eller 20.000 m² kan være solceller. Der er således potentiale for integration af 2,0 MW solceller i nybyggeriet hvis den specifikke effekt i solcellerne er på 100 W/m² eller der over hvilket stort set drejer sig om alle typer af solceller.

De materialer der i dag benyttes i facader kan f.eks. være glas og farvet glas (emalit), som koster mellem 400-600 kr./m², eller natursten (15 mm opklæbet løsning) som koster ca. 600-1.000 kr./m² (ekskl. underlag). Integreres der f.eks. tyndfilm solcelleelementer i facadesystemet, vil solcelleprisen andrage ca. 1.000 kr./m². Der vil således på den rene overfladepris være tale om samme pris eller en merpris på op til 60% afhængig af materialevalg. Benyttes der mere "forædlede" materialer som poleret sten eller granit i facaden, vil der ligefrem være tale om en besparelse ved at vælge solceller. Tages hele solcelleinstallationen med i betragtning (solceller + invertere + kabler mm.), vil der ved anvendelse af præfabrikation løsningen være en system besparelse på mellem 40 - 60% hvis der kun regnes med grundprisen på facaden fratrækkes.

Markedets efterspørgsel efter sådanne løsninger vil være stigende i årene frem – og det gælder også på eksportmarkedet hvor HSHansen har forespørgsler på facader i både Sverige og Norge.

Arbejdet med at optimere integration af solceller i facadeelementer har også betydet at alle projektets parter har mere indgående viden som styrker projektsalg og kan bruges disse resultater til bedre rådgivning af bygherrer og arkitekter om facadeintegrerede solcelleanlæg.

1.4 Project objectives

1.4.1 Projekt mål

Hovedformålet var, som nævnt, at udvikle og demonstrere et intelligent og omkostningseffektivt byggeelement med indbyggede solceller. Gennem brug af præfabrikation og modulopbygning, skulle produktet være et omkostningseffektivt "hyldeprodukt" som bygherrer i fremtiden kunne benytte i deres byggeri.

1.4.2 Projektets risici

Der har, under hele projektet, været en risiko for at det ikke ville være muligt at udvikle et produkt som vil være attraktivt for markedet. Der har derfor været løbende fokus på produktionsomkostninger og produktets montage- og driftsmæssige egenskaber. Vi mener derfor at

vi løbende har forholdt os til de risici som har været identificeret, og har derfor også succesfuldt navigeret gennem projektet.

1.4.3 Implementering af projekt

Projektet udviklede sig, overordnet set, som forudset. Alle udviklingsprojekter vil have et element af uvidenhed og usikkerhed dybt integreret i sig. Derfor har der også været uforudsete drejninger i projektet. Dette har dog været forventet, og det har derfor været muligt at forholde sig til disse på en pragmatisk måde.

1.4.4 Oplevede projektet uforudsete forhindringer og ændringer?

Batteridrevet solafskærmning er vurderet til, på nuværende tidspunkt, at være uattraktivt i forhold til en "cost-benefit"-vurdering, i dette projekt. Konceptet vurderes dog stadig at være yderst interessant og relevant, og projektpartnerne har en løbende dialog om et fremtidigt rent kommercielt udviklingspotentiale på dette område.

Projektpartnerne har i stedet valgt at flytte fokus over på at øge montagevenligheden for produktet.

Det har ikke været muligt at finde et egnet demonstrationsprojekt inden for den givne tidsramme. Årsagen til dette skal findes i at det påtænkte projekt viste sig, ikke at være egnet til montage, og at det ikke var muligt at finde et alternativt projekt.

1.5 Project results and dissemination of results

Projektet i sin helhed må dermed siges at være en succes i forhold til målsætningen.

Projektet er iht. planen afsluttet med et markedsklart koncept, som planlægges markedsført i løbet af 2016. Markedsføring af produktet vil primært ske på firmaernes hjemmesider og igennem projekter.

Partnerne kan derfor ved projektets slutning endnu ikke registrere øget omsætning eller medarbejder stab. Det bør også noteres, at projektets resultater stilles offentligt til rådighed, således at den samlede økonomiske effekt skal findes hos en langt bredere kreds af virksomheder.

Hovedaktiviteterne i projektet er beskrevet ovenfor og har givet følgende resultater:

1.5.1 Vidensindhentning

Resultaterne for videns indhentningsfasen har været succesfuldt anvendt og implementeret i produktudviklingsfasen. Den indhentede viden har desuden kunnet bidrage til at projektdeltagerne har udviklet viden ud over den, i projektet, anvendte.

Videns indhentningsfasen har været udført med succes.

1.5.2 Produktudvikling

Produktudviklingsfasen består af udviklingen af selve konceptet. Der er tale om udnyttelse af en kombination af kendt teknologi, hvor udfordringen har været at undersøge at det rent teknisk og udførelsesmæssigt var praktisk og økonomisk muligt at gennemføre, og at man kunne opnå den ønskede tæthed og montage fordele.

Dette er lykkedes.

1.5.3 *Udvikling af prototype*

Udvikling af prototypen har foregået i et bredt samarbejde mellem alle projektpartnere, men rent praktisk har HSHansen forestået udviklingen. Denne proces har resulteret i udnyttelsen af spontant opståede ideer og synergier, som følge af den meget involverende "hands-on" proces som vi har valgt at følge.

Processen omkring udviklingen af prototypen har været succesfuld og lærerig.

1.5.4 *Test af prototype*

Test af prototypen har foregået henholdsvis hos producenten (Montage) og hos Teknologisk Institut (Tæthed for luft og vand)

Montagetest har foregået løbende, og har været en meget integreret del af hele projektet. Derfor har fysiske test ofte karakter af verificerende test, mere end undersøgende test.

Tæthedstest har kun kunnet foretages på den endelige prototype, og har derfor haft mere karakter af undersøgende test. Alle tiltag omkring tæthed har derfor været på et meget eksperimentelt niveau inden den udførte test. Efter tæthedstesten er produktet blevet optimeret på de områder som ikke agerede hensigtsmæssigt i forhold til tæthed.

De udførte tests har været vellykkede, og givet brugbare resultater for den videre udvikling.

1.5.5 *Demonstrationsprojekt*

Det har ikke været muligt at etablere et demonstrationsprojekt inden for den givne tidsramme. Projektet som var tiltænkt er blevet udskudt grundet politiske og finansielle grunde. Vi er dog informeret om, at der efter al sandsynlighed genoptages med en opstart i 4 kvartal 2016.

Der foreligger dog planer om at indbygge konceptet i et projekt med start i det kommende år. Der er stor interesse for at udnytte facader til at implementere solceller, og HSHansen har på nuværende tidspunkt flere projekter som kunne være interessante at implementere facadekonceptet i.

1.6 **Utilization of project results**

Partnerne forventer at kommercialisere projektets resultater på forskellig måder.

1.6.1 *HSHansen*

HSHansen forventer at kunne gå i gang med at markedsføre konceptet i løbet af 2016.

HSHansen forventer et øget projektsalg som følge af deres udviklede viden om Plug'n'play BIPV.

1.6.2 *Gaia Solar*

Gaia Solar forventer et øget projektsalg som følge af deres udviklede viden om Plug'n'play BIPV. Gaia Solar er blevet bedre til at designe facade integrerede solcelleanlæg – pv-system design, herunder anvendelse af mikroinvertere, opdeling af solcelleanlæg og optimal kabling af solcellemoduler på de enkelte facadeelementer. Dertil kommer bedre forståelse for og tilpasning af solceller til facade-element som byggekomponent og tilhørende byggeproces.

Denne viden kan anvendes i kommunikation og dialog med specielt bygherrer og rådgivere, som overvejer at integrere solceller i deres byggeprojekter, og medvirker til at styrke projektsalg af facadeintegrerede solcelleløsninger.

1.6.3 Teknologisk Institut

Teknologisk Institut forventer at kunne øge salget af rådgivning specielt vedrørende alu-facader og bygningsintegreret solenergi. Rådgivningen vil rette sig mod det kommercielle marked, samt rådgivende ingeniører og arkitekter.

Således vil alle partnerne kunne øge deres omsætning i større eller mindre grad med udgangspunkt i det udviklede koncept. Men da konceptet stilles offentligt til rådighed, sker det i konkurrence med de øvrige firmaer på markedet, hvor projektdeltagerne blot har fordel af at være "first movers" med intimt kendskab til konceptet.

Da konceptet som nævnt er baseret på kombination og udnyttelse af kendt teknologi, er der ikke planer om udtagning af patenter.

1.7 Project conclusion and perspective

1.7.1 Konklusion

Vi kan konkludere, at projektet har løst udfordringerne med at skabe hurtig elektrisk forbindelse mellem præfabrikerede facadeelementer med indbyggede solceller. Metoden med at skabe dels interne forbindelser og føringsveje i facadeelementer fra fabrik og dels hurtige koblinger mellem elementerne på byggepladsen har resulteret i et omkostningseffektivt bygningselement. Ligeledes har udnyttelsen af mikroinvertere gjort det muligt at skabe et element som eventuelt også kan drive en tilknyttet motoriseret solafskærmning. Projektet har skabt en smart facadeløsning som samtidig integrerer solceller og tilhørende koblinger mellem elementer.

Det kan også konkluderes, at man med dette system kan omlægge kostpriserne på udførelsen fra et relativt stort arbejde på byggepladsen til en mere "sikker" montage i en produktionshal. Det giver en prisbillig løsning og ikke mindst en løsning som kan udføres i et kontrolleret miljø, uden begrænsninger i relation til vejrforhold. Fremdriften bliver herved optimal.

Tankerne og forløbet i dette projekt har for HSHansen ledt os i retning af at kunne genbruge principper og erfaringen til andre føringsveje i præfabrikerede elementer. Vi tænker her f.eks. på solfangersystemer og/eller varmekilder hhv. elektriske eller vandbærende systemer. Vi vil med denne viden kunne bidrage til hele byggeprocessen med løsninger som gør byggeriet billigere, mere effektivt og lang mere montagevenligt.

1.7.2 Teknisk perspektivering

Kosteffektivt modularisering af BIPV facade-, montage- og elektriske systemer.

1.7.2.1 Fysisk Plug'n'play

- BIPV moduller kan let afmonteres af profilrammen og udskiftes - reducerer behov for værktøj og undgår behov for montage-specifikt solcelleværktøj.
- Plug'n'play mellemkabel til indvendig overgang mellem facadeelementer - brug af industri godkendte kabelstik (MC4 til MC3 adapter).
- Plug'n'play udskiftning af mikroinvertere på den indvendige facade, som let kan identificeres og udskiftes.

1.7.2.2 Serviceringsmæssig Plug'n'play

- Mulighed for forbyggende diagnosticering giver mere up-time og aktuel viden om sundhedstilstanden for solcellesystemet.
- Udvendigt servicering kan forskydes til en kosteffektiv udskiftning af defekte moduler eller til en periodemæssig optimering til f.eks. én gang om året. Dette minimerer risiko ved tidskritiske fejl, som kræver akut handling.
- Omdanner drift-udgift fra servicestimer til udskift-ved-defekt.
- Dedikeret BIPV modul servicering af elektriker, som kan måle sundhedstilstand på elektrisk parameter på den indvendig facade, frem for processkrævende servicering på systemniveau.
- Eventuelt defekte solcelleregioner kan lukkes ned modulært på henholdsvis system niveau (ved el-tavle), ved facade element (ved mikroinvertere) og på komponentniveau (modul string) – på den indvendige facade.
- Eventuelt defekte BIPV moduler kan let identificeres og udskiftes.

1.7.2.3 Sikkerhedsmæssig Plug'n'play

- Bedre el-sikkerhed i forhold til et mere acceptabelt niveau for de strømførende elektriske kredsløb (spændings niveauer på modul streng på under 50V frem for 800V).
- Reduceret dokumentations- og mærkningsbehov for indbyrdes afhængige elektriske og montagemæssige BIPV systemer (vilkårlig kabeltræk, mærkning og placering af komponenter). Plug'n'play systemet giver et mere direkte modulariseret system (hvad kan ses, er hvad det er).
- Sikkerhedsmæssig aspekter håndteres og kan give mere smidig godkendelse i forhold til standardisering af BIPV moduler og bygningsintegreret solcellesystemer.

1.7.2.4 Anvisningsmæssig Plug'n'play

- Færre anvisninger i forhold solcellesystems specifikt installation, og mere "indlejret viden" i montagesystemet (moduler kan kun monteres på én måde, kabelgennemføringer kan kun gøres på én måde).
- Domain-viden ansvar i interface mellem det elektriske og montagemæssige facade-systemer reduceres.

1.7.2.5 Plug'n'play detail planlægning på BIPV minimeres

- Solcelle-specifikt detalje planlægning minimeres.
- Skygge forhold optimeres i forhold til bygnings integreret forhold.
- Minimerer behov for optagelse af kostbare indvendige m² til dedikeret "inverterrum".

1.7.2.6 Plug'n'play levetidsforlængelse af BIPV system

- Moduler kan løbende udskiftes i levetiden og efter de 25 års levetid, kan dele af systemet fornyes afhængigt af behov.
- Skyggeforhold optimeres og eventuel slid reduceres (f.eks. pga. hot-spotting af moduler).

1.7.2.7 Plug'n'play bankability i forhold til BIPV investering

- Solcelleproduktion kan tydeligt monitoreres.
- Håndtering, identificering og minimering af fejlkilder giver mindre forrentningssensitivitet i forhold til investering.
- Omkostningsmæssig loft på værdi af servicering og tid til servicering angives af udskiftningsmæssig omkostning.
- Inverter kan garanteres eller let udskiftes til 25 års levetid.
- Levetiden på BIPV systemer kan forlænges udover 25 år.

Annex

- Bilag 01 Isætning af solcellepaneler i facadesystemet
- Bilag 02 Introduktion til facadeelement montageprincipper (link til montagefilm)
- Bilag 03 Adgang til installationer og mulighed for el-udtag
- Bilag 04 Oversigtstegning for Mock up elementer
- Bilag 05 Introduktion til facadeelement stereotyper
- Bilag 06 Sammenligning af inverter teknologier Gaia Solar
- Bilag 07 Prøveopstilling af præfabrikerede facadeelementer med solceller
- Bilag 08 Lidt billeder
- Bilag 09 Testrapport for test af luft og vand i vinduesprøvestand

Projekt titel	Plug'n'play façade med bygningsintegrerede solceller
Projekt identification (program abbrev. and file)	EUDP J. nr. 1937-0007
Bilag nr.	01

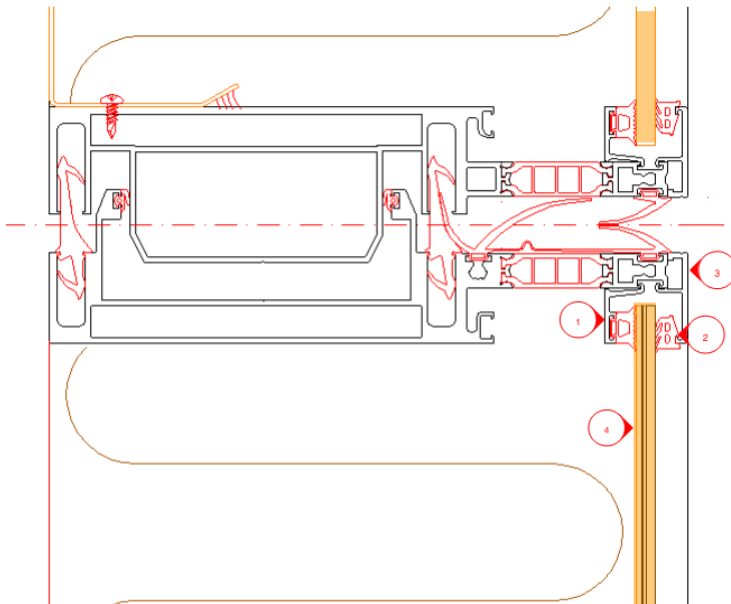
Isætning af solcellepaneler i facadesystemet

Der er til systemet udviklet en nem og meget hurtig montagemetode til ilægning af solcellepaneler i facadesystemet. Systemet kræver 3 komponenter ud over solcellepanelet, som kan tilpasses alle varianter. Alt monteres herefter fra fabrik på en nem og hurtig måde.

I produktionen placeres elementet med bagsiden nedad og der etableres dampspærre, isolering og føringsveje internt i elementet. Herefter monteres bæreprofil inkl. gummi, dernæst solecellen som til sidst låses med hhv. glasliste og gummi.

Bagside

Forside



Systemkomponenter:

1. Bæreprofil langs alle kanter inkl. gummi
2. Låsegummi
3. Glasliste
4. Solcelle panel

Montagemetode:

Bæreprofil inkl. gummi monteres i ramme
Solcellepanel lægges i systemet og udevndig glasliste monteres. Til sidst låses panelet med låsegummi

Her ses panel med udvendig liste og låse gummi. (Vist som prøve uden solceller)

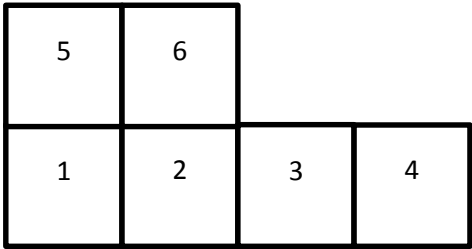
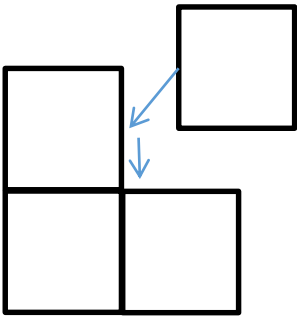
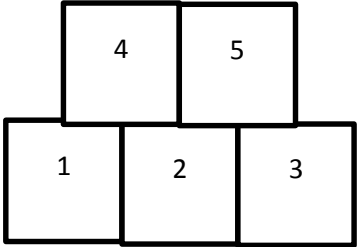
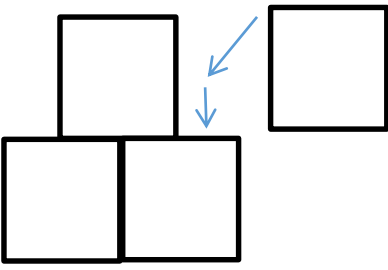


Projekt titel	Plug'n'play façade med bygningsintegrerede solceller
Projekt identification (program abbrev. and file)	EUDP J. nr. 1937-0007
Bilag nr.	02

Introduktion til facadeelement montageprincipper

Dette afsnit beskriver kort de montageprincipper og den systematik hvorved de forskellige elementer skal placeres på/ved hinanden.

Udfordringen med montage inkl. sammenkoblinger/føringsveje besværliggøres af, at der skal skabes den fornødne tæthed i elementernes samling, ligesom bevægelsen ned/sidevejs giver udfordringer i sammenkoblingen.

Montagesystematik	Placering af det enkelte element
	
	

Montagevideo kan ses på følgende link:

<https://www.youtube.com/watch?v=Kqh4Tpals3g>

Projekt titel	Plug'n'play façade med bygningsintegrerede solceller
Projekt identification (program abbrev. and file)	EUDP J. nr. 1937-0007
Bilag nr.	03

Adgang til installationer og mulighed for el-udtag.

Da der typis vil være krævet en eller anden for for adgang til installationer og/eller sammenkoblinger er der udviklet en adgang til installationerne.

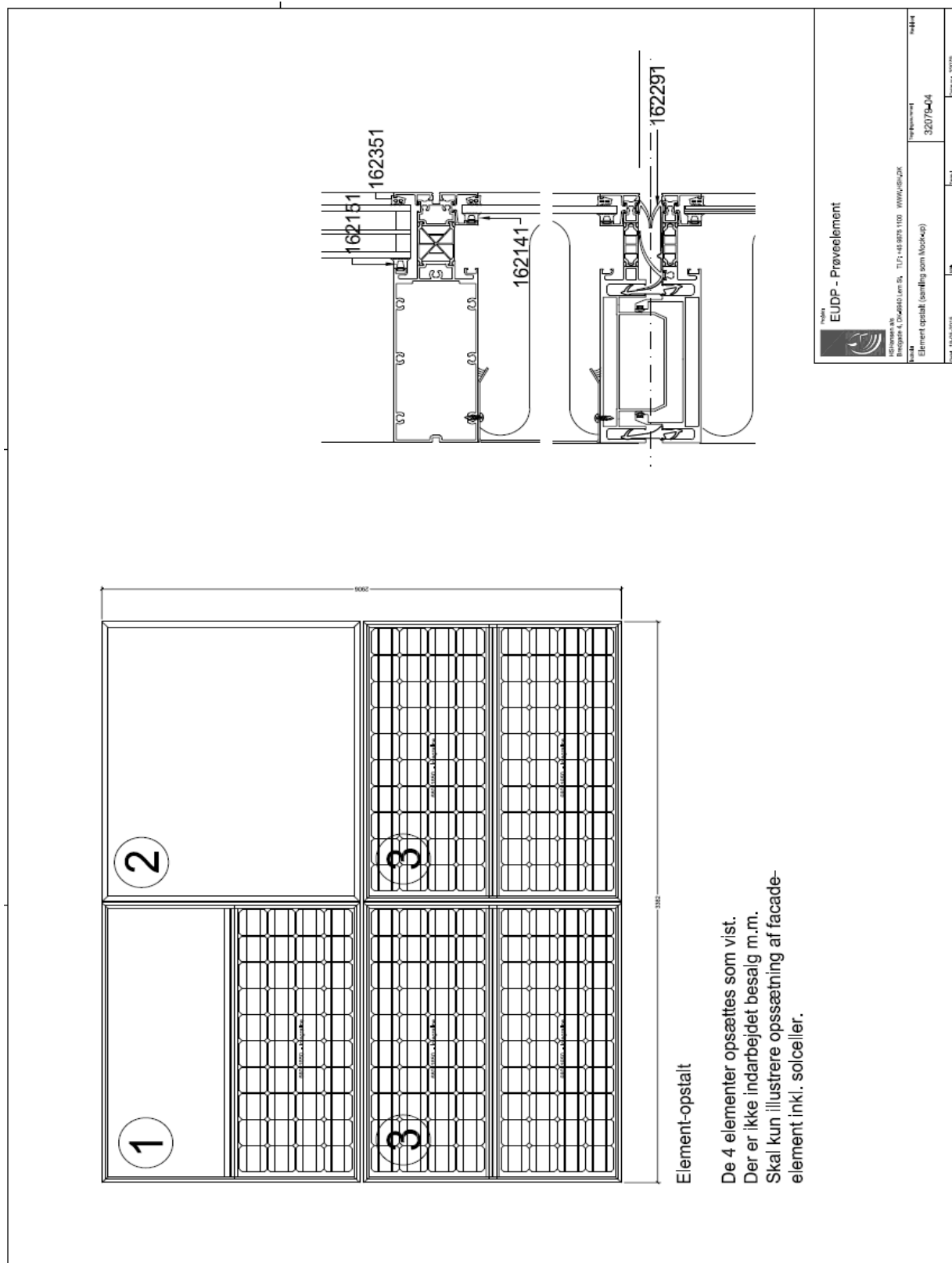
I denne kan man også tænkes sig at der placeres el- og data udtag ligesom afbrydere også nemt kan placeres her. I dette tilfælde er der brugt en eksisterende type kabalekanal som er indbygge specielt i basiden på facademodulet.



På bagesiden af facadeelementet kan alle installationer tilgås fra panel. I panelet kan også monteres kontakter eller andre udtag.

Projekt titel	Plug'n'play façade med bygningsintegrerede solceller
Projekt identification (program abbrev. and file)	EUDP J. nr. 1937-0007
Bilag nr.	04

Oversigtstegning for Mock up elementer.



Projekt titel	Plug'n'play façade med bygningsintegrerede solceller
Projekt identification (program abbrev. and file)	EUDP J. nr. 1937-0007
Bilag nr.	05

Introduktion til facadeelement stereotyper

Herunder eksempler som beskriver de facadeelement stereotyper, som HSHansen leverer i dag – og som plug n´play facaden derfor skal forholde sig til.

Tendensen er, at areal af ikke glas øges grundet skærper krav i f.eks. BR15 – Det areal hvorpå der kan etableres solceller udgør typisk ml. 50-80% af facadeelement arealet. Det giver ”frihed” for arkitekten i forhold til layout af bygningsfacaden.

Typiske facade layout.

Facadeelementer							
PV-syd	PV-nord	PV-sy+no	PV-total	PV-vest	PV-øst	PV-sydvest	PV-nordøst
Facadeudtryk							

Projekt titel	Plug'n'play façade med bygningsintegrerede solceller
Projekt identification (program abbrev. and file)	EUDP J. nr. 1937-0007
Bilag nr.	06

Sammenligning af inverter teknologier Gaia Solar

Sammenligning af inverter teknologier

Gaia Solar

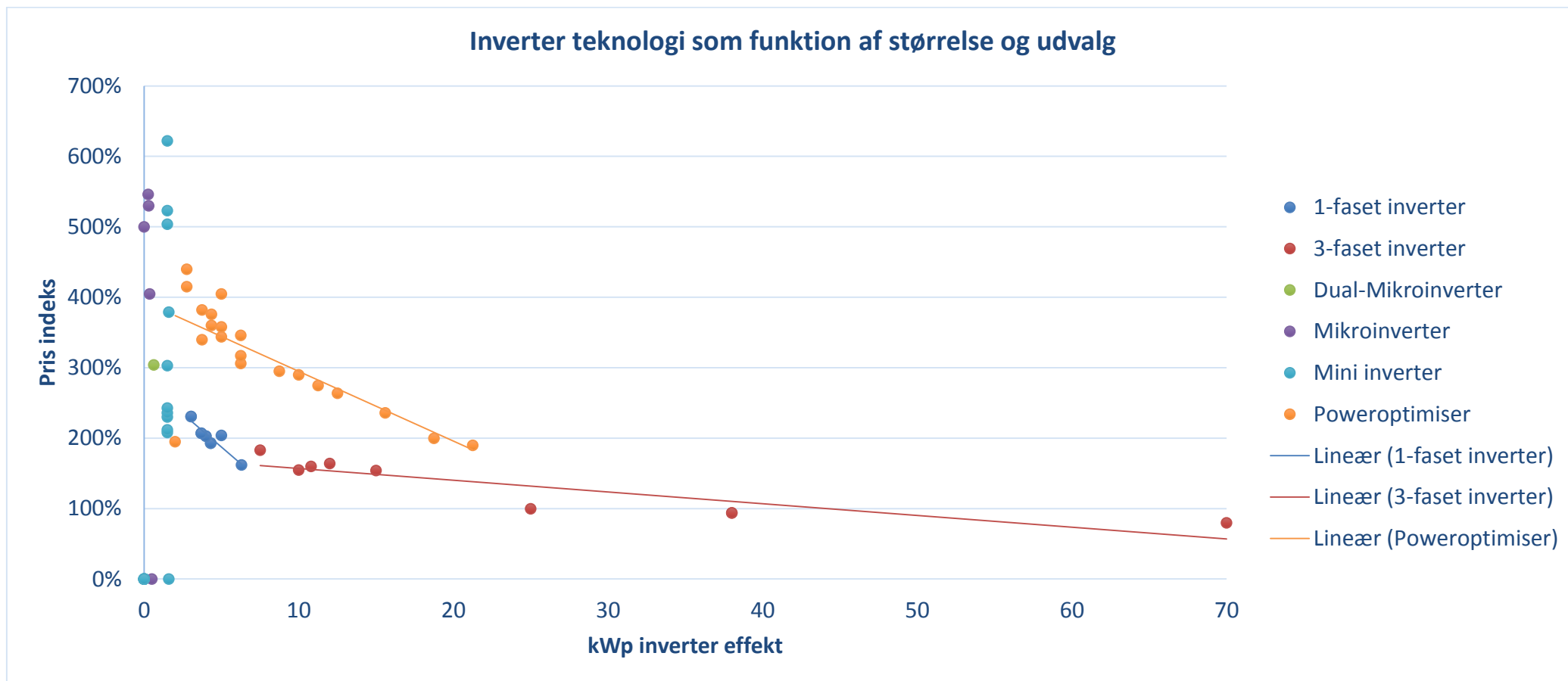
Indhold:

1.	Inverter teknologi som funktion af størrelse og udvalg	2
2.	Sammenligning af inverter teknologi på specifikationer, fordele og ulemper og applikationer	3
2.1	Kort sammenligning	3
2.2	Power optimizer	4
2.3	Microinverter	5
2.4	Mini inverters	6
2.5	1-faset inverter	7
2.6	Lille 3-faset inverter	8
2.7	Stor 3-faset inverter	9
3.	Appendix – benchmark af henholdsvis microinverter og power optimisers	10
	Vedlagte bilag	
	Bilag 1, x	



GAIA SOLAR

1. Inverter teknologi som funktion af størrelse og udvalg



2. Sammenligning af inverter teknologi på specifikationer, fordele og ulemper og applikationer

2.1 Kort sammenligning

Microinverters er ideelle til små 1 - fasede systemer op til 4 kWp , men omkostningseffektiviteten skalerer ikke med systemets størrelse. Endvidere kræver 3 - faset systemer ekstra kabel træk og detaljeret planlægning for at balancere sol produktion på hver fase. I forhold til BIPV, er mikro-invertere kun kompatible med solcellemoduler, som er deleligt med 200-300W modul effekt.

Poweroptimisers er velegnede til 3-fasede systemer i størrelsen 15-30 kWp. Skalering ud over denne størrelse kan ikke konkurrerer omkostningseffektivt med store invertere.

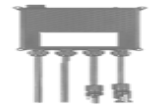
String invertere kræver plads i bygningen. String invertere giver ikke decentral MPPT tracking. Uafhængige MPPT tracker i streng invertere optimerer typisk modul områder, svarende til alt fra 7 - 40m² . Levetiden på string invertere er lavere end levetiden for PV -systemet, cirka 10-15 år.

Følgende sektion sammenligner specifikationer, fordele og ulemper og applikationer på Engelsk af hensyn til terminologier.

GAIA SOLAR

2.2 Power optimizer

Specifications	Amount	Advantages	Disadvantages	BIPV Scenarios
Power range	300-700W	The power optimizers are compatible with any inverter, including 3-phase inverters	In some cases, the maximum voltage is reached before the power rating is reached, limiting design flexibility.	For projects larger than 11 kWp, where string inverter cannot handle shading.
MPPT voltage range (indicative)	10-125V	The models range from input power of: 300, 350, 405, 500, 600, 700W	High voltages in the winter season, limits cell count per micro inverter	For projects, smaller than 11 kWp, where 3-phase production is a necessity.
Number of mppt tracker	1 per unit	The power optimizers of different rating can be combined for increased flexibility.	Not a familiar solution for installators or planners	For BIPV projects or projects with increased level of shading
Cells per tracker (indicative)	20-250 cells	High BIPV design freedom for 20-250 cells per unit	Requires coordination and education of installators and planners	For projects with enhanced requirements for monitoring such as performance contracts, education.
Area covered per tracker	0,5-6,25 m ²	Power optimizers becomes exceedingly cost-effective above 11kWp, compared to microinverters	Require dedicated inverter rooms and placement power optimizers	
Form factor (indicative)	200 x 150 x 30 mm	Decentral monitoring is advantageous for operation & maintenance and performance contracts		
Efficiency	98.6%-99.5% (peak)			
Pricing (price index: 100%)	200-400%			



GAIA SOLAR

2.3 Microinverter

Specifications	Amount	Advantages	Disadvantages	BIPV Scena
Power range	210-500W	Especially dual micro inverters are cost-effective compared to single micro inverters.	In most cases, the maximum voltage is reached before the power rating is reached, limiting design flexibility.	For projects, smaller than 1 kWp, or regions with distributed solar systems on same building
MPPT voltage range (indicative)	20-45V	Decentral monitoring is advantageous for operation & maintenance and performance contracts	For BIPV, requires long external cabling run on the building reducing ease of maintenance.	For small BIPV installations or small separate BIPV zone.
Number of mppt tracker	1-2 per unit	For installations, smaller than 11kWp, microinverters are more cost effective than power optimizers.	High voltages in the winter season, limits cell count per micro inverter	For project, where the electricity consumption is primarily 1-phase
Cells per tracker (indicative)	40-90 cells	The micro inverters exist in different power ratings: 200, 250, 500	Microinverters are 1-phase and requires complex 3-phase wiring layout for above 3.75kWp, which especially for BIPV is undesirable	For projects with shading conditions on module level
Area covered per tracker	1- 2,2 m ²	For an area coverage of 3,7-17m ² , mini inverters match many building elements.	Large form factor relative to power output	For projects with different number of modules per string
Form factor (indicative)	250 x 150 x 30 mm	Cost effective cable run	1 phase inverter requires even distribution on all phases.	For projects, where the module size is divisible with 40-90 cells.
Efficiency	95,5%-96,5% (peak)	Parallel coupling of strings per mppt tracker, allows combining strings with similar voltage		
Pricing (price index: 100%)	300-400%			





2.4 Mini inverters

Specifications	Amount	Advantages	Disadvantages	BIPV Scenarios
Power range	1,3kW-2kW	Relative to 1-phase inverters, mini inverter provide a design flexibility	Potential of shading within same building element	Applicable for small BIPV installations
MPPT voltage range (indicative)	75-350V	Relative to microinverter, mini inverters provide lower unit count, and fewer installations.	The least cost-effective per kWp without the advantage with regards to optimisation within the building element	
Number of mppt tracker	1 per unit	For an area coverage of 3,7-17m2, mini inverters match many building elements.	Large form factor relative to power output	
Cells per tracker (indicative)	150-700 cells	Cost effective cable run	Not easily scalable for large installations	
Area covered per tracker	3,7-17 m2		1-faset output requires complex 3-fase wiring layout for above 3.75kWp, which especially for BIPV is undesirable	
Form factor (indicative)	400 x 300 x 150 mm			
Efficiency	96,2-97,5% (peak)			
Pricing (price index: 100%)	200%			

GAIA SOLAR

2.5 1-faset inverter



Specifications	Amount	Advantages	Disadvantages	BIPV Scenarios
Power range	1,3-3,75kWP	Installations familiarity for small-scale electrical installators	For BIPV, requires long external cabling run on the building reducing ease of maintenance.	Applicable for small BIPV installations
MPPT voltage range (indicative)	125-500V	Solution has long track-record	1-phase inverter requires even distribution on all phases.	For installations with space for inverter placement
Number of mppt tracker	1 per unit		For BIPV, the compatible systems designs are not easily divisible with number of solar cells per building element.	
Cells per tracker (indicative)	250 – 1000 cells		High susceptibility to shading in one or more building element, reduces performance for all building elements	
Area covered per tracker	6,25-25 m2		3-phase inverters with 3-mppt tracker, provide same regional mppt tracking with better cost-effective.	
Form factor (indicative)	450 x 350 x 150 mm			
Efficiency	96,2-97,5% (peak)			
Pricing (price index: 100%)	175%			

GAIA SOLAR

2.6 Lille 3-faset inverter

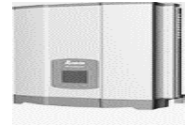


Specifications	Amount	Advantages	Disadvantages	BIPV Scenarios
Power range	6kWp+	The 3-phase inverter has 2+ mppt trackers for approximately same module area, as 1-phase inverters.	For BIPV, requires long external cabling run on the building reducing ease of maintenance.	Medium/Large scale BIPV with same orientation
MPPT voltage range (indicative)	300-800V	3-phase inverter ensure equal production on all 3-phases.	For BIPV, the compatible systems designs are not easily divisible with number of solar cells per building element.	For installations with a dedicated inverter room
Number of mppt tracker	2 per unit	Solution has long track-record		
Cells per tracker (indicative)	600-1600 cells			
Area covered per tracker	15-40 m ²			
Form factor (indicative)	500 x 450 x 200 mm			
Efficiency	97,6-98,3% (peak)			
Pricing (price index: 100%)	150%			

GAIA SOLAR

2.7 Stor 3-faset inverter

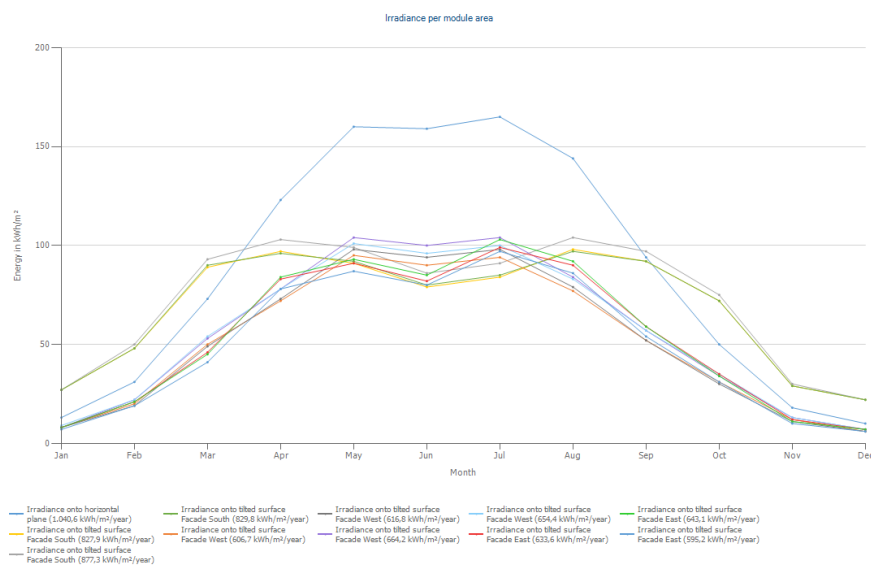
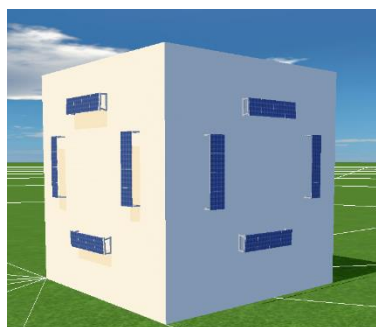
Specifications	Amount	Advantages	Disadvantages	BIPV Scenarios
Power range	15kWp+	Highest cost effectivity per Wp	Higher number of modules per inverter	For installations with a dedicated inverter room
MPPT voltage range (indicative)	300-800V	Parallel coupling of strings per mppt tracker, allows combining strings with similar voltage	Long outdoor cable run	Large scale BIPV with same orientation
Number of mppt tracker	2 per unit	Application of X x mppt tracker		
Cells per tracker (indicative)	600-1600 cells	Application of X x amount strings per mppt trackers ((10A, 20A)		
Area covered per tracker	15-40 m2	Solution has long track-record		
Form factor (indicative)	600 x 600 x 300 mm			
Efficiency	97,9-98,3% (peak)			
Pricing (price index: 100%)	100%			



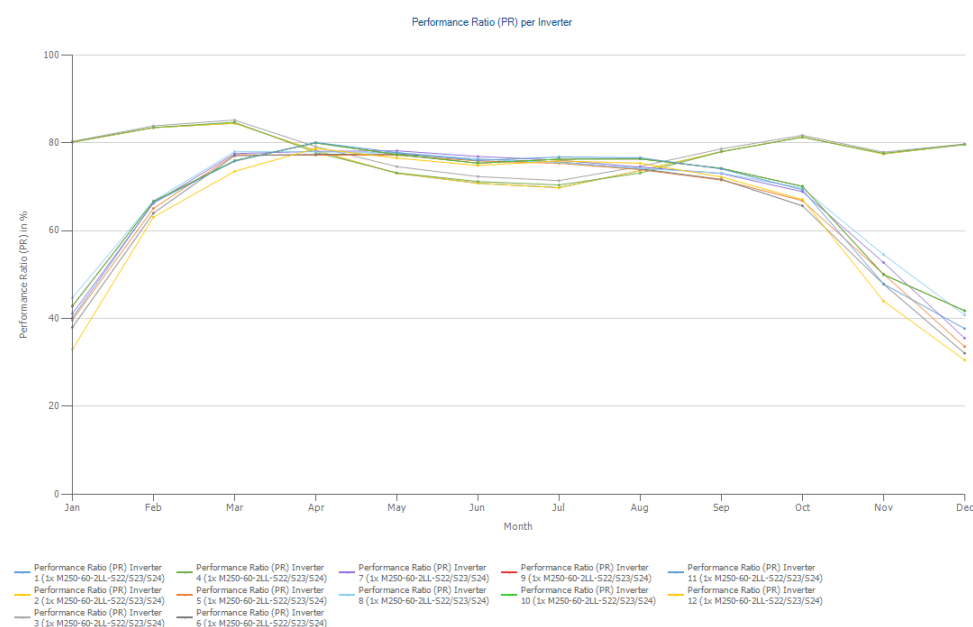
GAIA SOLAR

3. Appendix – benchmark af henholdsvis microinverter og power optimisers

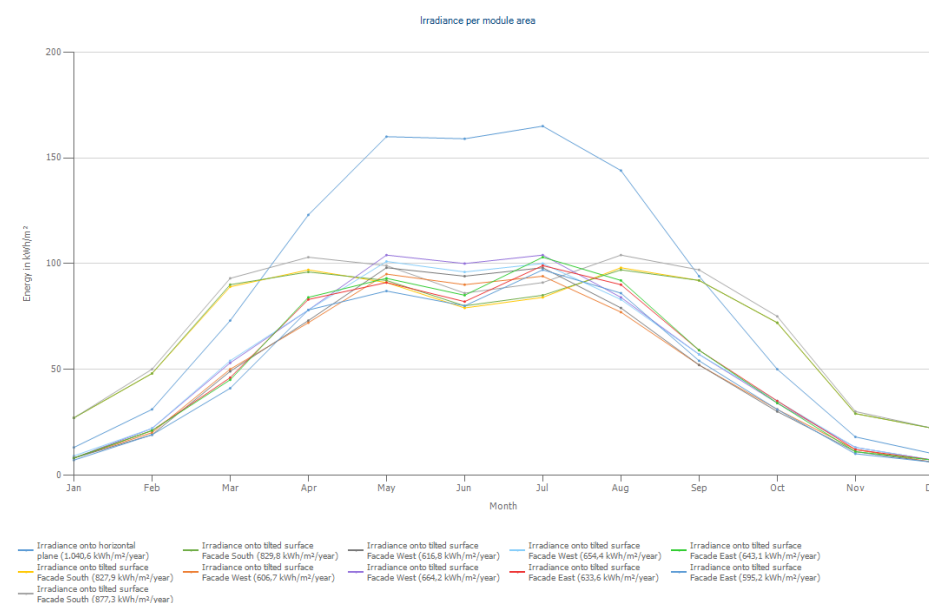
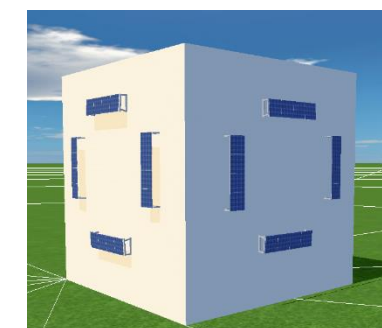
Solindstråling



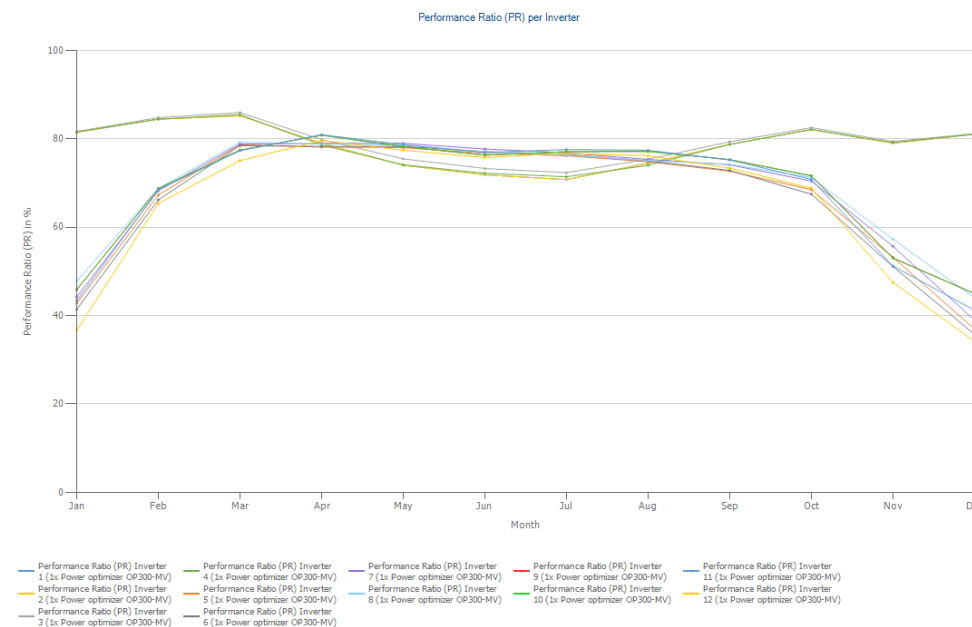
Performance ratio



Solindstråling



Performance ratio



Projekt titel	Plug'n'play façade med bygningsintegrerede solceller
Projekt identification (program abbrev. and file)	EUDP J. nr. 1937-0007
Bilag nr.	07

Prøveopstilling af præfabrikerede facadeelementer med solceller



Her ses 4 facadeelementer hvor de 3 er etableret med solceller og 1 stk. med glas.

Projekt titel	Plug'n'play façade med bygningsintegrerede solceller
Projekt identification (program abbrev. and file)	EUDP J. nr. 1937-0007
Bilag nr.	08

Lidt Billeder



Isætning af solcellepaneler med specialdesignede lister og låsegummi.



Eksempel på tæt gennemføring internt i elementet

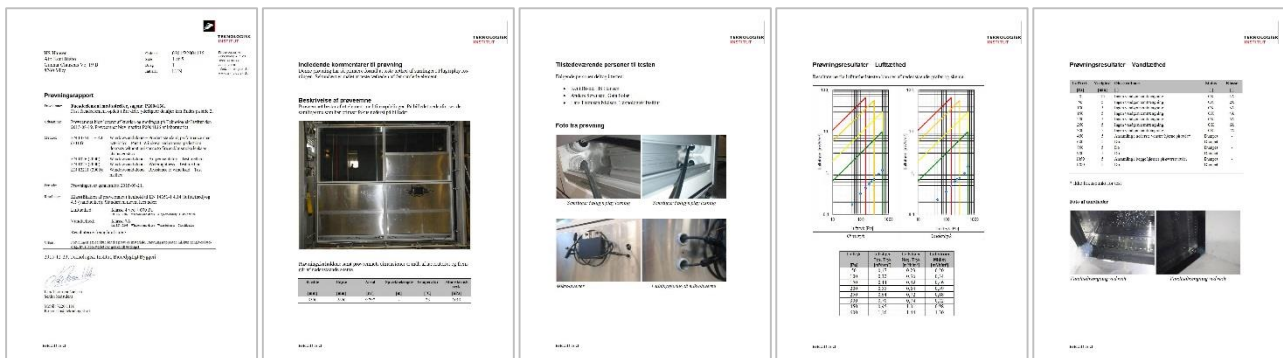


Placering af mikroinvertere på bagside af element.

Projekt titel	Plug'n'play façade med bygningsintegrerede solceller
Projekt identification (program abbrev. and file)	EUDEP J. nr. 1937-0007
Bilag nr.	09

Testrapport for test af luft og vand i vinduesprøvestand

På de følgende sider er testrapporten for luft og vand på det samlede element foretaget hos Teknologisk Institut den 21. august 2015.



Mini udgave af testrapport.

Projekt titel	Plug'n'play façade med bygningsintegrerede solceller
Projekt identification (program abbrev. and file)	EUDP J. nr. 1937-0007
Bilag nr.	09



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

HS Hansen
Att: Kent Bisbo
Gunnar Clausens Vej 19 B
8260 Viby

Ordrenr. 0301/P2004136
Side 1 af 5
Bilag 1
Initialer LTN

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

Prøvningsrapport

- Prøveemne:** **Facadeelement med solceller, sagsnr. P2004136.**
Fast facadeelement opdelt i fire dele, yderligere detaljer kan findes på side 2.
- Udtagning:** Prøveemnet blev leveret af kunden og modtaget på Teknologisk Institut den 2015-08-19. Prøveemnet blev mærket P2004136 af laboratoriet.
- Method:** EN 14351-1 + A1 Windows and doors – Product standard, performance characteristics – Part 1: Windows and external pedestrian doorsets without resistance to fire and/or smoke leakage characteristics
EN 1026 (2000): Windows and doors – Air permeability – Test method
EN 1027 (2000): Windows and doors – Watertightness – Test method
EN 12211 (2000): Windows and doors – Resistance to wind load – Test method
- Periode:** Prøvningen er gennemført 2015-09-21.
- Resultater:** Klassifikation af prøveemnet i henhold til EN 14351-1 4.14 (lufttæthed) og 4.5 (vandtæthed). Standarden nævnt herunder:
Lufttæthed: Klasse 4 ved ± 600 Pa
iht. EN 12207 – Windows and doors – Air permeability - Classification
Vandtæthed: Klasse 7A
iht. EN 12208 – Windows and doors – Watertightness – Classification
Resultaterne fremgår af side 3.
- Vilkår:** Prøvningen gælder kun for det prøvede materiale. Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag, hvis laboratoriet har godkendt uddraget.

2015-12-23, Teknologisk Institut, Bæredygtigt Byggeri

Lars Thomsen Nielsen
Senior konsulent

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

Projekt titel	Plug'n'play façade med bygningsintegrerede solceller
Projekt identification (program abbrev. and file)	EUDP J. nr. 1937-0007
Bilag nr.	09

Indledende kommentarer til prøvning

Denne prøvning har sit primære formål at teste tæthed af samlinger i Plug'n'play løsningen. Sekundært er målet at teste tætheden af det samlede element.

Beskrivelse af prøveemne

Prøveemnet består af et element med fire opdelinger. På billedet nedenfor ses de samlingerne som har primær fokus nederst på billedet.



Prøvningsforholdene samt prøveemnets dimensioner er målt af laboratoriet og fremgår af nedenstående skema.

Bredde	Højde	Areal	Sprækkelængde	Temperatur	Atmosfærisk tryk
[mm]	[mm]	[m ²]	[m]	[°C]	[hPa]
3390	2890	9,797	-	23	1013

Projekt titel	Plug'n'play façade med bygningsintegrerede solceller
Projekt identification (program abbrev. and file)	EUDP J. nr. 1937-0007
Bilag nr.	09

Tilstedeværende personer til testen

Følgende personer deltog i testen:

- Kent Bisbo, HS Hansen
- Anders Sørensen, Gaia Solar
- Lars Thomsen Nielsen, Teknologisk Institut

Foto fra prøvning



Samlinger i plug'n'play løsning



Samlinger i plug'n'play løsning



Mikroinverter

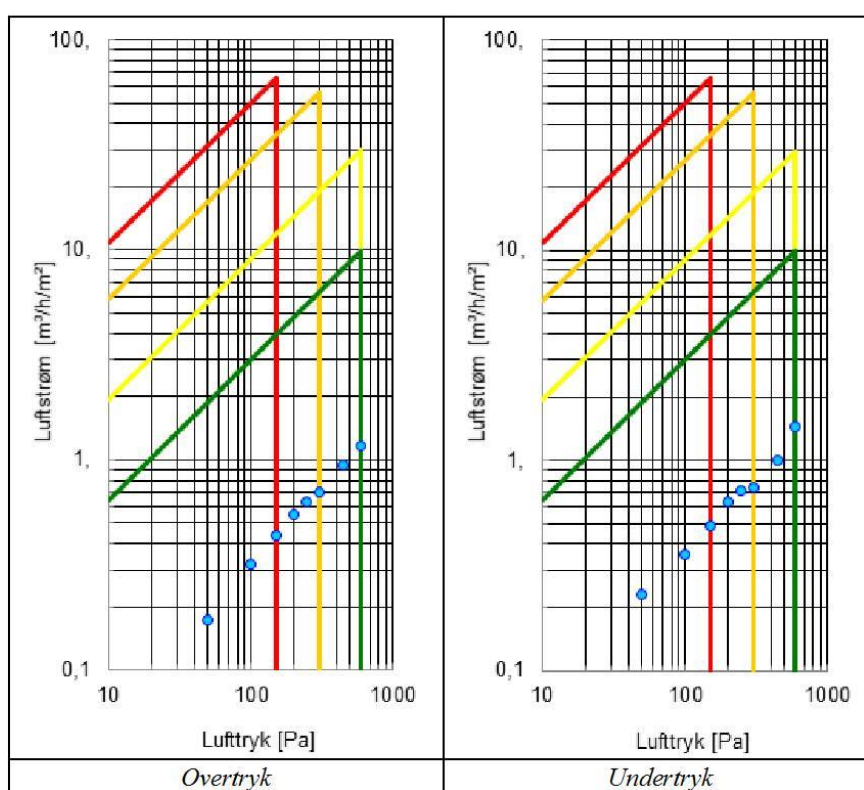


Ledningsføring til mikroinverter

Projekt titel	Plug'n'play façade med bygningsintegrerede solceller
Projekt identification (program abbrev. and file)	EUDP J. nr. 1937-0007
Bilag nr.	09

Prøvningsresultater – Lufttæthed

Resultaterne fra lufttæthedstesten kan ses af nedenstående grafer og skema.



Lufttryk [Pa]	Luftstrøm Pos. Tryk [m³/h/m²]	Luftstrøm Neg. Tryk [m³/h/m²]	Luftstrøm Midlet [m³/h/m²]
50	0,17	0,23	0,20
100	0,32	0,36	0,34
150	0,44	0,49	0,46
200	0,55	0,64	0,59
250	0,64	0,72	0,68
300	0,70	0,74	0,72
450	0,95	1,01	0,98
600	1,16	1,44	1,30

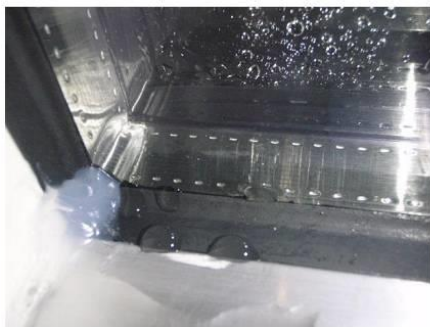
Projekt titel	Plug'n'play façade med bygningsintegrerede solceller
Projekt identification (program abbrev. and file)	EUDP J. nr. 1937-0007
Bilag nr.	09

Prøvningsresultater – Vandtæthed

Luftryk [Pa]	Varighed [min]	Observationer [-]	Status [-]	Klasse [-]
0	15	Ingen vandgennemtrængning	OK	1A
50	5	Ingen vandgennemtrængning	OK	2A
100	5	Ingen vandgennemtrængning	OK	3A
150	5	Ingen vandgennemtrængning	OK	4A
200	5	Ingen vandgennemtrængning	OK	5A
250	5	Ingen vandgennemtrængning	OK	6A
300	5	Ingen vandgennemtrængning	OK	7A
450	5	Ansamling i nederste venstre hjørne på rude*	Dumpet	-
600	5	Do.	Dumpet	-
750	5	Do	Dumpet	-
900	5	Do	Dumpet	-
1050	5	Ansamling i begge hjørner på øverste rude.	Dumpet	-
1200	5	Do.	Dumpet	-

* ikke fokuspunkt for test

Foto af utætheder



Vandindtrængning ved rude



Vandindtrængning ved rude