



Journalnr: 1936-0009
Tagkassette med solceller og indbygget ventilation

Slutrapportering for projektperioden

Version: Udkast 1.0

09. August 2020

Projektansvarlig virksomhed: Enemærke & Petersen a/s

Projektleder: Anders Sørensen, Forretningsudvikler, Enemærke & Petersen a/s

Indhold

Slutrapport		3
1.1	Projektdetaljer	3
1.2	Kort beskrivelse af projektmål og resultater	3
1.2.1	Kort beskrivelse af projektmål og resultater, dansk	3
1.2.2	Kort beskrivelse af projektmål og resultater, engelsk	3
1.3	Resume	4
1.3.1	Formål	4
1.3.2	Hovedaktiviteter	4
1.4	Projektmål	16
1.4.1	Projektmål	16
1.4.2	Projektrisici	16
1.4.3	Gennemførelse af projektet	16
1.4.4	Oplevede vi nogen forhindringer eller ændringer?	17
1.5	Projektresultater og formidling af resultater	17
1.5.1	Videnindsamling	18
1.5.2	Test af ventileret køleeffekt	18
1.5.3	Udvikling og fremstilling af tagkassette	18
1.5.4	Test af tagkassette for tæthed	18
1.5.5	Test af tagkassette i mock-up	18
1.5.6	Afrapportering	19
1.6	Udnyttelse af projektresultater	19
1.6.1	Enemærke & Petersen	19
1.6.2	Teknologisk Institut	19
1.6.3	SustainSolutions	19
1.6.4	Erik Arkitekter	19
1.6.5	HydroTec Aps	19
1.7	Projekt konklusion og perspektivering	20

Slutrapport

1.1 Projektdetaljer

Projekt navn	Tagkassette med solceller og indbygget ventilation
Projekt identifikation (jr. Nr)	EUDP j. nr. 1936-0009
Program navn	EUDP
Projektholder	Enemærke & Petersen a/s, Ole Hansens Vej 1, 4100 Ringsted
Projektpartnere	Teknologisk Institut SustainSolutions ApS ERIK Arkitekter (tidl. Erik Møller Arkitekter) A/S Hydrotec ApS
CVR	10503698
Dato for indsendelse	20. februar 2021

1.2 Kort beskrivelse af projektmål og resultater

1.2.1 Kort beskrivelse af projektmål og resultater, dansk

Målet med dette projekt er at udvikle en prisgunstig bygningsintegreret solcelleløsning der kan anvendes på containerboliger, midlertidige studieboliger og byggepladser. Det skal ske gennem modulære tagkassetter som kan sammensættes så de passer til den enkelte container- og modulstørrelse og standard. Tagkassetterne vil være præfabrikerede og kunne monteres hurtigt på eksisterende container eller modulkonstruktion.

Projektets resultat er udviklingen af to nye tagkassetter med solceller. Den ene er en tungere trækonstruktion til byggepladser – hvor tagkassetten skaber en overdækket arbejdsstation ml. to containere, og den anden er en meget let tagkassette-konstruktion, der er designet så den kan monteres på genhusningspavilloner uden at belaste tagets bæreevne. De udviklede løsninger er begge valgt med naturlig ventilation fremfor mekanisk, da hurtig montage og modularitet har været vigtigt.

Vi har formået at skabe en prisgunstig solcelleløsning, der fremstår semi-integreret, og med udgangspunkt i dens modularitet og fleksibilitet kan anvendes til mange typer midlertidigt byggeri.

1.2.2 Kort beskrivelse af projektmål og resultater, engelsk

The aim of this project is to develop a cost-effective building-integrated solar cell solution that can be used on container houses, temporary housing and construction sites. This must be done through modular roof cassettes that can be assembled to fit the individual container / module size and standard. The roof cartridges will be prefabricated and could be mounted quickly on existing container or modular construction.

The result of the project is the development of two new roof cassettes with solar modules. The first one is a heavy wooden structure for construction sites - where the roof cassette creates a covered workstation between containers, and the other one is a very light roof cassette design that is intended to be mounted

on pavilions without challenging their the load bearing capacity. The developed solutions are both chosen with natural ventilation rather than mechanical, as rapid assembly and modularity has been important.

We have managed to create a cost-effective solar PV-solution that appears semi-integrated, and based on its modularity and flexibility, it can be used for many types of temporary buildings.

1.3 Resume

1.3.1 Formål

De kommende år vil der komme en stor renoveringsbølge for at forbedre boligernes energiforbrug, som tegner sig for 40% af det samlede energiforbrug i Danmark. En væsentlig del af dette energiforbrug kommer fra varmetab gennem tagfladen og der vil derfor ske mange tagrenoveringer de kommende år. Dertil kommer at der i Danmark over de næste par år skal etableres op imod 24.000 studieboliger, og her er containerboliger i spil som en oplagt løsning, hvor solceller kan medvirke til at sikre billigere driftsøkonomi og husleje for de studerende.

De sidste år har mange boligejere fået monteret solceller på deres tage grundet gunstige tilskudsordninger. Det har arkitektonisk ikke altid resulteret i de bedste resultater, så derfor er der brug for nye løsninger, som kan integreres på en god måde i den danske boligmasse. Sideløbende har byggebranchen igennem de senere år fået et større fokus på at mindske energiforbrug i forbindelse med byggeriet. Det er projektets forhåbning af stå med en løsning der udover anvendelse på boliger også kan anvendes på byggepladser og dermed medvirke til at reducere energiforbrug og CO₂-udledning der er i forbindelse med byggeri.

Målet med dette projekt er at udvikle en prisgunstig bygningsintegreret solcelleløsning der kan anvendes på containerboliger, midlertidige studieboliger og byggepladser. Det skal ske gennem modulære tagkassetter som kan sammensættes så de passer til den enkelte container- og modulstørrelse og standard. Tagkassetterne vil være præfabrikerede og kunne monteres hurtigt på eksisterende container eller modulkonstruktion.

Tagkassetterne tænkes præfabrikerede, isolerede, tætte for vand og skal kunne monteres hurtigt på eksisterende konstruktioner. I tagkassetterne skal solcellerne indbygges på sådan vis at de indgår i tagkonstruktionen og ikke virker som et fremmedelement på tagfladen. En ventilationsspalte langs kanten mellem solcellepanel og tagkassette vil skabe en fin afgrænsning og øge den arkitektoniske værdi af løsningen. Det vil samtidig skabe et mekanisk ventileret hulrum under solcellerne som kan medvirke til at øge effektiviteten af solcellerne og energieudbytte, hvor drift af ventilator skabes fra solcellepanelerne, så ingen ekstern kabling er nødvendig.

Tagkassetten skal kunne bruges både til renovering og nybyggeri. Andre varianter af tagkassetten kan på sigt indeholde andre elementer end solceller, for eksempel ovenlys, solfangere eller energiabsorbere til varmepumper.

1.3.2 Hovedaktiviteter

1.3.2.1 Vidensindsamling

Den statiske indvirken på konstruktionen ved anvendelse af tagkassetter skal undersøges nærmere, herunder faldgruber som fx afvanding, sne, montage, isolering mm. Standarder på området mht. test for klimapåvirkninger og elarbejde undersøges.

Enemærke & Petersens a/s er medlems af træelementforeningen. Det betyder at virksomheden er certificeret efter prEN14732 jf. Bygningsreglementets krav til trækonstruktioner efter Eurocode 5: Trækonstruktioner - med tilhørende nationalt annek: DS/EN 1995-1-1 DK NA. Det betyder at de elementer der produ-

ceres lever op til specificerede kvalitetskrav omkring statik, fugt, varmeisolering, brand, materialer, tolerancer mv. Denne certificering har også dannet udgangspunkt for arbejdet med tagkassetterne.

Indledende aktiviteter har for Enemærke & Petersens vedkomne inkluderet:

- Identifikation af containere og pavilloner på byggepladser, hvad bliver der brugt – og hvordan er mulighederne at montere tagkassetter.
- Undersøgelse af studieboligkoncepter med hensyn til at vurdere mulighedsrum for introduktion af tagkassette som energi producerende element.
- Generelt blik på eksisterende krav til præfab tagkassetter i egen produktion og review af egne byggesager og eksisterende erfaringer fra med præfabrikation af facade- og tagelementer med udgangspunkt i byggefabrikken i Glostrup.

I tæt dialog med Teknologisk Institut og de øvrige partnere:

- Gennemgang af bygningsdelsbeskrivelser for tagelementer og vurdering af ydeevne krav ift. statik, fugt, varmeisolering, brand, materialer og tolerancer, hvor der med udgangspunkt i at der allerede var en eksisterende tagflade vurderedes at statik og brand var de væsentligste parameter at fokusere på, mens fugt, varme/energi og tæthed ikke var relevante.
- Centrale ydeevnekrav har inkluderet:
 - o Max spænd på 8,40 m og 0,80 m ved tagfod
 - o Dimensionering for tungt tag og ophængslast 0,20 kN/m²
 - o Udføres med brandmodstand REI60

Aktiviteten har dannet grundlag for det videre arbejde og udarbejdelse af en indledende kravspecifikation.



Figur 1: Tolerancer for træelementer og bygningsdelsbeskrivelser for tagelementer

1.3.2.2 Test af ventileret køleeffekt

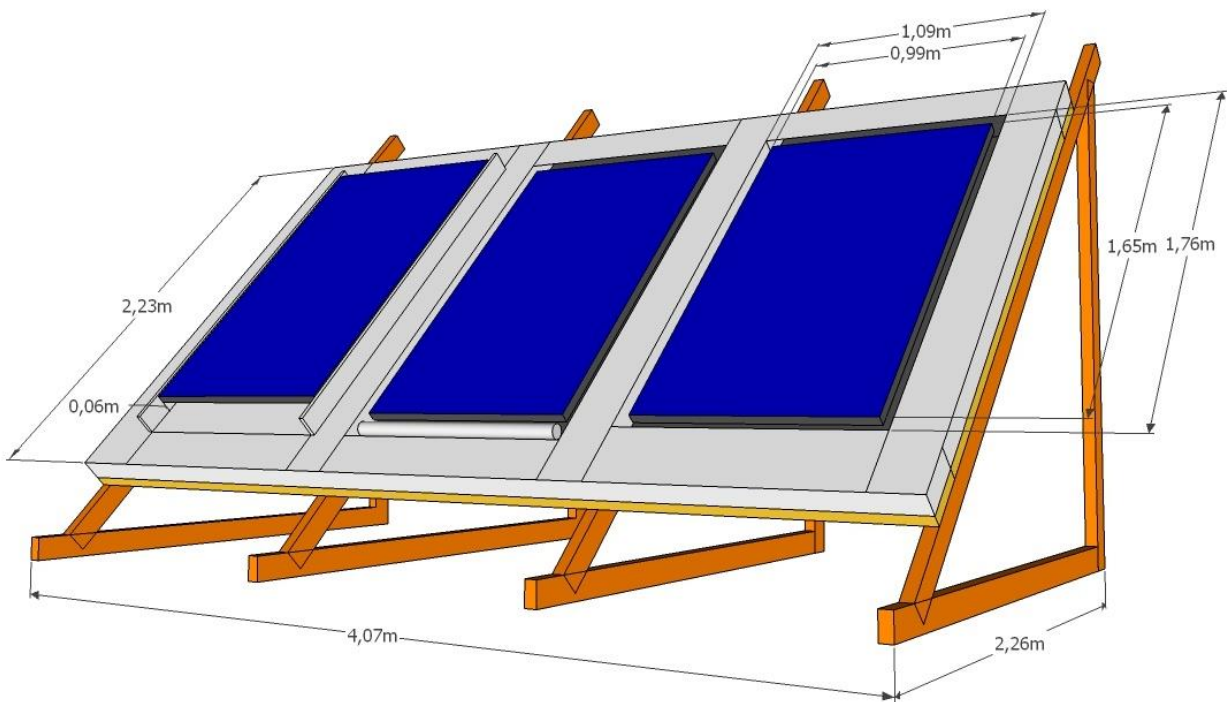
Denne aktivitet har fokus på opbygning af teststand samt tilhørende testfaciliteter med det formål at undersøge effekten af solcelledrevet mekanisk ventilation af hulrum bag solceller. Understøttes evt. af køle-ribber for øget varmeafgivelse fra solceller.

Arbejdspakken har haft til opgave at undersøge og eftervise følgende tese:

- Når solen skinner på solcellepanelerne opvarmes disse, hvorved effektiviteten mindskes. Dette fænomen kaldes temperaturfaktoren, 'Temperature Coefficient Pmax', som ofte ligger omkring $-0,40\%/K$. Det betyder med andre ord at hvis det er muligt at køle en solcellepanel med 10 grader fra fx $40^{\circ}C$ til $30^{\circ}C$ med tvungen ventilation, så kan man opnå en øget effektivitet på 4%.

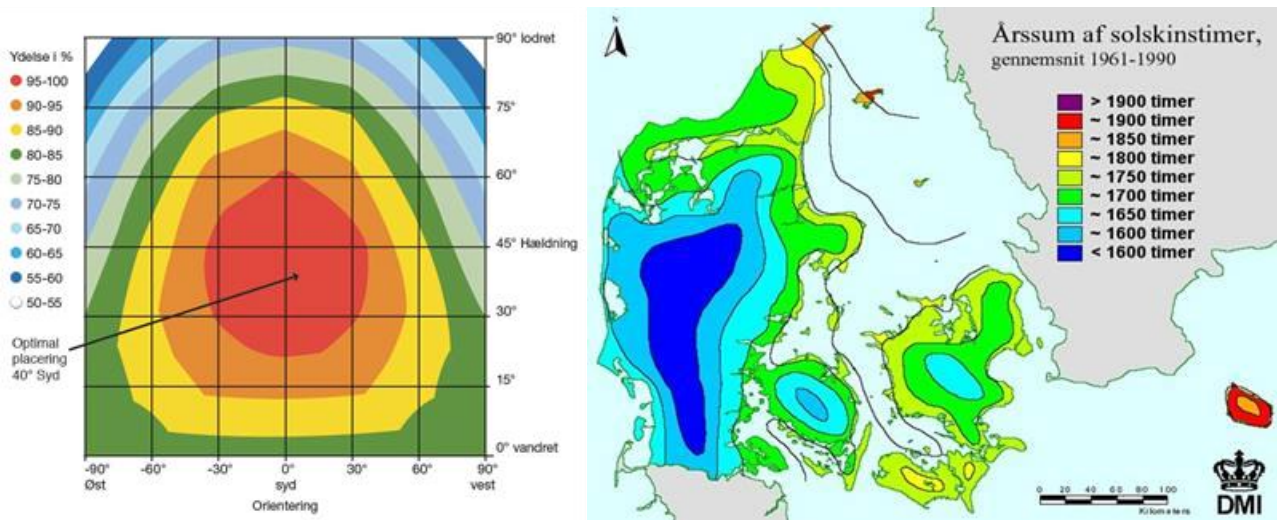
For at undersøge størrelsesordenen af ventilationen, er der på baggrund af dialog i projektgruppen og undersøgelse af eksisterende montagesystemer og praksis udarbejdet følgende forslag til at få testet effekten af den indbyggede ventilation. Der er tale om tre tests:

- Til venstre et traditionel monteret solcellepanel på tagpap
- I midten et bygningsintegreret solcellepanel ved indbygget tromleventilator
- Til højre et bygningsintegreret solcellepanel uden ventilation



Figur 2: Forslag til teststand

Den foreslåede teststand og dertilhørende solcellepaneler blev efterfølgende bygget, og opstillet på taget af laboratoriet ved Teknologisk Institut i Aarhus. Herefter monteret blev der monteret forskellige sensorer til at måle hhv. 1) solindstråling, og 2) varme/temperatur og 3) energiproduktion. Solcellerne er orienteret stik syd og monteret i 45° , hvilket er tæt på det optimale for solceller i Danmark, som det kan ses af følgende figur, hvor den årlige solindstråling i Danmark også kan ses:



Figur 3: Optimal retning og hældning af solcellepanel og solindstråling i Danmark

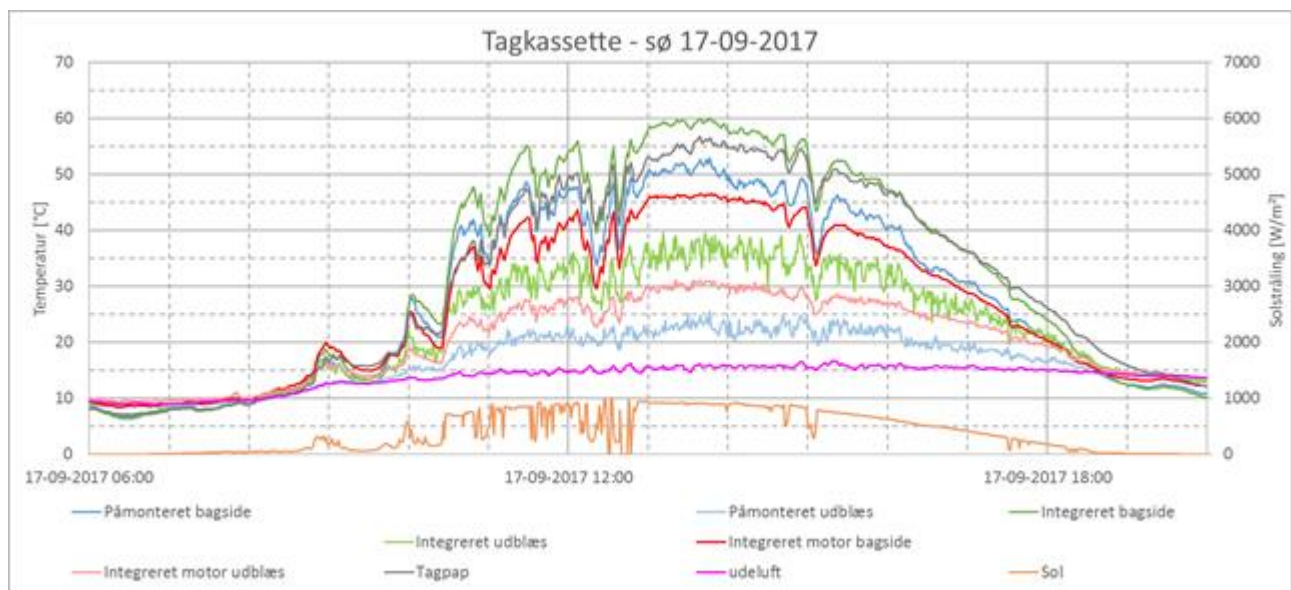
Den opbyggede testopstilling på taget af Teknologisk Institut i Aarhus. Der er blev ændret på placeringen af de forskellige forsøg i forhold til det første udkast. Længst til venstre er det bygningsintegrerede solcellepanel med indbygget ventilation. I midten er det tagintegrerede solcellepanel uden ventilation, og længst til højre ser vi et solcellepanel hævet 7 cm over "normalt" tag, og dermed med naturlig ventilation.



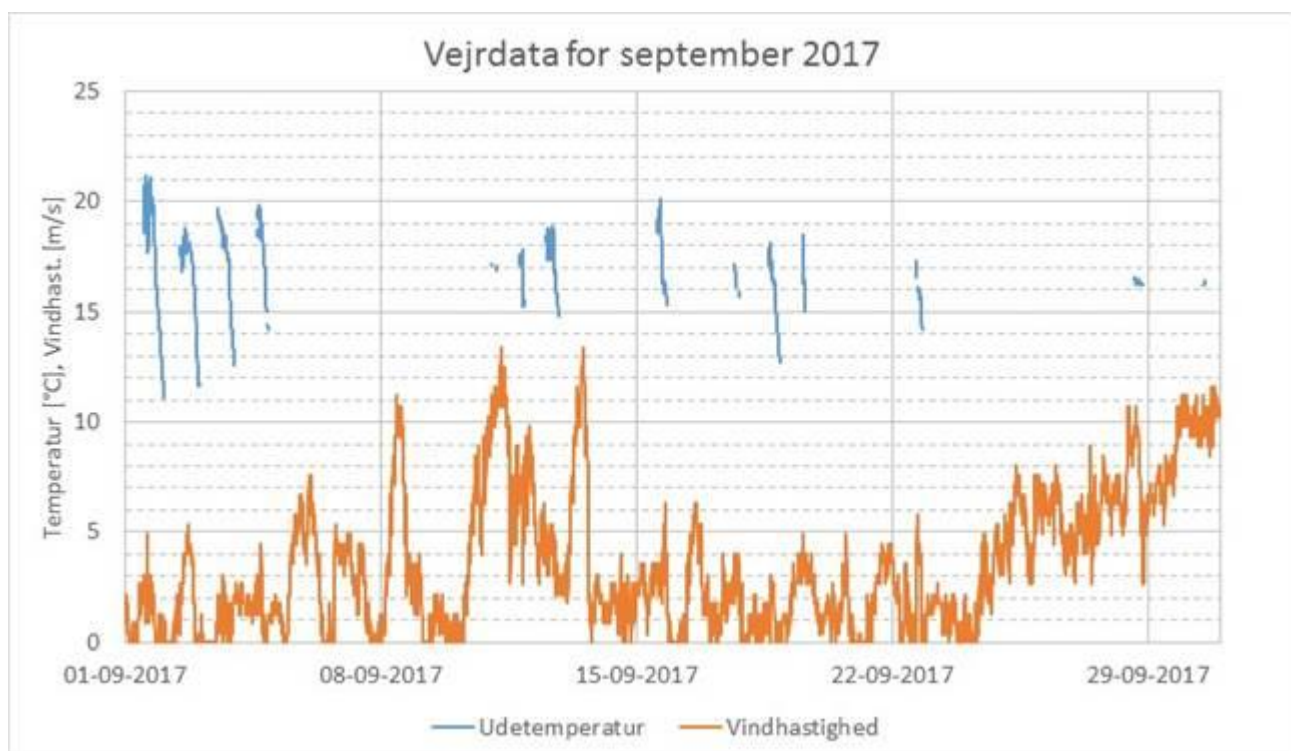
Figur 4: Testopstilling på Teknologisk Institut

Målinger

Der er udført en række målinger. Den følgende graf viser de målte data på en solrig dag, og den efterfølgende graf vejrdata og vindhastighed i samme periode.



Figur 4: Målinger på solrig dag



Figur 5: Vindhastighed målt hos Aarhus Windsurfing Klub

Målingerne viser at temperaturen bliver reduceret ved anvendelse af tvunget ventilation under solcellepanelet. På en solrig dag er reduktionen i forhold til et normal ventileret solcellepanel og et tagintegreret panel følgende:

- Tagintegreret panel med tvunget ventilation - normal ventileret solcellepanel: 7,6 K -> 3,0%

- Tagintegreret panel med tvunget ventilation - uventileret tagintegreret panel: 13,0 K -> 5,2%

Skaleret op til et almindeligt solcelleanlæg er besparelspotentialet følgende:

Eksempel med 10 moduler á 1,28 m²

	<u>Normalt ventileret</u>	<u>Tagintegreret</u>	
Moduleffektivitet	14,8	14,8	%
Modulareal	1,28	1,28	m ²
Modulantal:	10	10	stk
Solindstråling:	1100	1100	kWh/m ²
Reduktion (hældning):	98	98	%
Systemfaktor	0,83	0,83	-
Samlet solenergi uden køl	1695	1695	kWh
Temperaturfaktoren:	-0,4	-0,4	%/K
Temperaturreduktion	-7,6	-13,0	°
Øget temperatureffektivitet: 3,0		5,2	%
Samlet solenergi med køling 1747		1783	kWh
Forskel	52	88	kWh

Der er altså muligt at spare 100-200 kr om året på en solcelleanlæg på et normalt parcelhus.

Resultaterne viser at der ved en tagkassette med tvungen ventilation med bygningsaderet solcellepanel (der har naturlig ventilation) er en forbedring på 3,0 %, mens en tagkassette med tvungen ventilation med tagintegreret solcellepanel (uden naturlig ventilation) er en forbedring på 5,2 %. De gode resultater fra testen tages med i det pågående arbejde med udvikling af tagkassette koncept og kravspecifikation.

1.3.2.3 Udvikling og fremstilling af ventileret tagkassette

Denne aktivitet har fokus på udvikling og opbygning af tagkassette. Arbejdsopgaver har inkluderet:

- Udarbejdelse af tegningsmateriale
- Solcelleanlæg dimensionering
 - o beregnes elproduktion
 - o undersøgelse af batteri til lagring
 - o alternativer til lagring af strøm
- Montage principper og muligheder
- Kobling til ventilering
- Afvanding
- Indkøb af materialer 1) solceller, 2) el og teknik og 3) lagring
- Scenarier for tagkassetten (udover elproduktion), fx varme, opbevaring m.m.
- Transport, omkostninger og muligheder

Indledningsvis er der afholdt **workshops** med fokus på idegenerering indenfor funktionalitet, merværdi, marked og materialer til tagkassetterne. Ideer og forslag er efterfølgende samlet tilpasset konkrete koncepter, som projektgruppen har arbejdet videre med. De to koncepter, som der arbejdes med er tagkassette løsninger til hhv:

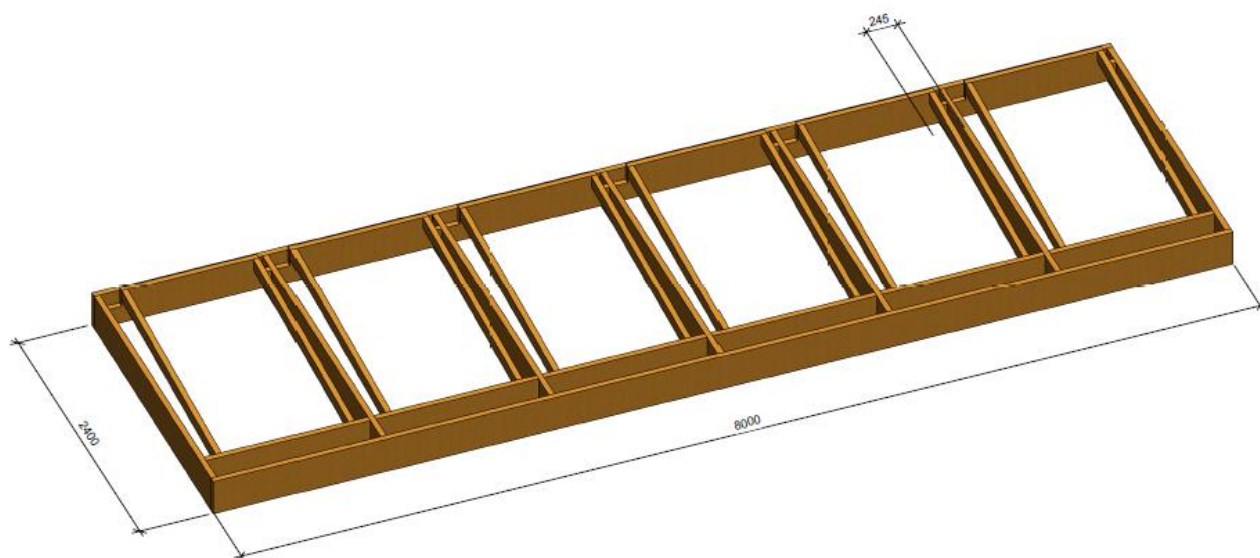
1. Tagkassette til byggepladser
2. Tagkassette til genhusningsboliger / studieboliger



Dernæst er der fokuseret på **interviews** med håndværkere og byggeledelse, formålet har været at opnå en dybere forståelse for brugs- og købskriterier, som er vigtige for målgrupperne, og hvorfor. Dette med henblik på at prioritere og excellere indenfor for et udvalgt kriterie – og dermed øge værdibidrag og oplevelse af den udviklede løsning. Interview inkluderede spørgsmål omkring: 1) bæredygtighed, 2) holdbarhed, 3) patinerung, 4) vedligehold, 5) design, 6) anvendelse og 7) logistik.

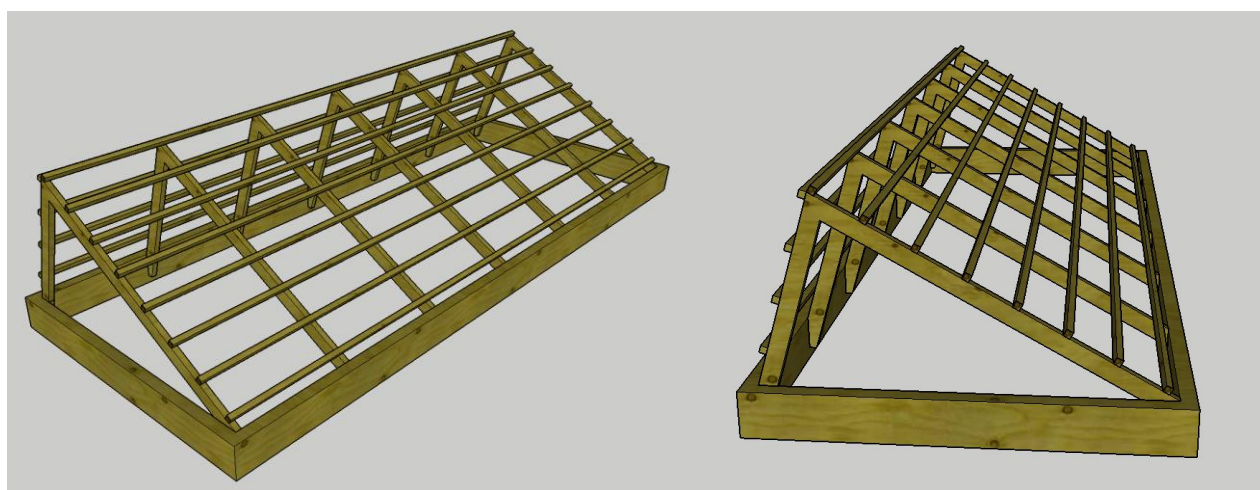
- Essensen fra disse interviews var ønsket om en **plug'n'play** løsning, som nemt kunne installeres / monteres og flyttes, på samme måde som andre ting på byggepladsen, mens det for genhusningsboliger og studieboliger var vigtigere at løsningen var pænt **integreret** i byggeriet.

Det efterfølgende arbejde med design og byggetekniske tegninger kunne nu startes op. Der blev med udgangspunkt i E&P's byggefabrik udarbejdet en række forskellige forslag til tagkassetter, som ses i det følgende:



Figur 5: Visualisering af prototype 1

Den første prototype blev videreudviklet til en med større hældning da der skulle være plads til batterilagring og mere optimal vinkling mod solen.



Figur 6: Visualisering af prototype 2

Den ovenstående Prototype 2 dannede grundlag for videre designarbejde og visualisering, hvor de efterfølgende visualiseringer viser nogle af de forslag der er dannet i processen.

Her har man detaljer med ift. afvanding, tagmateriale og opbygning samt solcelle-montage og placering.

I takt med design og udarbejdelse af 3D-modeller af tagkassetterne er der arbejdet på projektering af solcelleanlæg og dertilhørende økonomi-beregninger.

Her har et væsentligt parameter været at få så mange paneler på kassetten, som muligt, men uden at påvirke muligheden for at flytte og transportere tagkassetten.

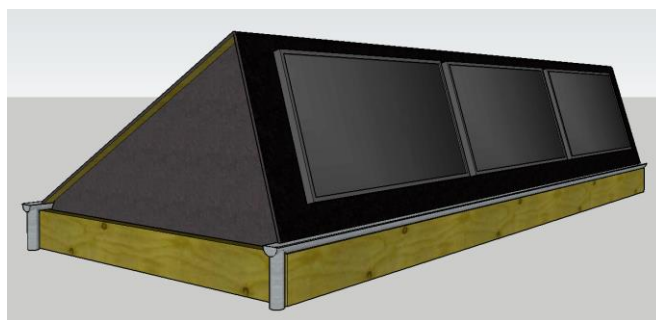


Der er lavet beregninger på 1) højtydende solcellepaneler, og 2) standard solcellepaneler. Der er lavet beregninger hvor der er regnet på solceller og inverter, hvor tagkassette er tænkt at skulle tilsluttes eltavle på byggepladsen, samt beregninger hvor solcelleanlægget i stedet er ø-drift uden tilslutning til eksisterende eltavle og strøm på pladsen, men fungerer som en plug'n'play enhed, hvor håndværkere i stedet kan oplade eller drive forskellige værktøj.

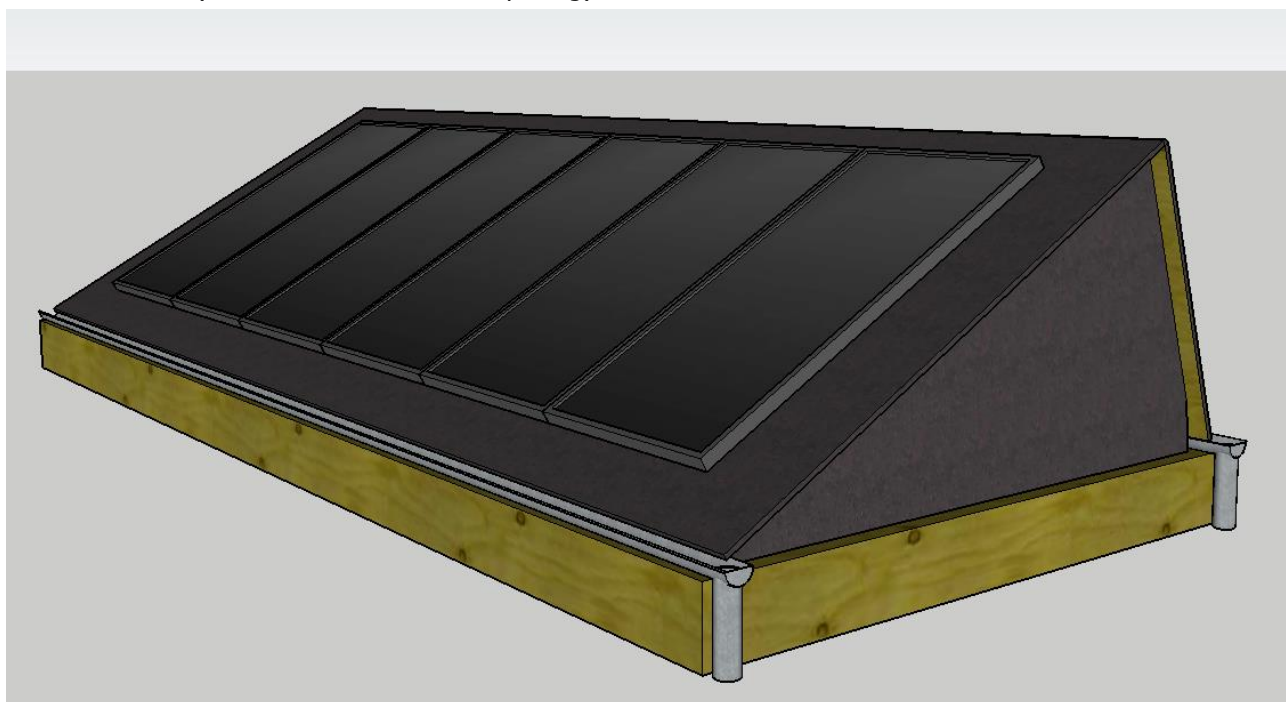
Beregninger og tilhørende skitser er udarbejdet i PV-sol hvor det tekniske setup og tilhørende produktion og økonomi fremstår.

Løsningen: Tagkassette til byggepladsen

Forslaget fokuserer på at levere stabil ø-drift forsyning til apparater med højt effekt forbrug i dagtimerne via et lithium-batteri.



Anlægget kan gemme strøm til maks 0.5 - 2 timer til apparater med højt-effekt forbrug, og er ikke tænkt til aften timerne (andet end f.eks. LED-belysning).



Figur 7: Den færdig prototype og 3D-model

Systemet yder bedst fra sommer til efterår. Fra forår til vinter, er forsyningen begrænset.

Forsyning: Anlægget forsyner apparater direkte, og levere derfor ikke strøm ud på elnettet. Anlægget kan drives i \emptyset -drift eller anvende elnettet, som backup. Det er muligt at flytte den mobile batterienhed ud på byggepladsen eller tilslutte flere mobile batterienheder, og dermed giver investeringen i batterienheden en bredere anvendelighed.

Udvidelse: Anlægget kan udvides til ialt 2.4kWp solcellemoduler. Hvis man ønsker at levere strøm til aften timer, kan man senere udvide systemet med kosteffektive AGM batterier (hvor det mobile lithium batteri stadig står for forsyning af apparater med højteffekt forbrug).

Drift og vedligeholdelse: Batterienheden kan let udskiftes (hvis i stykker), eller pavillionen kan flyttes med minimal genkabling af batteri pakken. Vægten er lav: inverter (9kg) og batterienhed (28kg). Hvor inverteren er meget kosteffektiv - og "skrabet" - er batterienheden derimod af høj kvalitet og den står for sikker forsyning af komponenter.

Mulig synergi: Eftersom at byggepladsen kan bruge mobile batterienheder, kunne denne løsning give synergieffekter.

Testbehov: Sammensætningen af komponenter er eksperimentel, men anvendelse af en batteriløs \emptyset -drift inverter, lithium batteri teknologi og back-up forsyning burde bedre løse forsyning af apparater med højt effekt forbrug og lette driften af anlægget. Dette giver anledning til følgende testbehov 1) Kan batterienheden håndtere en varierende AC-forsyning fra solcelle inverteren? 2) Hvis elforbruget overstiger solproduktionen, kan inverteren intelligent trække fra elnettet eller kobles der blot direkte over på elnettet uden anvendelse af solenergi?

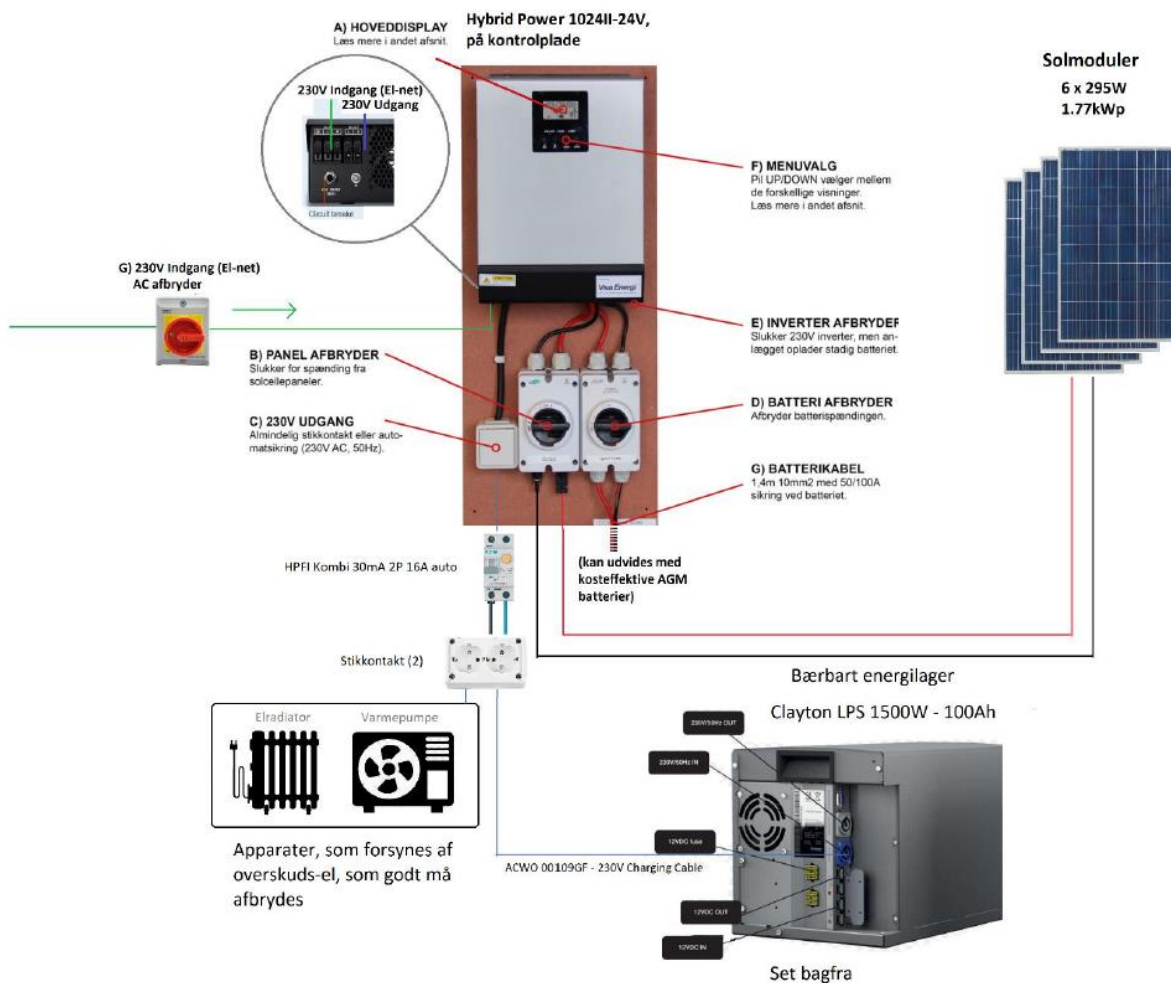
Testmuligheder for batteriløs \emptyset -drift: Hvis man ønsker at teste om apparater, kan drives helt uden batteri, kan dette også teste: Apparater, som f.eks. varmepumper og el radiator, kan muligvis drives uden batteri i \emptyset -drift, mens andre apparater ville skulle testes i praksis (f.eks. bærbar computer). Til dette formål, ville det give mening at udvide systemet. En af fordelene ved \emptyset -drift er at uforudsete varmeregninger for el radiatorer, som er glemt at blive slukket, undgås.



Figur 8: Prototype i gang på byggefabrik

Der blev udarbejdet følgende diagram og oversigt over tagkassetens tekniske system:

Diagram



Clayton LPS 1500W - 100Ah

Kapacitet: 1056 kWh (1200kwh), 100A, 12V



Set forfra

Udgangseffekt: 1500W (3000W Peak)

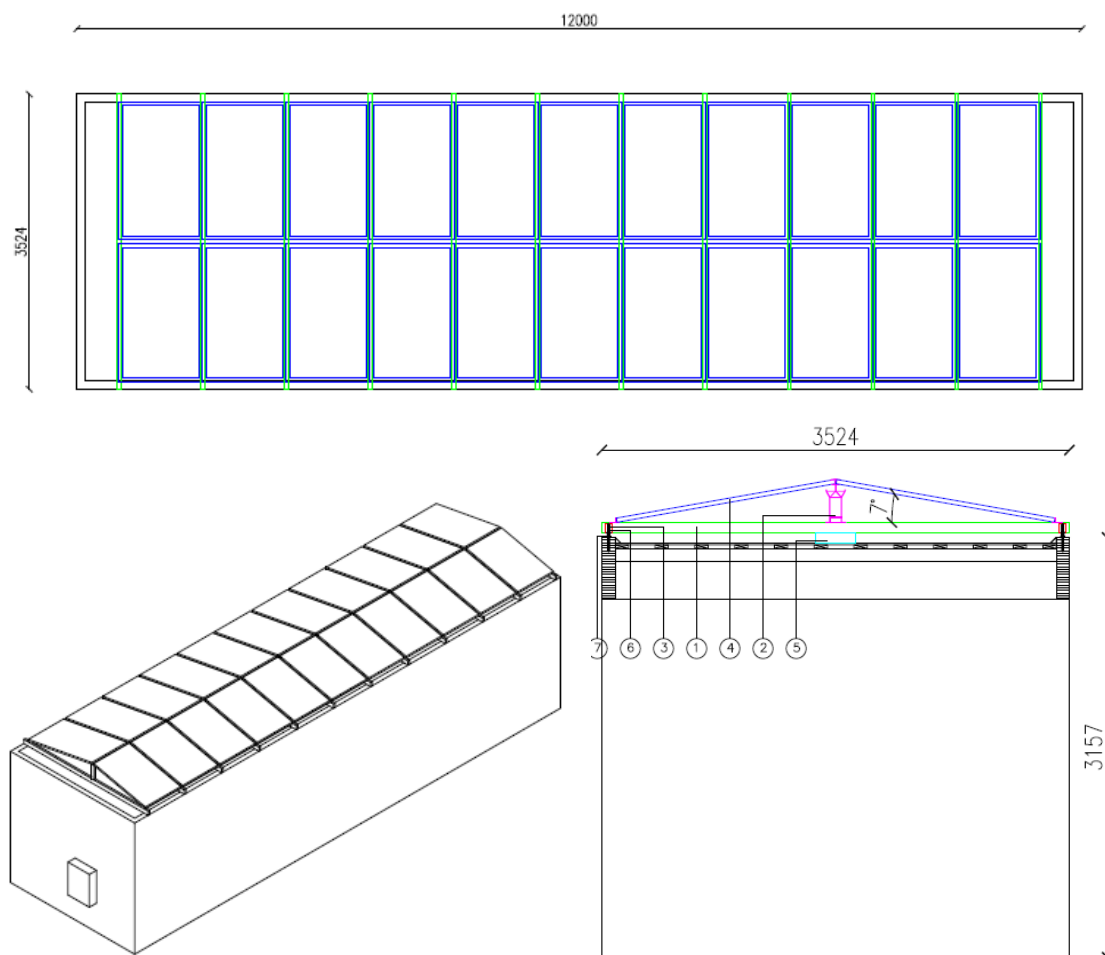


Apparater, som kræver stabil forsyning

	Produktliste	Antal	Pris (inkl. Moms)
	Hybrid Power 1024II-24V, 2.4KW på kontrolplade	1	8499
	Clayton - LPS 1500W - 100Ah	1	20106
	Clayton - ACWO 00109GF - 230V Charging Cable	1	259
	AC Afbryder 2P 16A (el. 4P 32A)	1	400
	HPFI Kombi 30mA 2P 16A auto (2P)	1	249
	Stikkontakt (2 udgange)	1	200
	Total		29713
+	Stabil ø-drift forsyning til 1-faset apparater med høj-effekt forbrug i dagtimerne (f.eks. arbejdsudstyr). Anlægget kan gemme strøm til maks. 0.5 - 3 timer. Sommer til efterår.		
-	Anlægget kan drive belysning og PC'er i aftentimer. Reduceret forsyning i forår og vinter.		

Løsningen: Tagkassette til studie- og genhusningsboliger

I udgangspunktet for anvendelse af solcelleanlæg på genhusning- og studieboliger, har vi vurderet at den enkelte tagkassette ikke har kunne dække flere boligenheder. Vi har derfor taget udgangspunkt i et letvægtskoncept og montagesystem, som har kunne dække flere boligenheder på en gang, men som har vi har haft mulighed for at tilpasse og udvikle til at imødekomme krav om integration, holdbarhed og flytbarhed, som var væsentlige krav løsningen skulle leve op til. Det har ført til følgende design:



Demonstration af de udviklede løsninger

De udviklede løsninger er demonstreret på to forskellige byggepladser, som del af projektet. De to cases og byggepladser introduceres her kort.

Demo-site 1: Køge Kyst – Skibet - Nybyg

Tagkassette med solceller fungerer som overdækning af skærestation.

Ydelse: 1.7 kWh inkl Victron batterianlæg.

Tagkassetten integrerede batterianlæg har gemt solcellestrøm, som håndværkere har brugt til opladning af diverse udstyr og maskiner. Derudover har solcelleanlægget forsynet ml. 2-4 containere med strøm, og i vinterperi-



oden varme. Løsningen har været plugnplay og nem at bruge for håndværkere og byggeledelse.



Demosite 2: Lundevænget – Renovering

Tagkassetten er placeret oven på skurby og mandskabsvogne, og dækker en del af skurbyens el-forbrug, herunder opladning af elbiler.

Ydelse: 6.0 kWh. / 35 m²/ Q-cell paneler

Tagkassetten er placeret på langs af mandskabsvogne, men dimensioneret så det passer til at kunne være på taget af en enkelt vogn.



1.4 Projekt mål

1.4.1 Projekt mål

Projektets primære mål var at udvikle en prisgunstig bygningsintegreret solcelleløsning der kan anvendes på containerboliger, midlertidige studieboliger og byggepladser. Dette via modulære tagkassetter som kan sammensættes så de passer til den enkelte container- og modulstørrelse og standard. Tagkassetterne vil være præfabrikerede og kunne monteres hurtigt på eksisterende container eller modulkonstruktion.

1.4.2 Projektrisici

Der har været et par risici, som projektteamet har overvejet gennem hele projektet. Den første risiko har været at udvikle et produkt, der ville være attraktivt et attraktivt supplement til byggepladsen eller studieboligen. Projektgruppen har derfor haft et kontinuerligt fokus på at udvikle og producere en robust løsning, som nemt kan installeres og monteres, og har i den sammenhæng haft tæt sparring med håndværkere, byggeledelse og bygherrer. Den anden store risiko har været at demonstrere den udviklede tagkassette-løsning med succes. Det er generelt altid vanskeligere end forventet at rekruttere en bygningsejer. Vi har dog haft et par gode byggepladser, hvor vi har kunne finde hhv. containere og genhusningsboligerm som har været ideelle til formålet, hvor E&P har haft en god dialog med bygherre. Det er derfor vores opfattelse, at vi har adresseret de identificerede risici og har derfor med succes navigeret gennem projektet.

1.4.3 Gennemførelse af projektet

Projektet har siden det blev godkendt i slutningen af 2013 haft en omtumlet opstart med frafald og ændringer i projektpartnerskabet, som har medført at det først er igangsat pr. 1. januar 2017. Den følgende opsummering redegør for projektførelse før denne periode, samt for projektets aktiviteter de første to kvartaler af 2017.

1.4.3.1 Forløbet frem til januar 2017

Den oprindelige hovedansøger Illumino blev nedlagt og selskabet blev siden lagt ind i firmaet Envodek, hvilket er meddelt EUDP, som har godkendt dette. Teknologisk Institut overtog, i praksis, projektlederrollen for projektet i denne periode, da ansvarlig hos Envodek var meget vanskelig at kontakte. Der har flere gange fra Envodeks side været lovet opstart og der blev også afholdt et opstartsmøde den 24. juni 2014 hos Envodek på deres fabrik i Givskud. Efter mødet kom projektet dog ikke videre og i maj 2015 meddelte Envodek at de helt trak sig fra projektet. Efterfølgende snakkede Lars Thomsen Nielsen fra Teknologisk Institut med EUDP v. Jens Windeleff om sagen. De blev enige om at TI ville forsøge at finde en ny producent, som kunne erstatte Envodek.

Dette arbejde bar frugt i slutningen af 2015, hvor Enemærke & Petersen involverede sig i projektet. Dette gjorde de ud fra ideen om at projektet kunne bringe dem videre i udviklingen af nye præfabrikationsløsninger og bæredygtighed.

De øvrige projektdeltagere blev kontaktet omkring muligheden for at gennemføre projektet med E&P som hovedansøger og projektleder. Hydrotec og Gaia Solar indvilgede i at fortsætte som deltagere i projektet. Cembrit valgte dog at trække sig fra projektet. De præcise begrundelser er ikke kendt af projektgruppen. Projektstart har været udsat i en periode i 2016 grundet interne omstruktureringer hos E&P sideløbende med at E&P i samråd med TI, har arbejdet på at finde en afløser for Cembrit. Dette valg faldt på arkitektfirmaet Erik Møller Arkitekter/KFP. Det blev vurderet at E&P havde meget af den viden som Cembrit oprindeligt skulle have bidraget med, og at det ville skabe en stor merværdi at involvere et arkitektfirma i projektet. Her vil EMA/KPF have en rolle som konsulent i designfasen, for at sikre bred arkitektonisk implementerbarhed på tværs af tag- og bygningstyper.

I oktober 2016 valgte Gaia Solar at trække sig fra projektet. Dette blev, ifølge Gaia Solar, gjort grundet mangel på ressourcer og omstrukturering i firmaet. Der blev i stedet indledt et samarbejde med Sustainability Solutions, som overtog Gaia Solar's plads i projektet. Sustainability Solutions er et konsulentfirma som arbejder

med samlede løsninger indenfor ventilation, solceller, LED belysning og varme, samt finansiering af energiprojekter. Det forventes derfor at Sustainsolutions vil kunne bidrage mere tværgående på energidelen end Gaia Solar havde mulighed for da Sustainsolutions både kan byde ind med mere tværfaglighed og muligheder indenfor finansiering af den udviklede løsning.

Vi er overbevist om, at vi har et fagligt stærkt hold, og at vi kan løfte dette projekt til et højt niveau, hvor vi får afdækket nye vinkler indenfor både produktudvikling og tilgangen til markedet. På formidlings- og markedsføringsniveau forventes det, at teamet vil søge væsentlig indflydelse overfor interessenter, som kan sikre den fremtidige succes for projektet.

1.4.3.2 Forløbet fra januar til juni 2017

I forhold til redegørelse for aktivitet siden dec. 2016, så har man i projektgruppen afholdt opstartsmøde mhp. at igangsætte projektet. Det indledende fokus har været på planlægning, ansvarsfordeling, forventningsafstemning og dialog omkring koncept og markedsfokus. Det er her, i forbindelse med møder at gruppen har vurderet at tagkassetten havde et større potentiale på containerboliger, midlertidige boliger og byggepladser – fordi det er områder og markeder hvor der er dagsordener der kan drive efterspørgsel. Projektet udviklede sig mere eller mindre som forudsagt. Alle udviklingsprojekter vil have et element af usikkerhed integreret i sig selv. Derfor har der også været uforudsete drejninger i projektet. Dette er forventet, og det har derfor været muligt at forholde sig til disse på en pragmatisk måde.

1.4.3.3 Fra juni 2017 til december 2018

Fra og med juni 2017 har projektet i store træk fulgt den reviderede tids- og arbejdsplan. Alle udviklingsprojekter vil have et element af usikkerhed integreret i sig selv. Derfor har der også været uforudsete drejninger i projektet. Dette er forventet, og det har derfor været muligt at forholde sig til disse på en pragmatisk måde.

1.4.4 Oplevede vi nogen forhindringer eller ændringer?

Den eneste hindring, der er værd at nævne, er, at det har været svært at aktivere alle partnere i projektet. Det er dog en naturlig følge af den svære opstart og tilløb til projektet. I projektledelsen af projektet har vi haft fokus på at involvere alle – og nok også mere end der oprindeligt var lagt op til for at styrke samarbejdet.

1.5 Projektresultater og formidling af resultater

Projektresultatet er en ny tagkassette med solceller, der hurtigt kan monteres på byggepladser eller studieboliger, og som bidrager til med lokal vedvarende-energiproduktion. Tagkassetten er designet så den er robust, flytbar og fleksibel – så den kan indeholde batterilagring, som del af løsningen.

I kraft af at løsningen kan præfabrikeres og produceres på byggefabrik, så minimeres omkostningerne til montering af system og tid. Det er samtidig muligt at tilvælge løsning og få den installeret fra dag til dag, i de tilfælde hvor der ikke er behov for tilslutning til eksisterende eltavle, da den kan leveres plug'n'play, hvor batterier lagrer energien.

Projektet som helhed skal derfor siges at være vellykket i forhold til målet. Det er afsluttet i overensstemmelse med planen og giver en markedsklart tagkassette-løsning med solceller, som er klar til markedet.

I slutningen af projektet har ingen af partnerne endnu ikke registreret øget omsætning eller medarbejderstab. Det skal også bemærkes, at resultaterne af projektet stilles til rådighed for offentligheden, så den samlede effekt er bredere end blot de deltagende virksomheder.

De i projektet omtalte hovedaktiviteter som er beskrevet ovenfor, har givet følgende resultater:

Projektets første milepæl M1 – Afrapportering af ventilationstest forventes gennemført i Q3 i august og september. Resultaterne fra denne test skal anvendes i WP3 – Udvikling og fremstilling af tagkassette, og indarbejdes som del af kravspecifikation.

1.5.1 Videnindsamling

Resultaterne af vidensindsamlingsfasen er med succes anvendt og implementeret i både WP2 – test af ventileret køleeffekt og WP3 – udvikling og fremstilling af tagkassetten. Desuden har den tilegnede viden hjulpet projektdeltagerne med at udvikle ny viden ud over den, der blev brugt i projektet. Opfyldte milepæle:

- KM1 Undersøgelse af salgskanaler

1.5.2 Test af ventileret køleeffekt

De gennemførte testforsøg med ventileret køleeffekt har vist at det samlet set er muligt at spare 100-200 kr .om året på et mellemstørrelse solcelleanlæg til parcelhus. Dette skal ses i forhold til en forventet levetid på mindst 25 år. Konkret viser de, at der ved tvungen ventilation med bygningsaderet solcellepanel (der har naturlig ventilation) er en forbedring på 3.0 %, mens en tagkassette med tvungen ventilation med tagintegreret solcellepanel (uden naturlig ventilation) er en forbedring på 5,2 %. De gode resultater fra testen tages med i det pågående arbejde med udvikling af tagkassette koncept og kravspecifikation. Milepæle:

- M1 Afrapportering af ventilationstest

1.5.3 Udvikling og fremstilling af tagkassette

Denne fase har fokuseret på udviklingen af tagkassette-konceptet. Dette indebærer en undersøgelse af eksisterende praksis omkring tagkassetter, såvel som screening af tekniske muligheder for at integreret solceller og lagringsteknologi. Det er også i denne fase, at der er lavet et større arbejde omkring markedsfokus for projektet – og de muligheder der er ved at fokusere på byggepladser og studieboliger. Milepæle omfatter:

- M2 Prototype klar til test
- KM2 Salgskanaler klarlagt
- KM3 Salgsmateriale klart

1.5.4 Test af tagkassette for tæthed

Det har ikke været muligt at gennemføre en meningsfyldt test for tæthed af tagkassetten. Konstruktions-tegninger og prototyper er gennemgået i henhold til anvisninger fra Træelementforeningen, og deres bygningsdelsbeskrivelser for tagelementer, samt Dansk Byggeris vejledning for træelementer – og disse tolerancer og overfladespecifikationer.

1.5.5 Test af tagkassette i mock-up

Den udviklede løsning er demonstreret med succes på genhusnings-pavilloner i forbindelse med renoveringen af boligafdelingen Lundevænget afdl. 1-13 ved Ryparken, samt på byggeplads ved Køge Kyst, hvor tagkassetten dannede tag over skæreplads mellem to containere.

1.5.6 Afrapportering

Projektet er afrapporteret og evalueret, og har fået stor opmærksomhed i forbindelse med et fornyet fokus på emission- og fossilfri byggepladser, hvor det er ses på muligheder for at fortrænge CO2. Tagkassetten har derfor været i spil i flere byggesager efter demonstration. Milepæle:

- M3 tagkassette lanceringsklar

1.6 Udnyttelse af projektresultater

Partnerne i projektet forventer at kommercialisere projektresultater på forskellige måder.

1.6.1 Enemærke & Petersen

Enemærke & Petersen forventer at bruge projektets resultat og løsning i bestræbelser på at kunne tilbyde grønne byggepladser til deres kunder, som har fokus på at reducere energiforbrug og arbejde hen imod fossil og emissionsfri byggepladser. Her er den udviklede løsning et oplagt produkt at have på hylden, som kunder kan vælge at inkludere i deres projekt.

På trods at forsinkelser har projektets timing været god, ide der fra medio 2020 har været en støt stigende efterspørgsel på bæredygtigt byggeri og reduktion af CO2 i byggeprocessen – og her er solceller et oplagt tiltag at have med i overvejelserne.

Enemærke & Petersen a/s har efter projektets afslutning taget kontakt til Ajos, som i dag er den foretrukne leverandør af byggeplads-materiel og opsætning af byggepladser. Dette i forhåbning om at Ajos evt. kunne være interesseret i at tage tagkassetten ind som et fast produkt på hylden, som derved også kan tilbydes andre byggepladser og entreprenører.

1.6.2 Teknologisk Institut

Teknologisk Institut forventer at kunne forbedre rådgivning og viden omkring solceller, herunder anvendelse af køling og ventilation ift. at opnå bedre performance.

1.6.3 SustainSolutions

SustainSolutions har som teknisk rådgiver og installatør af solceller opnået en forståelse for hvordan solceller bruges til midlertidigt byggeri, herunder ift. at skabe en mere bæredygtig byggeproces. Denne viden tages med videre i fremtidige projekter for både almene og private bygherrer, hvor de laver energirådgivning i dag. De forventer derfor både at kunne bruge den udviklede løsning i konkrete byggeprojekter, hvor tagkassetteløsninger passer ind, samt at kunne tilbyde solcelle-processtrøm ifbm. egne enterpriser.

1.6.4 Erik Arkitekter

Erik Arkitekter har styrket egen viden om solceller og integration af disse i byggeriet. Denne viden tager de med i deres videre arbejde som rådgivere og arkitekter ift. indpasning af solceller i arkitekturen. Derudover har Erik Arkitekter i kraft af den øgede efterspørgsel på bæredygtigt byggeri ofte ansvar for DGNB-certificering af byggeri. I den sammenhæng er der forståelse for hvordan solceller kan bidrage til en grønne byggeproces.

1.6.5 HydroTec Aps

På baggrund af HydroTecs begrænsede involvering i projektet forventer de ikke at kunne udnytte projektets resultater udover bedre netværk og kontakt til nye kunder i form af Enemærke & Petersen og SustainSolutions.

1.7 Projekt konklusion og perspektivering

På trods af at projektet har haft en turbulent og svær opstart med udskiftning i projektdeltagere og partnere, samt revidering af projektfokus, så er projektet kommet godt i mål. Revideringen af projektet til at fokusere på markedet for containerboliger, midlertidige boliger og bæredygtige byggepladser har været en rigtig og god prioritering, som betyder at vi står med et produkt der er relevant i markedet – og som har en berettigelse.

De indførte ændringer i forbindelse med den endelige projektopstart har ikke påvirket projektets øvrige organisering, metode, milepæle og tidsplan m.m., men primært handlet om et skift i målgruppe og tiltænkt applikation af den udviklede løsning. Dertil kommer at vi ved fokus på et mere mobilt system samtidig gøre det muligt at erstatte enkeltdele og komponenter i takt med at teknologien udvikles, og evt. åbne op for en leasing model.

Efterspørgsel på DGNB-certificeret og bæredygtigt byggeri, samt et støt stigende fokus på at reducere CO₂ i byggeprocessen betyder at den udviklede løsning adresserer et behov i markedet, hvor der er brug for nye løsninger og indsatser, som kan reducere byggeriets energiforbrug og klimapåvirkning.

Den udviklede løsning er demonstreret på byggepladser, men er også relevante ift. til studie- og containerboliger, som i dag skyder op på perspektivgrunde i København og resten af Danmark.

I forhold til projektets fokus på indbygget ventilation, så er det vores opfattelse af den del af projektet i mindre grad vil blive anvendt fremadrettet, da bestræbelserne for at opnå en mærkbar effekt fra ventilation af solcellerne ikke står mål med resultatet. Omvendt, så har projektets fokus på tagkassetter og præfabrikerede solcelletage til byggepladser og boliger været et vigtigt aspekt, som den videre udrulning og anvendelse af solceller i høj grad kommer til at tage udgangspunkt i. Dertil kommer at der i projektet er udviklet flere forskellige løsninger, en som kan monteres og anvendes med det samme – plug 'n' play fordi den har batterilager, og en anden løsning som kræver tilslutning til byggepladsens strøm – og derfor kræver flere tilladelser og el arbejde. Det giver fleksibilitet og understøtter anvendelsen.