

Smart Energy Green Cities arbejde vedr. Avedøre Green City

Avedøre Green City initiativet er det første praktiske energifællesskab, der er etableret i Danmark med firmaet EBO og Avedøre Fjernvarme som centrale aktører.

Her er det lykkedes European Green Cities at få en ansøgning godkendt fra EU's Elena program, som kan finansiere en stor del af de ekstra udgifter, der skal til, via et særligt lån fra EU's Investeringsbank.

Smart Energy Green Cities projektet har derfor haft et særligt fokus på at udvikle Smart Energy løsninger, der med fordel kan indgå her.

Hovedresultatet har været en særlig indsats fra firmaet Solarplan til hvordan, der kan indarbejdes store solcellearealer især i Avedøre Stationsby. Dette er kombineret med en række beregninger med Enopsols særlige Smart Energy beregningsprogram, som gennemføres i Excel og som regner på ATES anlæg med grundvandsvarme til fjernvarmen i samspil med varmepumper, og hvor der også kan bruges særlige PVT-solceller, hvor solcellerne både er strømproducerende og samtidigt giver et betydeligt solvarmebidrag.

Disse beregninger viser både en fornuftig bruger og samfundsøkonomi for et samlet PVT solcellesystem på op til 20.000 m², der til 2.000 lejligheder kan anvendes sammen med et større ATES anlæg og centrale varmepumper, som et alternativ til den normale fjernvarmeforsyning.

Også til Avedøre Landsby med ca. 90 boliger, er der sket en udredning vedrørende mulighederne for at indpasse PVT solcelleanlæg, samtidigt med at der er regnet på et ATES system med kun 2 borer, der leverer grundvandsvarme i kombination med varmepumper.

Her er der både analyseret et system med et centralt varmepumpeanlæg samt et system med såkaldt "kold" fjernvarme, der sendes rundt til boligerne i uisolerede prisbillige plastrør, hvor individuelle varmepumper leverer den nødvendige opvarmning. Fordelen her er, at systemtabene bliver meget begrænsede, så der kan opnås en CO₂ besparelse på i bedste fald 92% i forhold til i dag.

Introduktion til Smart Energy forslag til Avedøre Stationsby

Varmeproduktion skal indenfor en overskuelig fremtid baseres på fossil- og CO₂-frie varmekilder i Danmark. En af de lovende og kommercielt attraktive muligheder til at opnå dette mål er at bruge anlæg for samproduktion af lavtemperatur solvarme og elproduktion i PVT-elementer i kombination med sæson varme- og kulde-lagre i grundvandsmagasiner.

Systemet udsender ikke ekstern støj, hvorfor det kan etablere i bymæssig bebyggelse.

Arkitekt Klaus Boyer Rasmussen fra Solarplan har gennemført beregninger for hvorledes man kan placere op til 12.000 m² PVT solpaneler på syd- og vestvendte tage i en række 4-etagers boligblokke med 1.003 lejligheder, der udgør den såkaldte "Ringmur" i Avedøre Stationsby.

Samtidigt er det påvist, at med en investering på 8,9 mio. kr. er det muligt at realisere et pilotprojekt til Avedøre Stationsby med 1.428 m² PVT solenergielementer, der både leverer solcellestrøm og desuden solvarme til et lavtemperatur fjernvarmesystem med grundvandsvarme (ATES) og varmepumper.

BIPV-løsninger i byggeriet

EUDP-rapporten "Prisbilligt Montagesystem til vinklede solcelleelementer til facader og gavle" påviser at der efterhånden er udviklet et stærkt grundlag for anvendelse af bygningsindpassede solceller (BIPV) i byggeriet. Og situationen er, at man faktisk kan anskaffe både tag- og facadeelementer til byggeri med ethvert ønsket arkitektonisk udtryk, samtidigt med at det er el producerende. Dette betyder, at BIPV-løsninger bør være en naturlig del af alt fremtidigt byggeri i Danmark, hvis man virkelig ønsker at satse på en 100% vedvarende energiforsyning indenfor en overskuelig fremtid.

Dette kan gøres ret enkelt ved at lade et krav om lokal solcelle produktion være et krav i forbindelse med definitionen af "bæredygtigt byggeri", som skal indgå i fremtidige bygningsreglementer. Herved kan der skabes baggrund for at udvikle endnu et industrieventyr indenfor vedvarende energi i Danmark.

I det følgende er vist et uddrag fra en interessant studenterrapport fra DTU BIPV-undervisningen i 2019 v. Peder Vejsig Pedersen, hvor der indgår et forslag med 5 sammenbyggede boliger, der på årsbasis kan opnå en høj grad af selvforsyning ved at udnytte flere forskellige solcelle orienteringer:

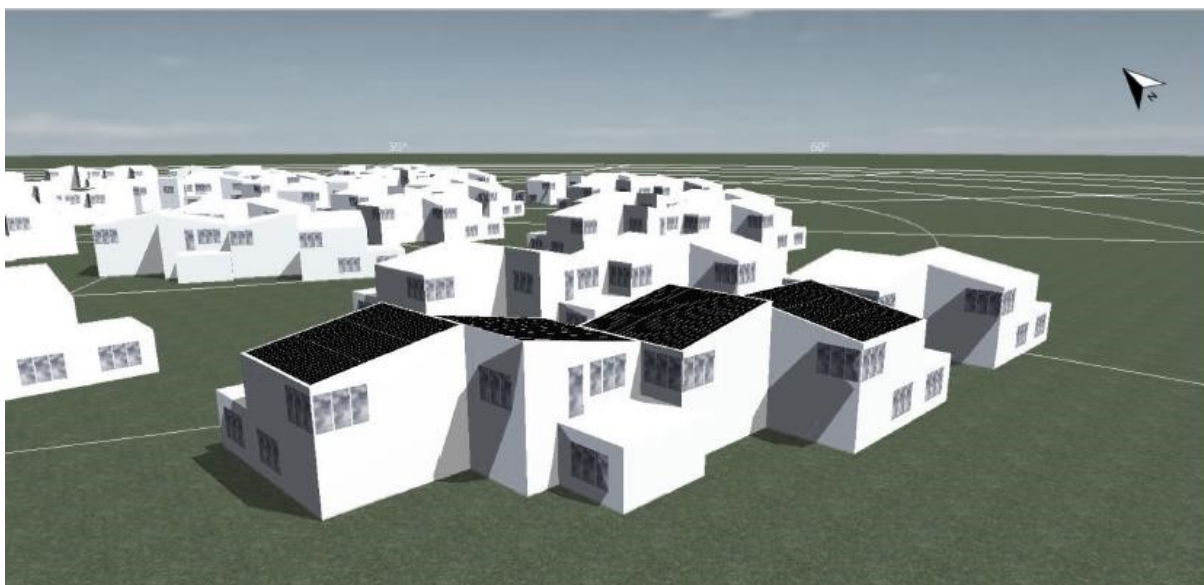


Illustration fra rapport udarbejdet af studerende fra BYG DTU som bud på BIPV-løsninger til fremtidigt fossilfrit byggeri, hvor graden af selvforsyning fra BIPV-løsninger styrkes.

Energifællesskaber vil bane vejen for udbredt anvendelse af solenergi

EU har i 2019 lanceret ny lovgivning, der skal fremme vedvarende energi i alle medlemslandene, "Clean Energy For All Europeans", som har som målsætning at sikre et CO2 neutralt EU i 2050. I relation til dette er der 8 nye direktiver, der skal implementeres i EU landene frem til udgangen af 2021. Se: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/clean-energy-all-europeans>

I den forbindelse ønsker man at fremme ideen om "energifællesskaber", som for anvendelse af solceller og herunder bygningsindpassede solceller (BIPV), betyder at man ikke må hindres i at producere sin egen vedvarende energi og at man har ret til at sælge overskydende vedvarende energi til sin nabo.

Der er ingen tvivl om at dette betyder at lokale solcelleanlæg vil få forøget fokus i hele EU og at dette gør det meget relevant at se på hvordan solceller kan erstatte normale bygningsoverflader i fremtidens nybyggeri og renovering.

Det er vigtigt at se på muligheden for at BIPV-løsninger direkte kan erstatte andre bygningsmaterialer i tage og facader. Dette kan have en betydelig effekt, som godt kan betyde at solceller på bygninger på sigt bliver de mest konkurrencedygtige.

Endelig er det også vigtigt at være opmærksom på hvordan solceller og BIPV-løsninger kan indgå i LCA analyser, f.eks. ved DGNB, Active House eller anden type bæredygtigheds certificering eller mærkning af byggeri. Her er det vigtigt at bruge de mest up-to-date resultater.

Her kan f.eks. henvises til en nyudgivet rapport fra EU-forskningscenteret, JRC Ispra. Her ses værdier mellem 0,7 og 1,7 år som den tid et solcelleanlæg skal producere solstrøm for at den medgående CO₂ belastning ved fremstillingen er tjent hjem. I det danske klima kan ca. 2 år være en realistisk vurdering for en sydvendt vinklet orientering. Men dette gælder kun for de bedste af dagens solcelleprodukter.

Når der ses på DGNB certificering, som anvendes en del i Danmark, er det imidlertid et problem, at man for solceller anvender et tysk data grundlag, som hurtigt viser ret høje værdier for fremstillingen af solceller, hvis man ikke har dokumenterede anvendte materiale tal, da man regner med at kinesiske producerede solcelle wafers er fremstillet ved hjælp af kulkraft. Så her er specifikke LCA analyser vigtige for de anvendte produkter.

Solenergi helhedsløsninger

Når det drejer sig om fossilfri byudvikling, så er der nogle interessante problemstillinger med hensyn til hvor man skal placere de solenergianlæg, der skal bidrage med vedvarende energi. I Vinge Nord arbejdes med planer om en samlet fossilfri byudvikling alene baseret på vedvarende energi, primært solenergi, hvor det er tanken at arbejde med en placering af større solfangerfelter på jorden tæt ved den fælles energicentral med varmepumpe drift, der udnytter grundvandsmagasiner (ATES) som et sted at tage varmen fra. Ved at tilføre solvarme til grundvandsmagasinet om sommeren opnås en vigtig sæsonlagring af solvarmen, som herved kan udnyttes når der mest er brug for den i varmesæsonen. Samtidigt har det også været tanken at placere større solcellefelter på jorden tæt ved energicentralen, som kan bidrage med solstrøm både til varmepumpe driften og til de nærliggende boligområder.

En interessant mulighed her kan være at anvende et kombineret solcelle- og solfangerelement, såkaldte PVT-solceller, hvor en væskestrøm kan køle solcellerne og herved tage varme ud af dem, hvorved man også til en vis grad kan øge deres strømproduktion. Fra et livscyklusperspektiv er en sådan løsning meget interessant idet man får en meget større ydelse ud af solcelleelementet. Disse PVT-solceller kan både placeres på jorden, men kan også placeres på bygningerne f.eks. indpasset i tagelementerne.

Projekt til Avedøre Stationsby

Solcellefirmaet Racell har arbejdet med såkaldte PVT-solceller i en længere årrække. PVT-solceller (PV Thermal) er væskebestrøgne solceller, der udover at kunne producere solstrøm også kan fungere som solfangere, der leverer varme. Fordelen er her at der opnås en dobbelt effekt af solcellepanelerne samtidigt med at solstrømsproduktionen kan øges en smule (måske 10%), hvis solvarmedriften sker ved relativt lave temperaturer, så solcellerne køles.

Denne teknologiske løsning er meget relevant, når man ønsker at elektrificere fjernvarmen i Danmark, hvor såkaldte ATES løsninger (*) med grundvandslagring af varme kan indgå. Disse kan etableres miljørigtigt og med en god økonomi samt med et perspektiv om mere effektiv anvendelse, når man kan begynde at udnytte maksimale varmelagringstemperaturer på helt op til 35-40°C i grundvandet. Noget som man også er begyndt med i Holland og som Naturstyrelsen ikke har været afvisende overfor.

(*) Aquifer Thermal Energy Storage.

ATES – system med sæsonlagring af solvarme og overskudsvarme fra køling

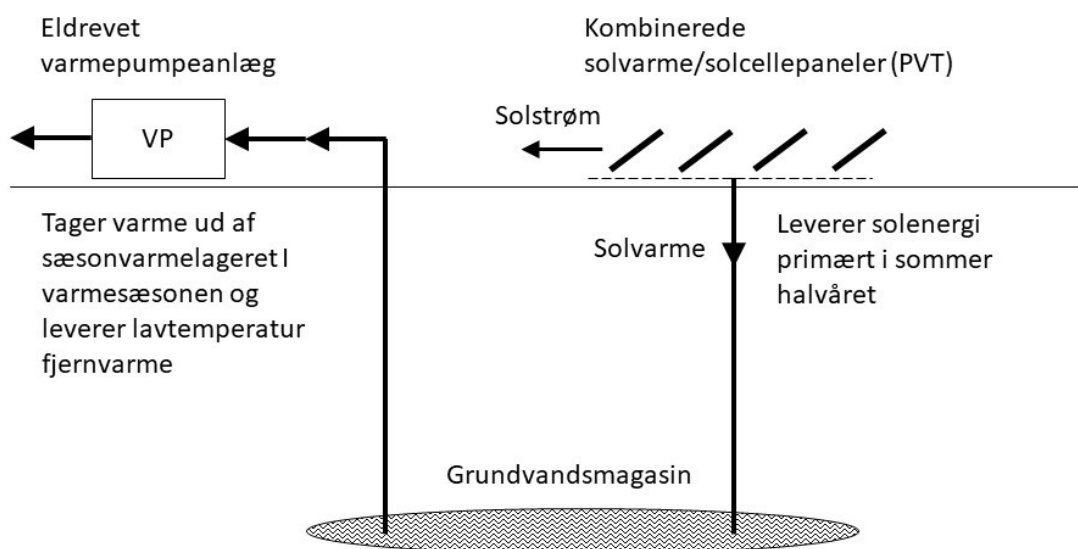
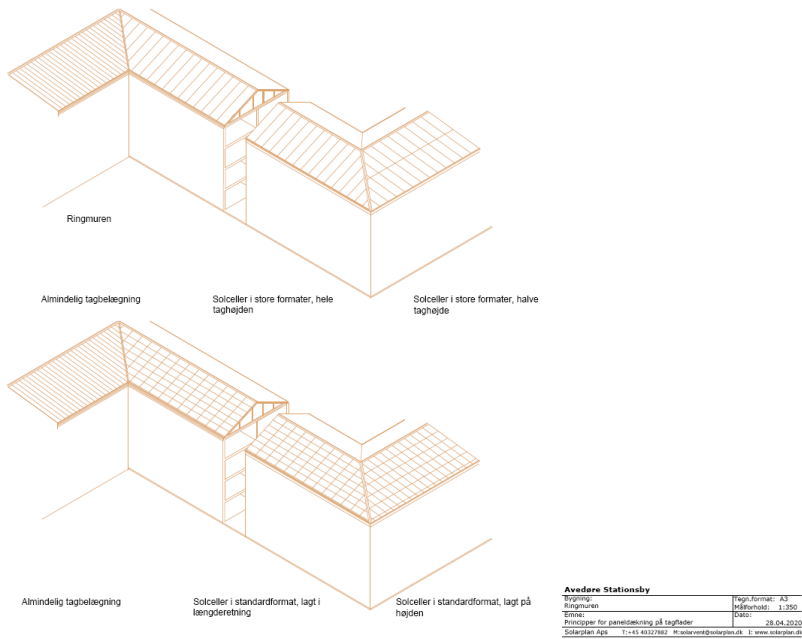


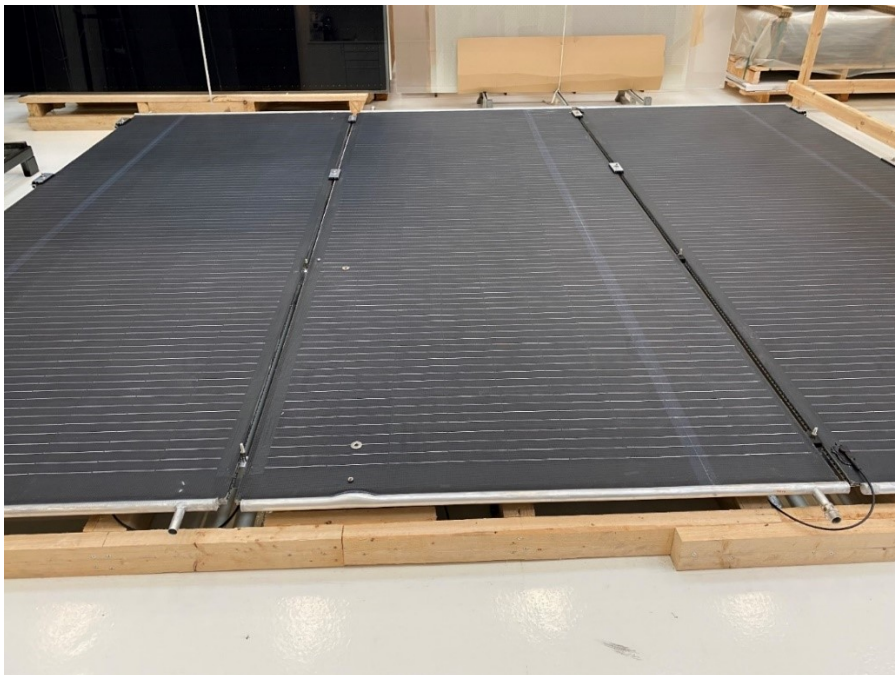
Illustration af hvorledes grundvandsvarme og – køling kan kombineres med de nye kombinerede PVT-elementer, der fungerer som væskekølede solcelleelementer.

Forslag til PVT-pilot anlæg til Avedøre Stationsby

Arkitekt maa. Klaus Boyer Rasmussen fra Solarplan har gennemført beregninger for hvorledes man kan placere op til 12.000 m² PVT solpaneler på syd- og vestvendte tage i en række 4-etagers boligblokke med 1.003 lejligheder, der udgør den såkaldte "Ringmur" i Avedøre Stationsby. Her regnes med en taghældning på 22°.




Det analyserede boligområde i Avedøre omfatter 1.003 ud af ca. 2.000 lejligheder




udnyttes 4.735 MWh solvarme, som tilføres ATES grundvands varmelageret. Med en forventet COP på 5.0 kan der herved på årsbasis leveres 50% af det fremtidige fjernvarmebehov via en central varmepumpe.

Smart Cities and Communities



READY Project



1 RES data

| | |
|---------------------------------------|--|
| Type of installation | Combined PV and Solar thermal collectors (PVT) |
| Installation location | Trigeparken afd. 20 Trige Parkvej 21-39 8380 Trige, Denmark |
| Community | Aarhus |
| Capacity (kWp) | 143 kWp DC (128 PVT) |
| Area (m ²) (for solar) | 747 gross (720 net PV array) |
| Efficiency, solar thermal collector | $\varepsilon = \eta_0 \cdot a_1 \cdot \frac{t_c - t_a}{I} - a_2 \cdot \frac{t_c - t_a^2}{I}$ <small>t_c: collector temperature; t_a: ambient temperature I: Global irradiation; h₀ = 0.513; a₁ = 7.68 W/m²K; a₂ = 0.014 W/m²K</small> |
| Efficiency, PV | 17,86% |
| Estimated annual production, electric | 105.834 kWh/yr |

I det støttede "Ready" projekt kobles PVT elementer sammen med varmepumper i en almen boligafdeling i Aarhus.

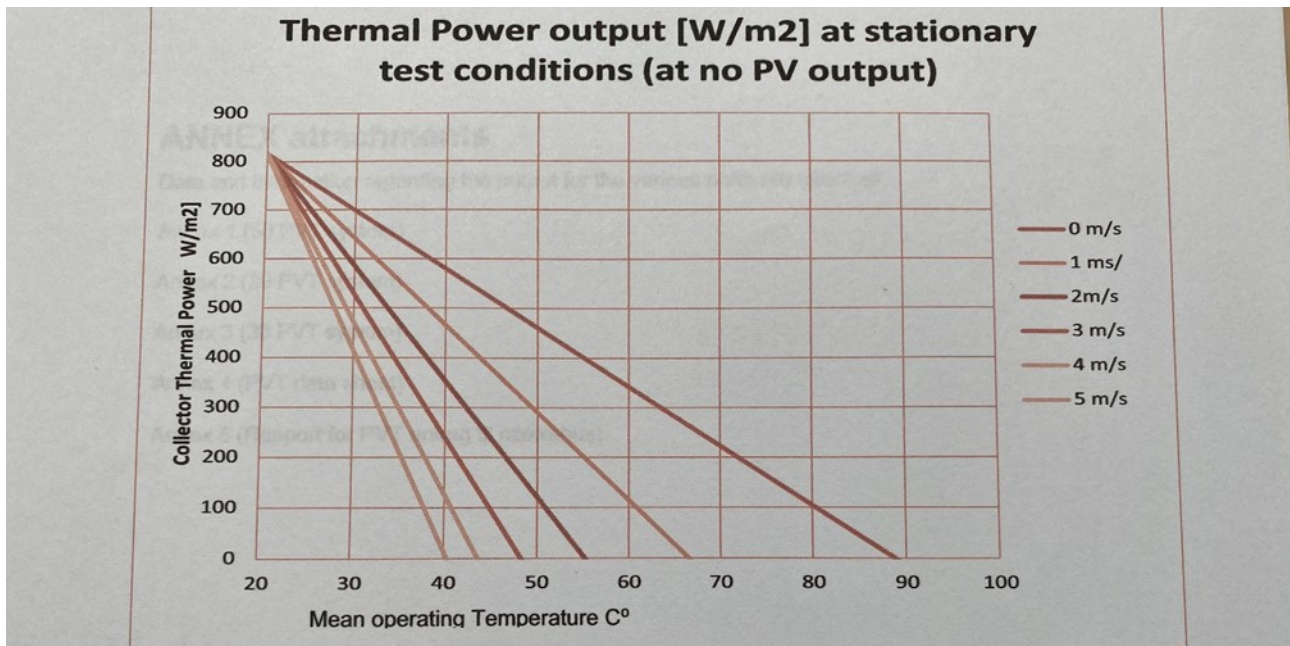


Figure 4.3.3 Thermal output as function of temperature and front surface wind speed

The tests showed that for a 10m² Combi PVT at 25°C the expected yearly output yield would be

F: for SW orientation with 90 deg. tilt (façade mounted), Electrical 1018 kWh/year/10m² and Thermal energy yield of 2893 kWh/year/10m²

R: for SW orientation with 45 deg. tilt (roof mounted), Electrical 1398 kWh/year/10m² and Thermal energy yield of 4785 kWh/year/10m²

Måling af varmeydelsen for PVT solcelleelementer når de fungerer som solfangere.

Forslag til udvikling og demonstration af fossilfri fjernvarme med PVT i kombination med ATES med sæsonvarmelagring og varmepumper til Avedøre Stationsby.

En gennemført analyse viser at det med en investering på 8,9 mio. kr. er muligt at realisere et indledende demonstrations energiforsyningsprojekt til Avedøre Stationsby på basis af vedvarende energi med 1.428 m² PVT solenergielementer, der både leverer solcellestrøm og desuden solvarme til et lavtemperatur fjernvarmesystem med grundvandsvarme (ATES) og varmepumper.

Systemet kan på årsbasis levere 2.500 MWh lavtemperatur fjernvarme med 5.500 timers varmepumpedrift. PVT elementerne leverer 500 kWh/m² solvarme om året og 150 kWh/m² solcellestrøm om året.

Af den årlige varmeproduktion leveres der 714 MWh/år direkte på basis af solvarmeproduktionen, der opgraderes med varmepumpeanlægget, mens 1.787 MWh/år først leveres i form af opvarmning af grundvandsvarmemagasinet, som trækkes ud igen i varmesæsonen via varmepumperne, når der er et varmebehov, så der sker en sæsonlagring af solvarmen. Herved opnås også en termisk balance for grundvandsmagasinet, så det ikke bliver varmere eller koldere efter et år.

Når det kommer til den efterfølgende fuldskala anvendelse i praksis, så er der ifølge bilag 2.2 en god mulighed for at gennemføre et projekt med 3 boringspar, hvor varmeforsyningen sker til 1.003 lejligheder i Avedøre, som skal igennem en renoveringsproces, og hvor PVT-elementerne foreslås indpasset i en ny 22°

hældende tagkonstruktion. Her kan ifølge beregningerne opnås en simpel tilbagebetalingstid for investeringerne på 8,9 år, når der regnes med en installeret pris for PVT-elementerne på 2.500 kr./m². (25 mio. kr. for 10.000 m² PVT-paneler, samlet investering på 44,8 mio. kr.)

Når der ses på det forretningsmæssige aspekt af denne nye teknologi, så vil løsningen også have stor værdi for at sikre en efterfølgende indpasning i nybyggeri, hvor det kan påvises at teknologien godt kan konkurrere med almindelige fjernvarmeløsninger, også når disse baseres på anvendelse af udeluftsvarmepumper.

Ses der f.eks. på 110 m² rækkehuse, så vil den førnævnte varmeproduktion på 2.500 MWh om året passe med 380 boliger, der har et forbrug på 50 kWh/m²,år og med 20% fordelingstab i fjernvarmesystemet. I dette tilfælde vil energiforsyningsløsningen til varme løbe op i 25.500 kr. pr. bolig, hvor der samtidigt placeres 4 m² PVT-elementer i taget pr. bolig (0,75 kWp), som på årsbasis giver et bidrag på 600 kWh solstrøm, der vil dække ca. 15% af det normale årlige elforbrug pr. husstand, og med en typisk afregningspris på 1,2 kr./kWh, svarende til 720 kr.

Dette vurderes at udgøre en relativ begrænset ekstra udgift i forhold til, hvad den normale fjernvarmetilslutning koster. Så i princippet kan det godt være en mulighed at anvende den nævnte teknologi som en spidsbelastningsløsning, der kan supplere en normal fjernvarmeløsning, men det er også muligt at optimere den, så den alene udgør basis for den fremtidige lavtemperatur fjernvarme.

Dette kan udgøre et uhyre interessant perspektiv, når løsningen er virkelig gennemprøvet, fordi den har et meget højt potentiale for CO₂ besparelser og i princippet kan udvikles til at blive den billigste og mest klimavenlige energiforsyningsløsning til fremtidigt byggeri.

Avedøre Landsby – beregning med Enopsol værktøj for kombination af ATES og PVT-anlæg til 90 boliger, der udnytter "kold" fjernvarme.

Der er lavet beregninger for et centralt ATES anlæg og PVT-anlæg, der bruges til at sende "kold" fjernvarme ud til de 90 boliger ved hjælp af uisolerede polyethylen vandrør.

Boligerne påregnes at have et årligt varmebehov på 18.000 kWh pr. bolig samt at have installeret vand til vand varmepumpe med en årlig effekt faktor på 4,0. (Se efterfølgende præsentation fra Enopsol)

Og som udgangspunkt sættes der på at installere centralt placerede PVT-elementer, der kan bidrage med lokal vedvarende energi i form af både solstrøm og solvarme.

Beregningerne viser at 1.519 m² PVT-elementer, svarende til 17 m² pr. bolig, på årsbasis kan bidrage med 50% af det årlige varmebehov, som ydes af varmepumperne. Solstrøms ydelsen pr. hus svarer til 2,4 kWp på basis af en samlet investering på 1,52 mio. kr. ved et centralt placeret anlæg til 2.000 kr. pr m². Samtidigt opnås på årsbasis en solstrøms ydelse på 228 MWh.

ATES systemet udgøres af et enkelt boringspar med kold og varm boring til en samlet investering på 4 mio. kr. Udgifterne til varmepumpeanlæg vurderes at løbe op i 105.000 kr. pr. bolig, som med en påregnet offentligt tilskud på 25.000 kr. giver en netto udgift på 80.000 kr. pr. bolig, svarende til 7,2 mio. kr. for 90 boliger. Udgifter til rørføring og kabelarbejder forventes samtidigt at kunne klares for 40.000 kr. pr. bolig, svarende til i alt 3,6 mio. kr.

Beregningerne viser en samlet CO₂ besparelse på 80% sammenlignet med en naturgas reference og med en tilbagebetalingstid på 11,9 år.

Til sammenligning vil en løsning uden PVT-elementer kunne udføres med en tilbagebetalingstid på 10,9 år, men her opnås så kun en 60% CO2 besparelse.

Der er også regnet på en løsning, hvor PVT-elementerne kan bidrage med 80% af det årlige varmebehov, som dækkes af varmepumperne. Her er der brug for 2.430 m² PVT-elementer svarende til 27 m² pr. hus. Med en 3,9kWp solstrømsydelse, hvor der samlet leveres 365 MWh solstrøm om året, svarende til 4.050 kWh pr. bolig. Samlet PVT investering er her 3,89 mio. kr. Det årlige elforbrug til varmepumper er her 4.500 kWh pr. bolig. Og den samlede investering er 18,7 mio. kr.

Og der opnås her en simpel tilbagebetalingstid på 13,5 år. Og en 92% CO2 besparelse. (Se beregning i bilag 2.3)

Hvis der regnes med at hver bolig skal bidrage med 20.000 kr., så skal der her finansieres 193.222 kr. pr. bolig af et energifællesskab baseret a.m.b.a. med kommunegaranterede lån.

I det følgende er vist en samlet fremstilling fra Enopsol vedrørende ovenstående. Her er anvendt Enopsols "Smart Energy" beregningsværktøj og illustreret løsninger både med decentrale PVT anlæg og centrale PVT anlæg.

Af formidlingshensyn er disse værktøjer også sat ind i databasen www.bæredygtigebygninger.dk, så man kan prøve sig frem og finde sine egne resultater for denne anlægstype.

Også beregningsværktøjet for Avedøre Stationsby er tilgængelig her.

Enopsol_04.02.2021_SNS

PE100 PN10 Ø160mm

Flow vand 50 m³/time eller 13.89 l/s

Varmeledningsevne rør: 0.38 W/mK

| | | Rørlængde (meter) | | | | | |
|-------------------|----------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--|
| | | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | |
| Vandtemp. tilgang | Jordtemp | Vandtemp. afgang | Vandtemp. afgang | Vandtemp. afgang | Vandtemp. afgang | Vandtemp. afgang | |
| °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | |
| 30 | 0 | 29.03 | 28.11 | 27.21 | 26.34 | 25.5 | |
| 30 | 10 | 29.36 | 28.74 | 28.14 | 27.56 | 27 | |
| 25 | 0 | 24.2 | 23.43 | 22.68 | 21.95 | 21.25 | |
| 25 | 10 | 24.52 | 24.06 | 23.61 | 23.17 | 22.75 | |
| 20 | 0 | 19.36 | 18.74 | 18.14 | 17.56 | 17 | |

| | | | | | | |
|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 10 | 19.68 | 19.37 | 19.07 | 18.78 | 18.5 |
| 15 | 0 | 14.52 | 14.06 | 13.61 | 13.17 | 12.75 |
| 15 | 10 | 14.84 | 14.69 | 14.54 | 14.39 | 14.25 |
| | | | | | | |

Enopsol beregning af temperatortab for uisolerede rør i jord til "kold" fjernvarme, som funktion af fremløbstemperatur og rørlængder-