

DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI

Arbejdspakke 2

Grøn energi : Solceller

Rapport



Hvad er potentialet ved at placere solceller på Totalstalden?

Indledning

Der er lavet en overordnet og særskilt analyse af potentialet for solceller på konceptstalden samt en analyse af rentabiliteten af en sådan investering. Følsomhed på orientering, og benyttelse af én versus benyttelse af begge tagsider, samt skygge analyse er foretaget.

Metode og forudsætninger

Baseret på tegninger fra konceptstalden er solindstråling på taget af bygningerne udregnet og skygge virkninger er taget i betragtning. Der er kun betragtet skygger fra bygningsdele på konceptstalden og ikke betragtet evt. omgivende skygger fra allerede eksisterende bygninger, højre træer og lign. For uddybende baggrundslæsning om solindstråling, solceller og solcellesystemers virkemåde henvises til PVeducation (<https://www.pveducation.org/>) og Konrad Mertens "Photovoltaics: Fundamentals, Technology, and Practice," 2nd Edition (ISBN: 978-1-119-40133-9). Derudover er solindstrålings data hentet fra PV GIS (https://re.irc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP) som TMY (typical meteorological year).

Der er benyttet System Advisor Model (SAM) og PV-SOL Premium til udregning af energi strømmene. Begge programmer tager time baseret solindstråling, luft temperatur samt PV system data og udregner en timebaseret energiproduktion og forbrug. Disse data summeres efterfølgende og årlige total værdier udregnes, og de årlige værdier benyttes som input til udregning af total økonomi, baseret på en 25 årig betragtnings tid.

SAM er parametrisk opbygget og benyttes til de indledende beregninger m.h.t. størrelse og orientering, og PV-SOL benyttes på udvalgte løsninger til at lave detaljerede analyser, der også tager højde for nærskygge virkninger såsom ventilations hætter mv på bygningerne. Begge programmer benytter som input såkaldte typisk meteorologisk år (TMY), hvilket er en statiske måde at kondensere 10 års satellit baseret vejrdata ind til et typisk år. Til simuleringer i SAM benyttes PV GIS og vejrdata i PV sol er fra Meteororm 7.3.

I SAM er der lavet parametriske analyser af konceptstaldens orientering, ved benyttelse af den sydligst vendte tagflade samt begge tagflader. I forhold til økonomi-betragtning, er der for de samme forudsætninger, lavet parametriske simuleringer for at finde den anlægs størrelse med den største nutids værdi.

Økonomiske forudsætninger:

Parametre		
Rente	2%	
Installeret omkostninger	8 kr/Wp	https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/11/IEA_PVPS_Trends_Report_2020-1.pdf
Køb af elektricitet	59 øre/kWh	
Salg af overskuds elektricitet	25 øre/kWh	
Betragtnings tid	25 år	

Table 1: Økonomiske forudsætninger

I alle simuleringer er der regnet med timebaseret netto afregning, således at overskuds strøm, der ikke bliver forbrugt i løbet af den pågældende time sælges til nettet til EL-spotprisen, antaget til 25 øre pr kWh¹. Er produktionen fra solcellerne inden for en time ikke tilstrækkelig til at dække elektricitets behovet for stalden købes den manglende el til en slutbruger pris på 59 øre pr kWh, hvor forskellen primært skyldes div. transmissions omkostninger og afgifter.

Til beregningerne er der benyttet time baseret elektricitets forbrug, hvor et gennemsnit er udregnet baseret på måler data fra fire af Bregentved Gods svine besætninger. Hver af dem har en produktion på 30000 svin. Dette elektricitets forbrug er så skaleret ned med antal stipladser til koncept staldens

¹ Spotprisen på elektricitet varierer time for time og historisk data kan ses på: <https://www.nordpoolgroup.com/>

16800 årlig svin hvilket giver en skalerings faktor på 0.56 og dermed et totalt årlig forbrug for konceptstalden på 257MWh.

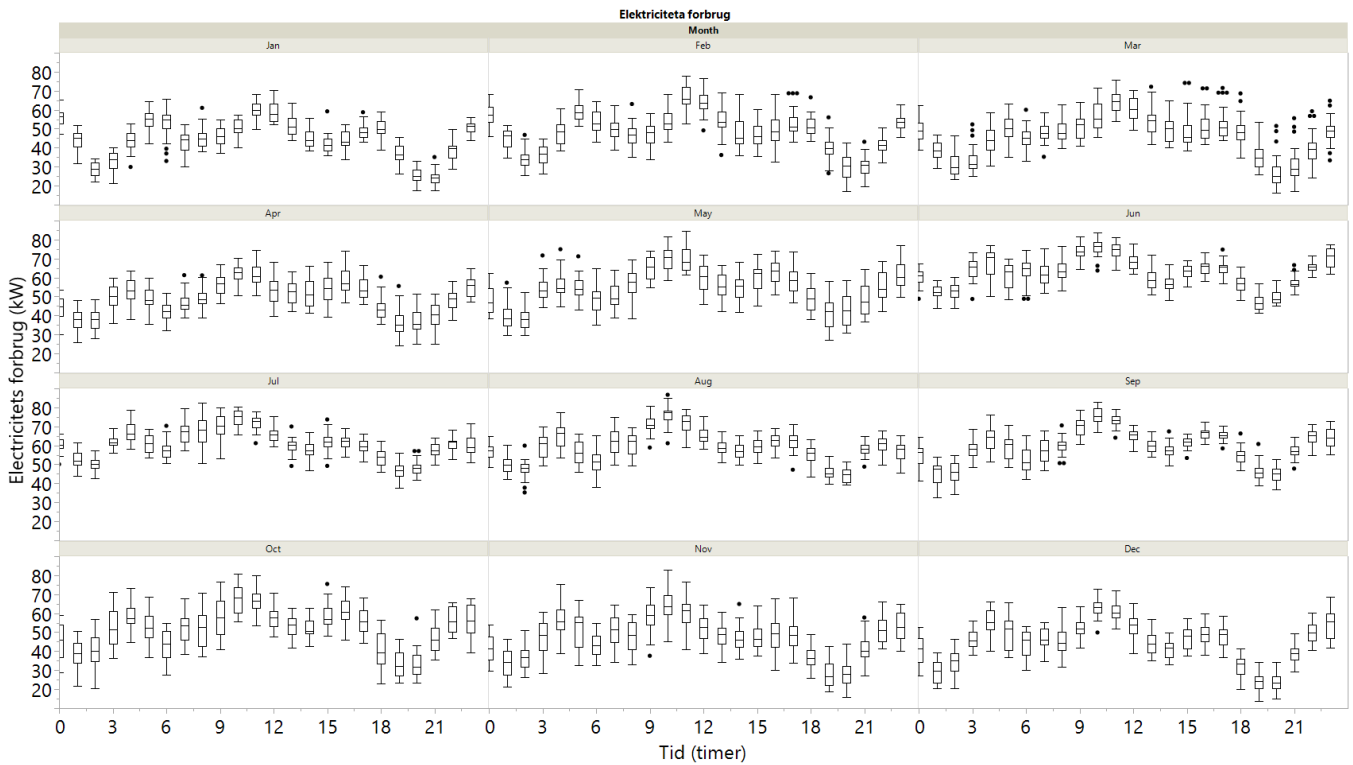


Figure 1: Boxplot af elektricitets forbrug i løbet af dagen udregnet som månedligt gennemsnit.

Dagsprofilerne for de enkelte måneder ses i Figure 1. Her ses et ensartet forbrugsmønster på de forskellige måneder, med en tendens til et højt forbrug midt på dagen og et lavere forbrug efter solnedgang, og en belastnings spids omkring midnat - dog med variationer. I Figure 2 er det gennemsnitlige daglige elforbrug for konceptstalden vist opdelt på måneder. Elforbruget er ca. 30 % større om sommeren, hvor der også er mere solenergi.

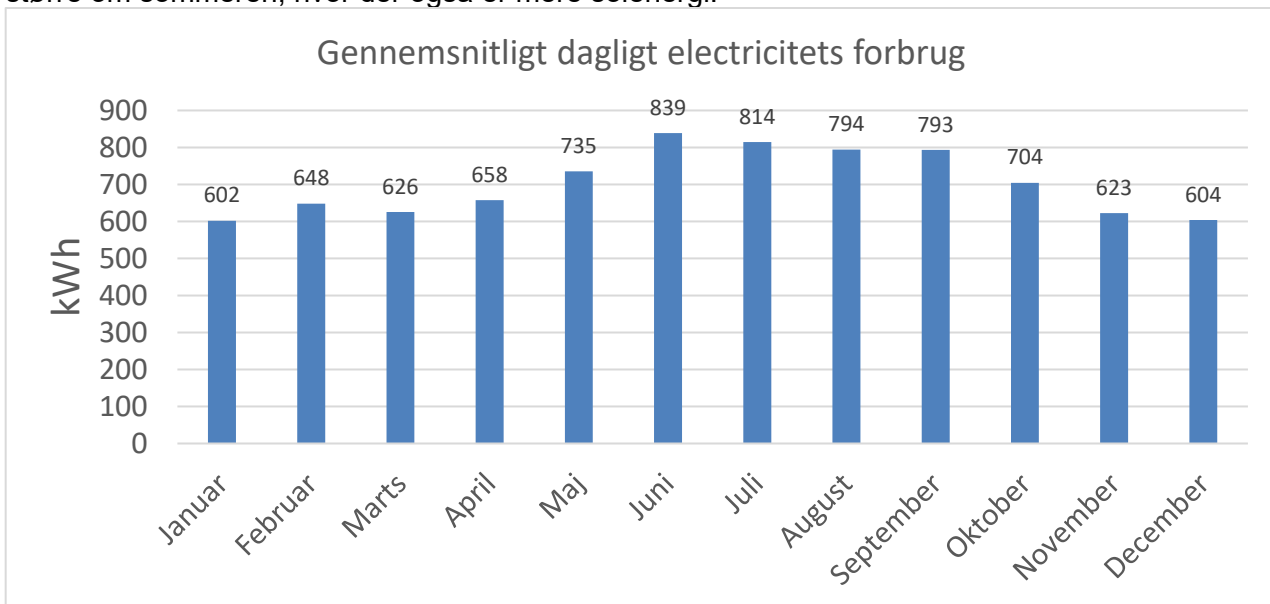


Figure 2: Gennemsnitligt dagligt forbrug i de forskellige måneder.

Bygnings geometrier:

De benyttede bygnings geometrier er baseret på Figure 3 og Figure 4. I Figure 3 ses 6 længer forbundet med en midtergang og en indbyrdes afstand på 5 meter og i Figure 4 ses en total længebredde 13.2 meter og en taghældning på 15°.

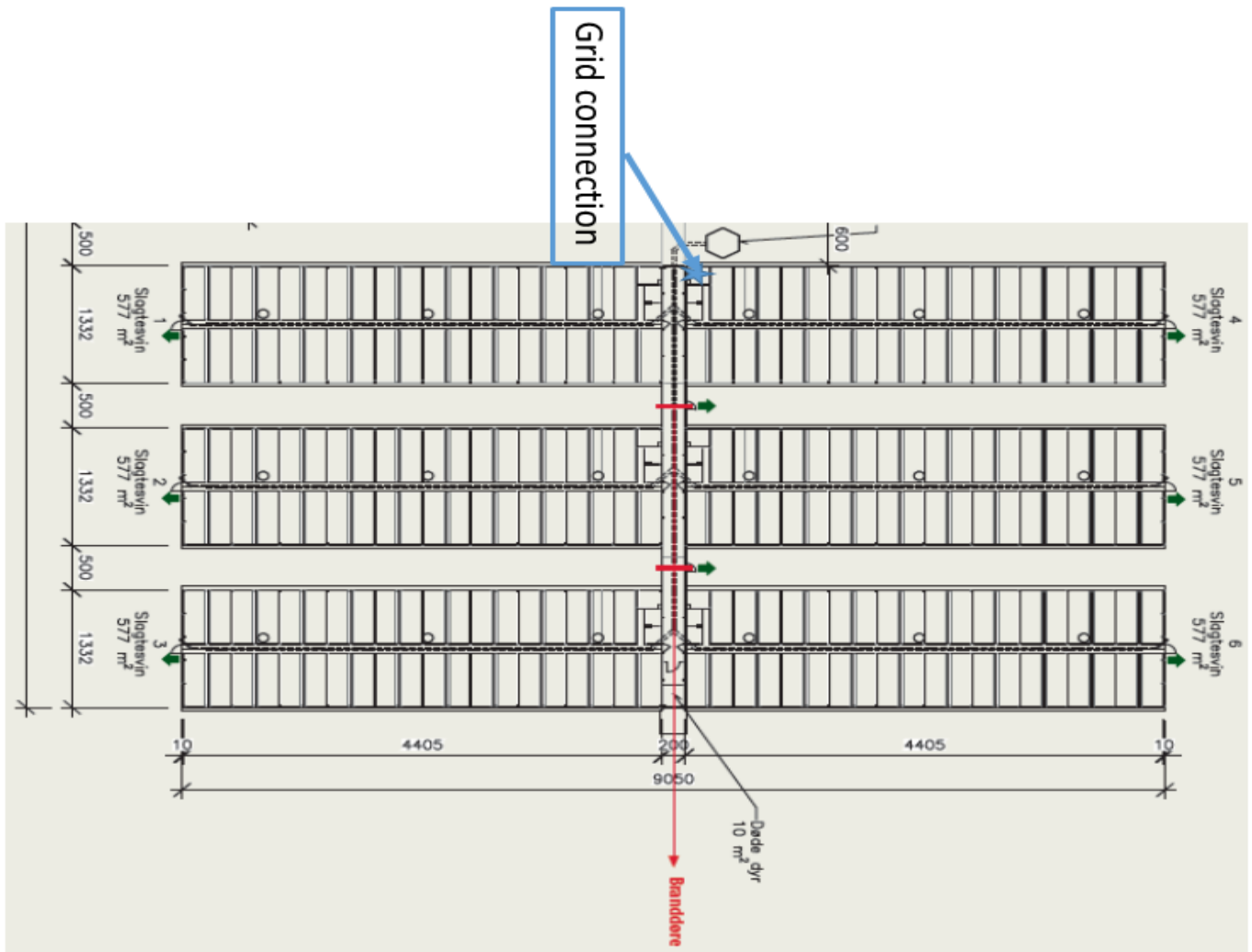


Figure 3: Plantegning af konceptstalden.

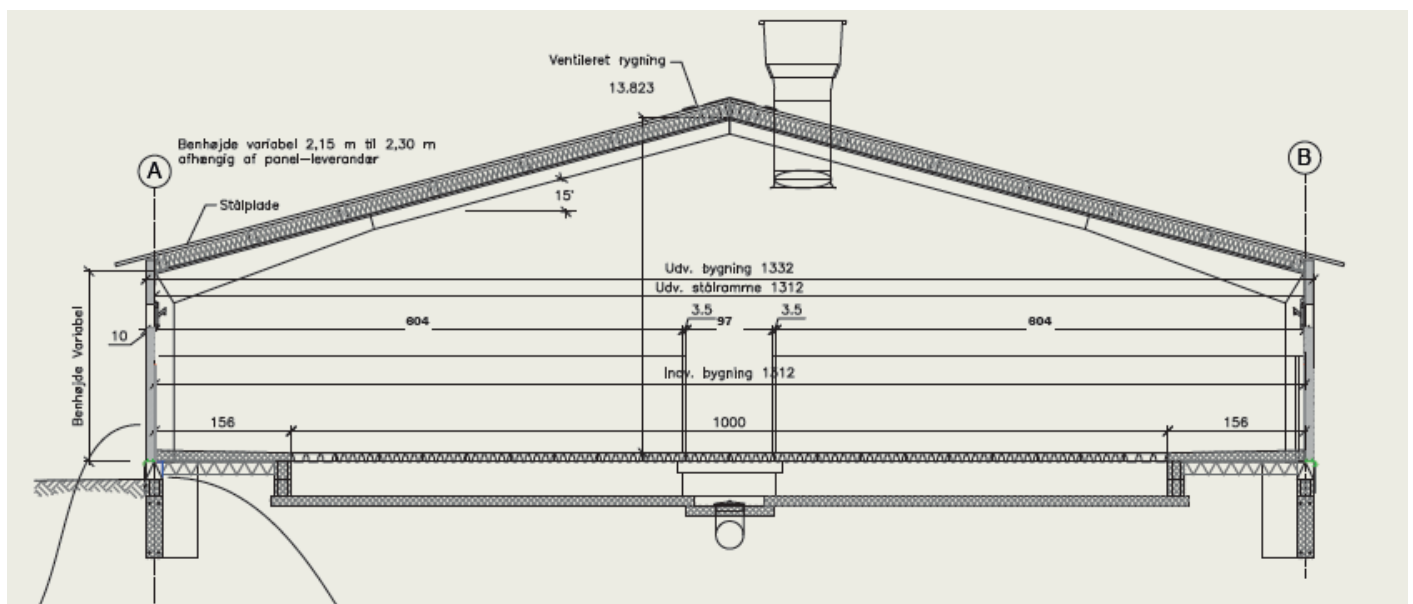


Figure 4: Tværsnits konstruktion af længerne.

Resultater

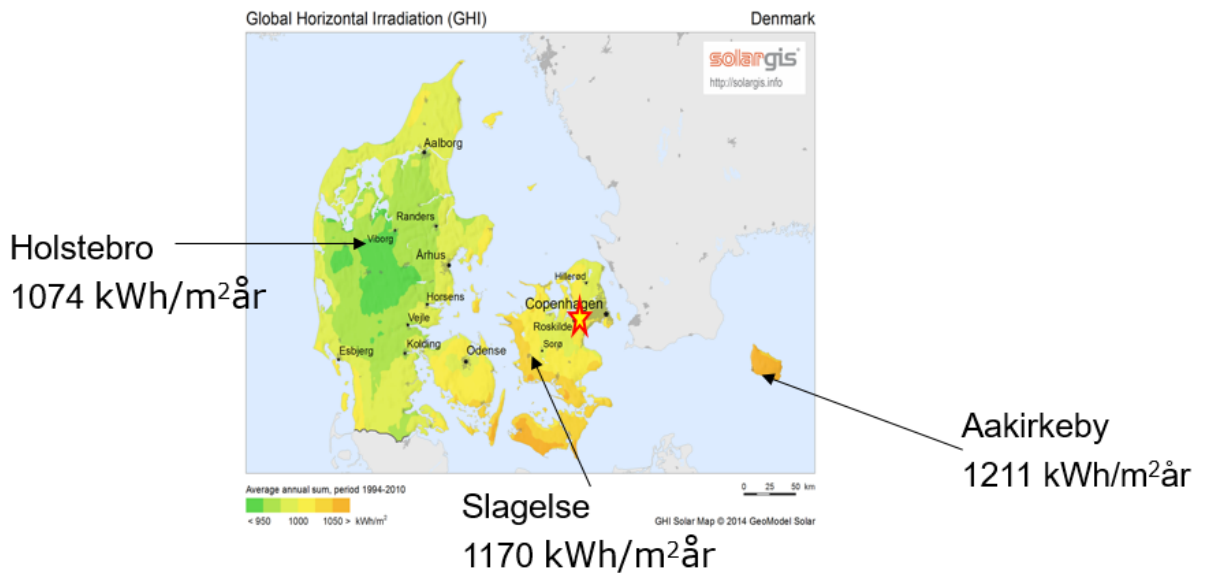


Figure 5: Årlig solindstråling på i vandret plan i Danmark (Solar GIS)

På Figure 3 ses den gennemsnitlige årlige solindstråling i Danmark på et vandret plan. Det ses at midt-Jylland modtager lidt mindre solindstråling end øerne og i særdeleshed Bornholm. Baseret på denne figur er Holstebro valgt eksemplificeret som det sted med lavest indstråling, Slagelse med middel indstråling og Aakirkeby på Bornholm som det sted med højest solindstråling. Geografiske varierer solindstrålingen mindre end 10 % på årsbasis.

Udbytte som funktion af bygningernes orientering mod verdenshjørnerne og længernes egen skygge

I resten af analysen benyttes vejrdata fra Slagelse som vurderes bedst repræsentativt for Danmark. Det normaliserede udbytte i kWh/Wp er udregnet for forskellige orienteringer både hvis en side benyttes (Figure 4) og hvis 2 sider benyttes (Figure 5). Samtidig er det benyttet forskellige Ground Cover Ratios (GCR) som tager højde for længernes egenskygge. Jo højere GCR desto tættere står bygningerne på hinanden (se Figure 4).

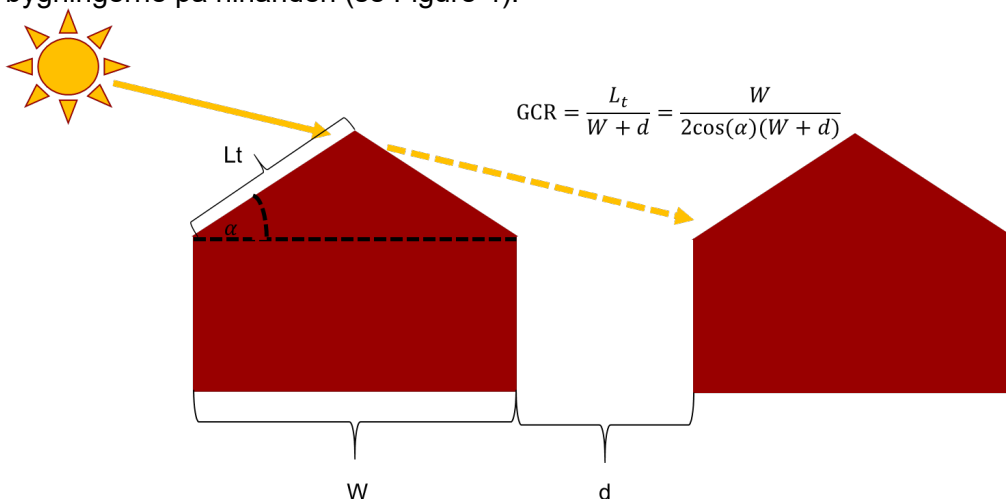


Figure 6: Illustration af Ground cover Ratio

Udregning af GCR ses i nedenstående tabel:

Længe bredde	Taghældning	Længe afstand	GCR
13.32	15	5	0.38
17.50	15	8	0.36
13.32	15	9	0.31

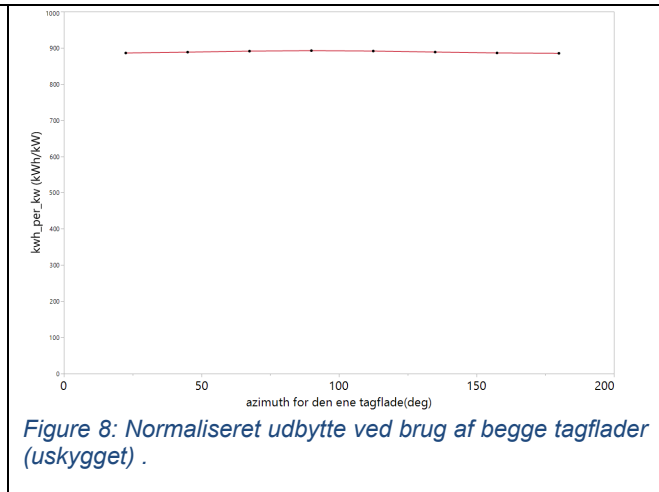
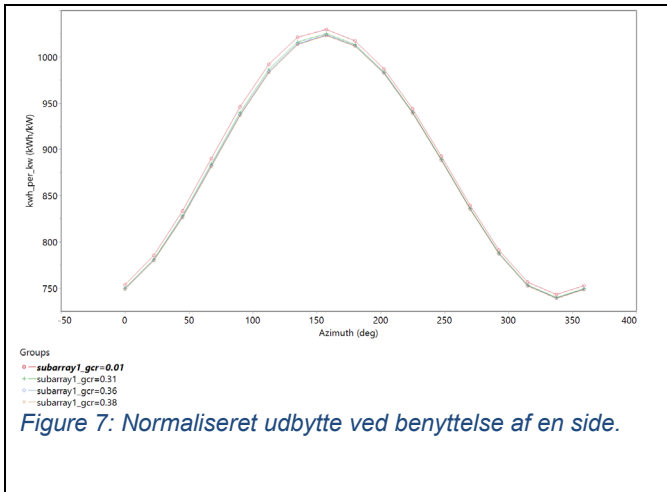


Figure 5 viser at selv ved den nordvendte orientering fås et udbytte på 750 kwh/wp per år og at udbyttet øges til ca 1150 kwh/wp med sydlige orienteringer.

Figure 6 viser, at hvis begge tagflader benyttes, er udbyttet stort set uafhængigt af orientering omkring 900 Kwh/wp.

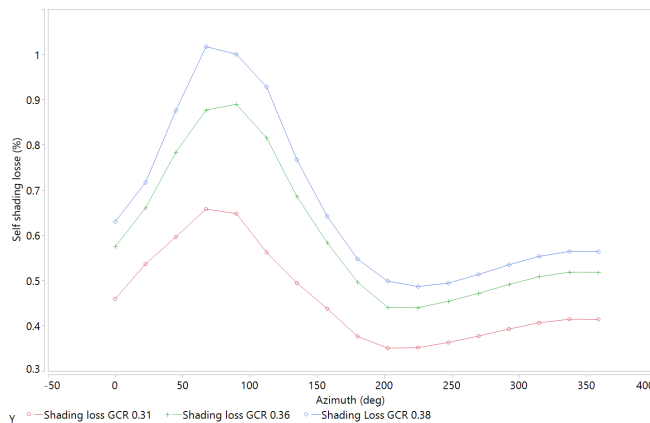


Figure 9: Skygge tab from egen skygge af længer.

Figure 7 viser at skygge tabet fra længerne med de givne GCR parametre er mindre en 1% og kan med stor sandsynlighed ved et anlægs design blive helt ubetydelig.

Det årlige udbytte kan udregnes vha. følgende ligninger:

$$E_{ac} = Y_f Wp$$

$$Wp = \eta * A$$

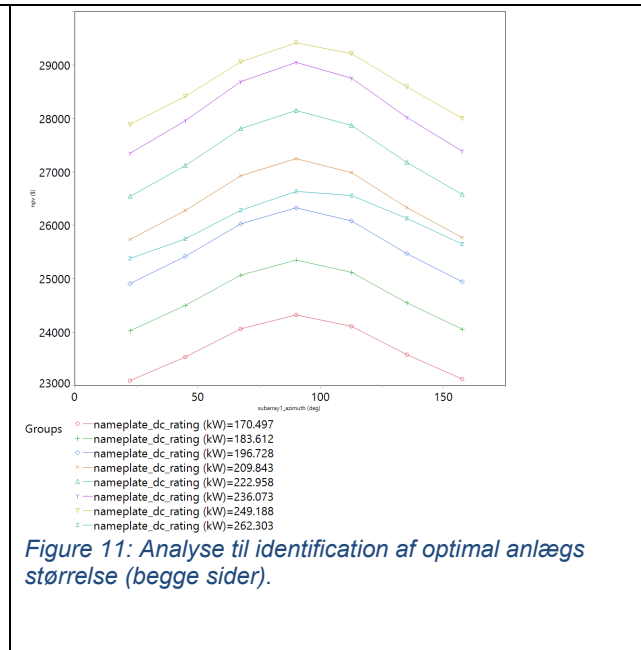
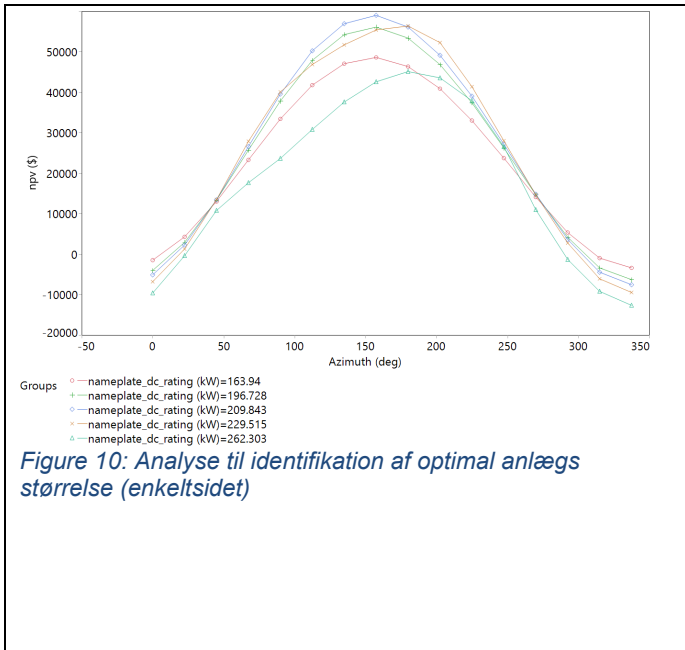
E_{ac} = AC energi ((M)Wh)

Y_f = normaliseret ydelse (h) eller (KWh/Wp) fra Figure 5 og Figure 6.

Wp = Installeret DC effekt, som er estimeret ved Panel effektivitet η gang med areal A .

Antages taget at blive bestykket med paneler med en effektivitet på 20 % vil et tagareal på 1430 m² give en årlig produktion svarende til det årlige elektricitets forbrug. Hvis begge tagflader benyttes og i et sydvendt tilfælde vil 1253 m² være tilstrækkeligt, og da tagarealet er på 3644 m², er kun 35-40% af tagarealet nødvendigt. Heri er skygger fra mellemgangen der forbinder længerne, skygger fra ventilations hætter samt skygger fra omgivelserne, negligeret.

Optimal anlægs størrelse



Den optimale anlægsstørrelse for de 2 situationer er fundet ved at variere anlægsstørrelsen baseret på ovenstående antagelser og økonomiske antagelser fra Table 1, samt det timebaserede elektricitetsforbrug. NPV (nutids værdi) er udregnet i SAM baseret på standardiserede finansielle modeller, se dokumentation som SAM (<https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/70414.pdf>). Benyttes kun den ene tagflade ses, at størst værdi fås ved en installeret kapacitet på 210 kWp (Figure 8) og benyttes begge sider fås den største værdi ved en anlægsstørrelse på 250 kWp (Figure 9). Sammenlignes Figure 8 og Figure 9, ses at størst værdi opnås ved kun at bruge 1 side pegende mod SØ.

Detaljeret skygge evaluering

Skygge virkninger fra ventilations hætter og midtergangen er illustreret i Figure 10. I tallene, der er vist i figuren, er tabet forårsaget af skygge relativt til det uskyggede panel i samme orientering.

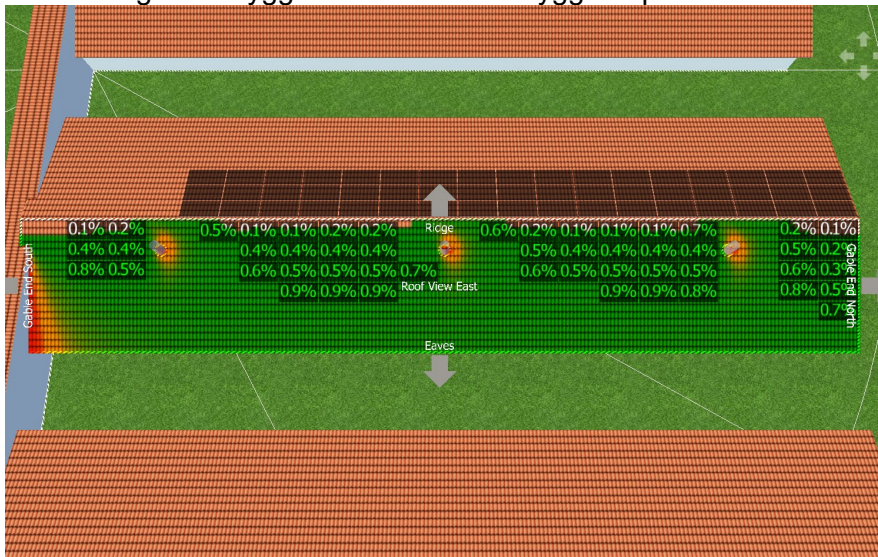


Figure 12: Indflydelse af skygger fra ventilations hætter og mellemgangen. Tegningen er i rigtig skala således at længden er 44 meter langt og hvert panel er ca. 2 m langt.

Det ses, at der bør friholdes 2-4 meter tagflader op mod mellemgangen, for de nordlige længers vedkommende, samt at ventilations hætterne giver et skygge tab på panelerne. Panelerne kan placeres så skygge tabet er mindre end 1 % for det øst vest vendte anlæg.

Detaljeret simulering

En detaljeret system simulering er sat op i PVSOL Premium hvor optimal system størrelse og orientering fra indledende SAM simuleringer er benyttet.

Der er valgt et panel fra Longi Solar med en mærke effekt på 425, som vurderes at være et markeds mæssigt standard panel, der sælges til disse anvendelser. Panelet har en effektivitet på 19.1

% og en størrelse på 104 cm *210. (Datablad i appendix). På markedet findes en del moduler med tilsvarende parametre og derfor vil dette panel let kunne erstattes.

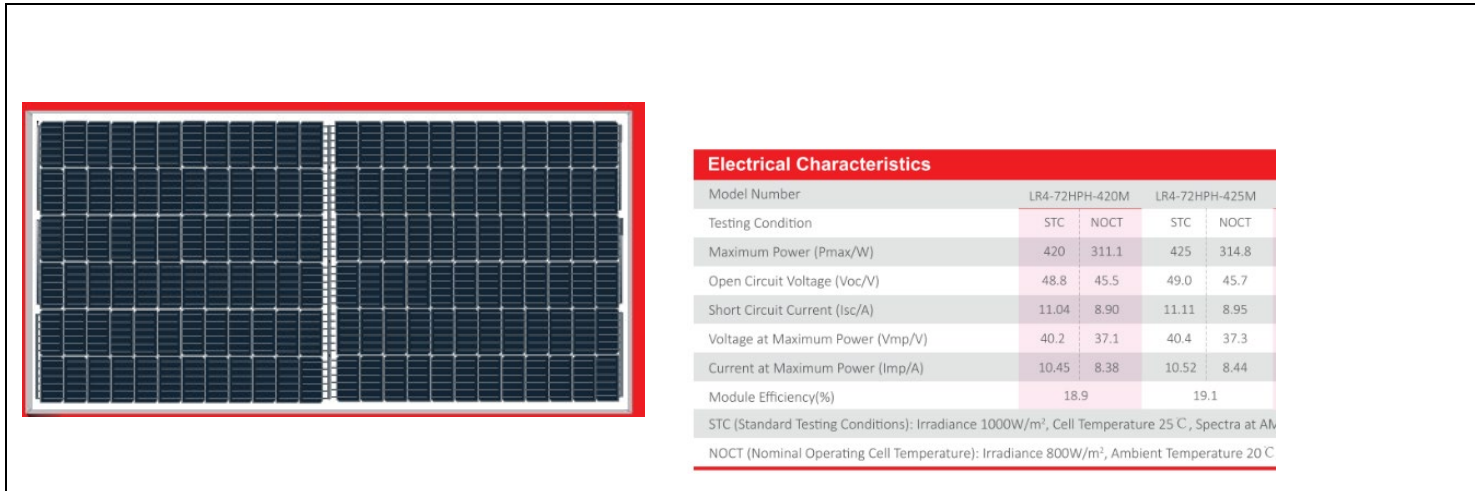


Figure 13: Billede og elektriske parametre for Longi Modulet

Mht. inverterer er der anvendt Huawei's serie sun2000 i effektklasser 17 KW og 15 KW. Disse vil også let kunne erstattes af andre modeller. (Data blad i appendix)

Ensidet sydvendt anlæg:

For det ensidet sydvendte anlæg er der lavet en simulering nedskaleret til én længe med en installeret effekt på 34 KW, svarende til 80 paneler, og med en konfiguration som vist i Figure 12, hvor 2 vekselrettere på 15 KW er benyttet med 20 serielle paneler på hver deres maximum powerpoint (MPP) tracker.

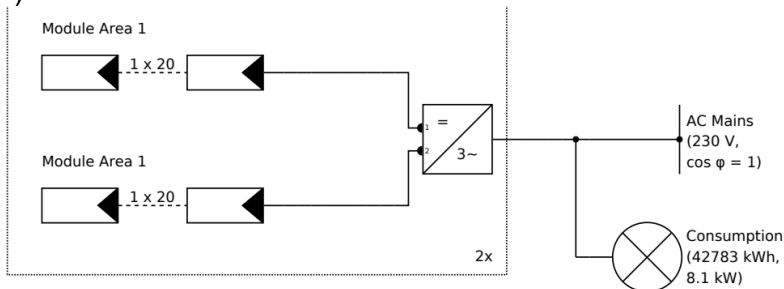


Figure 14: Anlægs diagram, for den ensidige taghældning.

Resultatet af simuleringerne er vist i Figure 13, hvor strøm dækningen er vist pr. måned. Til højre er de årlige værdier vist skaleret op til den fulde konceptstald. Det ses således at på årsbasis vil halvdelen af produktionen gå til direkte eget forbrug, og dette dækker ca. 40 % af det totale årlige strømforbrug.

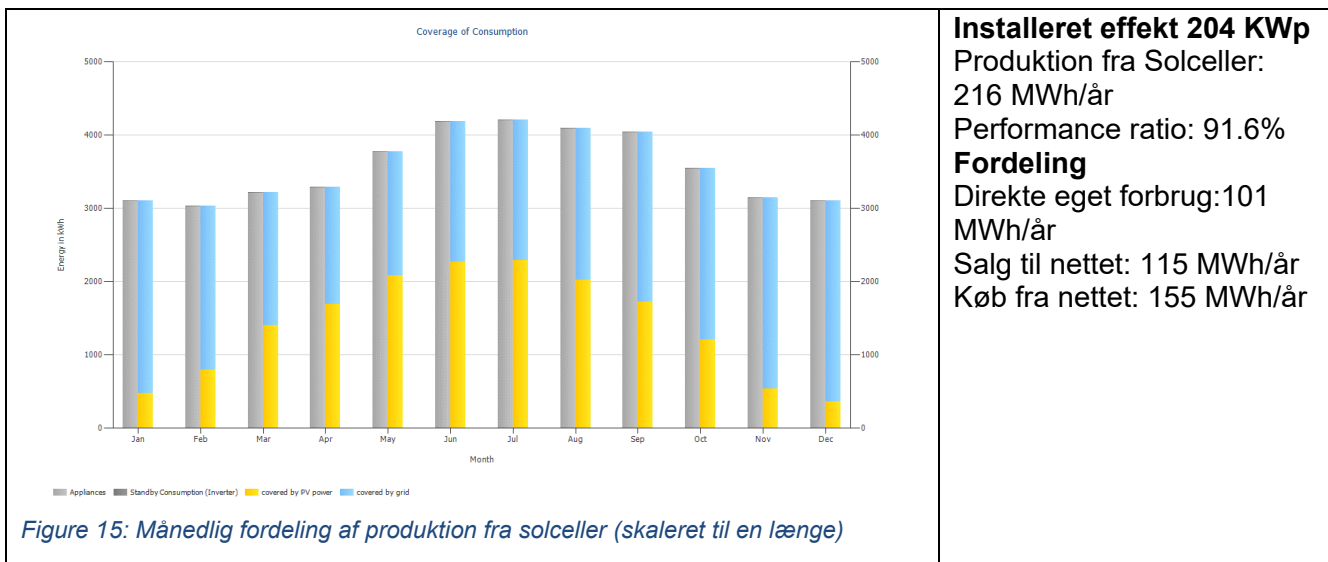


Figure 15: Månedlig fordeling af produktion fra solceller (skaleret til en længe)

Tosidet øst vest anlæg:

Det er lavet en tilsvarende simulering af et anlæg, hvor begge sider af taget benyttes. Også her

skaleret ned til én længe. Fordelingen af paneler samt skygge objekters placering er vist i Figure 14, hvor man kigger mod nord. Der er benyttet 51 moduler på hver tagside svarende til en total installeret effekt på 43 KWP.

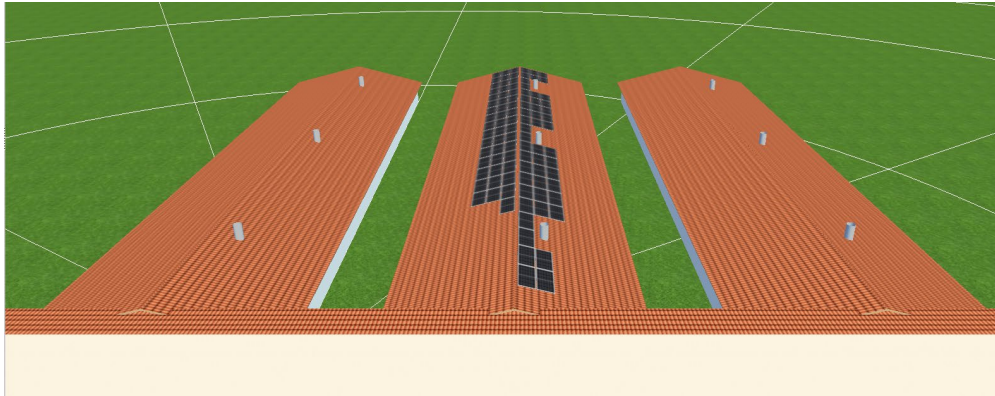


Figure 16: illustration af panel placering og simulering ved benyttelse af begge sider.

Skygge virkningen fra midtergangen, ventilationsaftræk samt de andre længer er vist for den værst tænkelige situation i Figure 10. I Figure 10 er der også et forslag til en panel placering, der minimerer indflydelsen af skygger.

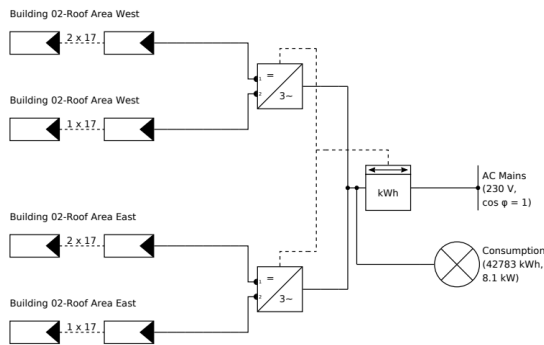


Figure 17: System diagram 2 sided tagløsning.

System diagrammet for en 2 siddet tagløsning er vist i Figure 16, hvor 17 paneler er sat i serie til vekselretteren - dvs. i alt 3 strenge, 2 i parallel til samme MPP tracker.

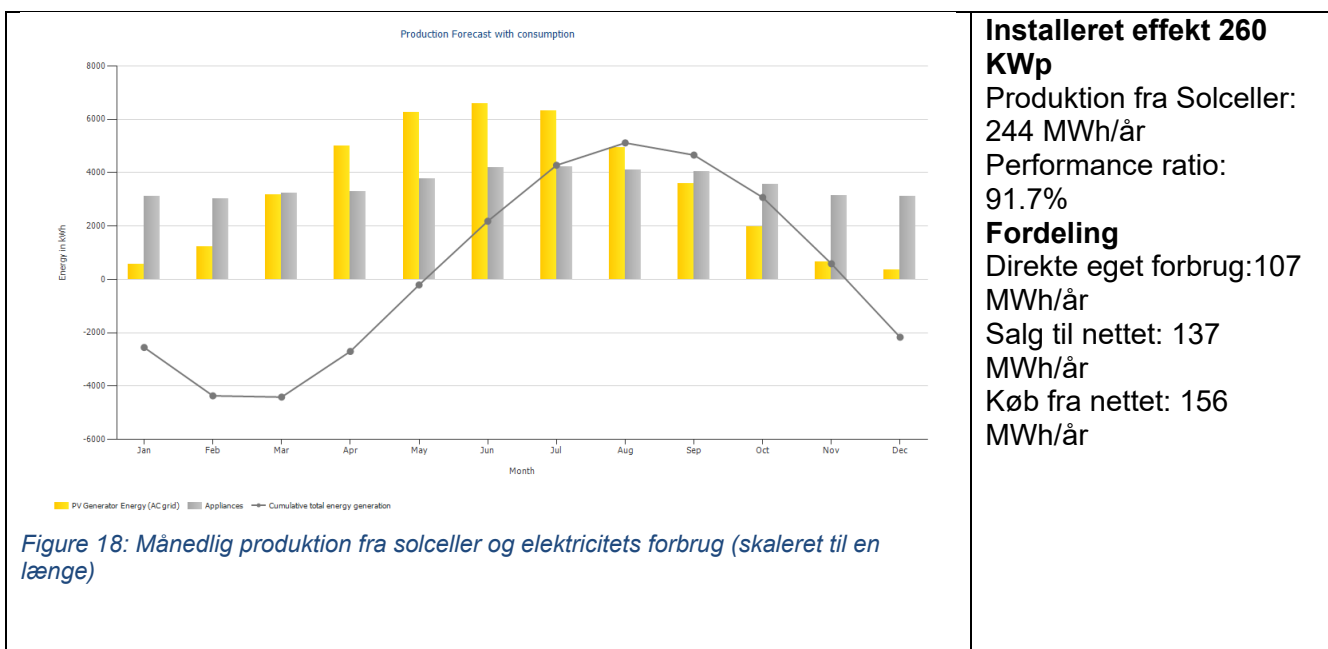


Figure 18: Månedlig produktion fra solceller og elektricitets forbrug (skaleret til en længe)

Resultatet af simuleringen er vist i Figure 17, hvor strømdækningen er vist pr. måned. Til højre er de årlige værdier vist, skaleret op til den fulde konceptstald. Det ses således, at på årsbasis vil ca. 40% af produktionen gå til direkte eget forbrug, og dette dækker ca. 40 % af det totale årlige strømforbrug.

Sammenligning

De to scenarier er sammenlignet (for første år) i Figure 19 for den fulde koncept stald. Det skønnes at

en investering i solcelle anlægget for en énsidet løsning er ca. 1.6 Mio DKK (totalt) og for en tosidet løsning er ca. 2.1 Mio kr. EL produktionen, værdien og besparelsen er størst for den tosidede løsning, men investerings omkostningerne er også størst. Med reference til de indledende simuleringer (Figure 8 og Figure 9) er nutids værdien for systemet ca. 50000 USD svarende til 330.000 DKK for den enkeltsidede løsning med optimal orientering og ca. 29000 USD svarende til 191.000 DKK den for den tosidede. Da nutids værdien for begge er positiv er begge investeringer fordelagtige og den énsidede er den, der er mest økonomisk fordelagtigt. Tilføjelse af et tilstrækkeligt stort batteri vil kunne øge egetforbruget, men også installations omkostningerne. En analyse i forhold til batterier analyse udover denne rapport.

	1 Sidet sydvendt (MWh)	PV syd (tkr)	2sidet øst vest MWh	Med PV (øst vest) tkr	MWh	Uden PV
Anlægs investering	204	1632	260	2080		
Produktion fra solceller	216		244			
Energi køb	155	91.45	149	87.91	256	151.04
Energi salg	115	-28.75	137	-34.25		0
Besparelse ved eget forbrug	101	-59.59	107	-63.13		
Total gevinst ved PV		88.34		97.38		
Elregning		62.7		53.66		151.04
Direkte selvforsyning	47%		44%			
Årlig total produktion/forbrug	84%		95%			

Figure 19: Sammenligning af scenarier.

Følsomhed

De viste resultater er generelt valide for Danmark, men forudsætter, at der ikke er væsentlige skygger fra andre objekter. Økonomisk er der antaget elektricitets priser og disse har især det sidste halve år været væsentlig højere end antagelserne i denne rapport. Stiger elektricitets priserne stiger både elregning men også besparelsen samt gevinst ved PV, og derfor vil nutidsværdien øges. Installations prisen er antaget, baseret på litteratur, og historisk er komponent priserne på solceller faldet betydeligt og dette forventes også vil være tilfældet i fremtiden. Værdierne i Figure 19 er resultater for år 1. Solcellernes effektivitet falder med tiden og for solrige egne ca.0.5 % pr år og sandsynligvis mindre herhjemme, hvilket skal tages ibetragtning når nutids værdien udregnes (Figure 8 og Figure 9 er denne sat til 0.5 % pr år).

Konklusion

Følgende simuleringer viser at:

1. Et tag areal på ca. 1250 -1450 m² er nok til at producere konceptstaldens årlige strømforbrug og dette er en udnyttelse på ca. 35-40 % af det tilgængelige tagareal.
2. Benyttes begge tagflader er energi produktionen uafhængig af orientering. Er en rimeligt uskygget sydvendt tagflade til rådighed bør man i praksis kun bruge denne.
3. Optimal anlægsstørrelse i forhold til størst nutids værdi er 210 KWp hvis kun en (sydvendt (SØ-SW tagflade benyttes)) og 250 KWp hvis begge tagflader benyttes.
4. Skygge virkningen fra længe til længe giver under 1 procents tab.
5. For den optimale anlægsstørrelse under de givne forudsætninger, kan panelerne placeres således, at skygge tabet fra diverse ventilations hætter mv. er under 1 %.
6. Under de givne finansielle forudsætninger giver begge scenarier en positiv nutids værdi. Den sydvendte tagflade giver den største på 33000 kr. nutidsværdi. Haves en suboptimalt placeret bygning til rådighed, kan der sandsynligvis stadig opnås en høj nutids værdi.

Technical
University of
Denmark

Brovej, Building 118
2800 Kgs. Lyngby
Tlf. 4525 1700

www.byg.dtu.dk