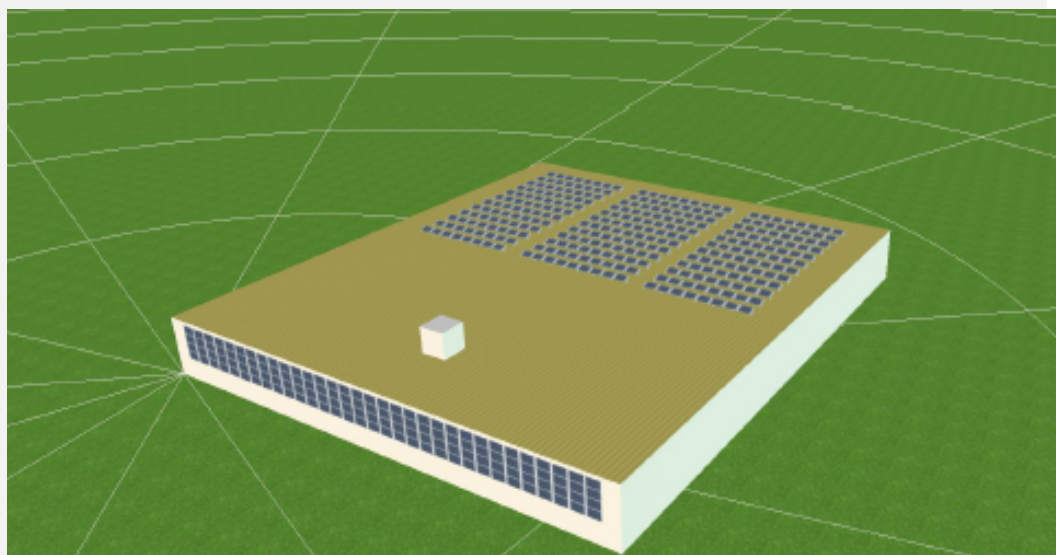


Halden kommune

NOTAT SOLCELLEANLEGG OS SKOLE OG IDRETTSARENA

Dato: 29.09.2020
Versjon: 01



Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver:	Halden kommune
Tittel på rapport:	Os prosjektet - Notat for solcelleanlegg
Oppdragsnavn:	Os prosjektet, skole og idrettsarena
Oppdragsnummer:	628777-01
Utarbeidet av:	Peter Bernhard
Oppdragsleder:	Natalia Rodriguez
Tilgjengelighet:	Åpen

Innhold

1. INNLEDNING	4
1.1. Generelt	4
1.2. Beskrivelse av prosjektet og ambisjon for energibruk	4
2. RESSURSTILGANG OG SOLINNSTRÅLING	5
3. GENERELT OM SOLCELLEANLEGG	6
3.1. Bygningsanvendte solcelleanlegg (BAPV) på flatt tak	6
3.2. Bygningsintegrerte solcelleanlegg (BIPV) i fasader	7
3.3. Solceller	8
4. BEREGNING AV FORVENTET STRØMPRODUKSJON	9
4.1. Forutsetninger.....	9
4.2. Alternativ 1 – Maksimal utnyttelse av tilgjengelige takflater	9
4.3. Alternativ 2: Optimalisert solcelleanlegg mht. lønnsomhet, grønt tak og energiforbruk.	10
4.4. Anbefaling	12

1. INNLEDNING

1.1. Generelt

Dette notatet omhandler muligheter for utnyttelse av solenergi til strømproduksjon i forbindelse med prosjekteringen av Os skole og idrettsarena.

Notatet beskriver følgende to alternativer:

- A) Maksimal utnyttelse av takareal til installasjon av solceller
- B) Solcelleanlegg tilpasset ambisjonsnivå for energiforbruk og forbruksmønsteret.

For begge alternativene er årlig strømproduksjon beregnet, og investeringsbehov er estimert.

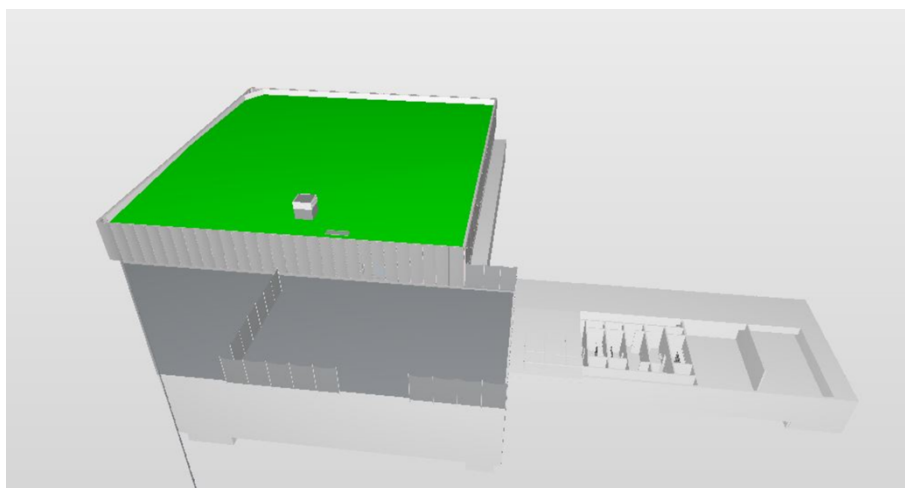
1.2. Beskrivelse av prosjektet og ambisjon for energibruk

Halden kommune skal rehabilitere Os barneskole samt bygge en ny idrettshall/arena og et tilbygg til skolen. Oppvarmet bruksareal for nybyggene er på ca. 11000 m² BRA.

Ambisjonen mht. til energibruk 55% reduksjon i forhold til krav for å oppnå energikarakter C i energimerkeordningen og 60% reduksjon for idrettsdelen.

I denne forbindelse ønskes en vurdering av muligheter for installasjon av solcelleanlegg.

Figur 1 viser en 3-D modell av arenaen og ny skole. Både takarealet og de øvre deler sørfasaden av arenaen vurderes som meget godt egnet til installasjon av solceller. Taket til ny skole skal utformes som aktivitetsrom for elevene og er derfor ikke aktuelt i forbindelse med utnyttelse av solenergi.



Figur 1: 3D-modell av area med ny skole.

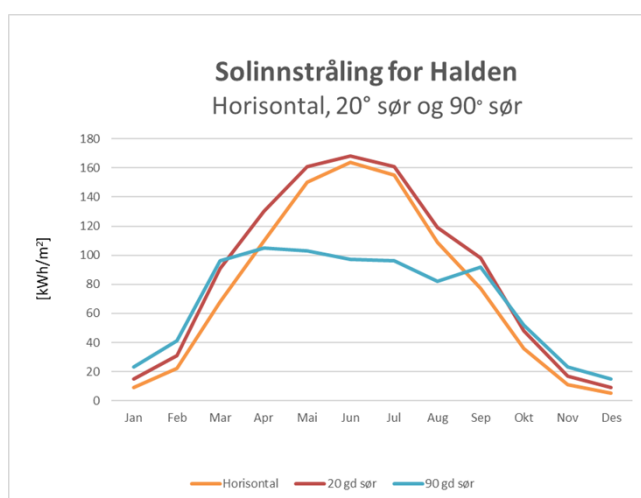
2. RESSURSTILGANG OG SOLINNSTRÅLING

For å kunne beregne forventet el-produksjon fra et solcelleanlegg er man avhengig av klimadata for stedet hvor anlegget skal installeres. Primært gjelder dette solinnstrålingen, men både temperatur og vindhastighet påvirker virkningsgraden og dermed el-produksjonen.

I dette prosjektet benyttes data fra Meteonorm-databasen for Halden. Dette er en kombinasjon av satellittdata og interpolert data fra målestasjoner på bakken.

Figur 2 viser månedlig globalstråling for Halden på en horisontal flate, en flate med 20° helning mot sør (190°) og en sørvendt (190°) fasade, dvs. helningsvinkel på 90°.

Figuren viser tydelig at både flater med 20° helning mot sør og fasader mot sør har en betydelig høyere solinnstråling om våren og høsten enn horisontale flater. Samtidig vises at fasaden har betydelig lavere solinnstråling fra mai til august.



Figur 2: Månedlig globalstråling for Halden

Tab. 1 viser månedlig og årlig globalstråling for de tre flatene. Solinnstråling på en horisontal flate er angitt til 916 kWh/m²/år.

Til sammenligning øker årlig solinnstråling til 1048 kWh/m², dvs. med 14%, for en flate med 20° helning og orientering mot sør. For en loddrett fasade med orientering mot sør (190°) er årlig solinnstråling angitt til ca. 835 kWh/m².

Tabell 1: Månedlig og årlig globalstråling for Halden

Globalstråling Halden															
Kilde: Meteonorm															
Orientering og helning	Rel. til horisontal	År	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	
	[%]	[kWh/m²]													
Horisontal	100	916	9	22	68	110	150	164	155	109	77	36	11	5	
Sør (190 gd)															
20 gd	114	1048	15	31	91	130	161	168	161	119	98	48	17	9	
90 gd	91	835	23	41	96	105	103	97	96	92	92	52	23	15	

3. GENERELT OM SOLCELLEANLEGG

Prinsipielt kan solcelleanlegg tilknyttet bygg deles inn i bygningsanvendte solcellesystemer (building-applied photovoltaics, BAPV) og bygningsintegrerte solcelleanlegg (building-integrated photovoltaics, BIPV).

3.1. Bygningsanvendte solcelleanlegg (BAPV) på flatt tak

Betegnelsen *byggningsanvendte solcellesystemer* benyttes for å referere til at solcellemoduler er «ettermontert» eller montert etter at selve bygningskonstruksjonen er komplett.

For flate tak oppnås høyest produksjon av solstrøm i forhold til tilgjengelige takareal ved bruk av såkalte «øst-vest» monterte solcelleanlegg. I dette tilfelle monteres solcellepanelene med 10° helning mot øst og vest. Figur 3 viser et øst-vest solcelleanlegg som er monterte på tribunetak på Bislett stadion.



Figur 3: Øst-vest solcelleanlegg Bislett stadion.

Alternativt kan solcellepanelene monteres på montasjesystemer med helning mot sør. Maksimal spesifikk ytelse, dvs. strømproduksjon per m² solcelleareal eller installert merkeeffekt, oppnås med en helningsvinkel på ca. 40°. Ulempen med en slik anordning er at dette medfører behov for mye ballast og stor avstand mellom radene med solceller for å unngå skygge fra andre solcellepaneler. Det er derfor mer hensiktsmessig å benytte montasjesystemer med helningsvinkel på ca. 20°. Figur 4 viser eksempelvis et Solcelleanlegg med panelene som er montert med 20° helning mot sør.



Figur 4: Solcelleanlegg på tak av Fornebu S. Panelene er montert med 20° helning mot sør.



Figur 5: Solceller kombinert med grønt tak.

Figur 5 viser et solcelleanlegg med 20° helning mot sør kombinert i kombinasjon med et grønt sedumtak. Anlegget ble installert i 2018 på taket til gjenbruksstasjonen på Ryen i Oslo. De enkelte solcellemodulene er «hektet» sammen gjennom montasjeskinnene til større felt. På denne måten er det ikke nødvendig å feste solcelleanlegget mot bygget. Avhengig av lokale vindlaster og byggets høyde dimensjoneres ballast som legges på montasjeskinnene.

Bildet er tatt sommeren 2018 og viser tydelig at solcellemodulene hadde en positiv effekt på plantene.

3.2. Bygningsintegrerte solcelleanlegg (BIPV) i fasader

Solcelleanlegg som integreres i bygg, dvs. tak eller fasader, betegnes som bygningsintegrerte solcelleanlegg (BIPV). I dette tilfellet utformes solcelleanlegget slik at panelene fungerer som et tett tak eller en tett fasade.

Det finnes mange forskjellige løsninger for bygningsintegrerte solcelleanlegg. Fordelene med slike anlegg er at man kan erstatte tradisjonelle tak og fasadematerialer, og at man kan utforme solcelleanlegget slik at det blir en naturlig del av bygget. Den største ulempen er prisen. I praksis må det regnes med at et BIPV-anlegg koster ca. det dobbelte som et tilsvarende BAPV-anlegg. Riktignok kan deler av merkostnader kompenseres gjennom enklere oppbygging av undertaket.

Prinsipielt er det også mulig å benytte solcellepaneler med tilpassede størrelser eller andre farger. Figur 6 viser eksempelvis kvadratiske solcellepaneler fra det danske selskapet Solar Lab AS installert på



Figur 6: Rammeløse solcellepaneler integrert i fasaden til den Internasjonale skolen i København.

fasaden til den Internasjonale skolen i København. Figur 7 viser et fasadeintegrert solcelleanlegg hvor det er benyttet standardpaneler.

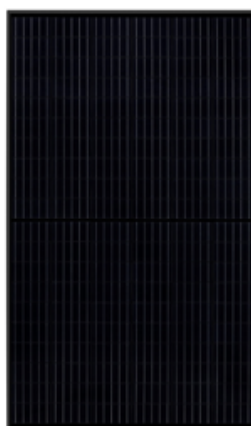


Figur 7: Solcellefasade Bjørkelangen vgs. i Aurskog-Høland.

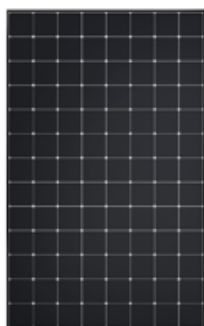
3.3. Solceller

Installert effekt for et standard solcellepanel med dimensjonene på ca. 1,65 meter x 1 meter er typisk på 280-330 W_p. De beste kommersielt tilgjengelige solcellepanelene med tilsvarende dimensjoner har en merkeeffekt på 360-400 W_p. Figur 8 viser eksempelvis Twin Peak 2 solcellepaneler fra REC Solar og Maxeon 3 fra Sunpower.

Begge har betydelig lavere klimagassutslipp fra produksjon enn gjennomsnitt i bransjen



SUNPOWER®
MAXEON®



MAXEON® 3 | 395 W

Residential Solar Panel

SunPower Maxeon panels combine the top efficiency, durability and warranty available in the market today, resulting in more long-term energy and savings.^{1,2}



Maximum Power. Minimalist Design.

Industry-leading efficiency means more power and savings per available space. With fewer panels required, less is truly more.



Highest Lifetime Energy and Savings

Designed to deliver 55% more energy in the same space over 25 years in real-world conditions like partial shade and high temperatures.²

Figur 8: Eksempel på standard solcellepaneler med lavt klimafotavtrykk.

4. BEREGNING AV FORVENTET STRØMPRODUKSJON

I dette kapittelet presenteres forventet strømproduksjon for de to alternativene.

Alt. 1: Maksimal utnyttelse av takarealet til installasjon av solceller.

Alt. 2 Optimalisert solcelleanlegg mht. energiambisjon og lønnsomhet og ønske om grønt tak.

For begge alternativene suppleres solcelleanlegget på taket med et mindre solcelleanlegg integrert i sørfasaden. Dette hovedsakelig av pedagogiske grunner for å «vise frem» solcelleanlegg og for å kunne bruke de to forskjellige delanleggene i undervisningssammenheng.

4.1. Forutsetninger

Solcelleanlegg:

- Det benyttes standardpaneler (ca. 1,65 meter x 1,0 meter) med merkeeffekt på 300 W_p. Virkningsgraden for solcellepanelene er dermed ca. 18%.
- Tapsfaktor: 0,85
- Totalt takareal: 3760 m²

Tap pga. snø og is (Soiling losses):

For å ta hensyn til redusert solinnstråling som følge av snø i vintermånedene benyttes en erfaringsmessig faktor for «soiling losses» for månedene november tom. mars. I virkeligheten vil denne faktoren variere fra år til år, og det kan forekomme noe tap også i april.

Tabell 2 viser benyttede månedlige korrekturfaktorer for tap av solinnstråling pga. snø og is som ligger på solcellepanelene.

Tabell 2:

Soiling losses (is og snø)													
Helningsvinkel	Tap av solinnstråling pga av is og snø [%]												
	År	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Horisontal		80	80	20	0	0	0	0	0	0	0	30	50
20 gd sør		80	80	20	0	0	0	0	0	0	0	30	50
90 gd sør		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4.2. Alternativ 1 – Maksimal utnyttelse av tilgjengelige takflater

Det installeres et øst-vest konfigurert solcelleanlegg på taket til arenaen. Det kan regnes med at arealutnyttelsen, dvs. solcelleareal i forhold til det totale takarealet kan bli på ca. 80%. Dermed kan det installeres et 3000 m² stort solcelleanlegg med en installert effekt på 545 kW_p.

I tillegg installeres et ca. 200 m² stort solcelleanlegg med merkeeffekt på 36 kW_p i sørfasaden.

4.2.1. Beregnet strømproduksjon

Som vist i Tabell 3 kan årlig strømproduksjon bli på ca. 425 000 kWh. Hvorav 25 000 kWh produseres av solcelleanlegget i fasaden.

Tabell 3: beregnet strømproduksjon ved maksimal utnyttelse av takarealet.

PV areal horisontal [m ²]	3 000												
PV areal 20 gd sør [m ²]	0												
PV areal 90 gd sør [m ²]	200												
Alternativ 1	År	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Sum el-produksjon	425 707	1 530	3 274	27 907	53 703	72 002	78 244	74 083	52 846	38 158	18 115	4 238	1 607
Horisontal [kWh]	400 156	826	2 020	24 970	50 490	68 850	75 276	71 145	50 031	35 343	16 524	3 534	1 148
90 gd sør[kWh]	25 551	704	1 255	2 938	3 213	3 152	2 968	2 938	2 815	2 815	1 591	704	459

4.2.2. Investeringskostnader

Investeringskostnader, eks. mva, for et komplett øst-vest solcelleanlegg i denne størrelse, kan anslås til 9000-10 000 kr/kW_p. For et fasadeintegrert solcelleanlegg med sikkerhetsglass kan det regnes med kostnader på ca. 3500 – 4000 kr/m², tilsvarende 19-22 kr/W_p.

Total investeringskostnad for Alternativ 1 kan anslås til 5,7 – 6,3 mill kr:

Øst-vest solcelleanlegg på tak: 5,0 - 5,5 mill. kr

Solcelleanlegg integrert i sørfasaden: 0,7 - 0,8 mill kr.

4.2.3. Vurdering Alternativ 1

Teknisk sett kan et solcelleanlegg produsere ca. 45-50 kWh/m² BRA dersom det benyttes høyeffektive solceller med 21% virkningsgrad, dvs. standard solcellepaneler med ca. 360 W_p. Dermed vil det være mulig å øke årlig strømproduksjon til ca. 520 000 kWh.

I kombinasjon med varmepumpe og energibrønner vil det evt. være mulig å oppnå kriterier iht. FutureBuilt plusshus.

Likevel, blir et så stort solcelleanlegg isolert sett ikke lønnsomt. Dette skyldes overproduksjonen av solstrøm i sommerhalvåret. Med dagens regelverk må overproduksjonen selges til et kraftselskap, som normalt betaler markedspris for kraft. Typisk ligger denne på ca. 25-35 øre/kWh. Samtidig kan det regnes med at LCOE for produsert solstrøm, uten kapitalkostnader, er på ca. 0,7 kr/kW, dvs. betydelig over prisen man kan regne med å oppnå ved salg av solstrøm.

For å oppnå akseptabel lønnsomhet bør andel solstrøm som må selges begrenses til ca. 10-15% av forventet årlig produksjon.

Solcelleanlegget blir for stort og dermed lite lønnsomt.

4.3. Alternativ 2: Optimalisert solcelleanlegg mht. lønnsomhet, grønt tak og energiforbruk.

Det installeres et solcelleanlegg med 20° helning mot sør i byggets hovedakse, dvs. ca. 190°. I tillegg installeres, som for Alternativ 1, et solcelleanlegg i sørfasaden.

For å redusere overproduksjon av solstrøm dimensjoneres solcelleanlegget for en årlig produksjon på ca. 100 000 kWh. Lokal strømproduksjon tilsvarer dermed ca. 9-10 kWh/m², eller ca. 15% av beregnet behov for levert energi til arenaen og nytt skolebygg.

4.3.1. Beregnet strømproduksjon

Dette resulterer i et 500 m² stort solcelleanlegg på taket med 90 kW_p merkeeffekt. Solcelleanlegget i fasaden er 200 m² stort og har merkeeffekt på 36 kW_p.

Tabell 4: Beregnet strømproduksjon for Alternativ 2

PV areal horisontal [m2]	0												
PV areal 20 gd sør [m2]	500												
PV areal 90 gd sør [m2]	200												
Alternativ 2	År	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Sum el-produksjon [kWh]	100 781	933	1 729	8 507	13 158	15 468	15 820	15 254	11 919	10 312	5 263	1 614	803
Horisontal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20 gd sør	75 230	230	474	5 569	9 945	12 317	12 852	12 317	9 104	7 497	3 672	910	344
90 gd sør	25 551	704	1 255	2 938	3 213	3 152	2 968	2 938	2 815	2 815	1 591	704	459

Som vist i Tabell 4 produserer solcelleanlegget i overkant av 100 000 kWh/år. 75% produseres av anlegget på taket og 25% av fra fasaden.

4.3.2. Investeringskostnader

Investeringskostnader, eks. mva, for et komplett sørvendt solcelleanlegg i denne størrelse, kan anslås til ca. 10 000 -11 000 kr/kW_p. For et fasadeintegrert solcelleanlegg med sikkerhetsglass kan det regnes med kostnader på ca. 3500 – 4000 kr/m², tilsvarende 19-22 kr/W_p.

Total investeringskostnad for solcelleanlegget kan anslås til 1,6 – 1,8 mill kr:

90 kW_p sørvendt solcelleanlegg på tak: 0,9-1,0 mill. kr

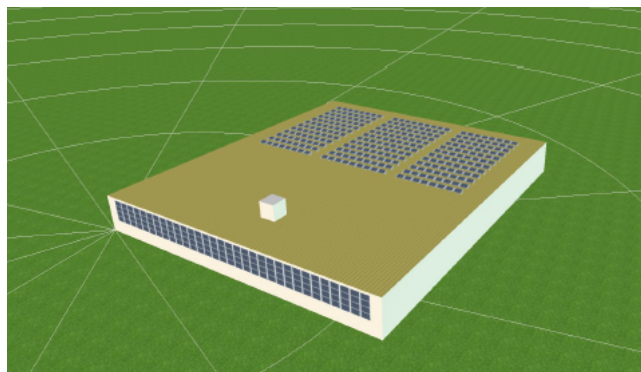
36 kW_p solcelleanlegg integrert i sørfasaden: 0,7 - 0,8 mill kr.

Økonomisk sett vil lønnsomheten kunne forbedres ytterligere ved å erstatte eller redusere solcelleanlegget i fasaden, og øke kapasiteten for solcelleanlegget på taket tilsvarende. Som følge av økt spesifikk produksjon for sørvendte paneler, vil det være tilstrekkelig å øke kapasiteten på taket til ca. 120 kW_p, dvs. med ca. 30 kW_p for å produsere 100 000 kWh/år. Anleggets størrelse blir dermed på ca. 665 m²

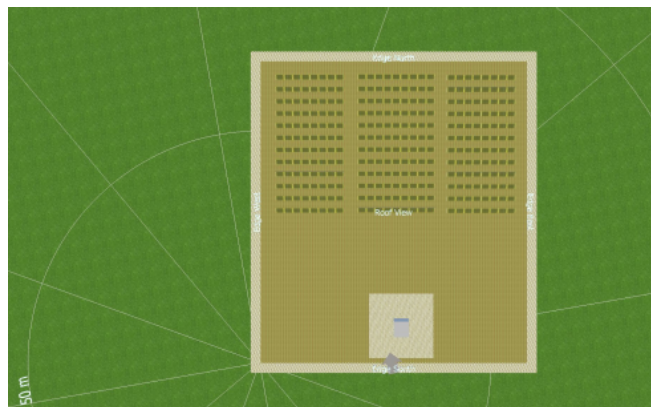
Investeringskostnader for 121 kW_p sørvendt solcelleanlegg anslås til ca. 1,2-1,3 mill. kr eks mva.

4.3.3. 3-D modell som viser mulig plassering av solcellepaneler.

Figur 9 og 10 viser skjematisk plassering av solcellepaneler på tak og i sørfasaden for et solcelleanlegg som kan produsere 100 000 kWh solstrøm per år.



Figur 9: Mulig plassering av solcelleanlegget sett fra sør-øst



Figur 10: Mulig plassering av solcelleanlegget sett ovenfra.

4.3.4. Vurdering Alternativ 2

Ved å dimensjonere solcelleanlegget slik at produksjon av solstrøm blir på ca. 100 000 kWh/år oppnås en betydelig forbedring i lønnsomheten i forhold til Alternativ 1. Hovedårsaken til dette er reduksjon av solstrøm som må selges, høyere spesifikk produksjon for sørvendte solcelleanlegg. Det er estimert at ca. 80-90% av produsert solstrøm kan avsettes internt

Lokal produsert solstrøm vil bidra til å redusere behov for levert energi med ca. 9 kWh/m² BRA.

LCOE for produsert solstrøm, uten kapitalkostnader, anslås til ca. 0,7 kr/kWh.

En kombinasjon av et sørvendt og fasadeintegrert solcelleanlegg gir dårligere lønnsomhet enn et rent sørvendt solcelleanlegg. Dersom det kun installeres sørvendte solceller på taket, kan det regnes med en tilbakebetalingstid på ca. 14-15 år.

4.4. Anbefaling

Det anbefales å installere et solcelleanlegg med 20° helning mot sør på taket av arenaen. Installert effekt skal være på ca. 90 kW_p. I tillegg installeres et fasadeintegrert solcelleanlegg med merkeeffekt på ca. 36 kW_p i sørfasaden av arenaen.

Årlig produksjon av solstrøm er beregnet til ca. 100 000 kWh.