

Ekspert i Team
TFY4853 Nanoteknologi: Smått og godt
Prosjektrapport
En lysere fremtid for Trondheim

Morten Dybdahl, Furkan Kaya, Lars Sivertsen, Andreas B. Skagestad,
Solveig Valderhaug, Celine Ness Wiehe

Sammendrag



Denne rapporten er skrevet i forbindelse med faget Ekspert i Team ved NTNU. Den ser på muligheten for å forsyne hele Trondheim kommune med energi fra en solcellepark. Solcelleparken skal plasseres like utenfor Trondheimsfjorden og virkningsgraden skal maksimeres ved å utnytte nanoteknologi. Det er økende interesse for både fornybar energi og nanoteknologi som gjør denne problemstillingen høyst aktuell. Vi har vurdert ulike teknologier innen solceller, samt sett på metoder for å få parken utenskjær. Konstruksjonen solcellene skal plasseres på er Heliofloat. Av de vurderte solcelleteknologiene var det prosjektet SOLHET på UiO som var det mest lovende. PERPHECT og kvanteprikk solceller hadde også stort potensial, men de hadde mangler som gjorde at de ikke egnet seg for et utenskjær kraftverk. Vi har anslått at virkningsgraden på kommersielle solceller kan bli oppimot 40 % med ny teknologi. Det er fortsatt en del praktiske problemer knyttet til materialene som blir brukt da noen er svært giftige og vil være skadelige for livet i havet. Solcelleparken er potensielt gjennomførbar noen år fram i tid. De ulike prosjektene innen nanoteknologi er ikke fullførte enda og forurensningen kan vise seg å bli et for stort problem. Finansieringsplanen blir realistisk fordi prisen går fra 55 til 27 mrd NOK ved bruk av nanoteknologi.

Forkortelser

c-Si = Krystallisert Silisium

CIS = Copper (C) Indium (I) Sulfide (S)

CISe = Copper (C) Indium (I) Selenide (S) solceller

CIGS = Copper Indium Gallium Selenide solceller

EiT = Ekspert i Team

FTO= Fluor-dopet Tinn Oksid

GHI = Global Horizontal Irradiance

GI = Gastrointestinal

HTM = Hulltransporterende materiale

ITO = Indium Tinn Oksid

NOK = Norske kroner

NTNU = Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

PERPHECT = Perovskites for Photovoltaic efficient conversion technology

SOLHET = High-performance tandem heterojunction solar cells for specific applications

STHSC = Silicone-based tandem heterojunction solar cells

TCO = Transparent Conduction oxide

UiO = Universitetet i Oslo

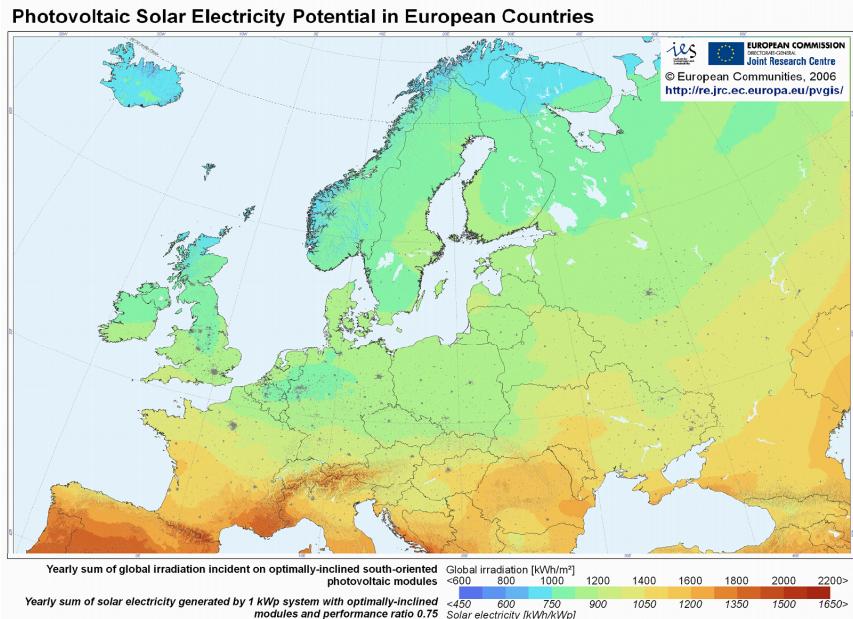
USA = United States of America

Innhold

1	Introduksjon	1
1.1	Problemstillingen og tverrfaglighet i gruppen	2
2	Teori	3
2.1	Doping av halvleder	3
2.2	Den fotolektriske effekt	3
2.3	Solcellen	4
2.4	Effektivitet	5
2.4.1	Enkelt celle	5
2.4.2	Tandem celle	6
2.5	Relevante økonomiske teorier og begreper	8
2.6	Nanotoksikologi	8
3	Solcelleparken	9
3.1	Konstruksjon	9
3.1.1	Mulige design på konstruksjon	10
3.1.2	Foreslått konstruksjon	12
3.2	Solceller	13
3.2.1	SOLHET	13
3.2.2	PERPHECT	14
3.2.3	Kvanteprikk	17
3.3	Kostnader, finansieringsplan og miljøhensyn	20
4	Konklusjon og fremtidsutsikter	23
	Bibliografi	25
A	Personlige refleksjoner: Hva har vi lært?	I

1 Introduksjon

Med dagens økonomiske vekst har verdens behov for ren energi blitt større enn noensinne.[1] Klimaendringene, med energiproduksjon som mulig bakgrunn, har blitt tydeligere, og selv skeptikerne har begynt å forstå at noe må gjøres. Vi bruker stadig mer elektrisitet, og dermed også mer fossilt brensel. Trondheim er den fjerde mest folkerike kommunen i Norge med et innbyggertall på 189 842 innbyggere per 3. kvartal 2016.[2] Energiforbruket i Trondheim var i 2006 på 3,86 TWh.[3] Av dette var 2,57 TWh elektrisitet. Problemstillingen vi har valgt i denne oppgaven er å vurdere hvorvidt det er praktisk gjennomførbart å forsyne hele kommunen med elektrisitet kun ved hjelp av solenergi fra solcelleparker på sjøen. Trondheim kommune ligger nær kysten og byen er en av de nordligste storbyene i verden. Siden det bare er omrent 1350 timer med sol i året i byen, vil det da være enkelt å gjøre det samme på steder med mer egnet klima hvis det først fungerer i Trondheim.[4] Figur 1 viser gjennomsnittlig årlig intensitet for Europa. Sammenligner man med



Figur 1: Kart som viser strålingsintensitet fra solen. Rød farge er høy intensitet, blå er lav intensitet.[5]

andre steder, ser man at det allerede er mange flere soldager lengre sør i Norge. Kjevik i Kristiansand har nærmere 1780 soltimer i året. Langs ekvator har man et sted mellom 3000 og 4000 soltimer i året. Det er derfor mye billigere å produsere solenergi der enn det er i Trondheim.

Solceller har et stort potensial ettersom jorden mottar enorme mengder energi fra solen hvert eneste sekund. Solcellepanel ble først brukt på den amerikanske satellitten Vanguard 1 i 1958. Siden den gang har det blitt brukt som energikilde til

radiorelé, fyrtårn og andre statlige bygg som hadde krav til egenforsyning av elektrisitet. Grunnet høy pris pr Watt-time tok det mange år før verden så på solenergi som en energikilde.^[6] Siden den gang har solcelleteknologien endret seg mye innen både effektivitet og pris. Solenergi-sektoren er den raskest voksende energikilden i USA og står for 1 av 50 nye arbeidsplasser i landet.^[7] De vanligste panelene i dag er laget av silisium og har en virkningsgrad på rundt 20 %. Med dagens kommersielle panel, vil man trenge et område på 20 km² med solcellepanel for å dekke det årlige energibehovet til Trondheim. Dette er et stort område og det kan være vanskelig å finne steder i Norge hvor man kan ha et slikt solcellekraftverk. Med strenge reguleringer for vern av natur og dyreliv, samt krav for solforhold snevres det ytterligere inn. For at solenergi skal lykkes er det også viktig at folket er positivt innstilt til det. I motsetning til vindkraft, er det ikke på langt nær så sjenerende for utsikten og det er heller ikke skadelig for dyrelivet. Det nødvendige området kan reduseres ved å øke virkningsgraden på panelene.

Første del av rapporten tar for seg teorien bak solcellepanel og ulike teknologier som blir utviklet. Andre del går inn på muligheten for et solcellekraftverk på havet og hva som trengs for at dette skal fungere. Fremtidens solceller blir også presentert, blant annet et prosjekt fra UiO som har stort potensial. Den neste delen tar for seg de sosioøkonomiske aspektene ved å ha store solcellekraftverk i landet, før det kommer en konklusjon om nanoteknologi kan gjøre at et solcellekraftverk på sjøen blir gunstig for Trondheim.

1.1 Problemstillingen og tverrfaglighet i gruppen

Problemstillingen som er valgt er å vurdere hvorvidt det er mulig å forsyne Trondheim sitt behov for elektrisitet kun ved hjelp av solenergi. Ideén er å lage store solcellekraftverk på sjøen utenfor Trondheimsfjorden. Ved å legge det der er det fortsatt nærmere byen, man har tilgang på store områder og det er skjermet fra den verste sjøen avøyene rundt. Denne problemstillingen ble valgt ved konsensus i gruppen. Begrunnelsen for valget var at vi alle har stor tro på solenergi som fremtidens energikilde og at vi fikk utnyttet tverrfageligheten i gruppen på en god måte. Alle medlemmene av gruppen har teknologisk bakgrunn. Solveig og Morten har bakgrunn innen kjemi, Lars og Andreas studerer fysikk, Furkan studerer nanoteknologi og har en grad i statsvitenskap, og Celine studerer marin teknologi. Ved å skrive om maritime solceller får vi utnyttet fagkunnskapen til Celine. Dessuten får vi utnyttet statsvitenskapsgraden til Furkan når de økonomiske aspektene vurderes. Målet med prosjektet er å se på hva som skal til for å lage et solcellekraftverk på sjøen og hvordan nanoteknologi kan hjelpe med å gjøre dette mulig.

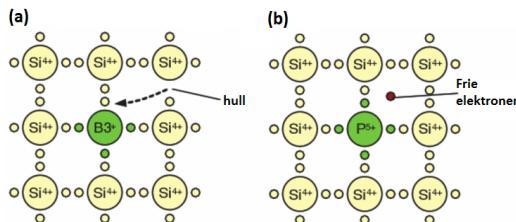
2 Teori

2.1 Doping av halvleder

En halvleder er en mellomting mellom en isolator og en leder. Dvs. at den originalt leder strøm dårlig, men at den under kontrollerte forhold kan bli en leder, f.eks ved bestråling av sollys. En solcelle er i essens en halvleder som er tilsatt urenheter gjennom en prosess som kalles doping. Den vanligste typen solceller er silisiumsolceller, som består av halvlederen silisium, dopet med fosfor og bor.

Silisium har 4 elektroner i sin høyeste bundne energitilstand, også kalt valensbåndet. På grunn av ”oktettregelen”¹ får silisiumkrystallen positive ”hull” når den blir dopet med bor, da bor bare har 3 valenselektroner som vist på figur 2a. På samme vis ender en opp med en del frie elektroner dersom silisiumet blir dopet med fosfor, da fosfor har 5 valenselektroner som vist på figur 2b.

I en solcelle legges to slike plater inntil hverandre, slik at solcellen består av en del med frie elektronene, og en del med positive hull. Fellesflaten mellom de to plateene kalles ofte for en pn-junction, der p og n referer noe misvisende til den positive og negative siden, selv om begge sidene egentlig er nøytralt ladet. De frie elektronene fra fosfor-siden vil nå bli tiltrukket av de positive hullene i den bor-dopedede siden, og i sjiktet mellom platene bytter noen av elektronene og hullene side, slik at fosfor delen, dvs n-siden, blir positiv og vice versa. Etter dette har skjedd, danner det seg et elektrisk felt som fungerer som en barriere mellom de to platene. Denne barrieren er slik at elektroner favoriserer å passere fra p- til n-siden², med andre ord en diode.



Figur 2: (a) En silisiumplate dopet med bor. Vi ser her at strukturen får positive ”hull” da bor bare har 3 elektroner i den høyeste bundne energitilstanden. (b) Silisiumplate dopet med fosfor. Strukturen får frie elektroner da fosfor har 5 elektroner i høyeste bundne energitilstand.[8]

2.2 Den fotoelektriske effekt

I en halvleder er valensbåndet per definisjon den høyeste energitilstanden som det finnes elektroner i ved absolutt null temperatur. Ved denne energitilstanden er en halvleder fylt helt opp slik at elektronene ikke har mulighet til å bevege seg særlig. Med ”fylt opp” menes det her at valensbåndet har nøyaktig så mange elektroner som tillatt av Paulis eksklusjonsprinsipp.[9]

¹Bruker her hermetegn da oktettregelen egentlig ikke er en ordentlig regel i den forstand at den ikke gjelder for alle kjemiske bindinger. Oktettregelen sier at kjemiske bindinger ønsker å lage bindinger som resulterer i at hvert atom har 8 elektroner i sitt ytterste skall.

²Husk at nå er p-siden negativt ladet og n-siden positiv.

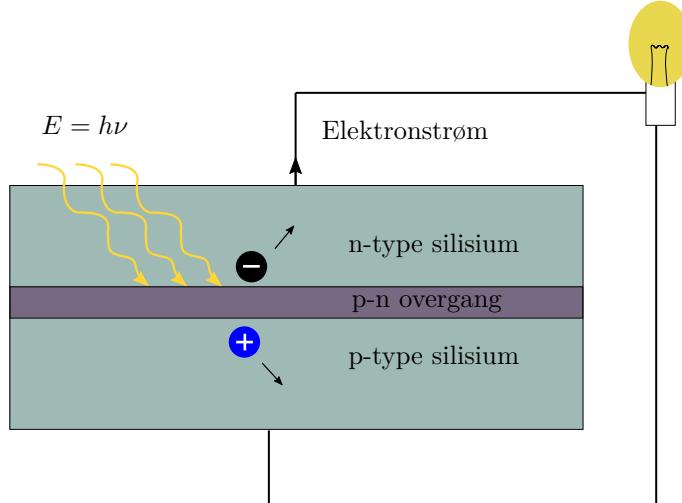
Energien i elektromagnetisk stråling er kvantisert med energirelasjonen

$$E = h\nu, \quad (1)$$

der E er energien til et foton med frekvens ν , og h er Plancks konstant. Ledningsbåndet er en energitilstand der elektronene oppfører seg som frie elektroner. Dersom et elektron blir truffet av et foton med en energi E lik, eller høyere enn energidifferansen mellom valensbånd og ledningsbånd E_g , kan elektronet bli sendt ut i ledningsbåndet. Dette fenomenet kalles for den fotoelektriske effekt.

2.3 Solcellen

Når fotoner fra sola møter en silisiumsolcelle, vil de fleste fotonene med energi lavere enn båndgapet E_g , passere rett igjennom. Andre fotoner vil bli reflektert, mens resten blir absorbert av silisiumet. De absorberte fotonene eksiterer silisiumet slik at elektronene blir revet vekk fra atomene og skaper hull. Figur 3 viser en prinsippskisse av hvordan en vanlig silisiumsolcelle er bygd opp. Her er barrieren markert som en p-n overgang mellom platene. Siden elektronene bare kan passere barrieren fra n-siden, vil elektronenes kaotiske bevegelser til slutt gjøre at det blir en overvekt av elektroner på p-siden, samtidig som det danner seg en overvekt av hull på n-siden. Ved å kople en ytre krets mellom de to platene blir det da mulig å hente ut strøm.



Figur 3: Figuren viser en prinsippskisse av en silisiumsolcelle. Fotoner treffer p-n overgangen og løs elektroner. Elektronene blir dratt opp igjennom den n-type dopede halvlederen mot hullene. Det danner seg dermed et spenningsfall mellom platene som kan hentes ut ved å sammenkople platene med en ytre krets.

2.4 Effektivitet

2.4.1 Enkelt celle

Strømmen I_L som oppstår som følge av sollysets eksitering av silisium, kan ikke tas ut i sin helhet. Blant annet vil det oppstå en liten strøm I_D som går motsatt vei gjennom barrieren. Dette kaller vi diodestrømmen. Når solcellen blir koblet til en ytre krets vil strømmen gå minste motstands vei, som er gjennom lasten. For å hente ut strøm, må vi derfor koble en parallel med en "shunt"-motstand som ved rett justering kan gi maksimal effekt. Figur 4 viser hvordan kretsdiagrammet for en enkel silisium solcelle ser ut. Ut fra figuren ser en at total strøm I som kan utnyttes fra en solcelle med diodestrøm I_D og shuntstrøm I_{SH} er gitt ved

$$I = I_L - I_D - I_{SH}. \quad (2)$$

Spenningsfallet over I_L , I_D og I_{SH} må være det samme, nemlig

$$V_j = V + IR_S, \quad (3)$$

der V er spenningen over motstanden R_S . Total strøm som går gjennom dioden kan nå uttrykkes ved Shockleys diode-likning:

$$I_D = I_0 \left(\exp \left[\frac{V_j e}{nk_B T} \right] - 1 \right). \quad (4)$$

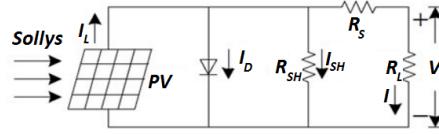
[11] Her er den reverse metningsstrømmen I_0 strømmen som går i motsatt retning av dioden som følge av diffusjon ved temperatur T , e er elementærladningen, k_B er Boltzmanns konstant og n er en idealisering faktor som sier noe om hvor nære dioden er en ideell diode. Ved Ohms lov ender en så opp med en likning for total strøm som kan hentes ut av solcellen:

$$I = I_L - I_0 \left(\exp \left[\frac{V_j e}{nk_B T} \right] - 1 \right) - \frac{V_j}{R_{SH}}. \quad (5)$$

$$= I_L - I_0 \left(\exp \left[\frac{(V + IR_S)e}{nk_B T} \right] - 1 \right) - \frac{V + IR_S}{R_{SH}}. \quad (6)$$

For å kunne bruke denne ligningen til å sammenligne solceller av forskjellig størrelse, brukes ofte strømtettheten

$$j = \frac{I}{A}, \quad (7)$$



Figur 4: Kretsdiagram av en silisium solcelle med diodestrøm I_D , fotogenerertstrøm I_L og shunt-strøm I_{SH} med tilsvarende motstand R_{SH} . Strømmen I som kan hentes ut passerer gjennom kretsmotstanden R_S .[10]

istendenfor I , der A er solcellens areal. På samme vis blir da strømtettheten til solcellen

$$j = j_L - j_0 \left(\exp \left[\frac{(V + IR_S) e}{Ank_B T} \right] - 1 \right) - \frac{V + IR_S}{AR_{SH}}. \quad (8)$$

Ved å sammenligne elektrisk effekt per areal

$$P = Uj, \quad (9)$$

med solas gjennomsnittlige effekt, kan en ut fra dette vise at maksimal teoretisk virkningsgrad for en enkelt silisiumsolcelle er 33.16%.[12]

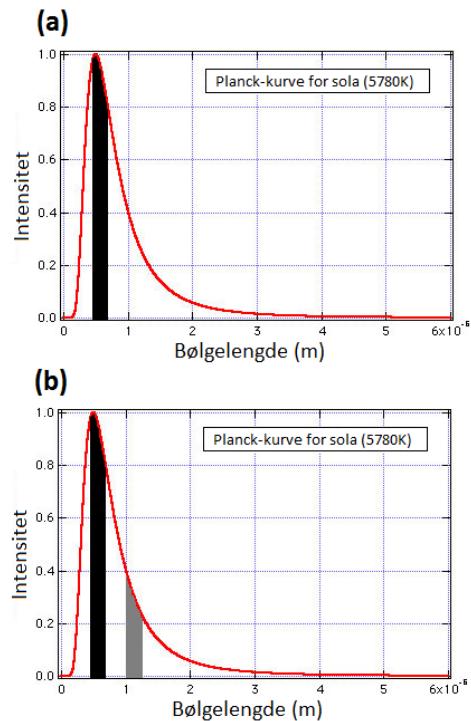
2.4.2 Tandem celle

Båndgapet til silisium er 1.12 eV ved romtemperatur.[13] Fra energirelasjonen i ligning (1) ser en da at den lengste bølgelengden som kan tas opp i solcellen er $\lambda = 1108$ nm. Siden sola er en middels kan en ved å integrere over Plancks svart-legeme ligning

$$B(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp \left(\frac{hc}{\lambda k_B T} \right) - 1}, \quad (10)$$

hovedseriestjerne med temperatur på omtrent 6000 K, se at omtrent halvparten av sollyset som treffer solcellen ikke blir absorbert.[14][15] Samtidig vil fotoner med energi som er mye høyere enn båndgapet overføre en del av restenergien sin til varme. Varme vil i sin tur føre til et termisk energitap, som igjen gir minsket effekt. Dette betyr at en silisium solcelle bare er effektiv innenfor et begrenset område i det elektromagnetske spekteret.

En måte å gjøre en solcelle mer effektiv på, er dermed å sette den sammen av flere lag med forskjellige halvledere med ulike båndgap. Figur 5a viser en illustrasjon av en solcelle som er effektiv i det skraverte området. Ved å legge et nytt lag til solcellen med en annen rekkevidde får vi en solcelle som er effektiv over et større område som vist på figur 5b. Vi antar at temperaturen



Figur 5: Illustrasjon av en rekkevidden til en vanlig solcelle (a) og en tolags-tandemsolcelle (b). Den perfekte solcellen vil ha en rekkevidde som skraverer hele kurven. Dette er bare en illustrasjon, og båndgapene tilsvarer ingen reelle båndgap.

er lik i alle lagene i en såkalt tandem solcelle. Da vil ligning (8) gjelde for hver enkelt ” i -te” celle med revers metningsstrømtetthet

$$j_0 = 2e \int_{E_{gi}}^{\infty} B(\nu, T), \quad (11)$$

der $B(\nu, T)$ er ligning (10) omformet til en funksjon av frekvens ν .[16] Strømmetetheten som dannes pga. sollyset på celle i er gitt ved

$$j_{Li} = e(F_{si} - F_{0i}), \quad (12)$$

der F_{si} er fotontettheten på cellen og F_{0i} er fotontettheten reflektert ut.[17] Et lag inne i solcellen ($i = 2, 3, \dots, n-1$), vil da bli bestrålt med en fotontetthet

$$\begin{aligned} F_{si} = f_{\omega} \int_{E_{gi}/h}^{\infty} B(\nu, T) d\nu &+ \exp\left(\frac{eV_{i+1}}{k_B m T}\right) \int_{E_{gi+1}/h}^{\infty} B(\nu, T) d\nu \\ &+ \exp\left(\frac{eV_{i-1}}{k_B m T}\right) \int_{E_{gi-1}/h}^{\infty} B(\nu, T) d\nu \end{aligned} \quad (13)$$

der f_{ω} er en geometrisk faktor som tar hensyn til at sola bare dekker en liten romvinkel på himmelen. Denne faktoren er for sola omtrent $2.18 \cdot 10^{-5}$ og 2π for konsentrert lys.[16] Det første ledet av ligning (13) er innstrålt fotontetthet fra sola, mens de to siste kommer fra refleksjon fra cellen over og under. Ledd nr 2 er derfor borte fra celle nr 1, og ledd nr 3 er borte for celle nr n .

Fra superposisjonsprinsippet har vi at total elektrisk effekt per areal er gitt ved

$$P = -\frac{1}{A} \sum_{i=1}^n V_i I_i = -\sum_{i=1}^n V_i j_i. \quad (14)$$

Effekten vil være maksimal når

$$\frac{\partial P}{\partial V_i} = 0, \quad (15)$$

hvilket gir oss n ligninger med ukjente av typen

$$x_i = \frac{eV_i}{k_B T}. \quad (16)$$

Ved å løse dette ligningssystemet kan en så få den maksimale effekten uttrykt ved løsningene x_i :

$$\begin{aligned} P_{max} = k_B T x_1 e^{x_1} \left(x_1 - \frac{1}{2} x_2 \right) F_{01} + \sum_{i=2}^{n-1} k_B T x_i e^{x_i} &\left[\left(x_i + \frac{1}{2} x_{i+1} \right) F_{0i} - \frac{1}{2} x_{i-1} F_{0(i-1)} \right] \\ &+ k_B T x_n e^{x_n} \left[x_n F_{0n} - \frac{1}{2} x_{n-1} F_{0(n-1)} \right]. \end{aligned} \quad (17)$$

[17] Dersom vi lar antall lag i solcellen gå mot uendelig ($n \rightarrow \infty$), og forskjellen mellom båndgap bli liten;

$$E_{gi} - E_{gi-1} \approx 0, \quad (18)$$

så ender vi opp med en solcelle som kan ta opp et kontinuerlig spekter av elektromagnetisk stråling, og dette vil følgelig gi oss den maksimale teoretiske virkningsgraden. Med innsatt verdi for f_ω og temperatur 25 °C blir den maksimale virkningsgraden i denne grensen 68,2 % for vanlig sollys, og 86,8 % for konsentrert lys.[17]

2.5 Relevante økonomiske teorier og begreper

Endemålet for prosjekter som omhandler solceller er et kraftverk basert på dem. I dette avsnittet skal vi redegjøre for en del relevante økonomiske teorier og begreper. To viktige begreper for en bedrift er tilbud og etterspørsel. Etterspørsel er hvor mye av produktet som er ønsket fra forbrukeren, mens tilbud er hvor mye bedriften har å tilby av varen.

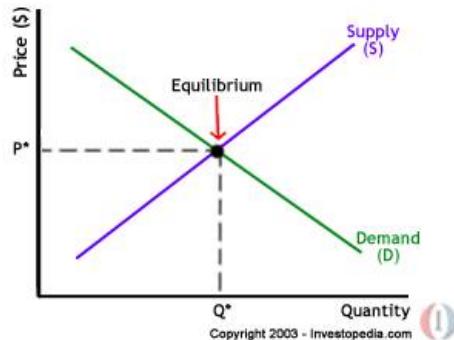
Ved kryssningspunktet (se figuren) for de to, er bedriften tilfredsstilt med tanke på produksjon og salg av varen. Selve etterspørselen kan vi inndele i to: elastisk og uelastisk. Strøm blir regnet som uelastisk fordi etterspørselen ikke varierer med prisen.[19]

For en finansieringsplan er det viktig at man har en eierstruktur som gjør prosjektet realistisk. For et kraftverk er aksjeselskapstruktur mest aktuelt. I en slik struktur innehar hver investor sin andel. Viktige finansieringsmetoder for en bedrift er lån fra banker, lån ved å selge selskapsobligasjoner og emisjon på aksjemarkedet (man selger aksjer i bedriften mot en økning i kapitalen).[19] I finansieringsplanen vurderer man også markedssituasjonen. Man har her to ekstremiteter å forholde seg til: monopolet og et perfekt konkurrerende marked. I det første er det én aktør, mens i det siste er mange produsenter.

For Norge er det særegent fenomen som også må forklares. I 2012 ble det nemlig innført grønne sertifikater på strøm.[20] De fungerer slik at myndighetene utsteder et sertifikat per MWh fornybar energi som blir produsert. Disse sertifikatene kan så produsenten selge videre til forbrukeren/leverandøren. Det betyr at kraftverket får inntekter fra både strømmen og den forbrukeravgiften som kommer med sertifikatet.[20] Størrelsen på avgiften bestemmes av markedet.

2.6 Nanotoksikologi

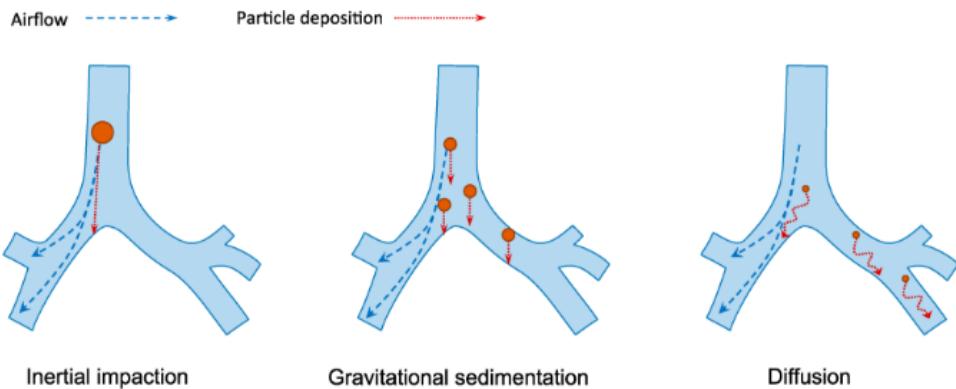
Nanotoksikologi er studien av giftigheten til nanomaterialer. Nanomaterialer som for eksempel kobberlaget i SOLHET-prosjektet og bruk av kobber i kvanteprikk-



Figur 6: Tilbud og etterspørsel bestemmer varens pris.[18]

teknologi har spesielle egenskaper sammenlignet med bulkmaterialet. Giftigheten til disse bittesmå partiklene blir ekstra relevant når det kommer til et marint miljø. Innen nanotoksikologi har man tre eksponeringsruter å forholde seg til for levende organismer: luftveier, Gastrointestinell trakt (GI) og hud.[21] Ved for eksempel inhalering av nanopartikler kan det føre til umiddelbare reaksjoner og/eller langtidsvirkende kroniske effekter. Ved inntak av nanopartikler i GI kan dette føre til at mennesker også får det i seg ved spising av fiskeriprodukter.

Størrelse, form og overflateområdet generelt er med på å bestemme egenskapene til partiklene og hvordan de påvirker menneskers helse.[21] Partikelstørrelse spesielt påvirker bevegelsen til partikkelen og derav også deponeringsmekanismer som sedimentasjon og impaksjon.[22] Sedimentasjon kan bli betegnet som små partikler som blir transportert av vann og legger seg på bunnen av væsken og danner et fast lag. Impaksjon derimot er nanopartikler som går inn i GI og legger seg i tykktarmen som hard avføring. Mekanismen til nanopartiklenes bevegelse er vist i Figur 7.



Figur 7: Forskjellige mekanismeformer for luftvei-deponering av nanopartikler.[22]

Når det vurderes hvilke nanoteknologier som kan benyttes til de maritime solcellene er det viktig å ta nanotoksikologi i betraktning, da det er fare for utsipp av nanopartikler.

3 Solcelleparken

3.1 Konstruksjon

I 2002 lå 14 av de 17 største byene på kloden ved havet.[23] Innbyggertallet i byene øker og forurensning blir et økende problem. Det kan være gunstig å forsyne byene med fornybar energi, men et av problemene med solcelleparker er at det er lang vei til sluttbruker og mye energi går tapt på veien. Solcelleparker tar også mye plass, men ettersom de største byene ligger ved havet, åpner det for muligheten til flytende solcelleparker. Havet vil også kunne kjøle ned solcellene som kan øke effektiviteten.[24]

Her i Norge er vi ikke beryktet for overflod av sol, og heller ikke store åpne felt på land. Men vi har mange skjermede områder for plassering av flytende solcelleparker (i fjordene i dag er det mange fiskemerder, men disse forstyrre dyrleivet og miljøet i fjorden). Det er stor motstand mot vindmølleparkar, da de bråker, ødelegger utsikten og er skadelige for fuglelivet. Solcelleparkar gir grønn energi uten å være til sjennanse og kan derfor oppnå bredere aksept blant folket.

Området vi har valgt er Frohavet (se figur 8) like utenfor Trondheimsfjorden, nordøst for Hitra. Det er delvis skjermet for stor sjø bak øyer og skjær i nord og vest, og fastlandet i sør og øst. Frohavet er stort nok til at plattformen ikke vil forstyrre skipstrafikken. På Tjeldbergodden industrianlegg er det flere virksomheter, blant annet et reservekraftanlegg.[26] Der kan det være mulighet for å koble plattformen til strømnettet. Ettersom det er en god del fiskemerder i området, kan det også være mulig å koble seg på allerede eksisterende infrastruktur i området.

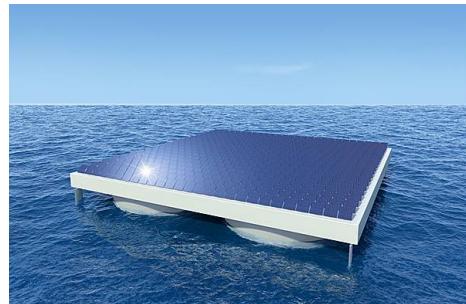


Figur 8: Sjøkartet viser Frohavet (rød sirkel) der plattformen er tenkt plassert, og Tjeldbergodden industrianlegg (rød prikk). Trondheim by i grått sørøst. De mindre sirklene markerer fyr og lysstaker.[25]

3.1.1 Mulige design på konstruksjon

Heliofloat

Et problem offshore er selvfølgelig bølger og tøff sjø. Heliofloat er en konstruksjon utarbeidet ved Technische Universität Wien.[28] Den kan danne en 300 m lang plattform som skal tåle de tøffe sjøtilstandene offshore. Heliofloat demper bølgekraften ved luftkompressjon. Vertikale sylinderne av mykt, fleksibelt materiale er åpne i bunn mot vannet, men dette i toppen der luften er fanget. Dette gjør at mye av bølgekraften går med på å trykke luften som er fanget i sylinderne sammen i stedet for å slå mot plattformen. Denne luftkompressjonen fungerer som støtabsorbsjon. Sylinderne er myke og fleksible og gir etter ved horisontal kraft. Dette gjør at plattformen blir mer stabil, selv ved tøff sjø.[29] Lukkede pongtonger (flyteelementer) ville derimot ført til mer bevegelse i plattformen som resulterer i tidligere utmatting og brudd. Heliofloat er også en relativt lett konstruksjon som kan settes sammen med flere Heliofloat.[30]

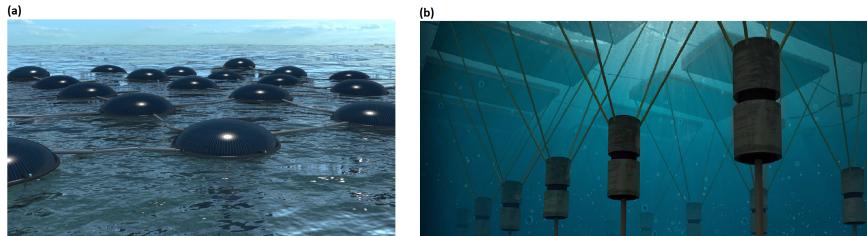


Figur 9: Heliofloat plattform med solceller.[27]

Marine Solar Cells

Phil Pauley utviklet konseptet Marine Solar Cells i 2011. Flere solcellepaneler formet som halvkuler er festet sammen og moret til havbunnen som vist i figur 10a. Det skal være mulig å plassere de utenskjærer, noe som burde gjøre de mer enn sterke nok til Frohavet. Moringen kan kombineres med bølgekraftutvinning.[31] Hver komponent løftes og senkes med havoverflatene og denne kraften kan brukes til strømproduksjon i moringen (figur 10b). Phil Pauley mener at de kurvede flatene på solcellepaneltet utnytter refleksjonen fra vannet og øker panelets effektivitet med 20 % i forhold til landbaserte solceller.[32]

Konseptet er vist frem på konferanser og skrevet om i korte artikler, men før modell



Figur 10: Flere Marine Solar Cells plasseres sammen i et nett som vist til venstre. Det er mulig å hente ut bølgekraft fra moringen da hver komponent løftes av bølgene.[32]

og prøveversjon blir en realitet er det vanskelig å si noe sikkert om virkningsgraden. Det jobbes nå med å få nok investorer til å realisere Marine Solar Cell.

Thames Water

I Storbritannia har et reservoar blitt delvis dekket med flytende solceller.[33] Det er verdens største flytende solcellepark på 57 500 m², frem til et prosjekt i Japan trolig vil åpne et over dobbelt så stort i 2018.[34] Som sett i figur 1 er ikke strålingsintensitet for Storbritannia og Norge så forskjellig.

Det kostet rundt 73 millioner NOK å bygge parken og den består av 23 000 solcellepaneler.[35] Den er forventet å produsere 5,8 GWh i løpet av dens første år. I stedet for å sende strømmen til boliger, brukes energien til et nærtliggende renseanlegg.[36] Renseanlegget kan ifølge Business Insider kutte utgift til strøm med 242 millioner NOK i året ved bruk av disse solcellene.[36] Dette tyder på at det er mulig med flytende solcelleparker utenfor Trondheim basert på sollys, men når det gjelder konstruksjonen blir denne for svak. Reservoaret er ikke stort nok til å skape betydelige sjøtilstander. Bølgene i området utenfor Trondheim derimot, kommer fra Atlanterhavet og kan skape betydelig sjø som gjør at vår konstruksjon må tåle mer enn denne flytende solcelleparken (se figur 11).



Figur 11: Solpaneler plasseres på Queen Elizabeth II reservoir i Walton-on-Thames.[35]

3.1.2 Foreslått konstruksjon

Det finnes mange mulige måter å bygge en flytende solcellepark. Noen beveger seg med bølgene fra havet, mens andre står imot. Et reservoar eller en innsjø gir roligere sjø og krever ikke like sterke konstruksjoner som vi vil ha behov for i Frohavet. Hvert havområde har forskjellige typer bølger, så før en konstruksjon settes opp, må målinger av sjøtilstanden gjøres over lengre tid. Fra disse målingene kan det finnes estimat for de kraftigste bølgene forventet på området, og dermed styrken på plattformen. Regelverk settes av staten og klasseforeningen, og det er ikke undersøkt om Heliofloat møter nødvendige krav.

Heliofloat skal, i følge produsenten, kunne stå imot værre sjøtilstander enn det som vil oppstå i Frohavet og regnes som den beste og mest realistiske løsningen av ferdigstilte design. Det er mulig Heliofloat ikke er egnet til dette havområdet, men at en plattform spesielt designet for området ville vært mer lønnsomt. Vi velger Heliofloat som utgangspunkt for plattformen til solcellene.

Etter mailkorrespondanse med Heliofloat ble vi anbefalt en platformstørrelse på 300x300 m². Beregnet areal for solcellene blir mellom 9,25 km² og 18,5 km² (se seksjon 3.3), og vi trenger dermed mellom 103 og 206 slike plattformer. Plattformen må bygges, men materialer og arbeidskraft i Norge er dyrt, så produksjonen må antakeligvis skje i utlandet. Et estimat på pris av plattform settes lik pris på konvensjonelle solceller som dekker samme areal. Heliofloat foreslo også å se på muligheter for å kombinere solenergi med bølgekraft og vindenergi. Plattformen har liten bevegelse i vannet som kan gjøre den ideell for spesielt bølgeenergi.

3.2 Solceller

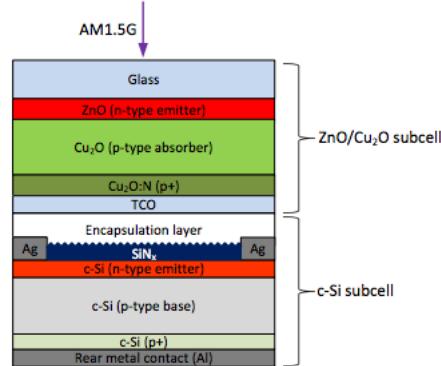
3.2.1 SOLHET

SOLHET-prosjektet går ut på å øke effektiviteten hos silisiumbaserte solceller ved å utvikle tandem-solceller, hvor det benyttes ikke-giftige, rikt forekommende og lav-kostnads oksidmateriale. En slik solcelle vil ikke bare øke effektiviteten drastisk i forhold til dagens solceller, men også gi økonomiske og miljøaktige fordeler.[37]

En tandem-solcelle er en solcelle som består av to eller flere sub-cellene. Fordelen med dette er at det blir mulig å konvertere en større del av sollys-spekteret til elektrisitet. Dette vil føre til en økning i total effektivitet, som kommer av at hver av sub-cellene konverterer sollys ved spesifikke bølgelengder til elektrisitet.

Det vil være ønskelig og plassere et materiale med stort båndgap øverst, da lys med høy energi vil absorberes med en høy utgangsspenning, og videre vil dette materialet da være transparent for lavenergi-lys. Det lyset som ikke absorberes av det første materialet vil da gå videre gjennom dette materialet og absorberes av et annet materiale med mindre båndgap. Det er også nødvendig med et materiale som fungerer som bufferlag mellom de ulike subcellene. Dette kan være GaO_2 . GaO_2 minimaliserer de kjemiske effektene (som for eksempel at båndgapet endres og elektronhullene fylles før ønskelig) som fremkommer når de to sub-cellene blir satt sammen. Laget må være mellom 1-2 nanometer for ikke å stoppe elektronene fra å gå til den nedre sub-cellen. Bruk av GaO er dessverre uheldig da ren gallium er giftig.[38]

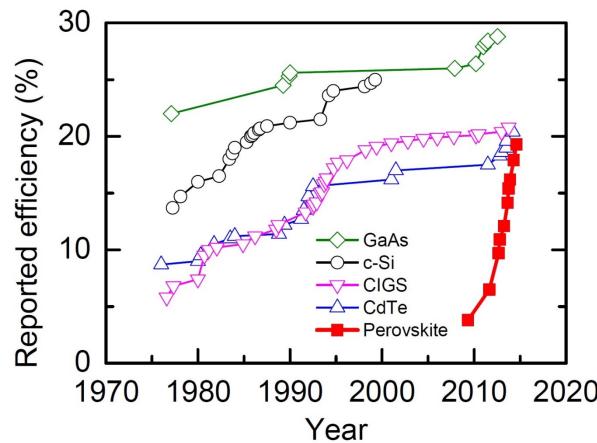
Per dags dato er ikke effektiviteten høy nok i forhold til produksjonskostnadene i STHSC (silicone-based tandem heterojunction solar cells), men det forskes stadig på nye elementer for bruk i solceller. Cu_2O har vist seg å være et lovende alternativ da det har høy optisk absorpsjon, det er ikke giftig og har potensialet for lave produksjonskostnader. Den teoretiske grensen for en vanlig Cu_2O -celle er ~20 %, men den høyeste oppnådde effektiviteten for en $\text{ZnO}/\text{Cu}_2\text{O}$ - celle er ~8,1 %. [39] Det er derfor stort utviklingspotensiale for Cu_2O -baserte solceller. Uansett så vil en kombinasjon av en silisium sub-celle og en $\text{ZnO}/\text{Cu}_2\text{O}$ sub-celle øke den totale effektiviteten, i forhold til en silisium-basert enkeltcelle. Som følge av at en slik celle vil ta opp stråling ved to forskjellige bølgelenger, henholdsvis blå for silisium og rød for kobberoksid, vil man kunne få en potensiell virkninggrad på ~40 %.



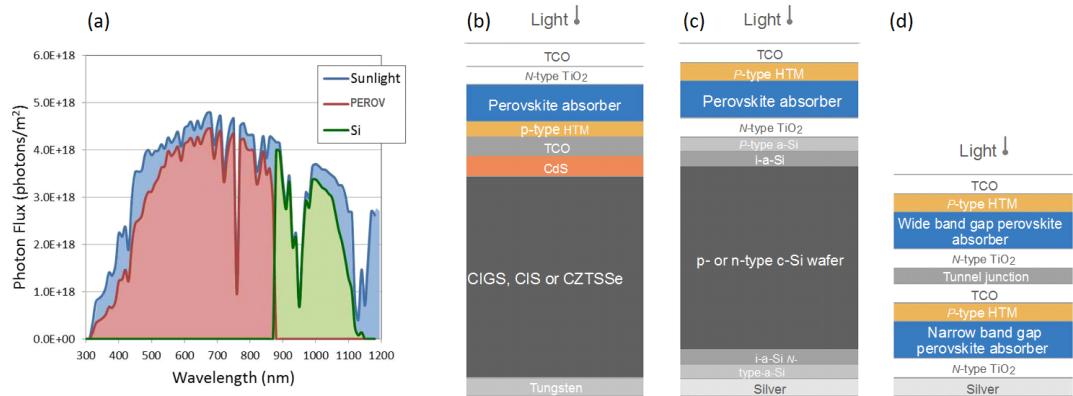
Figur 12: Silisiumtandemcelle der kobberoksid er benyttet som oksidmateriale.[39]

3.2.2 PERPHECT

PERPHECT, eller *Perovskites for Photovoltaic efficient conversion technology*, er et forskningsprosjekt i samarbeid mellom UiO og flere rumenske forskningsinstitutter ledet av Julie Bonkerud.[40] Avsnittet som følger redegjør først litt for perovskitter som solceller og dets grunnleggende prinsipper, før PERPHECT-prosjektet og implementasjon i vårt kraftverk blir forklart. I 2009 klarte Miyasaka og hans forskningsteam å erstatte dye i en dye-sensitiv perovskitt solcelle og klarte å få en virkningsgrad på 3,8 %.[41] Siden har effektiviteten til denne formen for solceller vokst med den hurtigste hastigheten innenfor fotovoltaiske komponenter.



Figur 13: Utviklingen for perovskitt solceller sammenlignet med andre fotovoltaiske komponenter som vi ser på figuren ovenfor.[42]



Figur 14: (a) Å kombinere perovskitt og Si fanger opp mer fotoner (b) CIGS, CIS/perovskitt tandem (c) c-Si/perovskitt tandem (d) Monolittisk tandem eller perovskitt på perovskitt.[42]

Perovskitt-baserte solceller har per dags dato en virkningsgrad på 22,5 % og et enkeltlag av perovskitt har et teoretisk maksimum på 30 %.^[42] Perovskitt har stort potensiale fordi det har et høyt teoretisk maksimum, det kan legges på som perovskitt-lag på krystallisert silisium solceller og øke dets virkningsgrad fra 20 til 25%.^[42] Samtidig kan det i framtiden lages tandem solceller med perovskitt på perovskitt.

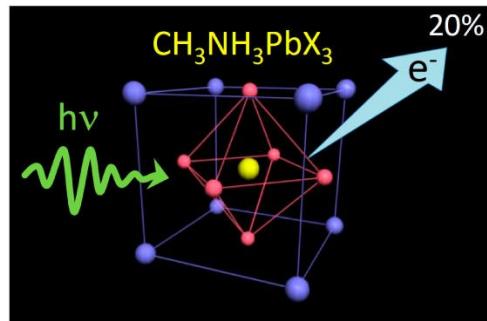
Den høye effektiviteten kommer av en kombinasjon av lange bærer(carrier)-levetider, høy ladning-bærer mobilitet og få elektroniske defekter.^[41]

Perovskitt-materialet har formelen $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$, hvor X kan være jod eller brom. Det består av både organiske og uorganiske deler.^[40] Blydelen gir båndgap absorasjon fra toppen av valensbåndet til bunnen av ledningsbåndet.^[41] Mens valensbåndet er dominert av X p-orbitaler, så er ledningsbåndet dominert av Pb p-orbitaler. Dette gir p- til p-orbitale overganger og samtidig kan båndgapet til perovskitten forandres på ved å variere på en av komponentene i formelen (enten CH_3NH_3 , Pb eller X_3).^[41]

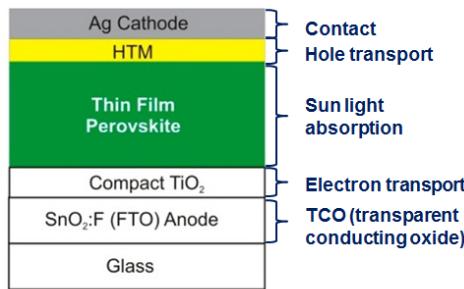
Den grunnleggende arkitekturen til en perovskitt solcelle består av tre hovedkomponenter. Disse er en absorbartor til å absorbere lysfotoner (perovskitten blir brukt som det absorberende materialet), en halvleder til å akseptere elektroner fra eksitere perovskitter og en hull-transporterende p-type halvleder som blir lagt mellom to elektroder.^[41]

Selve grunnprinsippet er at elektroner går fra jording-tilstanden til perovskitten og over til eksiteret tilstand når det blir utsatt for radiosjon fra fotoner. Så går de eksiterete elektronene til konduksjonsbåndet til halvlederen. Positiv ladning (eller hull) går igjennom det hulltransporterende materialet HTM og til elektroden. Det må legges til at ved implementasjon av denne formen for solcelle i vårt kraftverk, så må det tas hensyn til at det er komplikasjoner ved bruk av det. Disse komplikasjonene er at det er svært sensitiv for luftfuktighet, det blir degradert når det blir utsatt for lys, og samt at det er bly i perovskitten. Alle disse faktorene blir svært problematiske når kraftverket skal legges til havet.

Selve PERPHECT-prosjektet har sitt fundament i det som har blitt skrevet ovenfor. De primære målene til PERPHECT er å øke effektiviteten til fotovoltaiske solceller og senke produksjonskostnadene. På figur 17 er det en komponent som heter transparent conductive oxide (TCO).

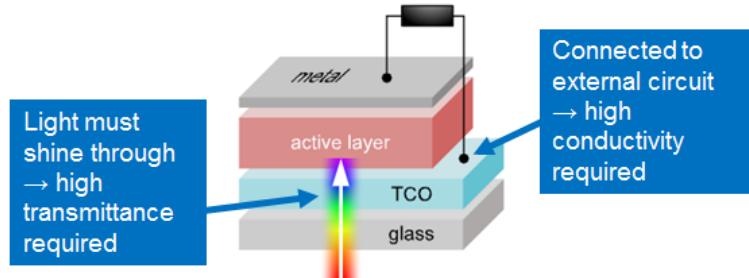


Figur 15: Figuren viser et foton med energi $h\nu$ som eksiterer et atom i perovskittstrukturen.^[43]



Figur 16: Prinsippskisse av PERPHECT-solcellens oppbygning.[44]

på begge sider.[40] Dette fører til at det kan samles lys fra både sola og kunstige kilder. Det kan føre til blant annet gjenforbruk av lys og fører til sparing av elektrisitet.



Figur 17: Prinsippskisse av en perovskitt solcelle med nødvendig transmittans og kobling til ekstern kilde.[40]

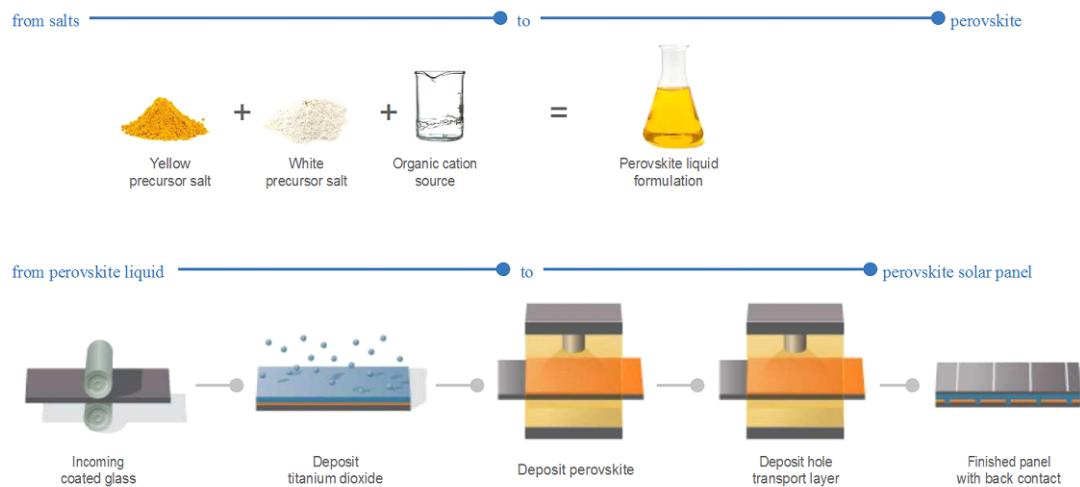
I kraftverket kan vi, basert på PERPHECT-prosjektet, regne med en virkningsgrad på minimum 22,5 % og også verdier på rundt 25 %. Et perovskitt-lag i tandem med krystallisert silisium kan gi en forbedring på 20 %. Dette gir en virkningsgrad på 25 % for tandem solcellene.[42]

Perovskitt kan forbedre den eksisterende Si-teknologien for solceller ved at det er svært mye billigere. Man kan kutte prisen på et solcellepanel med 3/4.[45] Det er enklere å produsere og fungerer ypperlig som det øverste lag i et tandem solcelle oppsett. Siste punktet skyldes at tykkelsen på en perovskitt solcelle med alle dets komponenter bare er på $1 \mu\text{m}$, mens en c-Si har tykkelse på $160 \mu\text{m}$. Perovskitten absorberer videre synlig lys, men transmitterer nær-infrarød lys til Silisium, slik at man tar opp to forskjellige lysbølger.[46]

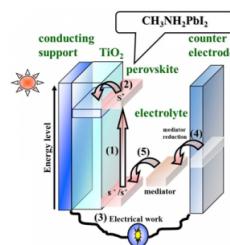
Figur 18 viser hvordan solceller av perovskitt blir laget. Ved å forandre på TCO kan vi også lagre mer energi og gjenbruke denne mer. Dette gjør at nytteeffekten av det for et kraftverk er veldig stor. Selve solcellen ser ut som den gjør i figur 19 når den er ferdigprodusert.

Indium Tinn Oksid (ITO)/Fluor-dopet Tinn Oksid (FTO) er ofte brukt som TCO. Disse er veldig dyre, finnes lite av og fluor er skadelig for miljøet. PERPHECT ønsker derfor å erstatte disse med metalliske nanovev av kopper (Cu) som er dekket med aluminium-dopet sinkoksid.[40] Nanovevet fungerer som kontakter og et tynt AZO-lag ($\text{R}-\text{N}=\text{N}-\text{R}'$) som fyller hullene, vil bli deponert over nanovevet for å få uniform elektronsamling i cellen. Dette vil kompensere for manglene ved TCO. Resultatet er at man får transparente elektroner

Hvordan solcelle-paneler av perovskitt blir laget:



Figur 18: Skjematisk oppsett for fremstilling av en perovskittsolcelle.[42]



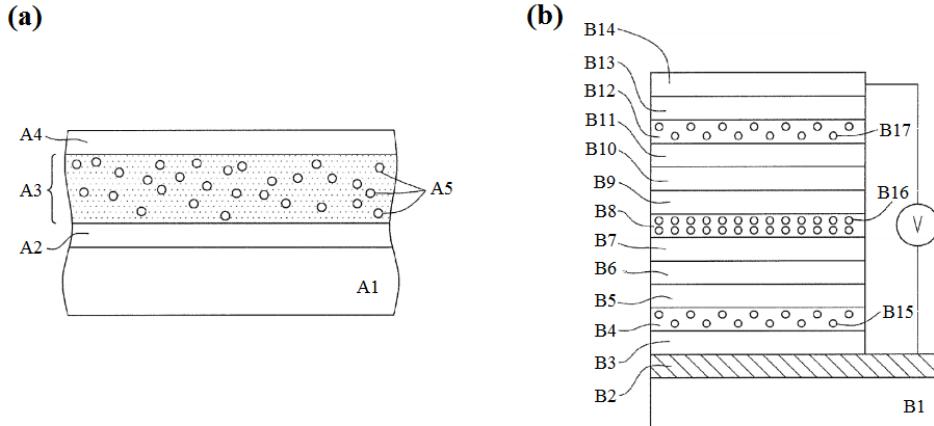
Figur 19: Prinsippskisse av en ferdig perovskittcelle.[40]

3.2.3 Kvanteprikk

Kvanteprikk solceller er en type solcelle som benytter kvanteprikker som det fotoelektriske absorberende materialet. Kvanteprikkene er halvledende nanokrystaller. Disse nanokrystallene kan være blant annet PbS, PbSe, InAs, CdSe, CuInS₂ (CIS) og CuInSe₂ (CISE). Kvanteprikk solceller er interessante innen solcelleforskningen da egenskapene ikke kun er avhengig av sammensetningen og krystallstrukturen, men også av størrelse og form. Dette kan benyttes til å justere båndgapet til halvledderne, samt refleksjon/absorpsjon av sollyset. Dette gjør at de er særlig interessante innen tandem solceller. De kan dessuten bli prosesert til å danne "junctions" på billige substrater som plast, glass eller metallplater og kan kombineres med organiske polymerer og dyes.[47] Et av problemene med kvanteprikk solceller er at de mest studerte nanokrystallene, som bly og kadmium, er giftige. Disse er dermed ikke interessante for dette prosjektet da det er ønsket å plassere solcellene på havet

uten å forstyrre/ødelegge naturen. Det er per dags dato funnet nye alternativer med god effekt og som er mye mindre giftige. Blant de mindre giftige nanokristallene er CIS og CISE.

Det finnes ulike arkitekturne strukturer som kan benyttes for kvanteprikk solceller. Minimumskravet er først et elektrodelag, deretter et optisk aktivt lag og til slutt et nytt elektrodelag sekvensielt plassert på et substrat. To tverrsnitt av ulike arkitekturene av solcellene er vist i Figur 20. [48]



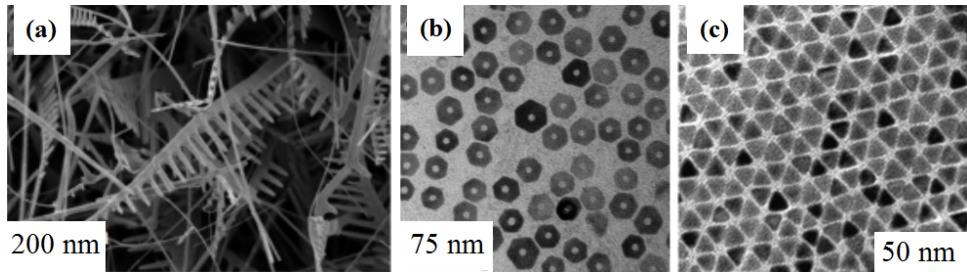
Figur 20: Forskjelle måter å bygge opp en kvanteprikk solcelle, hvor (a) viser minimumskravet for strukturen og (b) viser struktur for en solcelle med tre overganger.[48]

Det er altså flere muligheter til oppbygningen av kvanteprikk solceller. I figur 20a er det vist en enkel oppbygging av en kvanteprikk solcelle med substrat, to elektrodelag, et optisk aktivt lag og kvanteprikker. Figur 20b viser en tandem-kvanteprikk solcelle. Denne inkluderer et substrat, to elektrodelag, tunell junction, optisk aktive lag av p-type, intrinsikt og n-type og avslutningsvis kvanteprikker. Det er også muligheter for andre strukturer av kvanteprikk solcellene avhengig av hvilke egenskaper som er ønsket.

Båndgapet til kvanteprikksolcellene kan endres og dette gir muligheter for å absorbere elektromagnetisk stråling i IR-regionen i tillegg til den i regionen for synlig lys.[49] Som nevnt kan ikke nanokristaller som inneholder bly og kadmium benyttes da de er giftige og vil påvirke det maritime miljøet. CIS- og CISE-nanokristaller har til gjengjeld tilsvarende optiske og fotoelektriske egenskaper. De har båndgap som passer med solspekteret og har optiske egenskaper som kan endres ved å legge dem med ZnS eller bytte noen av indium-fraksjonene med gallium.[50] Den høyeste oppnådde effektiviteten for en slik kvanteprikk solcelle er på 21 %.[51] Denne er av typen CIGS, altså nanokristaller av CuInS₂ med fraksjoner av gallium.

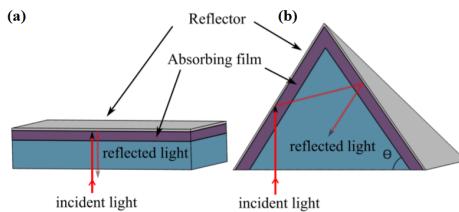
Egenskapene til nanokristallene er avhengig av formen av det absorberende materialet. Det er blitt gjennomført en rekke forskning på hvordan man kan utvikle

disse nanokrystallene i ulike former. Blant formene som kan oppnås er pyramider (pyramidal struktur), nanoringer (hexagonal struktur) og nanokam. Disse formene er vist i Figur 21.



Figur 21: (a) viser et SEM image av ZnO nanokam-struktur, (b) viser et TEM image av CIS nanoringer og (c) viser et TEM bilde av CIS pyramidal struktur.[52][53][54]

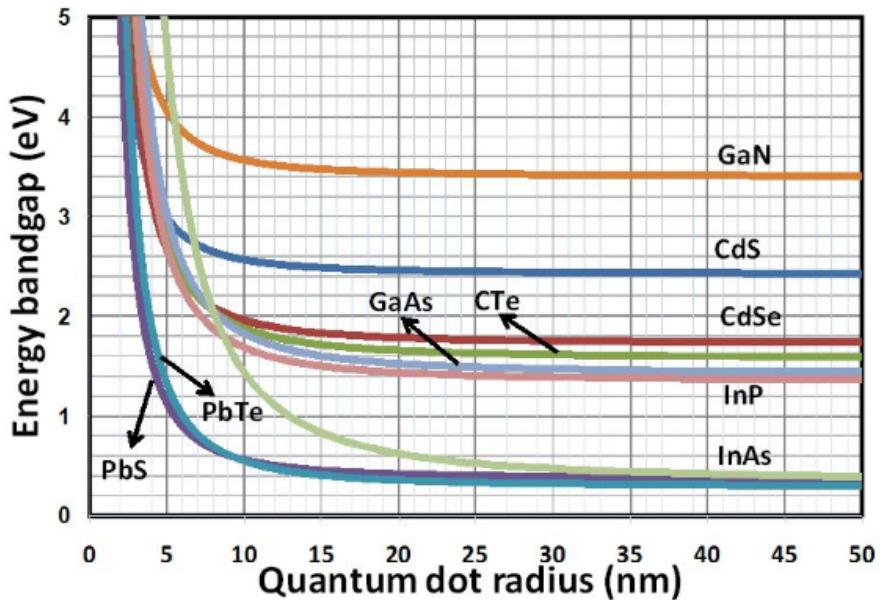
En fordel med å benytte pyramidal struktur er at man kan fange lyset innad i strukturen. Med en vanlig planar struktur med reflekterende topp vil lyset passe gjennom det aktive materialet to ganger (lik 2x materialets tykkelse). Med en pyramidal struktur vil lyset bli ”fanget” innafor strukturen og reflektere internt i det aktive materialet 4 ganger dersom pyramidevinkelen er på $54,7^{\circ}$ og opp mot 12 ganger med en pyramidevinkel på 80° . [55] Figur 22 viser hvordan lyset brytes i de ulike strukturene.



Figur 22: Refleksjon av lys i (a) planar og (b) pyramidal struktur med reflektiv overflate. [55]

En økt lysvei innad i det aktive materialet bidrar til en økt menge absorbert lys og dermed en høyere effekt på solcellen.

Størrelsen av nanokrystallene kan også bidra til å endre egenskapene. Ved å endre størrelsen på nanokrystallene vil energien i båndgapet til det absorberende materialet også justeres. Kvanteprikker er svært små og elektronene er av den grunn begrenset til et lite område, en kvanteboks. Hvis da størrelsen til kvanteprikken går under Bohr eksitonradius til materialet, behandles energinivåene som diskrete og kvantifiserte i steden for kontinuerlige bånd.[56] Båndgapet og energinivåene er avhengig av størrelsen på kvanteprikkene, og øker med synkende radius.[47] Dette er vist i Figur 23.



Figur 23: Energibåndgapet varierer med radius til noen kjente halvledende nanokrystaller.[47]

I tillegg kan dette også føre til flere eksitasjoner per foton.[57] Det er observert 3 eksitasjoner av elektroner per foton for kvanteprikker av PbSe. Et problem i å redusere størrelsen på nanokrystallene er at de er mer ustabile og inneholder en økt mengde defekter.[50]

3.3 Kostnader, finansieringsplan og miljøhensyn

I kraftverket baserer gruppen seg på et solcellepanel man får kjøpt i butikken med følgende egenskaper: 300 W nominell effekt, 2795 NOK i pris inkl. mva., virkningsgrad 17-20 %, 72 solceller per panel og dimensjonene er på 1,96 m * 0,99 m.[58] Som gruppe skal vi finne det nødvendige arealet, antall solceller, pris, finansieringsplan og miljøhensyn. Alt dette skal gjøres med og uten nanoteknologi, for sammenligning. Vi begynner med arealet til solcellekraftverket. Selve solcellene skal plasseres på Heliofloater i havet, så et kjøp av areal er ikke nødvendig. Man trenger dog konvensjon fra staten for å benytte et slikt område og for å få til dette er det viktig at prosjektet kan tjene Trondheim. For beregningene har vi benyttet antall soltimer man har i byen. En soltime er definert ved at man har en time med sollys med sterke intensitet enn 120W/m². Hvis man heller bruker GHI som vist i figur 1, som regner med alt lys vil man trenge et mye mindre kraftverk. Vi valgte å regne med soltimer, da dette blir "worst-case". Areal til solcellekraftverket med vanlig virkningsgrad blir:

$$\frac{(3,86 * 10^{12} \text{Wh})}{(300\text{W} * 1350\text{h})} * (1,96/1000 * 0,99/1000)\text{km}^2 = 18.5\text{km}^2.$$

Med nanoteknologi har vi forbedringer opp til 30 % med perovskitt og opp til 40 % med SOLHET og kvanteprikk. Ettersom vi også kan forbedre ytelsen enda mer med en kombinasjon med disse (som for eksempel et lag bestående av perovskitt, silisium og kobberoksid) regner vi med 35 % og fordoblet virkningsgrad med nanoteknologi. Det gir et areal på 9,25 km².

Før vi går nærmere inn på finansieringsplanen for kraftverket, beregner vi etableringskostnadene.

$$\frac{18,5 \text{km}^2}{1,96/1000 * 0,99/1000} \approx 9,53 * 10^6 \text{ solcellepaneler.}$$

$$(9,53 * 10^6 \text{ paneler}) * 2795 \text{ NOK/panel} \approx 26,7 * 10^9 \text{ NOK}$$

Ved bruk av nanoteknologien fra SOLHET-prosjektet kan det oppnås en dobling i virkningsgrad til samme pris som for vanlige silisiumsolceller.[59]

$$\frac{9,53 * 10^6 \text{ paneler}}{2} = 4,76 * 10^6 \text{ paneler} \Rightarrow 13,3 * 10^9 \text{ NOK}$$

Vi har at produksjonskostnadene for Cu₂O er svært lave som det andre tandemlaget i SOLHET.[60] Med skalering og bedre produksjonsmetoder kan vi regne med samme pris på de nanoteknologisk utviklede solceller i SOLHET som tradisjonelle solceller. Mens Perovskitt som erstatning for silisium kan kutte prisen på et solcellepanel med 3/4.[45] På grunn av denne usikkerheten bruker vi bare et anslag i pris for de forbedrede solceller.

Neste steg er å se på kostnadene for byggingen. Disse sammenlignes med tilsvarende solcellekraftverk. Det at vi bygger på heliofloat gjør at ekstra kostnader ved å plassere dem på havet ikke blir så store ettersom man ikke trenger mye drilling eller frakt av store komponenter. Men vi må betale for plattformene og prisen for det er allerede redegjort for. Effekten et solcellekraftverk trenger for å forsyne byen helt er:

$$\frac{3,86 * 10^{12} \text{W}}{24h * 365} = 440 \text{MW.}$$

For vårt sammenligningsgrunnlag har vi valgt et solcellekraftverk i California, USA, kalt for Topaz Solar Farm med effekt på 550 MW til 21-22 milliarder NOK med en svært sterk dollar. De benyttet 400 arbeidere til å bygge fasilitetene. En bygningsarbeider har årslønn på 470 000 NOK brutto.[61] Dersom vi estimerer at det tar 4 år å bygge kraftverket gir dette en total lønnskostnad på:

$$470000 \frac{\text{NOK}}{\text{arbeider}} * 400 \text{ arbeidere} * 4 \text{år} = 752 * 10^6 \text{ NOK.}$$

Andre utgifter som må tas med i beregningen er en undersjøkabel som skal noen km ut på havet. Her kan vi basere kostnaden på Skagerakk 4 som er en kabel fra Norge til Danmark og kostet 1,5 milliarder NOK.[62] Ut i fra dette regner vi med en pris på

150 millioner. I tillegg har vi med 500 millioner NOK til eventuelle byggetillatelser, konsesjoner, konsulenter og advokater. Dette bør gi denne kostnadsoversikten:

Tabell 1: Tabell for estimerte utgifter ved konstruksjon av solcellekraftverk.

Utgiftsposter	Pris i tusen NOK	Ekstra informasjon
Solceller	$13.3 \cdot 10^6$	
Heliofloat	$13 \cdot 10^6$	
Arbeidere	$752 \cdot 10^3$	
Kobling til nett	$152 \cdot 10^3$	
Andre	$500 \cdot 10^3$	
Sum ($\gamma = 40\%$)	$27,7 \cdot 10^6$	0,0072 NOK/Wh
Sum ($\gamma = 20\%$)	$54 \cdot 10^6$	0,014 NOK/Wh

Dette er omtrent som for kraftverket i California (0,0052 NOK/Wh), men justert for en historisk høy dollarpris.

Når vi skal finansiere dette, ser vi på punkt 2.5 i denne rapporten. Finansieringen kan gjøres med personlig lån basert på fremtidige inntekter fra kraftverket (se nedenfor), innførsel av kapital fra aktuelle investorer som kommune og stat og en emisjon på Oslo Børs som kan tiltrekke kapital. Vedrørende lån må det tas hensyn til en lånegrense. Dersom lånegrensen av investeringen blir høy kan utgiftene bli for store. Derfor er det viktig at man forhører seg med den kapitalsterke kommunen og stat om de er interesserte i å ta eierandel mot å betale for kraftverket. Et annet aspekt er at man kan finansiere kraftverket stegvis ved å produsere litt og litt, samtidig som man får inntekter fra sertifikater og strømsalg. Ved en emisjon, bør det bli stor interesse hos en befolkning som er veldig miljøbevisste og som et ledd mot en CO₂-utsipp fri økonomi.

De grønne sertifikatene ble i 2016 solgt til forbrukeren for 0,025 NOK/KWh, hvilket gir:

$$(3,86 \cdot 10^{12} \text{ Wh}) * (0,025 \frac{\text{NOK}}{\text{KWh}}) = 96,5 \cdot 10^6 \text{ NOK.}$$

[63] Vedrørende de framtidige inntektene er det slik at både tilbud og etterspørsel er dekket på forhånd. Dersom vi regner med en strømpris på 0,5 NOK/KWh, blir inntektpotensialet

$$(3,86 \cdot 10^{12} \text{ Wh}) * (0,5 \frac{\text{NOK}}{\text{KWh}}) = 1,93 \cdot 10^9 \text{ NOK.}$$

Ettersom det ikke er et monopol det er snakk om, og vårt prosjekt må konkurre re med andre fornybare kilder og muligens fossile brennstoffer, må vi regne med kun en andel av markedet. Et hensyn som trekker opp er derimot at strømprisen er uelastisk. Det gir stabile inntekter som ikke varierer hvis man først får en fast prosentandel. Når vi søker lån, bør vi regne med 10 % av markedet. Sammen med de grønne sertifikatene kan vi betjene lånet. Salg av aksjer er en annen finansieringsmulighet for å reise kapital.

Vårt siste hensyn er miljøet. I den forstand er det slik at Trondheim Kommune

får 70 % av dagens energi fra brenning av avfall.[20] Dette er en tendens det ønsker å gå bort i fra. Med innføring av solcellekraftverk på vårt nivå, vil man klare dette. Vi regner med en minking av klimagass-utslipp på 300 000 tonn CO₂ basert på tilsvarende solcellekraftverk som Topaz Solar Farm.[64] Det betyr en enorm forbedring i reduksjonen av CO₂-utslipp. Når det gjelder avfallet som blir igjen i deponi, så kan man gjenvinne dette fremfor å forbrenne det. Et annet problematisk aspekt å ta hensyn til er det at heliofloatene ligger ute på havet. De skal også festes til havbunnen. Dette gjør at fisk for eksempel ikke kan vandre fritt der. Heliofloatene kan også skade havbunnen.

Vedrørende det nanotoksikologiske aspektet, er det slik at vi i våre solceller har lag av Cu-nanopartikler og TiO₂. Det er blitt gjort studier av effekten av disse i marine miljøer. I følge en studie av Shaw and Hardy fra 2011 førte kopper nanopartikler til gjelle-patologier (eller sykdommer) og forandringer i genuttrykk (hvor gener bruker informasjon til å danne produkter).[65][66] I tillegg gir TiO₂-nanopartikler akkumulasjon av Ti i vev som nyre, gjeller, mage og lever. Ved bruk av perovskitt er det slik at materialet inneholder bly som degraderer når det blir utsatt for sollys. Det betyr at det må skiftes ut ofte og at det er svært forurensende for det marine liv. Blyutslipp kan også være et problem for kvanteprikk-modellen. Man må da forhindre utslipp, noe heliofloaten bidrar sterkt til. Selv om heliofloaten kan redusere utslippene fra perovskitt- og kvanteprikk-solcellene, er SOLHET fortsatt det beste valget som en følge av virkningsgrad og levetid.

Til tross for ulempene, så oppveier fordelene for dem. Dette fordi miljøproblemene vi har nevnt er begrenset til 20 km² eller så, mens utslippene av klimagassene er globale.

4 Konklusjon og fremtidsutsikter

Nanoteknologi er med på å gjøre dette prosjektet mer realiserbart. Blant metodene vi har vurdert virker SOLHET-prosjektet som det mest lovende alternativet. Her kan man oppnå en virkningsgrad på opptil 40 %, som er omtrent en dobling fra vanlige silisium-solceller. Dette minsker arealet på solcelleparken og halverer prisen på prosjektet fra 55 mrd. til 27 mrd. Et av problemene med SOLHET-prosjektet er festningslaget av GaO₂. Dette er giftig og dermed må det byttes ut med et annet hydrogenrikt materiale før det kan plasseres på Frohavet.

PERPHECT er en lovende solcelleteknologi og kan oppnå 30 % virkningsgrad. Desverre inneholder perovskitten bly som er svært giftig. Det samme gjelder også for kvanteprikk solceller som tar i bruk materialer som bly, kadmium og gallium. Det kan benyttes med miljøvennlige kvanteprikker, men på bekostning av virkningsgrad og andre egenskaper.

For konstruksjon kan det se ut som at Helifloat er den beste måten å plassere solcellen offshore da dette er den eneste realistiske løsningen per dags dato. For fremtiden derimot er *Marine solar cells* et lovende alternativ med potensial til å øke virkningsgraden med 20 %. Desverre er ikke denne kommersielt tilgjengelig for

øyeblikket.

Når det kommer til å forsyne Trondheim med strøm er en rekke sosioøkonomiske pekter vurdert. Solcelleparken vil være konkurransedyktig mot andre solcelleprosjekter og enkelte andre fornybare kilder. Det er derimot vanskelig å konkurrere mot fossilt brennstoff på grunn av pris. For å finansiere de 27 mrd kronene det koster å bygge parken er vi nødt til å få subsidier av stat og kommune, lån fra bank og andre aktører. Dessuten kan grønne sertifikater brukes til å betjene noe av lånet. Til slutt er vi også avhengig av å få konvensjon fra staten til å bygge kraftverket på Frohavet.

Når det gjelder fremtidsutsiktene til prosjektet er det til dels gjennomførbart. Nanoteknologi er et fremtidsrettet fagfelt, men til tross for dette er løsningene benyttet i dette prosjektet svært lovende og kan være på markedet om noen år. Når det kommer til finansiering kreves det gode avtaler, men med en mer miljøbevisst politikk og et oljemarked som er på vei nedover, er det likevel mulig. Slik vi ser det, kan Trondheim forsynes med solkraft.

Bibliografi

- [1] Bilgen, S. *Renew. Sustainable Energy Rev.* **2014**, *38*, 890 – 902.
- [2] SSB, *SSB:Kommunefakta, Trondheim*. <https://www.ssb.no/kommunefakta/trondheim>, 2016.
- [3] Trondheim kommune *Energi- og klimahandlingsplan for Trondheim kommune*. <http://www.trondheim.kommune.no/klima/>, 2010.
- [4] Yr.no *Hvor mange soltimer har du?* <http://www.yr.no>, 2014.
- [5] Šúri, M.; Huld, T. A.; Dunlop, E. D.; Ossenbrink, H. A. *Solar Energy* **2007**, *81*, 1295 – 1305.
- [6] Ohnishi, M.; Takeoka, A.; Nakano, S.; Kuwano, Y. *Renewable Energy* **1995**, *6*, 275 – 282.
- [7] Teknisk ukeblad *Nå er det dobbelt så mange sol-jobber som kull-jobber i USA*. <https://www.tu.no/artikler/na-er-det-dobbeltsa-mange-sol-jobber-som-kull-jobber-i-usa/376285>, 2017.
- [8] Ambaum, M. H. P. *Thermal Physics of the Atmosphere*; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, 2010; Chapter 3, p 54.
- [9] Hemmer, P. C. *Innføring i kvantemekanikk*; Tapir: Trondheim, 1999; Chapter 8, p 165.
- [10] Dincer, F.; Meral, M. E. *Smart Grid and Renewable Energy* **2010**, *1*, 47.
- [11] Steele, E. L. *Proceedings of the IRE* **1952**, *40*, 1424–1428.
- [12] Rühle, S. *Solar Energy* **2016**, *130*, 139 – 147.
- [13] Hemmer, P. C. *Faste stoffers fysikk*; Tapir: Trondheim, 1987; Chapter 5, p 170.
- [14] Inglis, M. *Astrophysics is Easy!*; Springer-Verlag: London, 2007; Chapter 1, p 37.
- [15] Ambaum, M. H. P. *Thermal Physics of the Atmosphere*; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, 2010; Chapter 9, p 169.
- [16] Shockley, W.; Queisser, H. J. *Journal of applied physics* **1961**, *32*, 510–519.
- [17] Vos, A. D. *Journal of Physics D: Applied Physics* **1980**, *13*, 839.
- [18] Investopedia *Economics Basics: Supply and Demand*. <http://www.investopedia.com/university/economics/economics3.asp>.
- [19] Begg, D. *Economics*, 11th ed.; McGraw-Hill: London, 2005.
- [20] Trondheim kommune *Lokal energiutredning 2013*. <https://tronderenerginett.no/media/pdf/2014/leu-trondheim-kommune-2013-v1.pdf>, 2013.

- [21] Oberdörster, G.; Oberdörster, E.; Oberdörster, J. *Environmental Health Perspectives* **2005**, *113*, 823–839.
- [22] Qiu, Y.; Lam, J. K. W.; Leung, S. W. S.; Liang, W. *Molecules* **2016**, *21*.
- [23] Tibbetts, J. *Environmental Health Perspectives* **2002**, *110*, A674–A681.
- [24] King, D.; Kratochvil, J.; Boyson, W. *Temperature coefficients for PV modules and arrays: Measurement methods, difficulties, and results*. 1997; *26*. IEEE photovoltaic specialists conference.
- [25] Norgeskart. <http://www.norgeskart.no/#!?project=seeiendom&layers=1008,1014&zoom=7&lat=7081589.25&lon=233395.75>.
- [26] Tjeldbergodden *Industrianleggene*. <http://tjeldbergodden.com/about/industrianleggene/>.
- [27] Helifloat hjemmeside. <http://www.helifloat.com/>.
- [28] Helifloat *Company*. <https://www.helifloat.com/index.php?id=15>.
- [29] Helifloat *Platform technology*. <https://www.helifloat.com/index.php?id=17>.
- [30] ECN *Hundred-Meter Long Solar Platforms Remain Steady, Stable in Rough Sea Weather*. 2016; <https://search.proquest.com/docview/1784010918/accountid=12870>.
- [31] Marine Insight *Marine Solar Cells: New Technology Uses Both Solar and Wave Energy*. <http://www.marineinsight.com/future-shipping/marine-solar-cells-new-technology-uses-both-solar-and-wave-energy/>.
- [32] The Huffington Post *Inspiring a New Paradigm in Marine Renewables*. 2015; http://www.huffingtonpost.co.uk/phil-pauley/marine-renewables_b_6145370.html.
- [33] BBC *Europe's largest floating solar farm to open*. <http://www.bbc.com/news/uk-england-london-35705345>.
- [34] Hexapolis *Japan Will Soon Welcome The World's Largest Floating Solar Power Plant*. <http://www.hexapolis.com/2016/01/26/japan-will-soon-welcome-the-worlds-largest-floating-solar-power-plant/>.
- [35] Anthony, S. *World's largest floating solar farm prepares to power up in London*. 2016; <https://arstechnica.co.uk/science/2016/03/worlds-largest-floating-solar-farm-prepares-to-power-up-in-london/>.
- [36] Ian, P.; Mueller, C. *Giant floating solar panels are saving a water company millions of dollars*. 2016; <http://www.businessinsider.com/giant-floating-solar-panel-thames-water-2016-3?r=US&IR=T&IR=T>.
- [37] Svensson, B. G.; Kumar, R. *High-performance tandem heterojunction solar cells for specific applications (SOLHET)*. http://www.mn.uio.no/smn/english/research/projects/physics/SOLHET_am/, 2016.

- [38] Strem Chemicals inc. *Gallium Metal Safety Data Sheet*. <https://www.zeiss.com/content/dam/Microscopy/Downloads/Pdf/MSDS/MSDS-Gallium.pdf>.
- [39] Ørnulf Nordseth,; Kumar, R.; Bergum, K.; Fara, L.; Foss, S. E.; Haug, H.; Drăgan, F.; Crăciunescu, D.; Sterian, P.; Chilibon, I.; Vasiliu, C.; Baschir, L.; Savastru, D.; Monakhov, E.; Svensson, B. G. *Green and Sustainable Chemistry* **2017**, *7*, 57–69.
- [40] Bonkerud, J. PHERPHECT. Private communication, 2017.
- [41] Nazeeruddin, M. K.; Snaith, H. *MRS Bulletin* **2015**, *40*, 641–645.
- [42] Case, C. Perovskite based photovoltaics. http://www.nanophotonics4energy.eu/index.php/documents/public-documents/seed-project-results/doc_download/237-eu-pvsec2014-case-from-0-to-20--in-two-years-\perovskite-based-photovoltaics--separating-hype-from-hope., 2014.
- [43] Park, N.-G. *The Journal of Physical Chemistry Letters* **2013**, *4*, 2423–2429.
- [44] Snaith, H. J. *The Journal of Physical Chemistry Letters* **2013**, *4*, 3623–3630.
- [45] Economist, Solar energy:Cell a million? <http://www.economist.com/blogs/babbage/2013/10/solar-energy>, 2013.
- [46] Oxford PV, *Boosting the performance of silicon or CIGS PV modules by 20%*. <http://www.oxfordpv.com/Tandem-perovskite-solar-cells>.
- [47] Jasim, K. E. In *Solar Cells - New Approaches and Reviews*; Kosyachenko, L. A., Ed.; InTech: Rijeka, 2015; Chapter 11.
- [48] Huang, K.-P. US 2010/0288345 A1. 2010.
- [49] H. Sargent, E. *Advanced Materials* **2005**, *17*, 515–522.
- [50] Tiwari, A.; Boukherroub, R.; Sharon, M. *Solar Cell Nanotechnology*; Wiley: Oxford, Unites States, 2013.
- [51] Green, M. A.; Emery, K.; Hishikawa, Y.; Warta, W.; Dunlop, E. D. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* **2016**, *24*, 905–913.
- [52] Capeluto, M.; Grinblat, G.; Tirado, M.; Comedi, D.; Bragas, A. *Opt. Express* **2014**, *22*, 5341–5349.
- [53] Guo, Q.; Kim, S. J.; Kar, M.; Shafarman, W. N.; Birkmire, R. W.; Stach, E. A.; Agrawal, R.; Hillhouse, H. W. *Nano Letters* **2008**, *8*, 2982–2987.
- [54] Koo, B.; Patel, R. N.; Korgel, B. A. *Journal of the American Chemical Society* **2009**, *131*, 3134–3135.
- [55] Labelle, A. J.; Thon, S. M.; Masala, S.; Adachi, M. M.; Dong, H.; Farahani, M.; Ip, A. H.; Fratalocchi, A.; Sargent, E. H. *Nano Letters* **2015**, *15*, 1101–1108.

- [56] Bawendi, M. G.; Steigerwald, M. L.; ; Brus, L. E. *Annual Review of Physical Chemistry* **1990**, *41*, 477–496.
- [57] Sharma, D.; Jha, R.; Kumar, S. *Solar Energy Materials and Solar Cells* **2016**, *155*, 294 – 322.
- [58] Sparelys.no *Solcellepanel 300Watt, Sunenergy*. http://www.sparelys.no/index.php?option=com_virtuemart&Itemid=39&page=shop.product_details&flypage=flypage_ny.tpl&product_id=2077&category_id=26&gclid=CJGS2tnD2dICFdSCsgodQZYPMw&vmcchk=1&Itemid=39, 2017.
- [59] Vogt, Y. *Verdens mest effektive og miljø vennlige solceller*. 2017.
- [60] Arith, F.; Said, M. M.; Anis, S.; Idris, C. M. I. Low Cost Electro-Deposition of Cuprous Oxide P-N Homo-Junction Solar Cell. *Solar Energy Materials and Energy Engineering*. 2014; pp 38–43.
- [61] SSB *Lønnstatistikk SSB*. <https://www.ssb.no/statistikkbanken/>, 2016.
- [62] Statnett *Skagerrak 4*. <http://www.statnett.no/Nettutvikling/Skagerrak-4/>, 2012.
- [63] NVE *Elsertifikater - NVE*. <https://www.nve.no/energiforsyning-og-konsesjon/elsertifikater/>, 2016.
- [64] Firstvsolar *Topaz solar farm*. <http://www.firstsolar.com/en-EMEA/Resources/Projects/Topaz-Solar-Farm>, 2011.
- [65] Shaw, B. J.; Handy, R. D. *Environment International* **2011**, *37*, 1083 – 1097.
- [66] Gupta, Y. R.; Sellegounder, D.; Kannan, M.; Deepa, S.; Senthilkumaran, B.; Basavaraju, Y. *Aquaculture and Fisheries* **2016**, *1*, 15 – 23.

A Personlige refleksjoner: Hva har vi lært?

Furkan: Da jeg begynte i gruppen hadde jeg en del fagkunnskap fra nanoteknologi og statsvitenskap. Men det meste av det var teoretisk basert. Selv om jeg hadde lest om solceller og halvlederteknologi, visste jeg lite om hvordan det fungerte i praksis. Ved å lære om de norske prosjektene SOLHET og PERPHECT forstod jeg hvordan nanoteknologi implementeres i praksis. I tillegg var det lærerikt å lære om marin teknologi, noe jeg hadde svært lite erfaring med fra tidligere. Når det da gjelder nanoteknologi i marin miljø, kunne jeg nok ha satt meg bedre inn i det fra begynnelsen av prosjektet. Men dette skyldes muligens manglende forståelse av fagfeltet. Kjemikerne i gruppen hadde allerede jobbet med solceller til en viss grad, mens de teoretiske fysikerne var mer kvantemekanikk-baserte. Dette gjorde at vi skjønte hva som skjedde på nanoskala, men det tok en del tid å lære å anvende det på problemstillingen vår.

Solveig: I begynnelsen av prosjektarbeidet manglet jeg kunnskaper angående aspektene rundt nanoteknologi. Etter noen uker var horisonten min utvidet. Jeg hadde opparbeidet kunnskaper ved å lese artikler på nett, samt bøker og ved hjelp av samtaler med de andre gruppemedlemmene. Min faglige kompetanse er hovedsaklig fra kjemi og mer spesifikt fra organisk kjemi. Sett i perspektiv tror jeg denne kompetansen har hjulpet meg med å forstå faglige artikler angående solceller og bidratt til å utforme hoveddelen av prosjektrapporten. Jeg har mye erfaring fra rapportskriving som også kom til nytte. I forhold til solcelletemaet var noen av manglene mine kunnskap i nanoteknologi, fysikk og økonomi. Da er det greit med gruppemedlemmer fra annen faglig bakgrunn som kan hjelpe til med arbeidet og fylle ut der det trengs.

Lars: Etter å ha studert fysikk i noen år hadde jeg før vi begynte prosjektet et par fordommer mot faget nanoteknologi. Dette i den forstand at jeg har sett på nano-fagfeltet som et mer eksperimentelt område i fysikken, i motsetning til den teoretiske retningen som jeg selv vanligvis innretter meg mot. Det skulle vise seg at jeg hadde litt rett, men også litt feil. Det fantes nemlig en god del ting å finne på fra et teoretisk ståsted, og jeg har kost meg med ligninger og forskningsartikler på solceller. Jeg mener jeg har bidratt i en positiv retning med mitt fagfelt ved å være med å bygge opp en etter min mening bra teori.

Celine: Jeg kunne ingenting om nanoteknologi da jeg begynte med dette prosjektet. Som student i marin teknikk jobber jeg i minste fall med millimeter. Dette prosjektet har gitt meg innblikk i en annen verden som jeg nå har tro vil spille en større rolle i den marine næringen i fremtiden. Min bakgrunn har gitt gruppa en bredere tverrfaglighet og har spilt en stor rolle i valg av problemstilling. Det har også vært interessant å høre med aktører i næringslivet og se hvor sterkt grønn energi står.

Morten: Jeg hadde en del forkunnskaper relatert til nanoteknologi og solceller, da jeg har hatt begge som valgfag. For meg var derfor nano-og solcelledelen av prosjektet kjent territorium. Utover prosjektet fikk jeg en større forståelse av bruken av

nanoteknologi i solcelleteknologi. Jeg fordypte meg i tandem-solceller, som var mer eller mindre ukjent for meg. Den delen av prosjektet som har vært mest fremmed for meg er den marine delen. Det har derfor vært svært interessant og lære mer om dette. Tverrfagligheten i gruppa har vært gull verdt, da prosjektet har vært omfattende i den forstand at det har vært mange forskjellige aspekter å se på.

Andreas: Bakgrunnen min innen teknisk fysikk ga meg litt forkunskaper innen nanoteknologi og solceller før EiT, likevel følte jeg at det ikke var veldig mye jeg kunne bidra med i starten av prosjektet. Den delen jeg følte at jeg kunne bidra mest på var teorien, men ettersom vi var to teoretikere, fikk Lars denne oppgaven. Selv om jeg ikke hadde hovedansvaret for teorien eller delene om marin og solcellene, har jeg fått hjulpet til der det trengtes, som for eksempel ved å forklare teori, vurdere konsepter, og kode Latex dokumentet. De andre på gruppen hadde masse å tilby med tanke på ekspertise og vilje til å jobbe for hverandre. Det har vært veldig lærerikt å jobbe med folk fra andre fagretninger. I løpet av de månedene vi brukte på prosjektet har jeg lært mye om solceller, økonomi, marinteknikk og ikke minst nanoteknologi. Det var også spennende å få ta et dykk inn i nyskapende forskning på solenergi, som SOLHET og PERPHECT, og jeg kommer nok til å holde et øye med dem i tiden fremover.