

Overvannshåndtering på bakkemonterte solcelleparker

MALIN THERESE GIMRE GRAN



VEILEDER

Anders Folkman

Universitetet i Agder, 2024

Fakultet for teknologi og realfag

Institutt for ingeniørvitenskap

Master

Obligatorisk egenerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none"> - ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands. - ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt. - ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt. - har alle referansene oppgitt i litteraturlisten. - ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse. 	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§ 31.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert.	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at Universitetet i Agder vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk.	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider.	<input checked="" type="checkbox"/>

Publiseringsavtale

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage Aura og på UiA sine nettsider med forfatter(ne)s godkjennelse.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller tausehetsbelagt/konfidensiell vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved Universitetet i Agder en vederlagsfri rett til å

gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

JA NEI

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

JA NEI

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

JA NEI

Er oppgaven unntatt offentlighet?

JA NEI

(inneholder taushetsbelagt informasjon. Jfr. Offl. §13/Fvl. §13)

Forord

Som en del av Masterprogrammet for bygg ved institutt for ingeniørvitenskap, utgjør denne masteroppgaven den siste og avsluttende oppgaven. Masteroppgaven er en del av emnet BYG-508, og er utviklet i det fjerde semesteret.

Målet med masteroppgaven er å avdekke eventuelle problemer knyttet til overvann ved utviklingen av bakkemonterte solcelleparker i Norge. Videre er målet å vurdere hvilke håndterings grep som kan være hensiktsmessig, samt hvordan solcelleparkers etablering generelt påvirker overvannet på et tiltaksområde.

Med det ønsker jeg å takke ekstern veileder i Greenstat for muligheten til å få innblikk i, og ta del av et spennende prosjekt. Jeg ønsker også å takke intern veileder Anders Folkman for rikelig med engasjement, en meget god oppfølging og faglig innsikt.

Til slutt vil jeg nevne studietiden ved UiA Grimstad som en tid fylt med mye glede, lærdom og selvfølgelig stress. Så takk til venner, medstudenter og gode lærere for den berikende og gode erfaringen.

Summary

As a measure to produce more sustainable energy ground-mounted solar parks is becoming increasingly relevant. This is a new phenomenon with very limited experience regarding its implementation in the Nordic landscape. This master's thesis aims to gain more knowledge about the relationship between ground-mounted solar parks and stormwater. The question being researched is how stormwater should be handled to ensure optimal operation of the solar cell plant, as well as reduced local environmental impacts. A planned ground-mounted solar park in Larvik, covering 96 hectares, serves as a case study. The solar park has an expected lifespan of 30 years and is situated in an area with sloping terrain consisting of forest and a decommissioned gravel pit. Through literature study, potential issues related biodiversity and erosion at the mounting points of the solar panels are identified. Further methodological steps included conducting an interview with the project developer in Larvik, a feasibility study on stormwater management, and performing calculations on expected volumes of stormwater. When comparing the feasibility studies, it becomes evident that preserving the original streams and water bodies should be prioritized to limit the environmental and operational impact. Filling in streams and ponds increases the risk of erosion necessitating maintenance work and harming biodiversity. Lastly using stormwater pipes reduces erosion risk but damages biodiversity and requires more extensive interventions from the project developer. In general, it is concluded that stormwater volumes primarily increase in areas where ground-mounted solar parks are established due to necessary vegetation removal. If the surface however is optimized by planting vegetation and avoiding over compaction, the results of this thesis indicate that stormwater volumes can be lower than they were before its establishment. Additionally, the literature suggests that this approach will improve the local environment and erosion control.

Innholdsfortegnelse

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring.....	i
Publiseringsavtale.....	ii
Forord.....	iii
Summary	iv
Figur liste	vii
Tabell liste.....	viii
Formel liste.....	viii
1. Innledning	1
2. Samfunnsperspektiv.....	2
3. Kunnskapsbakgrunn	3
3.1. Den rasjonelle metoden.....	3
3.1.1. Avrenningskoeffisient.....	4
3.1.2. Nedbørintensitet	6
3.2. Bakkemonterte solcelleparker	8
4. Forskerspørsmål.....	12
4.1. Avgrensninger	12
5. Case.....	13
6. Metode.....	17
6.1. Litteraturstudie	17
6.2. Stedsanalyse.....	18
6.3. Intervju.....	18
6.4. Mulighetsstudie	19
6.5. Beregninger.....	19
7. Analyse	21
7.1. Scalgo Live	23
7.2. Feltanalyse	25
8. Mulighetsstudier	30
9. Resultat	33
10. Diskusjon.....	36
11. Konklusjon.....	40
12. Anbefalinger	41
13. Referanser	42

14. Vedlegg..... 44

Figur liste

Figur 3.1: Illustrasjon av vannets kretsløp, utviklet av NVE [18]	3
Figur 3.2: Avrenningskoeffisient ved ulike flater og nedbørintensitet[21].	5
Figur 3.3 Treledd-strategi for håndtering av nedbør og overvann[27].	7
Figur 3.4 Bhadla solcellepark i India[29]	8
Figur 3.5 Eksempel på erosjon ved en pakkemontert solcellepark i USA[33].	9
Figur 5.1 Visualisering av Brandsrud solcellepark [41].	13
Figur 5.2 Skråfoto av området til den planlagte solcelleparken, tatt fra sør/øst [40]	13
Figur 5.3 Bilde tatt fra sandområdet som brukes til motorsport [41].	14
Figur 5.4 Planområdet før og etter etableringen av solcellepanelene [40]	15
Figur 5.5 planlagt montasjestruktur solceller [40]	15
Figur 5.6 Eksempel på bakkemontert montasjesystem festet med jordskuer [40]	16
Figur 7.1 – Flyfoto av området fra år 2023[43]	21
Figur 7.2 - Kart over mulig hav- og fjordavsetninger, og løsmasser på området[44].	22
Figur 7.3 – IVF tabell for Larvik kommune[46]	22
Figur 7.4 - Kart over terrenget på tomten [47]	23
Figur 7.5 -Kart over de ulike nedbørsfeltene inni tomten [47]	24
Figur 7.6 – Nedbørsfelt med lengde og gjennomsnittlig høydeforskjell	25
Figur 7.7 – Topografi sør og nord	26
Figur 7.8 - Bekkeløp og vannansamling i nord	26
Figur 7.9 - Bekk langs vei i nord, og rør	27
Figur 7.10 – Større vannansamling og rør	27
Figur 7.11 - Bekk fra felt 2 ved utløp	28
Figur 7.12 – Bekk fra felt 1 ved utløp	28
Figur 7.13 – Skogsområdet i nord, med noe vannansamling	29
Figur 8.1 - Mulighetsstudie 1, ingen til lite overvanns etableringer. Skisse av solcellepark lagt over dagens bekker og terreng.	30
Figur 8.2 - Mulighetsstudie 2, Terrengetilpasninger med bevaring av bekk. Illustrasjon av solcellepark, med skissert bekkeløp og fallpiler.	31
Figur 8.3 - Mulighetsstudie 3. Terrengetilpasninger med ned-graving av overvannsrør. Illustrasjon av solcellepark, med skissert rørplassering og fallpiler.	32

Tabell liste

Tabell 3.1: Avrenningskoeffisienter ved 10. års returperiode, for ulike overflater og helninger [20]....	4
Tabell 6.1: Mål med litteratursøk, og utdrag av relevante søkeord	17
Tabell 7.1 – korrigert informasjon om andel og type overflate i nedbørsfeltene.....	24
Tabell 9.1 - Forventet avrenning fra nedbørsfeltene som berører tiltaksområdet, før og etter avskoging og etablering av solcelleanlegg.	33
Tabell 9.2 - Total avrenning fra nedbørsfelt tilknyttet tiltaksområdet etter etablering av solcellpark, med beplanting.	34
Tabell 9.3 – Beregnet avrenning fra nedbørsfelt 2, og hele området, dersom et overvannsrør utgjør overvannshåndteringen slik som beskrevet i mulighetsstudie nr. 3.....	34
Tabell 9.4 – Vurdering av mulighetsstudiene.....	35

Formel liste

Formel 3.1: Den rasjonelle formel[19]	4
Formel 3.2: midlere avrenningskoeffisient[19]	5
Formel 3.3:Konsentrasjonstid ved naturlige nedbørsfelt [23]	6
Formel 3.4: Konsentrasjonstid igjennom rør[19]	6

1. Innledning

Europa har den siste tiden vært preget av det som blir kalt en energikrise[1]. Krisen har opphav fra blant annet krig og ugunstige værforhold som tørke og hetebølger. Dette har ført til begrensninger i tilgang på energi, og ledet til høye kraftpriser. I Norge har dette gitt utslag i form av høyere strømpriser, og medført nødvendigheten for å innføre strømstøtte til befolkningen. På grunn av denne energikrisen har olje- og gassressursene Norge besitter blitt ekstra verdifulle for resten av Europa. Det har også vært registrert et generelt økt forbruk av olje og kull[1]. Dette faller i strid med den bærekraftige utviklingen som krever en omstilling i energiproduksjonen mot en fornybar og pålitelig energiproduksjon.

Energivaren med høyest forbruk i Norge er strøm[2]. Som følge av elektrifisering av transportsektoren, klimagassreduksjoner innad i industri samt utviklingen av ny industri og datasentre forventes det også en økning i strømforbruket. Noen mulige metoder for å produsere strøm gjennom fornybare energikilder, er ved bruken av vannkraft, vindkraft eller solkraft. I 2023 utgjorde vannkraft 89% av strømproduksjonen i Norge, mens vindkraft utgjorde 9% [3]. Bruken av solkraft til strømproduksjon har hatt en kraftig økning i resten av verden, spesielt i land som Kina[4]. Forventingene til økt solkraftproduksjonen er også store, på grunn av den globale økonomiske utviklingen innenfor dette feltet[4]. I Norge har derimot bruken av solkraft vært mer beskjeden. I slutten av 2023 ble det første konsesjonspliktige solcellekraftverket ferdigstilt[5]. Et solkraftverk er konsesjonspliktig dersom det må etableres høyspenningsanlegg for å få kraften ut på strømmettet. NVE som etter loven har myndighet har videre gitt konsesjon for utbyggingen av 3 ytterligere solkraftverk, samtidig som de opplever mye interesse og pådriv fra prosjektutviklere[6]. I Norge er det satt et mål om en solkraftproduksjon som tilsvarer en utbygging på over 15 ganger av det nivået som er i dag i løpet av 6 år. Solcellekraftverkene som til nå er godkjent er for øvrig bakkemonterte solcelleparker.

Fordi bakkemonterte solcellekraftverk er såpass nytt i Norge, finnes det svært lite erfaringer rundt etableringen med de nordiske forholdene. Produksjonsmessig er det en forståelse og trygghet i at solceller har en tilstrekkelig virkningsgrad også i nord[7]. Men hvordan de bakkemonterte solcellekraftverkene forholder seg til det nordiske klimaet, og eventuelle terreng er derimot mer uvisst. Mye av oppmerksomheten rundt etableringen i de andre nordiske landene har til nå vært rettet mot plasseringen av solcellerparkene[8]. Dette fordi formålet krever store arealer, noe som har medført utfordringer knyttet til utbygging og naturverdi. Hvordan de hydrologiske effektene på områdene som berøres er, og hvordan klimaet i Norge påvirker selve solcelleanlegget er derimot svært lite omtalt.

2. Samfunnsperspektiv

Begrepet bærekraft omtales mye. At noe er bærekraftig, betyr at det støtter opp under en bærekraftig utvikling. Bærekraftig utvikling kan defineres som en utvikling som sikrer både den nåværende, og de framtidige generasjoners behov[9]. Verden har i dag en rekke problemområder slik som klimaendringer, forurensninger, tap av biologisk mangfold, fattigdom og ulikheter. For å framtre bærekraftig må både sosiale, økonomiske samt klima- og miljømessige aspekter vurderes sammen i et systemperspektiv.

I FNs klimarapport (ICC6) konkluderes det med at den globale oppvarmingen er en konsekvens av menneskelige aktiviteter, og det oppfordres sterkt å redusere klimagassutslippet så fort som mulig[10]. FN er en organisasjon bestående av 193 medlemsland, og er verdens største forkjemper for bærekraft. I 2015 vedtok de Parisavtalen hvor alle medlemslandene forpliktet seg til å gjøre alt de kan for å unngå at temperaturen på kloden stiger mer enn 1,5 °C i løpet av dette århundre[11]. Det samme året ble også FNs bærekraftsmål vedtatt. Dette er 17 hovedmål, og 169 delmål som skal fungere som en arbeidsplan for stoppe klimaendringene, samt bekjempe ulikheter og fattigdom innen 2030[10]. målene har stor påvirkningskraft på norske og internasjonale politiske bestemmelser.



Den globale oppvarmingen fører til stadig økning av både styrke og hyppighet på ekstremvær som hetebølger og styrtregn. Globalt forventes det en økning på 7% intensitet i styrtregn per 1 °C oppvarming[10]. Dette gir konsekvenser som flom og ødeleggelser. Bærekrafts mål 13 handler om å stoppe klimaendringene, og konsekvensene av dem. Ifølge delmål 13.1 skal alle land styrke evnen til å motstå og håndtere klimapåvirkningene[12]. Ved å utvikle gode systemer for overvannshåndtering, reduseres faren for skader på bygninger, infrastruktur, helse og miljø.

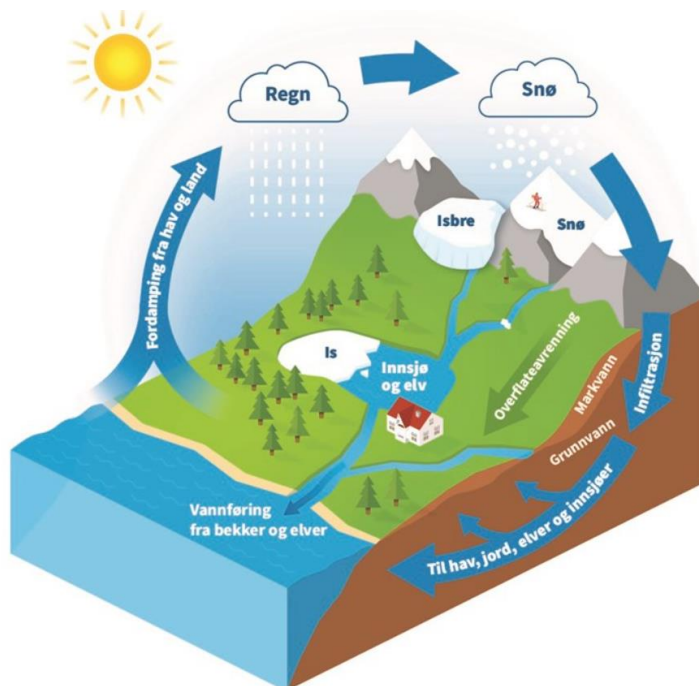
Den største bidragsyteren til klimagassutslipp er energiproduksjon[13]. Store deler av verdens energiproduksjonen er i dag basert på fossilt brennstoff slik som olje, kull og gass. ICC6 konkluderer med at en opprettholdelse av dagens klimagassutslipp fra fossilt brennstoff vil medføre at 1,5 °C målet ikke nåes[10]. Dette tilsier at fornybar energi må prioriteres. Selv om Norge i hovedsak produserer energi fra fornybare energikilder som vannkraft, er vi en del av et kraftmarked som medfører at det både eksporteres og importeres strøm fra andre land i Europa[14].



Bærekrafts mål 7 handler om å sikre moderne, bærekraftig og pålitelig energi til alle, og ifølge delmål 7.2 bør verdens forbruksandel av fornybar energi øke betraktelig [15]. En fornybar energikilde med stort utviklings potensiale er solenergi. Solen er en energikilde som er variabel, men tilgjengelig over hele verden. Internasjonal og nasjonal interesse for solenergi har økt betraktelig, og Norge vil trolig utnytte denne energikilden i en mye større grad framover. Globalt antas det at solenergi vil utgjøre en tredjedel av verdens energiproduksjon i 2050[16].

3. Kunnskapsbakgrunn

I dette kapitlet beskrives tilgjengelig og relevant kunnskap rundt tematikken hydrologi, og bakkemonterte solcelleparker. Hydrologi beskriver vannets forekomst, kretsløp og egenskaper[17]. Vannets kretsløp demonstreres i Figur 3.1 Forenklet kan kretsløpet forklares ved at vann fordampes og stiger opp i atmosfæren, for så å danne skyer og nedbør. Regnet som faller på landjorden infiltreres enten som markvann eller grunnvann. Det resterende vannet renner på overflaten som overvann.



Figur 3.1: Illustrasjon av vannets kretsløp, utviklet av NVE [18]

Et nedbørsfelt utgjør arealet hvor overvannet renner til samme vassdrag, innsjø eller fjord[17]. Ved utbyggingen av nye områder, endres karakteren på nedbørsfeltet. Dette fordi overflater som naturlig infiltrerer eller fordøyer vannet, erstattes med impermeable flater. Konsekvensen av dette er raskere og mer intens avrenning[19]. Utbygging i kombinasjon med dagens, og framtidige klimaendringer, medfører et behov for håndtering av overvannet. En god overvannshåndtering burde ta hensyn til faktorer som bevaring av biomangfoldet, infrastruktur, bygningsmasser og installasjoner samt forurensning og sikkerhet.

3.1. Den rasjonelle metoden

For å planlegge og dimensjonere løsninger for overvannshåndtering er det nødvendig å vite hvor stor overvannsføringen er, og eventuelt blir. En kjent metode som brukes til felt under 50 hektar(ha) med avrenning direkte tilknyttet nedbør er den rasjonelle metoden[19]. Benyttelsen av Formel 3.1 for å finne dimensjonerende vannføring (Q_{dim}), utgjør den rasjonelle metoden. Metoden baserer seg på historisk nedbørsdata, og forventet infiltrasjon på nedbørsfeltet.

Formel 3.1: Den rasjonelle formel[19]

$$Q_{dim} = \varphi * A * I * k_f$$

Q = Avrent vann fra feltet [l/s]

φ = Avrenningskoeffisient, beskriver forholdet mellom avrent vannmengde og nedbør på et område.

A = Areal [ha]

I = Nedbørintensitet [$l/s*ha$]

k_f = Klimafaktor (inkluderes kun ved framtidsberegninger)

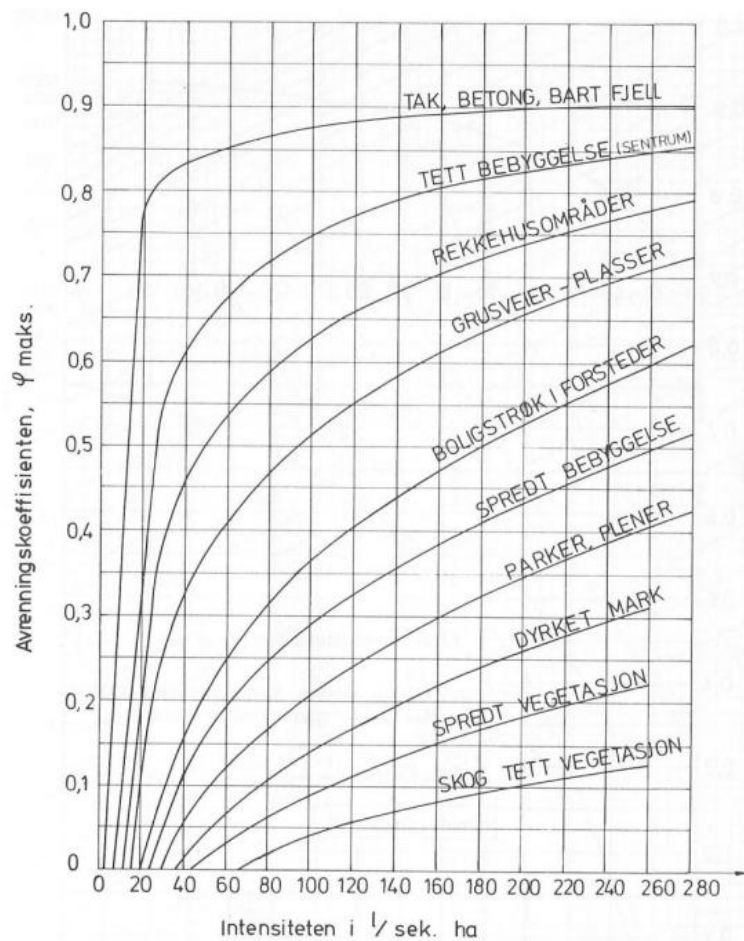
3.1.1. Avrenningskoeffisient

Avrenningskoeffisienten (φ) beskriver overflatens evne til å infiltrere og fordrøye nedbøren[19]. Denne verdien kan være vanskelig å fastsette, da den varierer etter forhold som grunnvannstand, fall, andel tette flater, vegetasjon og nedbørintensitet. Derfor brukes ofte standardiserte verdier fra litteraturen eller VA-normer i kombinasjon med egne vurderinger fra området. Tabell 3.1 viser hvordan avrenningskoeffisienten kan variere for ulike typer overflater med ulik helling. En høy φ -verdi opp mot 1,0 betyr at overflaten infiltrerer lite, mens en lav verdi mot 0,0 infiltrerer mye. Tabellen gjelder ved bruk av en 10 års returperiode. Tabellen kan også brukes ved lengre returperiode. Dersom returperioden er på 25 år, skal avrenningskoeffisienten i tabellen økes med 10%, og ved 50 år økes den med 20%[20].

Tabell 3.1: Avrenningskoeffisienter ved 10. års returperiode, for ulike overflater og helninger [20].

Overflate	<2% Helning	2-10% Helning	>10% Helning
Skogsområder	0,10	0,15	0,20
Grusvei	0,50	0,55	0,60
Eng/dyrket mark/beite, sandete og grusete jord	0,25	0,30	0,35
Takoverflater	0,90	0,90	0,90

Ved høyere nedbørintensiteter er overflaten mer mettet, samtidig som avrenningshastigheten øker[19]. Figur 3.2 er hentet fra en tidligere veileder for dimensjonering av avløpsledninger, og viser hvordan avrenningskoeffisienten kan variere etter nedbørintensiteten.



Figur 3.2: Avrenningskoeffisient ved ulike flater og nedbørintensitet[21].

Både Figur 3.2, og Tabell 3.1 viser til at vegetasjon bidrar til en lavere avrenningskoeffisient, og dermed større infiltrering av nedbøren. Skogsområder utmerker seg i begge tilfellene med lavest avrenningskoeffisient. Generelt utgjør trær en betydelig rolle innen hydrologien. Treets evne til å absorbere vann fra jorden, for så å transpirere dette igjennom blader og overflater bidrar til å redusere fuktinnholdet i jorden mellom nedbørsepisoder[22]. Kombinert med faktumet at rotsystemet bidrar til en mindre kompakt jordoverflate, bidrar treet til å skape bedre infiltreringsforhold[22]. Regnvannet blir også i noen grad fordrøyd og redusert ved at selve kronen på treet fanger opp noe av nedbøren[22]. I hvor stor grad et tre bidrar til den lokale overvannshåndteringen er vanskelig å fastsette da det varierer ut ifra faktorer som artstype, grunnforhold, klima og sesong.

Somregel består nedbørsfelt av flere forskjellige typer overflater, med ulike utgangspunkt for infiltrering. Derfor brukes Formel 3.2, for å bestemme den midlere avrenningskoeffisienten for hele feltet.

Formel 3.2: midlere avrenningskoeffisient[19]

$$\varphi_{\text{midlere}} = \frac{\varphi_1 * A_1 + \varphi_2 * A_2 + \varphi_n * A_n}{A_1 + A_2 + A_n}$$

φ_n = Avrenningskoeffisient på areal n

$$A_n = \text{Areal } n$$

3.1.2. Nedbørintensitet

For å finne dimensjonerende nedbørintensitet(I) kan intensitet-varighet-frekvens (IVF) kurver benyttes[23]. Denne beskriver de estimerte returperiodene ved nedbørintensiteter med ulike varigheter. IVF statistikken er hyppig brukt da det ofte stilles krav til dimensjonering av infrastruktur basert på ulike returperioder. En returperiode for en nedbørshendelse beskriver den forventede frekvensen av hendelsen. Som et eksempel forventes det at 100-års flommen over et langtidsgjennomsnitt oppstår en gang hvert 100de år. IVF statistikk baserer seg på historisk værdata og er tilgjengelig for en rekke geografiske områder i Norge.

Når den dimensjonerende nedbørintensiteten skal oppklares, settes nedbørvarigheten lik konsentrasjonstiden[19]. Konsentrasjonstiden beskriver hvor lang tid det tar fra en regndråpe treffer ytterst i nedbørsfeltet, til den når ut til utløpet. Det beskriver altså strømnings tiden på overflaten eller i rør, fram til utløpspunktet. For naturlige felt med overflateavrenning kan konsentrasjonstiden estimeres ved å benytte Formel 3.3.

Formel 3.3: Konsentrasjonstid ved naturlige nedbørsfelt [23]

$$t_k = 0,6 * L * H^{-0,5} + 3000 * A_{se}$$

L = Lengden på nedbørsfeltet [m]

H = Høydeforskjellen i feltet [m]

A_{se} = effektiv innsjøprosent [%]

For å beregne konsentrasjonstiden i rør brukes Formel 3.4. Her må hastigheten på overvannet i rørene antas før beregningene på rørdimensjoneringen har startet. Det anbefales at den antas å være mellom 1,5-2 m/s[19]. Etter rørene er dimensjonert kan hastigheten sjekkes og eventuelt korrigeres ved større avvik. Den totale konsentrasjonstiden for et felt beregnes ved å kombinere t_s og t_k .

Formel 3.4: Konsentrasjonstid igjennom rør[19]

$$t_s = \frac{L}{v}$$

L = Lengde på rør

v = Fart på overvann i rør

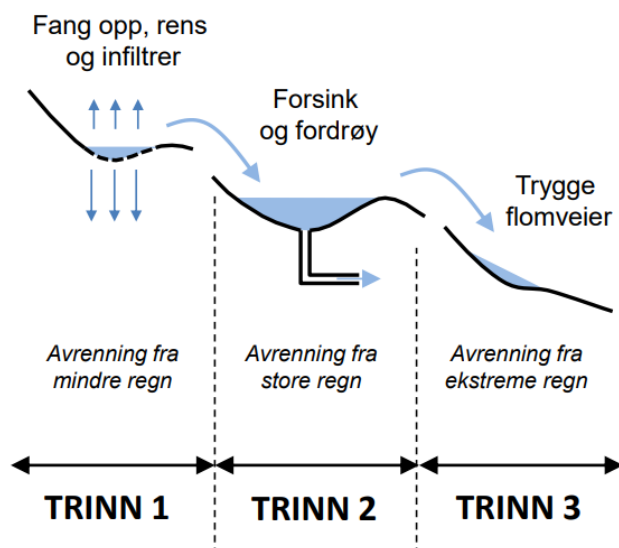
3.2 Overvannshåndtering

I tillegg til å utgjøre en fare for ødeleggelse av infrastruktur og bebyggelse, kan overvannet inneholde forskjellige komposisjoner og mengder av forurensninger, ut ifra hvilke områder det er i kontakt med [24]. Overvannet fra gater og veier kan for eksempel inneholde relativt høye konsentrasjoner av

tungmetaller, PCB og PAH. Videre er det vanlig at overvannet inneholder større mengder suspendert stoff, slik som sand og leire. Dersom avrenningen skjer igjennom dyrket mark, kan også overvannet inneholde høye konsentrasjoner av fosfor og nitrogen. Dette er næringsstoffer som øker algeoppblomstring, og risiko for oksygenmangel og fiskedød i resipienter. For å beskytte kvaliteten på vannforekomstene, samt bebyggelse og infrastruktur, må overvannet håndteres strategisk.

Dersom ikke annet er bestemt i kommunens arealplan, stiller loven krav til at en tiltakshaver skal utføre tiltak på eiendommer som i størst mulig grad infiltrerer og fordrøyer overvannet[25]. Tradisjonelt sett har det vært vanlig å samle og lede bort overvannet i lukkede rørsystemer[19]. Denne strategien har derimot hatt en tendens til å øke overflateavrenningen og vannhastigheten. Videre har det vist seg å ha negative innvirkninger på grunnvannstanden på grunn av lekkasjer inn i ledningene. I tilfeller hvor de naturlige bekkene, dammer og våtmarker fjernes, vil det ifølge Hauge *et al.* oppstå flere miljømessige konsekvenser[26]. Dyr og planter er i høy grad avhengig av disse områdene til levested og ernæring, og fjerningen har medført flere utrydningstruede arter. Eksempler på dette er øyestikker, muslinger og en rekke amfibier. I det norske jordbruket har det vært vanlig å lukke bekker i forbindelse med planeringsarbeidet, noe som også har vist seg ved økte tilførsler av jord og næringsstoffer i de tilknyttede resipientene. Hauge *et al.* oppgir bevaring eller gjenåpning av bekker som tiltak mot tapene av biomangfoldet og forurensningene. Åpne bekker er med på å begrense forurensingen i overvannet hovedsakelig ved at partikler sedimenterer. I et moderne overvannssystem prioriteres i høyere grad åpne løsninger, som utnytter overvannet som en resurs og hensyntar det biologiske mangfoldet[19].

En strategi for lokal overvannshåndteringen er treledd-strategien. Som framvist i Figur 3.3 går den ut på å fange opp og infiltrere mindre nedbørmengder, forsinke og fordrøye større nedbørmengder og skape trygge flomveier for ekstreme nedbørmengder[27].



Figur 3.3 Treledd-strategi for håndtering av nedbør og overvann[27].

Ved den lokale overvannshåndteringen burde det gjøres tiltak som hindrer lokale oversvømmelser, erosjon, samt tar hensyn til nedenforliggende overvannssystem og vannkvaliteten i resipientene.

Erosjon oppstår som en konsekvens av at vannets krefter overstiger grunnforholdenes tålegrense[28]. Det innebærer at partikler fra grunnen løsner, og fraktes videre med vannstrømmen. Dette kan føre til at nedenforliggende vannveger eller overvannsystemer fortettes, samtidig som det lokalt framkommer sår i terrenget. Erosjon skjer som oftest langs etablerte vannveger, men de kan også oppstå mer sporadisk under større nedbørsepisoder dersom vannet finner nye veger i terrenget. Faktorer som øker sannsynligheten for erosjon er plutselige innsnevring eller utvidelser langs bekkeløp, samt rundt steiner eller pilarer plassert langs vannveien[28]. Fjerning eller forstyrning av etablerte bekkeløp eller rørledninger øker også sannsynligheten for erosjon[26]. Som tiltak mot erosjon på utsatte steder er det vanlig å bruke for eksempel større stein og naturgrus[19].

3.2. Bakkemonterte solcelleparker

Som nevnt er solkraft en fornybar energikilde med store potensialer. Selv om solkraften kun utgjør en liten andel av dagens kraftproduksjon, har det vært en kraftig produksjonsvekst de siste årene[7]. Solkraften kan utnyttes ved å etablere solcelleanlegg. Hvor mye kraft som produseres på anleggene varierer hovedsakelig etter solinnstrålingen. Solcelleanleggene varierer i størrelse, og det er blitt relativt vanlig å se solcellepanel på private og offentlige tak. I motsetning til Norge er det i andre deler av verden allerede etablert flere store solkraftverk. Figur 3.4 viser et utklipp fra verdens største bakkemonterte solcellepark, lokalisert i India.



Figur 3.4 Bhadla solcellepark i India[29]

I solenergiklyngen sin veileder for bakkemonterte solcellepanel i Norge[30], nevnes arealbruken og plasseringen av anlegget som de viktigste faktorene til miljøpåvirkning. Det anbefales å plassere anlegget på områder uten spesielt viktig naturverdi, samt unngå arealer som krever store terrenginngrep. Selve solcellepanelene kan enten fastmonteres i en spesiell gunstig vinkel, eller

monteres med evnen til å bevege seg for å følge solretningen. Fundamenteringen av solcellepanelene utføres som vanlig enten med et ballast system, støpt fundament eller med jordskuer. Jordskuer er ikke alltid mulig etter forholdene, men anses som det billigste, og beste alternativet sett i et miljøperspektiv.

I veilederen nevnes det ikke om hensyn som burde tas i forhold til overvannshåndtering [30]. Flere blogg innlegg[31, 32], og uformelle artikler [33, 34], basert på erfaringer fra USA beskriver derimot problemer knyttet til erosjon som følge av en utilstrekkelig overvannshåndtering. Erfaringene er at bakkemonterte solcelleparker som etableres i hellende terreng har en tendens til å erodere på en måte som kan utgjøre en fare for det tekniske anlegget, og dermed krever vedlikeholdsarbeid. Figur 3.5 viser et eksempel på erosjon i nærheten av innfestningene til solcellepanelene.

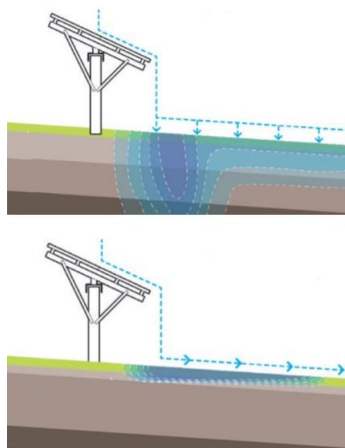


Figur 3.5 Eksempel på erosjon ved en pakkemontert solcellepark i USA[33]

Det er begrensninger i mengde litteratur knyttet til hvordan oppføringen av solcelleparker påvirker infiltreringen og overvannet på et landområde. Arealet under solcellene vil ikke direkte påvirkes av regnvannet. Regnvannet som treffer solcellepanelene, renner på den tette overflaten, og akselereres før den renner over kanten av solcelleoverflaten. Dermed kan det antas at etableringen bidrar til at konsentrasjonstiden for området reduseres, og at overvannsmengden øker. Edalat konkluderer i sin doktorgradsavhandling at solcelleparker fører til betydelig økt avrenning fra området det etableres på[35]. Han har derimot ikke tatt hensyn til den permeable overflaten under solcellepanelene i avrenningsmodellene, noe som medfører at avrenningen sannsynlig vil være mindre enn han har funnet. Gullotta *et al.* utførte analyser i programmet EPA-SWMM hvor de lagde en modell som hensyntok vannet som renner og infiltreres under solcellepanelene[36]. Analysene viste kun en neglisjerbar økning i avrenning fra arealene med bakkemonterte solcellepanel, kontra referanse arealene uten panelene. Langtidssimuleringer viser derimot en økning i avrenningsvolum og avrenningshastighet ved solcelleparker. Dette på grunn av forventede endringer på grunnens ruhet som følge av vedlikeholdsarbeid, samt reduksjoner av vegetasjon under solcellene.

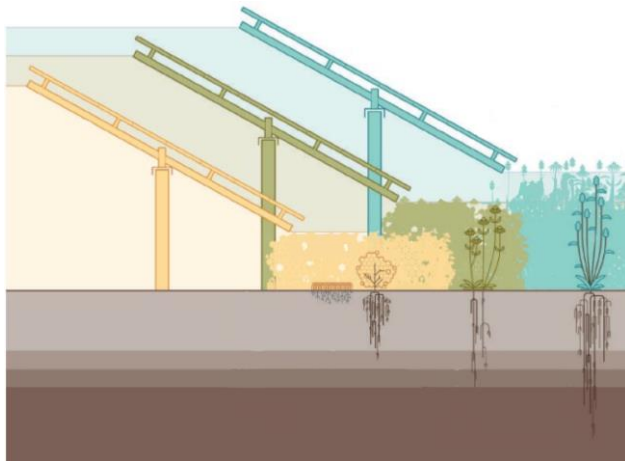
Wang og Gao, fant flere positive resultater da de utførte fysiske regntester på et begrenset hellende landområde i Kina[37]. Her testet de overflateavrenningen og erosjonspåvirkningene fra en overflate med og uten et bakkemontert solcellepanel. Resultatene viste at partikkelinnholdet i avrenningen fra området med panelet ble betydelig redusert. Samtidig som den totale overflateavrenningen ikke økte betraktelig. De forklarer dette med at overflatearealet med erosjon som oppstår idet regndråpene treffer overflaten reduseres. Forsøket er derimot begrenset til et svært lite areal, sammenlignet med størrelsen på reelle solcelleparker. Resultatene er dermed ikke fullstendig representative da det kan antas at avrenningsvolum og hastighet vil være større ved solcelleparkene, og at dette kan gi utslag på eventuell erosjon. Det er derimot vært å bemerke at det oppsto en konsentrert fordypning langs drypplinjen til solcellepanelet kort tid etter eksperimentet startet. Denne type fordypning ble også formidlet av Lancaster[33]. Avrenning og erosjon ble observert på et noe større landområde av Ferrero *et al.* over en periode på syv år[38]. Det ble her sett på to ulike hydrologiske isolerte flater på en vingård i Italia etablert med en 10-20 graders helning. På den ene flaten var mellomrommene mellom vinrankene gressbekledde (GF), og på den andre besto mellomrommene av tradisjonelt pløyd jord (TF). I gjennomsnitt ble det funnet en årlig partikkelavrenning på 2410 kg/ha fra TF, og 480 kg/ha ved GF. Ved GF ble det funnet en høyere overflateavrenning ved enkelte nedbørsperioder på høsten, men en generell redusert avrenning ellers.

Igjennom prosjektet PV-SMaRT studerte en gruppe forskere fem ulike bakkemonterte solcelleparker i USA. Der fant McCall *et al.* følgende fire sentrale faktorer som påvirker den naturlige overvannshåndteringen på solcelleparker[39]. De mener at ytterligere overvannshåndtering ikke kreves dersom disse faktorene er tilstrekkelig tilrettelagte [39]:



1. Det å unngå komprimering av grunnen mellom solcellepanelene framstod som den viktigste faktoren for å redusere overvannet[39]. En kompakt grunn infiltrerer betydelig mindre regnvann. Funnene indikerte at bulk-densiteten burde ligge på mellom 1,1-1,5 g/cm^3 for å minimere avrenningen. Leire eller masse med større mengder små partikler utmerker seg som typiske problematiske masser i forhold til komprimering. Det anbefales generelt å redusere bruken av tunge maskiner ved etableringen og vedlikeholdet av solcelleparker. Videre anbefales det å måle bulk densiteten før og etter etableringen, og eventuelt dekompaktisere topplaget dersom bulk-densiteten er for høy.

2. Grunnens kapasitet til å oppta vann er avhengig av den tilgjengelige rot-dybden. Altså tykkelse på underlaget som evner å infiltrere og oppta vann. Det ble estimert en økning på 78% avrenningen når rot-dybden ble redusert fra 1,5 til 0,5 meter[39]. Tykkelser over 1,5 meter utgjorde lite forskjell på avrenningen. Dersom det skal utføres grunnarbeid slik som planering og/eller masseforflytting burde dette ha medvirkning, for å oppnå best mulige infiltreringsforhold.



3. Valget av type vegetasjon på grunnen viste på det meste en 38% redusert avrenning når overflaten besto av beplantning med dype røtter, kontra korte røtter[39]. Derfor anbefales det å etablere solcellepanelene med en høyde som legger til rette for dette. I tillegg til å bidra til overvannshåndteringen, vil det også legge til rette for en mer allsidig vekst og dermed støtte opp under det biomangfoldet. Under eller før anleggsarbeidet anbefales det å så området med slik beplantning, samt legge en plan for vedlikehold av vegetasjonen.

4. Det anbefales å ha et tilstrekkelig mellomrom mellom solcelleradene, da det er dette arealet som primært håndterer overvannet[39]. Dette arealet burde i tillegg utformes på en måte som støtter opp under funn 1,2 og 3. Avstanden burde vurderes å være enda større på områder hvor grunnen består av tett masse slik som leire.

4. Forskerspørsmål

Målet med masteroppgaven er å vurdere og komme med et forslag til overvannshåndteringen ved en framtidig solcellepark i Larvik kommune i Vestfold. Det skal undersøkes hvordan overflateavrenningen påvirkes av etableringen, og om det er noen ekstra forbehold som burde tas på bakgrunn av at det er en solcellepark. Kunnskapen dette gir anses å kunne brukes i en mer generell sammenheng under utviklingen av bakkemonterte solcelleparker. Følgende forskerspørsmål skal dermed besvares:

Hvordan burde overvannet ved bakkemonterte solcelleparker håndteres for å sikre optimal drift av anlegget, og reduserte miljøpåvirkninger?

- Hvordan påvirker etableringen av solcelleparken avrenningen fra det aktuelle området?

- Kan overvannet skape problemer for driften av anlegget? I så fall hvilke problemer?

4.1. Avgrensninger

På grunn av oppgavens tidsramme kreves begrensninger av forskerspørsmålet, og besvarelsen. Innledningsvis prioriteres det å vurdere bakkemonterte solcelleparker som etableres i Norge. Hovedsakelig retter oppgaven seg mot den planlagte solcelleparken i Vestfold kommune som grunnlag for sammenligning mot den mer generelle etableringen av bakkemonterte solcelleparker. Som beskrevet i forskerspørsmålet tas det kun hensyn til drift- og miljømessige problemer som kan forekomme som følge av overvannet og overvannshåndteringen. Optimal drift defineres og avgrenses som forventet vedlikeholdsarbeid -og produksjonsstopp. Overvannsproblematikk slik som flom, vurderes i mindre grad i oppgaven, da det antas at tiltaksområdet er planert på en måte som i stor grad hindrer problematikken. Videre er det fokus på hvordan etableringen øker eller minsker overvannets mengde og eventuell forurensning. De miljømessige aspektene som hensyntas i denne avhandlingen er biologisk mangfold og naturinngrep.

5. Case

Casen omhandler en solcellepark som er planlagt å etableres på Brandsrud i Larvik kommune. Det er selskapet Greenstat som er tiltakshaver for prosjektet. Informasjonen om casen er hentet fra en utarbeidet konsekvensanalyse, den innsendte konsesjonssøknaden til NVE, samt fra et intervju av oppdragsgiveren innad i Greenstat. Det er ønskelig fra oppdragsgivers side at mulig overvannsproblematikk belyses, samtidig som eventuelle tiltak foreslåes. Figur 5.1 visualiserer hvordan solcelleparken er tenkt på området. Utbyggingen har som hensikt å produsere fornybar energi til strømmettet. Den planlagte solcelleparken har en størrelse på om lag 96 daa. Kraftanlegget har en beregnet effekt på $11,7 MW_p$, og en forventet årlig energiproduksjon på $12 GWh$. Fordi anlegget tilknyttes høyspent anlegg, er det etter krav fra energiloven søkt om konsesjon for etableringen[40]. Konsesjonsperioden det er søkt om er 30 år, noe som også tilsvarer den forventede levetiden til det tekniske anlegget[40].



Figur 5.1 Visualisering av Brandsrud solcellepark [41]

I dag er det et skogsområde og et nedlagt grustak på tiltaksområdet. Grustaket bærer sterke preg fra nåværende motorsportdrift. Til sammenligning med Figur 5.1 vises dagens situasjon i Figur 5.2. Dette viser blant annet at en større andel trær og buskvekster er planlagt fjernet.



Figur 5.2 Skråfoto av området til den planlagte solcelleparken, tatt fra sør/øst [40]

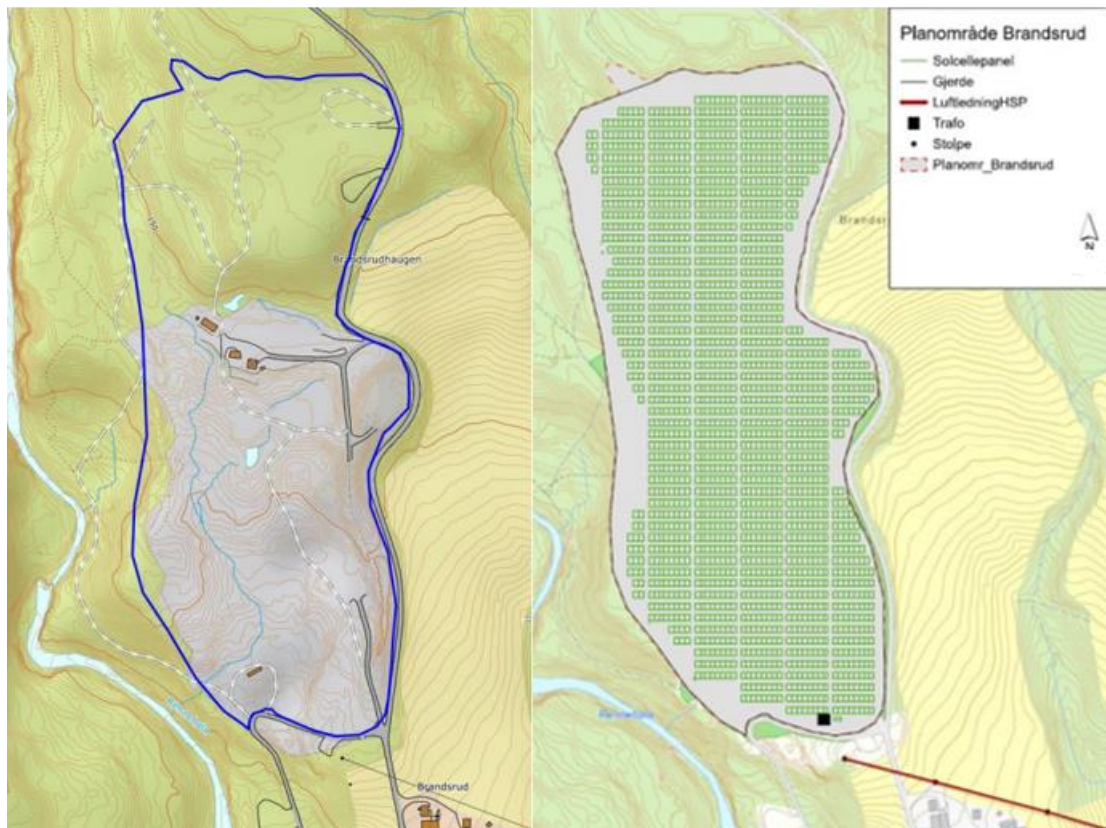
Overordnet ligger tiltaksområdet i et hellende terreng, hvor enkelte områder er relativt kupert. For å legge til rette for de bakkemonterte solcellepanelene uttrykker oppdragsgiver at området må jevnes ut, men at det ikke foreligger noe detaljert plan over hvordan terrenget blir etterpå. Figur 5.3 viser et eksempel på et kupert område som krever masseflytting for utjevning. Figuren viser også til områdets preg av motorsportaktivitet.



Figur 5.3 Bilde tatt fra sandområdet som brukes til motorsport [41]

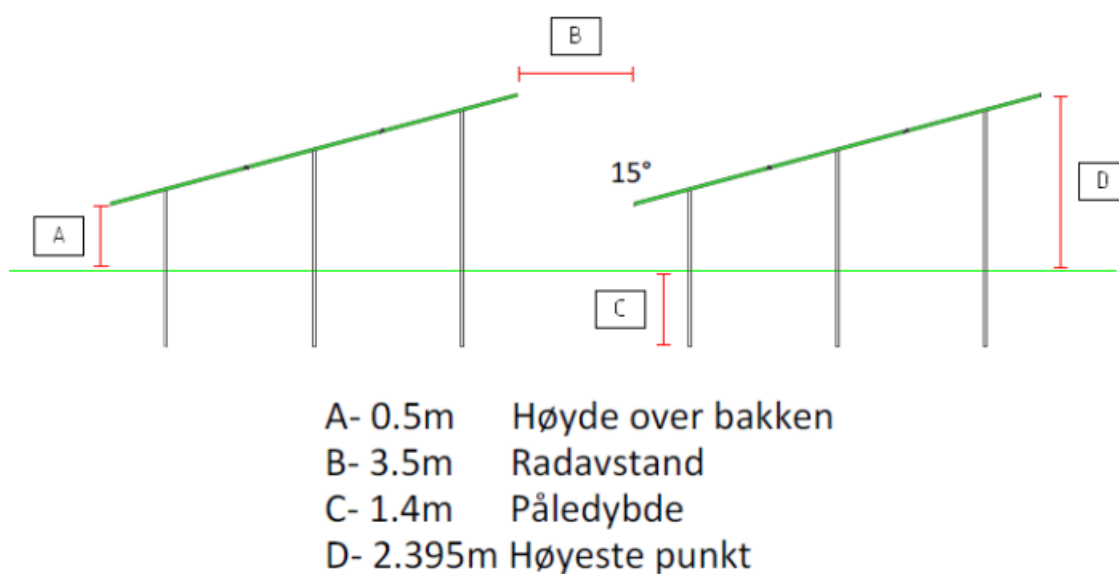
Figur 5.4 viser området før etableringen, og området med den planlagte strukturen etter etableringen. Det er planlagt å montere 16 764 solcellepanel i et 3V montasjesystem. Det innebærer at tre solcellepanel monteres i tilknytning og utgjør en modul. Solcellepanelene kobles videre i serie på omtrent 28 moduler, noe som utgjør en lengde på ca. 30 meter. De ulike komponentene i solcelleparken er solcellepanelene med montasjemateriell, og inverter med tilhørende kabler. Den forventede dekningsgraden på solkraftverket, er om lag 55 daa. [40]

Videre viser Figur 5.4 grovt hvordan topografien i området er. Oppdragsgiver påpeker at området som er dekket av skog i nord vil bli tilsynelatende flatt, og at området sør for bebyggelsen i kartet vil jevnes ut med en slak helning mot sør. Kartet viser også noen av bekkene som er i området, og at disse har utløp i den nærliggende elven Renne. Renne brukes til anadrom laksefiske, og det rapporteres at eleven ha god kjemisk og økologisk tilstand [41]. Det er vurdert at solcelleparken ikke vil føre til forhøyet forurensing til elven, og at etableringen er ubetydelig for både vann- og grunnforurensing [41].



Figur 5.4 Planområdet før og etter etableringen av solcellepanelene [40]

Figur 5.5 viser hvordan montasjestrukturen er planlagt[40]. Solcellepanelene skal fastmontertes i en sørlig vinklet retning. Som vist er det planlagt at den laveste delen av panelflaten er 0,5 meter over bakken, og den høyeste 2,395 meter over bakken. Videre planlegges det et 3,5 meter mellomrom mellom solcellestrukturradene. Montasjesystemet er hovedsakelig planlagt å forankres med jordskruer, med en dybde på 1,4-1,8 meter.



Figur 5.5 planlagt montasjestruktur solceller [40]

Nedenfor i Figur 5.6 vises et eksempel på hvordan solcellemontasjesystemet blir med jordskruer.



Figur 5.6 Eksempel på bakkemontert montasjesystem festet med jordskruer [40]

I forhold til vedlikehold av parken, er det planlagt å etablere et SCADA-system [40]. Dette systemet skal legge til rette for fjernovervåking av parkens strømproduksjon og eventuelle feil på det tekniske anlegget. Videre skal det settes opp kameraer, for å avdekke eventuell brann eller innbrudd. Det er ikke planlagt å ha noe stasjonært personell på stedet, men det regnes med en manuell enkel inspeksjon omtrent en gang i måneden. Oppdragsgiver ønsker et overvannssystem som kan vedlikeholdes i sammenheng med den årlige stor-års-servicen av parken som skjer i tidsrommet April-Mai. Det påpekes videre at det kan påregnes vedlikeholdsarbeid slik som klipping av vegetasjon omtrent en gang i måneden på sommerhalvåret, i tillegg til eventuell robotklipper.

Det er ikke utført noe spesiell risikovurdering på hvordan overvannet muligens kan påvirke driften og behovet for vedlikehold ved solcelleparken. For oppdragsgiver er det dermed interessant å få informasjon rundt dette. I forhold til omfanget på overvannssystemet beskriver oppdragsgiver at etablering av for eksempel beplantning betraktes som et bedre alternativ enn ned-graving av drenerør. Videre at dreneringsrør kun burde legges ved spesielt utsatte eller tydelige områder. Det er også interessant for oppdragsgiver at det gjøres vurderinger på nytte og kostnader av overvannssystemet. Det bør medregnes at området skal tilbakestilles etter konsesjonsperioden når overvannssystemet skal etableres.

6. Metode

I dette kapitlet beskrives de fem ulike metodene som ble benyttet:

- Litteraturstudie
- Stedsanalyse
- Intervju
- Mulighetsstudie
- Beregninger

Disse metodene bidro sammen mot en besvarelse av forskerspørsmålet. Videre i kapitlet beskrives hver metode, og dens bidrag i et eget delkapittel.

6.1. Litteraturstudie

Litteraturstudien besto av å innhente informasjon til teoribakgrunnen. Informasjonen i teoribakgrunnen danner det nødvendige grunnlaget for å utføre beregninger, drøfte ulike tilnærminger og til slutt besvare forskerspørsmålet. Informasjon omhandlet temaene hydrologi, erosjon og bakkemonterte solcelleparker. Informasjonsinnhentingene rundt hydrologiske temaer som overflateavrenning, infiltrering og overvannshåndtering ble hovedsakelig hentet fra lærebøker og veiledere utviklet av offentlige instanser. Denne informasjonen bidro spesifikt til å utførelsen av beregninger på mengde overflateavrenning. Beregningene beskrives i delkapittel 6.4.

For å innhente informasjon rundt bakkemonterte solcelleparker, erosjon og overvannshåndtering ble det utført strukturerte litteratursøk. Her ble søkemonitoren Ori og Google Scholar benyttet. Før søkene ble det utviklet søkeord, som senere ble bygd opp igjennom søkestrategien «building block search». Denne strategien går ut på å kombinere ulike søkeord, med eller uten bindingsord som «and» eller «or». På den måten kunne søket spisses etter ønske. Litteratursøkene ble utført med fire ulike hoved-målsettinger for informasjonsinnhenting. Disse fire målsettingene med et utdrag relevante søkeord vises i Tabell 6.1.

Tabell 6.1: Mål med litteratursøk, og utdrag av relevante søkeord

Mål med søk	Søkeord
Finne eventuell forskjell på overflateavrenning før og etter etableringen av bakkemonterte solcelle parker.	- Solar park - Stormwater
Finne eventuell forskjell i avrenning ut ifra mengde vegetasjon	- Trees - Stormwater
Finne ut av hvordan overvannet burde håndteres på solcelleparker	- Photovoltaic - Stormwater - Management
Finne ut av hvordan solcelleparker og erosjon påvirker hverandre	- Erosion - Stormwater - Hillside - Farm

Det samlede kunnskapsutbytte fra søkene gav informasjon om hvordan avskoging og etablering av solcelleparker på bakken, endrer de naturlige hydrologiske prosessene. Videre hvordan dette kan påvirke solcelleparkens installasjoner og drift. Søkene bidro også til kunnskap om hvordan overvannshåndteringen burde være.

I utvelgelsen av artikler var det viktig med troverdighet og relevans i kildene. Det ble derfor prioritert å velge artikler som var fagfellevurderte. Videre ble det valgt forskningsartikler basert på antatt relevans ut ifra sammendraget. Det betyr at artikler som var relevante, men ikke framtrådte som relevant i sammendraget ikke ble inkludert. Søkestrategien «snowballing» ble også brukt ved flere anledninger. Det betyr at flere artikler er funnet igjennom andre artikler. Søkeloggen i vedlegg 1 viser de ulike søkene som ble gjennomført, og hvilke artikler som ble hentet ut.

6.2. Stedsanalyse

Arbeidet rundt casen utgjorde den praktiske tilnærmingen mot besvarelsen av forskerspørsmålet. For å vurdere hvordan etableringen av solcelleparken i Larvik påvirker overvannet og grunnforholdene, ble det utført en analyse av stedet hvor solcelleparken er planlagt. Analysen baserte seg på å hente informasjon fra ulike kartløsninger, en felt analyse og bruken av programmet «Scalgo live». Dataen som ble innhentet presenteres i kapittel 7.

Til å starte med ble området utforsket igjennom nettbaserte kartløsninger sammen med tilgjengelig informasjon fra konsekvensutredningen utdelt av oppdragsgiver. Kartløsningene gav informasjon om grunnforhold, eksisterende infrastruktur og topografi. Videre ble Scalgo live brukt til å hente ut mer detaljert informasjon om terreng, overflate og dagens overflateavrenning. Scalgo live er et nettbasert kartverktøy, som kan brukes ved planlegging[42]. Den visualiserer hvordan terrenget og overvann samspiller, og gir ut data ut ifra overvanns-, terreng- og overflate analyser. Igjennom dette verktøyet ble informasjon om dagens nedbørsfelt, bekkeløp og dammer hentet ut. Den gav også tilleggsinformasjon om hvilke overflate området er dekket med.

For å sjekke at kartene og den innhentede dataen samstemte med virkeligheten, ble det utført et feltbesøk. På feltbesøket ble det visuelt sjekket om bekker og vannforekomster hadde tilnærmet lik plassering slik som framvist i kartene, og at terrenget stemte. Videre ble det sett etter allerede etablerte overvannssystemer, og fordrøyninger. Det ble ikke utført noen spesielle analyser av grunnforhold eller løsmasser, men visuelle sjekk ved bekkene gav noe innblikk rundt grunnens beskaffenhet, særlig knyttet til erosjon. På feltbesøket ble det tatt bilder og notasjoner, dette presenteres i kapittel 7.1.

6.3. Intervju

Med hensikt om å avklare casen ble det utført et intervju av oppdragsgiver. Dette ble gjort på en semistrukturert måte, hvor intervjuguide var forberedt og utlevert på forhånd av et digitalt møte. Behandlingen av personopplysningene ble på forhånd søkt om til sikt, og samtykkeerklæring ble signert av intervjuobjektet. Samtykkeerklæringen, intervjuguiden og transkriberingen av intervjuet ligger i Vedlegg 2.

Spørsmålene baserte seg på fire tematikker. Innledningsvis ble det avklart hvilke vurderinger som var gjort i forhold til risiko for overvann og erosjon for solcelleparken. Videre ble det avklart hvilke planer og forventinger det var til drift og vedlikehold av parken. Til slutt ble det spurt om planer for bearbeiding av terrenget, og hvilke forventinger som var satt til overvannsystemet. Målet med å avklare casen igjennom disse temaene var å skape et bedre grunnlag for å utarbeide en mer reel vurdering for overvannshåndteringen på området. Ved å avklare forventninger til drift og vedlikehold, bidro dette til å fastsette hva som ble ansett som forventet optimal drift i casens tilfelle.

Møtet foregikk digitalt på Teams, og det ble det tatt både lyd og videoopptak. I etterkant av møtet ble opptaket gjennomgått og transkribert. Hovedsakelig ble transkriberingen gjennomført ordrett i forhold til utsagn. Tankeord ble derimot fjernet, og poengene til informanten ble hentet ut ved gjentakelser eller irrelevant digresjon. Som en del av bevaringen av personvern ble opptaket slettet etter 48 timer, og informantens navn og kontaktinformasjon anonymisert.

6.4. Mulighetsstudie

Basert på teoribakgrunnen, bakgrunnsinformasjonen fra casen og analysen av tomten, ble det utviklet 3 ulike mulighetsstudier. Mulighetsstudiene demonstrerte ulike mulige løsningen for overvannshåndteringen på den planlagte solcelleparken i Larvik. Dette kunne også tilknyttes direkte til besvarelsen av forskerspørsmålet, om hvordan overvannet burde håndteres på bakkemonterte solcelleparker. I utviklingen av mulighetsstudiene var det viktig å representere et variert utvalg av muligheter. Dette for å gi et større diskusjons- og sammenligningsgrunnlag. For å utarbeide visualiseringen av mulighetsstudiene, ble overvannshåndteringen skissert oppå et kartet over eksisterende bekkeløp sammen med det skisserte situasjonskartet til solcelleparken. Mulighetsstudiene presenteres i Kapittel 8.

For å vurdere de ulike mulighetsstudiene opp mot hverandre, ble det satt noen vurderingskriterier for diskusjon. Vurderingskriteriene ble utviklet basert på det teoretiske grunnlaget, miljø aspektet og ønsker fra tiltakshaver. Kriteriene vurderes senere fra 1-5, hvor 5 er bra og 1 er dårlig. Det første kriteriet baserer seg på «grad av inngrep til overvannshåndtering», hvor lite inngrep regnes som bedre enn mye inngrep. Ifølge tiltakshaver er mindre overvannsetableringer ønskelig, og fordelaktige med hensyn til tilbake stilling etter endt konsesjon. Det andre kriteriet er «miljøhensyn», hvor mye hensyn regnes som bedre enn lite hensyn. Miljømessig hensyn går ut på hensyn til det biologiske mangfoldet, og eventuell forurensning av resipient. Det tredje kriteriet er «vedlikeholds behov», hvor lite behov regnes som bedre enn mye behov. Dette er et kriterium som baserer seg på ønsker og driftsplaner fra tiltakshaver, og det som betegnes som optimal drift. Det siste kriteriet tar for seg antatt «risiko for erosjon». Lav risiko regnes som bedre enn høy risiko.

6.5. Beregninger

For å kvantifisere virkningene av solcelleparkens etablering med ulik overvannshåndtering, ble det utført overvannsberegninger. Beregningene baserte seg på den rasjonelle metoden. Den gav dermed informasjon om forventet avrenning ved bekketløpene for de ulike nedbørsfeltene i tiltaksområdet. På den måten kunne effekten av avskoging, etablering av solcellene og overvannshåndteringene vurderes og sammenlignes. I alle beregningene ble det tatt utgangspunkt i et 30 års gjentakelsesintervall for nedbørintensiteten.

Dette fordi konsesjonsperioden på Brandsrud, samt den forventede levetiden på anlegget er 30 år. Det betyr at vannmengdene som ble funnet, tilsvarer vannmengdene ved den spesifikke nedbørshendelsen. Beregningene med detaljert beskrivelse av utførelsen ligger i vedlegg 3.

Analysen av området beskrevet i kapittel 7 gav den nødvendige dataen for å utføre beregningene. Dette inkluderte IVF tabell og informasjon om gjennomsnittlig fall, lengde, areal og overflatetype på totalt 5 identifiserte relevante nedbørsfelt. For å beregne forventet avrenning før etableringen av solcelleparken ble konsentrasjonstid, nedbørs intensitet og gjennomsnittlig avrenningskoeffisient beregnet for alle de 5 nedbørsfeltene. Konsentrasjonstiden ble beregnet ved å bruke Formel 3.3. Nedbørs intensitet ble så funnet i IVF tabellen med å sette konsentrasjonstiden lik nedbørsvarigheten. Ved tilfeller hvor tabellen ikke inneholdt de eksakte verdiene, ble interpolering benyttet. For å beregne den gjennomsnittlige avrenningskoeffisienten, ble Formel 3.2 brukt. Fordi Figur 3.2 og Tabell 3.1 viste til forskjellige avrenningskoeffisienter for tilsvarende like overflatetyper, ble det tatt utgangspunkt i de gjennomsnittlige verdiene fra disse kombinert. Med denne informasjonen kunne til slutt Formel 3.1 brukes for å beregne den forventede avrenningen i l/s ved de 5 ulike bekkeutløpene.

Etter dette ble det utført nye overvannsberegninger for å se på effektene av solcelleparkens etablering. Disse beregningene tok utgangspunkt i de tidligere beregningene, med en tillagt klimafaktor på 1,2. Etableringen av solcelleparken krever at alle trær inne på tiltaksområdet fjernes. All overflate som var medregnet som tett skog, ble dermed erstattet slik at de heller ble medregnet som en eng med grusig/sandig jord. Videre ble områder bestående av grus, antatt å fremdeles bestå av grus etter etableringen. Overflater som opprinnelig ble ansett med sparsom vegetasjon, ble antatt erstattet med grus som følge av klargjøring av tomten. Dette gav opphav til nye gjennomsnittlige avrenningskoeffisienter. Ut over dette ble Formel 3.1 brukt for å finne forventet avrenning igjen, med de samme input verdiene som ble funnet gjennom fremgangsmetoden beskrevet tidligere.

For å vurdere ulike overvannshåndteringer, ble det igjen utført beregninger med de tidligere beregningene som grunnlag. Overvannshåndteringene som ble vurdert beskrives som egne mulighetsstudier i kapittel 8. På bakgrunn av dette ble det først antatt at hele tiltaksområdet ble overflateoptimalisert. Det vil si at overflaten ikke gjøres for kompakt, samt at den sås med ny beplantning. I dette tilfelle ble dermed hele tiltaksområdets overflate ansett som en eng med grusig/sandig jord. Dette førte til at avrenningskoeffisienten igjen ble endret, før Formel 3.1 ble brukt. Ved dette tilfellet ble kun den totale forventede avrenningen fra alle nedbørsfelt beregnet. Til slutt ble den forventede avrenningen fra området beregnet i et tilfelle hvor overvannet fra det største nedbørsfeltet ble håndtert med en overvannsledning. For å gjøre dette ble en nye konsentrasjonstid for det berørte feltet beregnet gjennom Formel 3.4. Vannhastigheten inni rørene ble antatt å være 1,7 m/s. På bakgrunn av en ny konsentrasjonstid, måtte også nedbørintensiteten fastsettes på nytt ut ifra IVF tabellen og interpolering. Avrenningskoeffisienten ble også justert noe som en konsekvens av endret intensitet. Den forventede avrenningen ut fra overvannsrøret mot resipienten Renne ble så beregnet gjennom Formel 3.1.

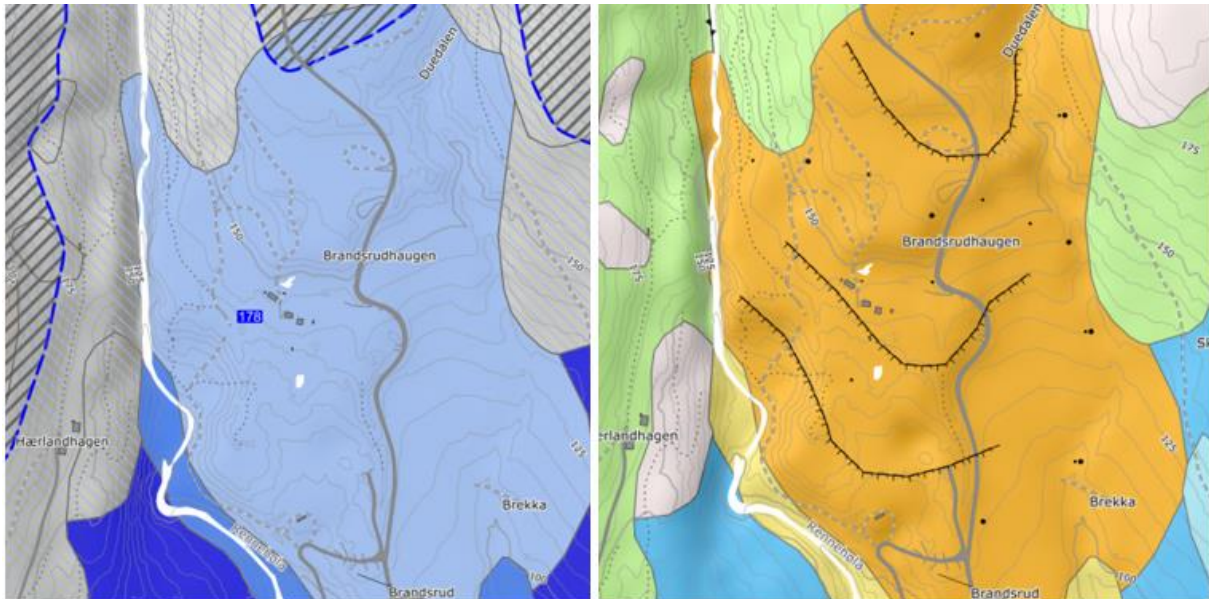
7. Analyse

Analysekapittelet inneholder nødvendig informasjon rundt casen som ble innhentet fra kartløsninger og konsekvensutredning, samt Scalgo Live og feltbesøk. Den tidligere utviklede konsekvensutredningen for området har allerede sett på en rekke forhold. Generelt er det ikke registrert noe spesielt verdifullt naturlandskap inne på området[41]. I kommuneplanen er 66 daa av området avsatt til råstoffutvinning, og resterende 22 daa LNF område. Området vil ikke lengre kunne brukes til råstoffutvinning da grusmassene ikke tilfredsstiller dagens krav for grus- og sandprodukter. Videre er det ikke registrert noen spesielle verdifulle naturforekomster inne på området. Bekkedraget Renne er i tett tilknytning til området. Denne munner senere ut i Numedalslågen som er et nasjonalt laksevasdrag. I Renne er det registrert anadrom laksefiske, og bekkedragets verdi karakteriseres som stor. Likevel er det i konsekvensutredning konkludert med at tiltaket ikke vil ha en negativ effekt på vassdraget, sammenlignet med dagens bruk[41]. Figur 7.1 viser et flyfoto av området slik det var i 2023. Her vises den relativt tette vegetasjonen i nord, og det grusete/sandete området i sør. Renne er noe utydelig på flyfotoet, da den er dekket av tett kantvegetasjon.



Figur 7.1 – Flyfoto av området fra år 2023[43]

I følge Norges geologiske institutt(NGU) er det kartlagt middels sannsynlighet for hav- og fjordavsetninger under topplaget av løsmasser på stedet[44]. Dette vises med blå markering i Figur 7.2. Sannsynligheten øker når området grenser til områder med høy sannsynlighet, slik det gjør her. Det er derimot ikke registrert fare for kvikkleire på området[45]. Videre er det kartlagt løsmasser av breelv-avsetning på området, dette vises med oransje markering i Figur 7.2. Hav- og fjordavsetninger består hovedsakelig av finkornede løsmasser som silt og leire, og har dårlig permeabilitet[44]. Breelv-avsetning har en bredere korngradering, og permeabiliteten er ofte god. På tidligere utført befaring på sommeren opplevdes grunnen ved og rundt grustaket som sandete uten mye frø eller røtter[41].



Figur 7.2 - Kart over mulig hav- og fjordavsetninger, og løsmasser på området[44].

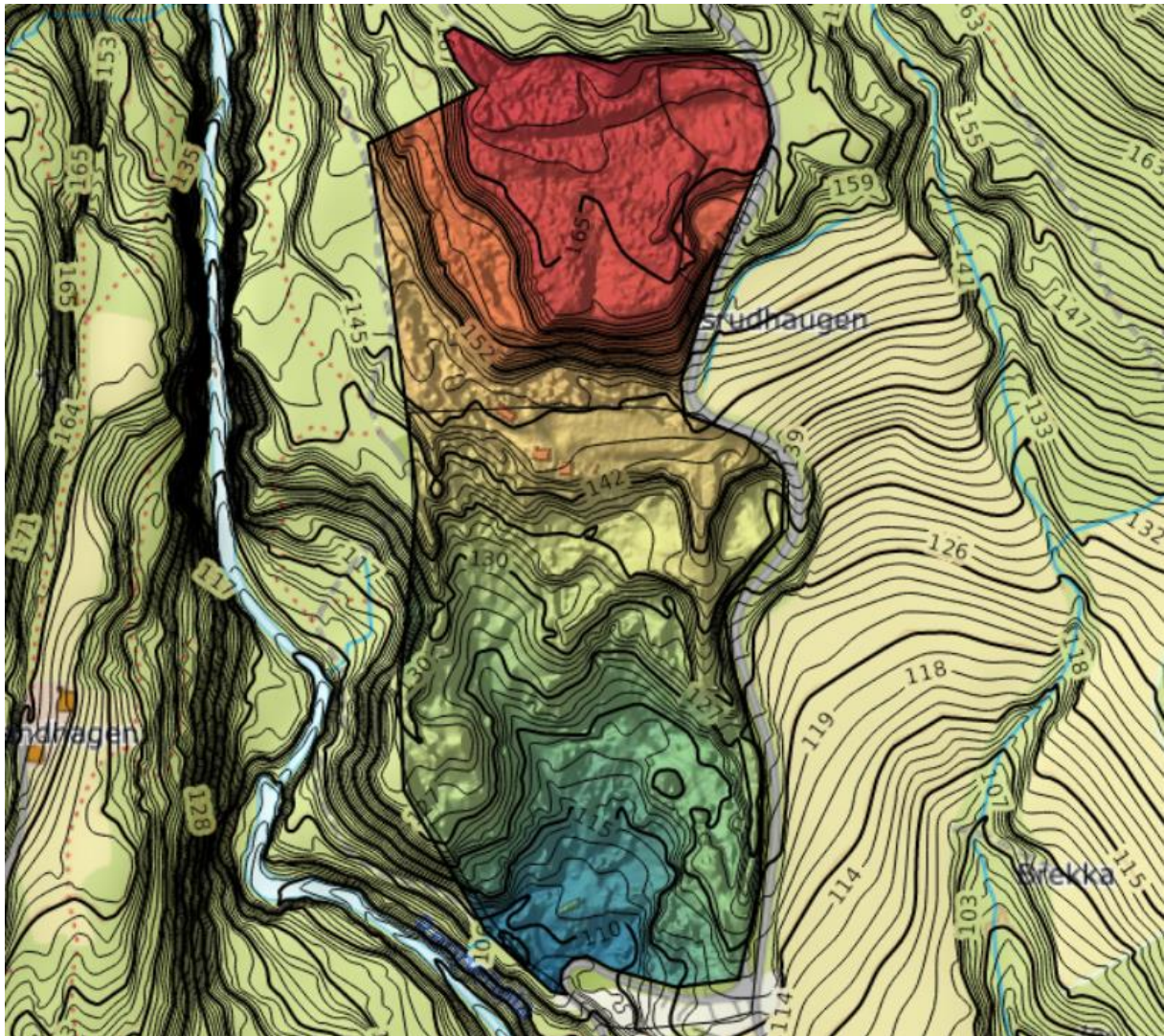
Det ble ikke identifisert noen etablerte vann og avløps etableringer inne på området igjennom de kommunale kartløsningene. I følge vann- og avløpsnormen for Larvik kommune skal separat- og fellesavløpssystem for utkants- og landbruksområder minimum dimensjoneres etter nedbørgjentagelsesintervallet på 5 år[46]. Normen inneholder også en IVF-tabell som skal benyttes for å finne dimensjonerende nedbørintensiteter, denne vises i Figur 7.3.

Gjentaksintervall [år]:	Varighet [min]:															
	1	2	3	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440
2	288	248	223	191	151	125	106	81	63	53	41	35	27	16	11	7
5	377	325	290	243	201	165	140	109	88	75	58	50	38	23	15	8
10	437	377	334	277	234	191	162	128	104	89	70	60	46	28	17	10
20	493	426	376	310	266	216	184	147	120	103	81	70	53	32	19	11
25	511	442	390	320	276	224	190	152	125	108	84	73	55	34	20	11
30 år IP	522	451	398	327	282	229	194	156	128	110	86	75	57	34	21	11
50	567	490	431	352	307	249	211	170	140	121	95	82	62	38	23	12
100	622	538	472	384	338	274	232	188	155	135	106	91	70	42	25	13
200	677	589	516	417	368	297	253	205	170	148	116	101	76	46	27	15

Figur 7.3 – IVF tabell for Larvik kommune[46]

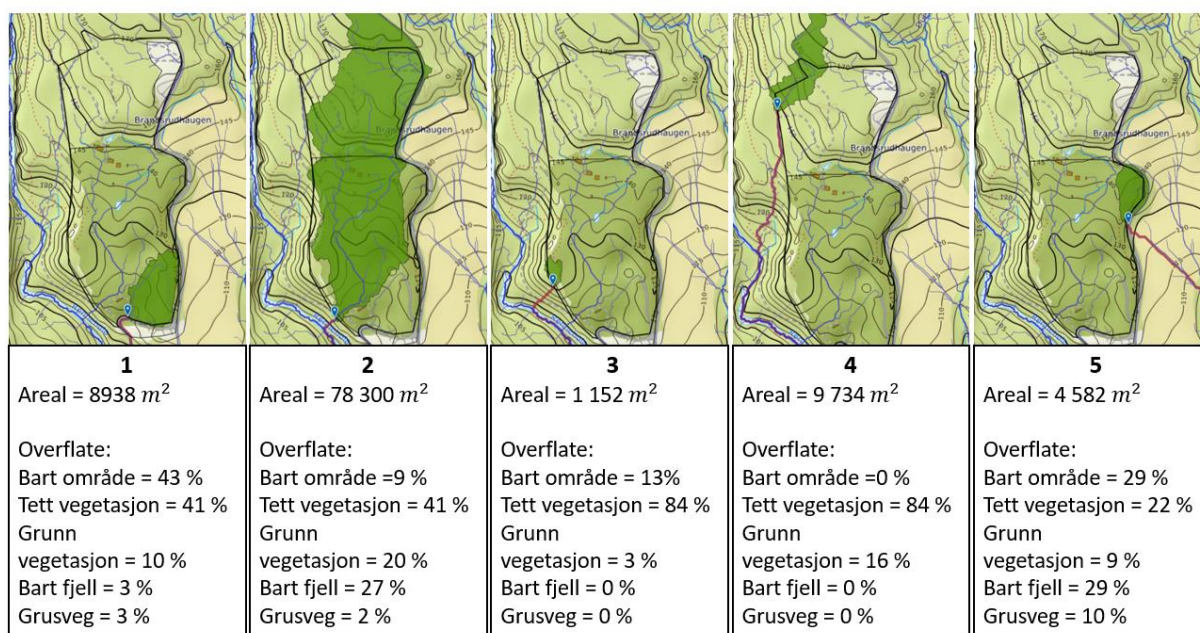
7.1. Scalgo Live

Kartløsningene til Scalgo live ble brukt for å illustrere terreng, bekker og nedbørsfelt, samt innhente informasjon. Figur 7.4 viser terrenget inne på tomten. Hver høydekurve er satt til å representere 1 meter høydeforskjell. Det laveste punktet befinner seg i sør, og er 108 moh. Det høyeste punktet er 168 moh., og ligger i nord. I det Nordlige området er det et relativt flatt parti, med en krapp skråning mot sør, etterfulgt av et slakere skrått-kupert terreng som heller mot sør.



Figur 7.4 - Kart over terrenget på tomten [47]

Figur 7.5 viser de ulike nedbørsfeltene som finnes inne på området. Nedbørsfeltene omtales videre med nummeret som anvist i figuren. Informasjonen om hvert nedbørsfelt er også hentet fra Scalgo live. Denne informasjon beskriver størrelse, og overflaten på hvert av feltene. Nedbørsfelt 5 er det eneste nedbørsfeltet som har utløp mot nabogården sørvest for området. Resterende felt har utløp i Renne. Renne fungerer dermed som resipient for tilnærmet hele tiltaksområdet. Nedbørsfelt 2 er det største feltet med en størrelse på 78,3 daa.



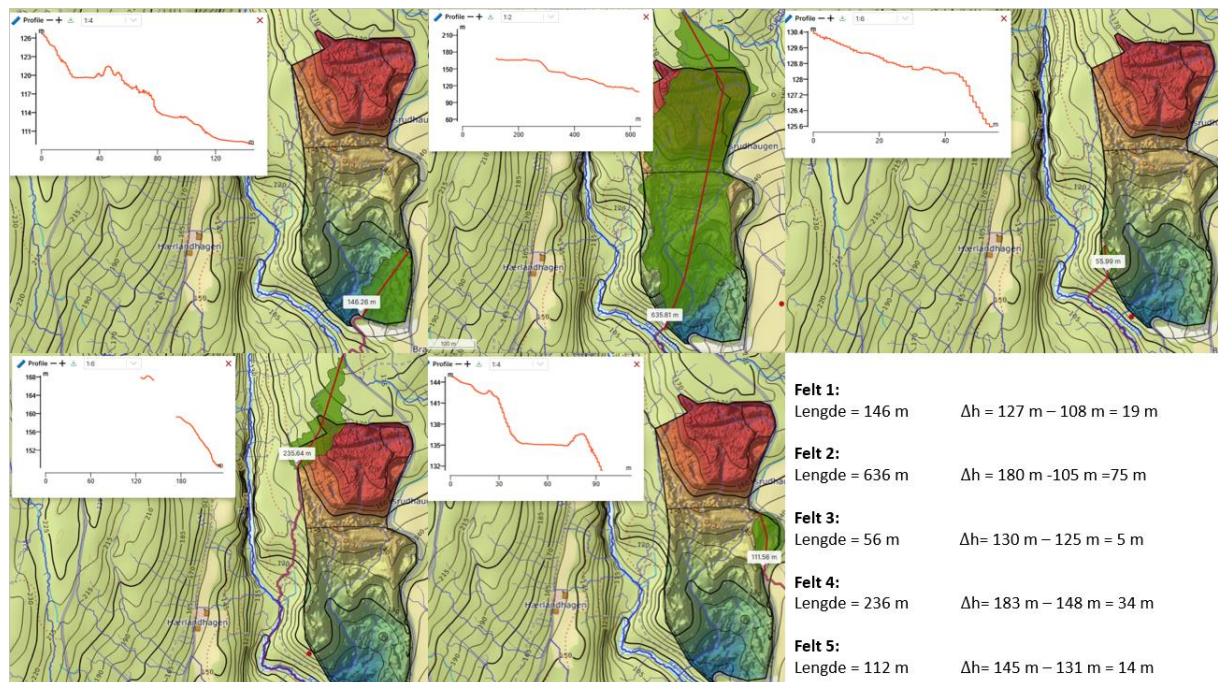
Figur 7.5 -Kart over de ulike nedbørsfeltene inni tomten [47]

Basert på det tidligere innhentede flyfotoet i Figur 7.1, ble andel og type overflate noe korrigert i forhold til informasjonen gitt fra Scalgo Live. Tabell 7.1 viser den nye prosentvise fordelingen av tett eller sparsom vegetasjon, og grus/sand for de ulike feltene.

Tabell 7.1 – korrigert informasjon om andel og type overflate i nedbørsfeltene

Nedbørsfelt	Tett vegetasjon	Sparsom vegetasjon	Grus/sand
1	41%	10%	49%
2	41%	20%	39%
3	50%	50%	0%
4	84%	16%	0%
5	20%	9%	71%

Figur 7.6 viser høydeforskjellen og lengden fra det ytterste punktet på nedbørsfeltene ned til utløpet. De høyeste og laveste punktene ble hentet ut fra genererte lengdeprofiler. De aktuelle lengdene og høydeforskjellene for nedbørsfeltene beskrives nede til høyre i figuren. Nedbørsfelt 2 har den lengste avstanden på 636 meter.



Figur 7.6 – Nedbørsfelt med lengde og gjennomsnittlig høydeforskjell

7.2. Feltanalyse

Som en del av metoden ble feltanalysen utført den 27.03.2024 på tomten ved Brandsrud i Larvik. I dette kapittelet presenteres bilder av bekkeløp, vannansamling og terreng. Området var preget av noe snø og snøsmelting på besøksdagen. Ellers var det oppholdsvær. Oppsummert virker området og stemme svært godt overens med den tilgjengelige kartdataen. Dette gjelder både høydekurvatur, bekkeløp og vannansamlinger.

Figur 7.7 viser bilde tatt mot sør(venstre), og mot nord(høyre). Pilene i kartene viser ståsted, og peker mot den fotograferte retningen. Mot sør er det fra ståstedet først en krapp helling, og deretter et relativt kupert terreng med en overordnet slak helning mot sør. Mot nord opplevdes området som flatt, og vegetasjonen besto hovedsakelig av bjørkeetrær.



Figur 7.7 – Topografi sør og nord

Figur 7.8 viser et bekkeløp(venstre) og en vannansamling(høyre). Disse er en del av den øvre seksjonen på det største nedbørsfeltet, nedbørsfelt 2. Bekken så ut til å ha vært utsatt for en del erosjon i forbindelse med bekkeløpet. Videre lå vannansamlingen noe skjult under snølaget, og var større enn det som framkommer i bildet.



Figur 7.8 - Bekkeløp og vannansamling i nord

Figur 7.9 viser et bekkeløp(venstre) med rør(høyre) som også er tilknyttet nedbørsfelt 2. Denne bekken frakter overflateavrenningen fra den nordøstlige delen av tomten og nedbørsfeltet. Bekkeløpet er plassert på utsiden av området tett inntil en kjerrevei, og ledes inn på tomteområdet igjennom et rør under veien.



Figur 7.9 - Bekk langs vei i nord, og rør

I Figur 7.10 vises en større vannansamling (venstre), og rørene som leder vann fra vannansamlingen videre nedover i feltet (høyre). Vannansamlingen er blant annet et resultat av at bekkeløpet som vist tidligere i Figur 7.9 ledes hit, og er således en del av nedbørsfelt 2. Som vist er det relativt store vannmengder, og en godt etablert bekk på dette området.



Figur 7.10 – Større vannansamling og rør

Figur 7.11 viser utløpet fra nedbørsfelt 2 til Renne. Også her kan det ses at bekken er utsatt for noe erosjon, og grunnen oppleves som leirete og løs på flere steder. Bekken har ved utløpet en bredde på omtrentlig 70 cm. Utløpet utover mot Renne(høyre) er bratt og omgitt av trer.



Figur 7.11 - Bekk fra felt 2 ved utløp

Figur 7.12 viser utløpet til nedbørsfelt 1. Dette er det nest største nedbørsfeltet inne på området. På feltbesøket var det en liten vannansamling og bekk ved utløpet.



Figur 7.12 – Bekk fra felt 1 ved utløp

Figur 7.13 viser bilde tatt på den nordlige delen av området. Her ser det ut til å ha vært drevet med vedhogst. Innover er området dekket av skog med trær av ulike sorter. Mest dominerende er bjørketrær og bartrær. Vannet som vises på bilde, er mest sannsynlig en del av overvannet som føres til nedbørsfelt 2.



Figur 7.13 – Skogsområdet i nord, med noe vannansamling

8. Mulighetsstudier

Det ble utviklet 3 mulighetsstudier med ulik utforming og grad av overvannshåndtering. Den første baserer seg på avretting av tomten uten spesielle hensyn til overflateavrenningen. Den andre utforsker mulighetene ved å bevare det største bekkeløpet, og avrette på en måte som hovedsakelig leder overvannet til denne bekken. Det tredje mulighetsstudiet ser på muligheten av å grave ned overvannsledninger med selvføll og utløp i Renne. I alle tilfellene blir trær, og annen høy vegetasjon medregnet fjernet, da dette uansett er nødvendig for etableringen av solcelleparken. Videre blir det antatt at den nye overflaten opprinnelig er gressbekledd. Alle mulighetsstudiene tar størst hensyn til nedbørsfelt 2, framfor de andre feltene. Dette fordi nedbørsfeltet omtrent dekker hele området, og dermed utgjør størst påvirkning på solcelleanlegget. Det er også dette feltet som berøres sterkest av den framtidige tre-fellingen. Nedbørsfelt 2 viste også svært tydelig etablerte vannforekomster ved feltbesøket.



Mulighetsstudie 1 – Ingen terrenghensyn og lite etableringer

Det første mulighetsstudie omfatter ingen etablert overvannshåndtering, med unntak av muligheten for overflateoptimalisering. Dette innebærer at avretting av tomten utføres i forhold til det som er hensiktsmessig ved etableringen av solcellepanelene og montasjesystemet. Det tas dermed ikke hensyn til overvannet ved planeringene.

Mulig overflateoptimalisering innebærer redusert kompaktering av grunnen, og etablering av vegetasjon med dype røtter. Figur 8.1 viser tomten slik den opprinnelig er, med bekkene som følge av dagens terreng. Videre er skisseringen av solcelleparkens situasjonskart lagt over.

Når tomten avrettes vil de naturlige bekkene fjernes, og overflateavrenningen vil måtte finne nye udefinerte veier ut ifra den nye hellingen på tomten. Videre vil mengden avrenning ut fra området påvirkes av avskoging og ny overflate.

Figur 8.1 - Mulighetsstudie 1, ingen til lite overvanns etableringer. Skisse av solcellepark lagt over dagens bekker og terreng.



Figur 8.2 - Mulighetsstudie 2, Terrengtilpasninger med bevaring av bekk. Illustrasjon av solcellepark, med skissert bekkeløp og fallpiler.

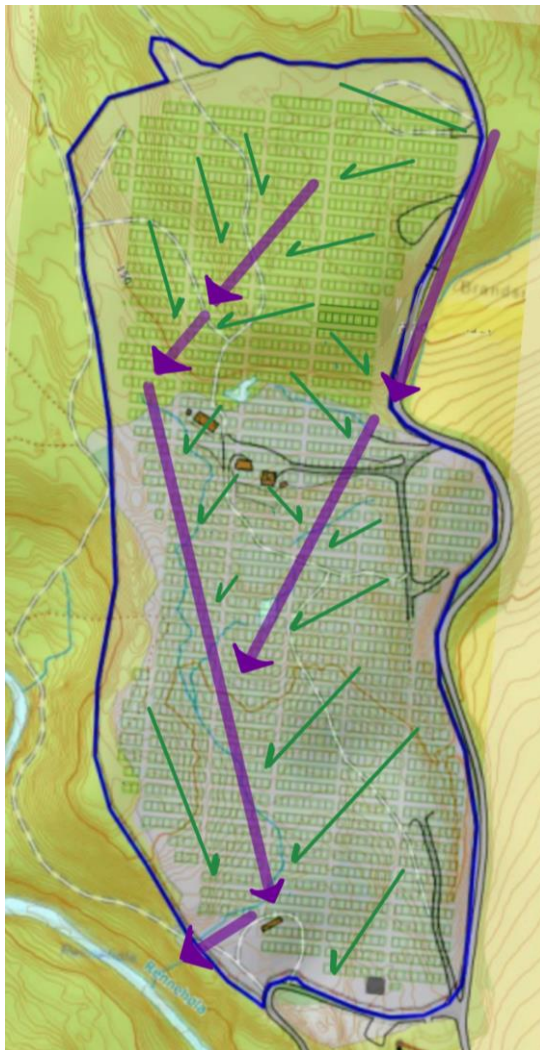
Mulighetsstudie 2 – Terrengsyn og åpen bekk

I det andre mulighetsstudiet bevares det største bekkeløpet, og holdes åpent. Videre tilpasses terrenget på en måte som leder overvannet ned mot bekkeløpet. Framstilling av løsningen vises i Figur 8.2, hvor bekken som deler seg er markert med blått, og fallpiler markert i grønt. Også her er skisseringen av solcelleparken lagt over kartet.

Overvannsledningen som allerede finnes blir beholdt da den drenerer overvannet lengst nord på området, samt er plassert utenfor tiltaksområdet. I dag fører denne ledningen vannet inn på området, og møter bekkeløpet i en vannansamling. Røret og møtepunktet vises i figuren med lilla pil. Under feltbesøket var det relativt store vannmengder ved dette møtepunktet. Det er etablerte dammer som fungerer som fordrøyningsmagasin plassert slik som markert i figuren. Disse vandammene blir også bevart i mulighetsstudiet.

Et åpent overvannssystem slik som vist krever tilpasninger rundt plasseringen av solcellepanelene. Spesielt bevaringen av vandammene opptar plass som er forbeholdt solcellepanel ifølge det skisserte situasjonskartet.

Ved å bevare bekkeløpet vil overvannet ledes ut av området på en mer kontrollert måte. Mengden overvann ut av området vil også her påvirkes av avskogingen i nord, og endring av overflate. Dette mulighetsstudie vurderer også muligheten for eventuell overflateoptimalisering.



Figur 8.3 - Mulighetsstudie 3. Terrengtilpasninger med ned-graving av overvannsrør. Illustrasjon av solcellepark, med skissert rørplassering og fallpiler.

Mulighetsstudie 3 – Terrengsyn og overvannsledning med selvfall

Det tredje mulighetsstudiet vurderes mulighetene for å legge ned overvannsledninger under bakken. Overvannsledningene etableres med selvfall, slik at de er selvrensende uten behov for pumpeutstyr. Figur 8.3 viser hvordan rørene plassert på området med fallpiler, markert med lilla og grønne piler. Det allerede eksisterende røret vil her bli tilkoblet et nytt rør som ledes ned mot et felles utløpspunkt mot Renne.

Rørene er plassert med en tilnærmet lik plassering som de opprinnelige bekkene til nedbørsfelt 2. På den måten kan terrenget utjevnes mest mulig i forhold til sitt opprinnelige fall.

Et lukket overvannsystem legger til rette for at solcellepanelene i stor grad kan plasseres slik som den er skissert i situasjonskartet som vist i figuren. Det lukkede systemet vil føre til at konsentrasjonstiden endres, da overvannet ledes igjennom rør framfor overflaten ned igjennom nedbørsfeltet. Mengden overvann vil også her bli påvirket av avskoging og overflateendring. Overflateoptimalisering blir også vurdert som et alternativ ved dette mulighetsstudiet.

9. Resultat

Dette kapittelet viser resultatene fra de utførte beregningene som omfatter case studiet, samt vurderingene av mulighetsstudiene. Generelt viser resultatene fra beregningene at vegetasjon er en stor bidragsyter til reduksjonen av overvannsavrenning ut fra området. Ut ifra beregningene vil det forekomme minst overvann etter etableringen av solcelleparken, dersom grunnen revegeteres. Den totale avrenningen ut av området er høyest ved tilfelle hvor det graves ned overvannsrør.

Tabell 9.1 viser den forventede avrenningen i l/s ved utløpspunktet for de ulike feltene ved en 30 års nedbørsepisode, før og etter solcelleparkens etablering. I tilfellet etter etablering er det som nevnt antatt at tiltaksområdet avskoges, og at overflatetype ellers forblir tilnærmet uendret. Ved alle nedbørsfelt er det større avrenning etter etableringen. Den forventede avrenningen ved utløpene øker totalt med 64% (323 l/s) etter etableringen, når klimafaktoren hensyntas. Nedbørsfelt 2 dekker nesten hele tiltaksområdet, noe som også gjenspeiles igjennom størst bidrag til avrenning. Tabellen viser også hvilke avrenningskoeffisienter som ble brukt i beregningene. Som framvist er det høyere verdier etter etableringen, som følge av avskoging og vegetasjonsfjerning.

Tabell 9.1 - Forventet avrenning fra nedbørsfeltene som berører tiltaksområdet, før og etter avskoging og etablering av solcelleanlegg.

	Før etablering		Etter etablering	
	Avrenningskoeffisient ($\varphi_{midlere}$)	Avrenning ved utløp (30 års returperiode)	Avrenningskoeffisient ($\varphi_{midlere}$)	Avrenning ved utløp (30 års returperiode)
Nedbørsfelt 1	0,41	71,09 l/s	0,53	91,90 l/s
Nedbørsfelt 2	0,34	346,09 l/s	0,47	478,41 l/s
Nedbørsfelt 3	0,18	4,75 l/s	0,49	12,93 l/s
Nedbørsfelt 4	0,17	29,62 l/s	0,27	47,04 l/s
Nedbørsfelt 5	0,53	50,51 l/s	0,60	57,18 l/s
Total avrenning alle nedbørsfelt, uten klimafaktor		502,06 l/s		687,46 l/s
Total avrenning, med klimafaktor på 1,2				824,95 l/s

Tabell 9.2 viser den forventede avrenningen fra hele tiltaksområdet, med alle nedbørsfelt dersom overflaten overflate optimaliseres. Det vil si at hele tiltaksområdet anses som en eng med grusig/sandig jord. Dette fordi det er antatt ny etablert beplantning, samt unngått overkompaktering av grunnen. Ut ifra tabellen kan det leses at den totale avrenningen fra alle nedbørsfelt som berører området forventes å være 464,4 l/s, ved en 30 års nedbørsepisode. Sammenlignet med resultatene i Tabell 9.1, er dette en nedgang på 7,5% (37,6 l/s) i avrenning sammenlignet med avrenningen før etableringen.

Tabell 9.2 - Total avrenning fra nedbørsfelt tilknyttet tiltaksområdet etter etablering av solcellepark, med beplanting.

	Avrennings-koeffisient ($\varphi_{midlere}$)	Avrenning uten klimafaktor (30 års returperiode)	Avrenning med klimafaktor på 1,2 (30 års returperiode)
Alle nedbørsfelt, med beplanting på tiltaksområdet	0,29	387,18 l/s	464,4 l/s

Tabell 9.3 viser den forventede overvannsavrenningen ved utløpene med de forutsetningene som er satt i mulighetsstudie nr. 3. Det vil si at det etableres nedgravde overvannsrør for å drenere overvannet fra nedbørsfelt 2. Som vist i tabellen øker den forventede avrenningen fra nedbørsfelt 2 med 94,3% (326,29 l/s) etter etableringen med overvannsledninger. Bakgrunnen for dette er hovedsakelig lavere konsentrasjonstid. Dersom området overflate optimaliseres er derimot økningen for nedbørsfeltet forventet å være 24,3% (84,23 l/s). Den totale avrenningen fra alle nedbørsfelt i området med forutsetningene for mulighetsstudie 3 er forventet å være 923,24 l/s eller 540,66 l/s. Det er en økning på 89,3% (421,18 l/s) eller 7,7% (38,6 l/s), sammenlignet med den opprinnelige avrenningen før etableringen av solcelleparken.

Tabell 9.3 – Beregnet avrenning fra nedbørsfelt 2, og hele området, dersom et overvannsrør utgjør overvannshåndteringen slik som beskrevet i mulighetsstudie nr. 3.

	Avrennings-koeffisient ($\varphi_{midlere}$)	Avrenning med klimafaktor på 1,2 (30 års returperiode) <i>*Den opprinnelige avrenningen for nedbørsfelt 2, har ikke inkludert klimafaktor</i>
Nedbørsfelt 2, opprinnelig før etablering	0,47	346,09 l/s*
Nedbørsfelt 2, etter etablering, med nedgravde overvannsrør	0,50	672,38 l/s
Alle nedbørsfelt, etter etablering, med nedgravde overvannsrør		923,24 l/s
Nedbørsfelt 2, etter etablering, med beplanting og nedgravde overvannsrør	0,32	430,32 l/s
Alle nedbørsfelt, etter etablering, med beplanting og nedgravde overvannsrør		540,66 l/s

Tabell 9.4 viser hvordan mulighetsstudiene vurderes opp mot vurderingskriteriene. Vurderingene er gjort på bakgrunn av teoribakgrunnen, samt andre funn fra metoden. I vurderingene regnes en høy poengsum som bedre enn en liten poengsum. For eksempel forventes det mer vedlikeholdsarbeid knyttet til overflateoptimalisering, på bakgrunn av behovet for klipping og tilbakeholdelse av vegetasjon. De ulike kriteriene er ikke vektet etter viktighet, men mulighetsstudie 2, uten overflateoptimalisering, får den høyeste totale poengsummen.

Tabell 9.4 – Vurdering av mulighetsstudiene

	Grad av inngrep til overvannshåndtering	Miljøhensyn	Vedlikeholdsbehov	Risiko for erosjon	Totalt
Mulighetsstudie 1 - Ingen terrengensyn og lite etableringer					
Uten overflateoptimalisering	5	1	5	1	11
Med overflateoptimalisering	4	2	3	2	11
Mulighetsstudie 2 - Terrengensyn og åpen bekk					
Uten overflateoptimalisering	4	4	5	4	17
Med overflateoptimalisering	3	5	3	5	16
Mulighetsstudie 3 - Terrengensyn og overvannsledning med selvføll					
Uten overflateoptimalisering	2	1	4	4	11
Med overflateoptimalisering	1	2	3	5	11

10.Diskusjon

Gitt forskerspørsmålet skal overvannet håndteres på en måte som sikrer både driften av anlegget, og reduserte miljøpåvirkninger. At driften er optimal er definert ved at energiproduksjonen er som forventet, og at nødvendig vedlikehold ikke overstiger det som er påregnet. Påvirkning på driften vurderes kun på bakgrunn av overvannet og overvannshåndteringen. Oppdragsgiver for solcelleparken i Brandsrud oppgir at det forventes å måtte utføre mindre vedlikehold av parken en gang i måneden på sommerhalvåret, og et større vedlikeholdsarbeid en gang i året som medfører en midlertidig stans i produksjonen. Vedlikehold og/eller produksjonstans utover dette kan dermed betegnes som ikke optimal.

Først og fremst ble det funnet flere rapporterte tilfeller av vedlikeholdskrevende erosjon på bakkemonterte solcelleparker[31-34]. Det ble videre presisert at hellende terreng var en viktig faktor for økt erosjonsfare, noe som samstemmer med at overvannshastighet øker ved helninger[28]. Solcelleparken i Brandsrud ligger i et hellende terreng, og montasjesystemet er planlagt til å være jordskuer. Ut ifra denne avhandlingen vil det være vanskelig å bestemme den nøyaktige faren for at erosjon som krever vedlikeholdsarbeid forekommer på Brandsrud. Dette ville blant annet krevd grunnprøver for å spesifisere grunnens motstandsevne mot erosjon. I tillegg ville det vært nødvendig å vurdere last beregninger, for å identifisere hvor mye erosjon som er tolererbart ved ett eller flere av jordskuene. Likevel kan det antas at erosjon kan utgjøre en fare for det tekniske anlegget på grunn av de rapporterte tilfellene fra utlandet, sammen med erfaringene fra feltbesøket på tomten i Brandsrud. Igjennom feltanalysen ble det oppdaget tydelige tegn til erosjon flere steder langs bekkene som følge av vannstrømningen. Uavhengig av hvordan grunnen planeres, vil en slik stor sårdannelse som observert på grunnen føre til at jordskuene med den planlagte dybden på 1,4-1,8 meter ikke vil nå den nødvendige dybden i grunnen. Generelt vil jordskuene i seg selv også medføre økt risiko for erosjon dersom den står plassert i en vannvei [28]. Fordi erosjon er noe som er avhengig av faktorer som overvannshastighet, værforhold og overflatetype, er dette noe som burde vurderes individuelt for hver bakkemontert solcellepark. Solcelleparken på Brandsrud vil likevel være relevant til generell sammenligning når solcelleparker skal etableres med hellende terreng, med nordiske forhold.

Mulighetsstudiene ble utviklet for å vurdere ulik grad av overvannshåndtering, og for å se hvordan drift, miljø og overflateavrenning påvirkes. Resultatene viser at variasjonen i mengden med overvann er direkte tilknyttet overflatetype. De samsvarer med teorien som tilsier at mer vegetasjon, gir bedre infiltrering, og dermed mindre overvann på stedet[20]. Med hensyn til solcellepanelenes overflate, og innvirkningene dette gir på det hydrologiske prosessene på tiltaksområdet, prioriteres dermed forskningen til Gullotta *et al.* [36], framfor Edalat [35]. Bakgrunnen for dette er at Edalat ikke tar hensyn til arealet under solcellepanelene, noe Gullotta *et al.* gjør. Dermed antas det at selve solcellepanelene ikke vil gi noe innvirkning på avrenningen fra området, og at det utelukkende er endringer i overflaten på grunnen som påvirker den naturlige hydrologien. For alle mulighetsstudiene er det mindre avrenning i tilfellet hvor overflaten overflateoptimaliseres. McCall *et al.* antyder at riktig overflateoptimalisering kan stå for hele håndteringen av overvannet på solcelle parker[39]. Det kan derimot stilles spørsmål til om dette også gjelder for norske værforhold og ulike terreng. I beregningene var det vanskelig å fastsette hvor god infiltreringen blir om overflaten optimaliseres.

Fordi optimaliserings faktorene involverte unngåelsen av overkomprimering sammen med etableringen av planter med dype røtter og tilstrekkelig tilgjengelig rot dybde, ble overflaten ansett som en åker. De reelle innvirkningene på avrenningsmengdene etter overflateoptimalisering kan dermed både være større eller mindre enn det resultatene tilsier.

Videre baserer beregningene seg på den rasjonelle metoden som er en ikke dynamisk framstilling av et komplekst scenario. I realiteten vil nedbøren framtre med variasjon i intensitet, samtidig som grunnens infiltrasjonsevne vil variere igjennom en nedbørsepisode, ved ulike årstider og utover arealet. Det er dermed en relativt grov forenkling å fastsette en gjennomsnittlig avrenningskoeffisient basert på flybilder, og dataverktøy. Det er heller ikke tatt hensyn til at infiltreringen på bakkemonterte solcelleparker trolig vil bli redusert, som følge av kompaktering fra anleggsmaskiner igjennom driftstiden slik Gullotta *et al.* beskriver[36]. Dermed kan det antas at avrenningsmengden egentlig vil øke noe med tiden. Den rasjonelle metoden beskriver også kun mengden med overvann som forventes ved utløpet fra nedbørsfeltet, og gir dermed ikke et helhetlig bilde på fordelingen av overvannsvolumet innad i nedbørsfeltet. I utviklingen av mulighetsstudiene er det allikevel kun tatt hensyn til bekkene med størst vannføring ifølge Scalgo live, og feltobservasjonen. Til slutt er det viktig å påpeke begrensningene ved at flom ikke hensyntas i avhandlingen. Flom er et viktig aspekt i all overvannshåndtering, også på bakkemonterte solcelleparker. I casen er solcelleparken planlagt å etableres i et hellende terreng, noe som gir forutsetningene for diskusjonen og anbefalingene som forekommer. Det antas altså at terrenget utformes på en måte som sikrer mot flom.

Fra mulighetsstudie 1 til 3 håndteres overvannet i liten til større grad. I det første mulighetsstudie blir overvannet ikke tatt i betraktning under etableringen av solcelleparken. Etter planering vil derfor overvannet måtte danne nye veier, noe som sannsynligvis vil føre til ukontrollert erosjon og dannelse av nye bekker[26, 28]. Dersom solcelleparken etableres slik som den er planlagt og skissert, vil dette dermed medføre en relativt høy risiko for at grunnen må repareres på flere steder ved jordskruene eller det interne vegnettet. For en tiltakshaver kan denne løsningen ses på som en enklere tilnærming til overvannshåndtering, der hele arealet stilles disponibelt for solcelleparkens planlagte etableringer. Dersom denne risikoen tas, vil det være ekstra viktig at parken har et fungerende internt vegnett, som gir rom for anleggsmaskiner ved nødvendige reparasjoner. Dersom mulighetsstudie 1 kombineres med en optimalisert overflate, viser resultatene en lavere overflate avrenning fra området i forhold til den opprinnelige. I dette optimaliserte tilfelle kan det derfor antas at erosjonsrisikoen ved mulighetsstudie 1 minsker noe som følge av lavere hastighet på overvannet. Ved mulighetsstudie 2 hvor hoved bekkene og dammene bevares, er den forventede avrenningen lik som for mulighetsstudie 1. Selv om dammene kan ha en fordrøyende effekt er dette ikke hensyntatt i beregningene, forskjellen mellom disse er dermed kun vannveien. Som nevnt vil det å la bekkene være slik de opprinnelig er, reduseres risikoen for erosjon og vedlikeholdsarbeid av grunnen[26]. Denne løsningen vil derimot oppta et større areal og kreve plass som opprinnelig var forbeholdt solcelleanlegget. Dersom overflaten optimaliseres, vil denne løsningen følge prinsippene til tre-ledd strategien, om infiltrering, fordøyning og sikre flomveier[27]. Mulighetsstudie 3 vil ha en mer tradisjonell tilnærming hvor overvannet ledes bort i rør. På samme måte som er erfart fra tidligere[19], vil dette øke avrenningen fra området ved utløpet betraktelig. Dette mulighetsstudie vil også innebære en større innsats fra tiltakshaveren ved etablering og tilbake stilling etter konsesjonsperioden. Risikoen for nødvendig vedlikeholdsarbeid knyttet til erosjon rundt jordskruene

vil derimot reduseres med denne løsningen. Vedlikehold knyttet til opprensning av dreisløpene er ikke vurdert, men kan forekomme. Videre vil løsningen føre til at overflate arealet blir fullstendig disponibelt for solcelleanlegget, noe som vil være gunstig for tiltakshaver.

Både det første og det siste mulighetsstudie forstyrrer det naturlige bekkeløpet. Sett i et miljøperspektiv vil dette være svært ugunstig. Som Hauge *et al.* nevner, vil det ha fatale innvirkninger for det lokale dyre- og plantelivet, samt øke potensialet for forurensning i Renne[26]. Som nevnt er naturverdien til dette vassdraget karakterisert som stor på bakgrunn av anadrom laksefiske. En økning i forurensning av for eksempel næringsstoffer til Renne, kan dermed medføre uheldige konsekvenser for oksygeninnholdet og vannkvaliteten, og i verstefall lede til fiskedød[24]. Det er derimot ikke fastsatt hvor stort forurensningspotensialet til området er. I litteraturstudiet ble det ikke funnet noe informasjon som tilsier at solcellepanelene fører til noe økt forurensning i overvannet. Det kan dermed tas utgangspunkt i at forurensningspotensialet fra overflaten vil være lik eller forbedret etter etableringen av solcelleparken. Grunnen til at den muligens kan være forbedret er på bakgrunn av dagens harde bruk av området til motorsportformål. I den sørlige delen av området, tettst opp mot utløpet til renne, er det heller ikke noe dyrket mark som kan gi opphav til forurensning av næringsstoffer. Dersom området skal overflate optimaliseres igjennom å så nye planter slik som McCall *et al.* anbefaler[39], burde innvirkningen på forurensningen vurderes. Spesielt dersom det gjødsles i nærheten av Renne. Generelt vil en beplantning av det nedlagte grustaket skape bedre forhold for det biologiske mangfoldet og som vist redusere overflate avrenningen betydelig.

Som beskrevet er det i tilknytning til bekkeløp at erosjonsfaren er størst[28]. Likevel kan dette også oppstå sporadisk, ved at overvannet finner nye veier. Lancaster[33] samt Wang og Gao[37], fant fordypninger i grunnen ved drypplinjen under solcellepanelene. Disse fordypningene kan dermed utgjøre en økt risiko for ukontrollerte sporadiske erosjonspåvirkninger i nærheten av jordskruene. Dette til tross for at overvannet håndteres igjennom de opprinnelige bekkene, eller overvannsrør. Derfor kan det muligens være nødvendig og dempe vannet i drypplinjen med for eksempel pukk eller grus. Flere steder oppgis dette som en anbefalt metode for erosjonskontroll på bakkemonterte solcelleparker[31, 33]. Hvorvidt denne fordypningen vil ha nok spredning til å påvirke montasjesystemet på Brandsrud er uvisst på grunn av manglende erfaringer og løsmasse analyser. En beplantning av området vil redusere denne erosjonsrisikoen. I forskningen til Ferrero *et al.* ble for eksempel den årlige partikkelavrenningen omtrent fem ganger så liten når det var gress kontra jord imellom vinrankene på en vingård med tilsvarende helling som på tiltaksområdet på Brandsrud[38]. Dermed kan det antas at supplering med pukk eller grus under drypplinjen blir overflødig dersom det etableres vegetasjon. Denne fordypningen er allikevel noe som burde observeres og vurderes over tid. Dersom dette kontrolleres, vil det være mulig å utføre reparasjoner og innsette forebyggende tiltak på utsatte steder med løsmasser under drypplinjen dersom det blir nødvendig.

Hva som er den beste måten å håndtere overvannet på bakkemonterte solcelleparker vil være en vurderingssak mellom flere ulike faktorer. For en tiltakshaver vil nok det økonomiske aspektet veie tungt. Minst mulig kostnader knyttet til etablering og vedlikehold av overvannssystemet, igjennom få overvannsetableringer og vedlikeholdsbehov kan dermed være foretrukket. I tillegg vil det disponible arealet til solkraftproduksjon, samt framkommeligheten inne på området muligens være en innvirkende faktor for overvannshåndteringen. Sett i et miljøperspektiv, vil det heller være viktig med hensyn til forurensning og det biologiske mangfoldet. Dernest høyest mulig grad av bevaring av de

opprinnelige vannforekomstene, og mest mulig varierende vegetasjon. I vurderingen av mulighetsstudiene kommer noen av disse poengene fram, selv om vurderingen ikke viser til hvilke faktorer som burde prioriteres mer eller mindre. Vektingen av disse kost-nytte-miljø faktorene er vanskelig, men i henhold til forskerspørsmålet anses en bevaring av de største bekkeløpene som den mest fornuftige overvannshåndteringen.

11. Konklusjon

Konklusjonen trekkes på bakgrunn av avgrensningene, de metodiske grepene, og funnene i avhandlingen. For enkelhetens skyld gjentas forskerspørsmålet som konklusjonen besvarer:

Hvordan burde overvannet ved bakkemonterte solcelleparker håndteres for å sikre optimal drift av anlegget, og reduserte miljøpåvirkninger?

- Hvordan påvirker etableringen av solcelleparken avrenningen fra det aktuelle området?
- Kan overvannet skape problemer for driften av anlegget? I så fall hvilke problemer?

Det er ikke gjort noen funn som tyder på at det materielle ved solcelleanlegg påvirker forurensningen eller mengden med overvannsavrenning fra bakkemonterte solcelleparker. Dette gjelder i tilfelle hvor montagesystemet forankres med jordskruer. Det er derimot identifisert en risiko for erosjon med behov for vedlikehold i tilknytning til forankringene dersom overvannet ikke håndteres hensiktsmessig. På den måten kan overvannet skape problemer for driften av anlegget. Håndteringen av overvann, og risikoen for erosjon burde vurderes individuelt for hver solcellepark. Foruten om en individuell erosjonsrisikovurdering, burde overvannet på bakkemonterte solcelleparker håndteres på en måte som tilsvarer de generelle anbefalingene for overvannshåndtering. Det vil si, at overvannet håndteres på en måte som hensyntar det biologiske mangfoldet og nedenforliggende etableringer. På solcelleparker burde derfor bevaring av opprinnelige bekker og vannforekomster prioriteres. Risikoen for erosjon øker dersom solcelleparken etableres i et hellende terreng, og dersom overvannshastigheten blir for stor for overflatens tålegrense. Overflateoptimalisering gjennom beplantning av vegetasjon med dype røtter, unngåelse av overkomprimering samt tilstrekkelig mellomrom mellom solcellepanelene har en reduserende effekt på erosjonsrisikoen og mengden med overflateavrenning ut fra området.

12. Anbefalinger

Igjennom litteraturstudiet ble det funnet lite anbefalinger og bemerkninger rundt overvannshåndteringen på bakkemonterte solcellerparker. Derfor anbefales det at overvann, og den mulige risikoen for erosjon nevnes når «best praksis» dokumentasjon utarbeides som hjelpemiddel for utbyggere i Norge. Dersom tiltakshaver ikke tar hensyn til at vedlikeholdskrevende erosjon kan oppstå, vil vedlikeholdsarbeidet kunne bli svært krevende i tilfeller hvor det ikke er planlagt tilstrekkelig framkommelighet for anleggsmaskiner.

Det anbefales også å utføre grunnundersøkelser og lastberegninger, for å fastsette hvor mye erosjon eller svikt i grunnen som er tolererbart på solcellerparker. En innhenting av erfaringer rundt overvannshåndtering fra andre solcellerparker burde også gjøres. Til slutt anbefales det å inkludere risikoen for flom i overvannshåndteringen.

13.Referanser

- [1] Energikommisjonen, "3 Mer av alt – raskere," Regjeringen, NOU 01.02 2023. [Online]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2023-3/id2961311/>
- [2] NVE. "Energibruk." <https://www.nve.no/energi/energisystem/energibruk/> (accessed 09.05.2024).
- [3] Statistisk sentralbyrå. "Produksjon av elektrisitet i 2023. TWh og prosentandeler." <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/elektrisitet/artikler/markant-nedgang-i-stromforbruket-for-kraftintensiv-industri> (accessed 09.05.2023).
- [4] International energy agency, "Renewables 2023," 2024. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>
- [5] Solgrid. "Kobler Norges første store solkraftverk til nettet." <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/18024450/kobler-norges-forste-store-solkraftverk-til-nettet?publisherId=17848222&lang=no> (accessed 09.05.2024).
- [6] NVE, "NVEs svar på oppdrag om solkraft og annen lokal energiproduksjon," Notat, ref:202311163-63 05.02 2024.
- [7] NVE. "Solkraft." <https://www.nve.no/energi/energisystem/solkraft/> (accessed 26.02, 2024).
- [8] Norges vel, "Solcelleparker i landbruket – erfaringer fra andre land," *Solcelleparker i landbruket*, Prosjektrapport 2023.
- [9] FN-Sambandet. "Bærekraftig utvikling." <https://fn.no/tema/baerekraftig-utvikling-fattigdom-og-befolkning/baerekraftig-utvikling> (accessed 19.04.2024).
- [10] H. Lee and *et al*, "Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," IPCC, Geneva, Switzerland, 2023.
- [11] FN-Sambandet, "Parisavtalen," ed, 2023.
- [12] FN-Sambandet, "Stoppe klimaendringene," ed, 2023.
- [13] FN-Sambandet. "Klimaendringer." <https://fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer> (accessed 11.03.24).
- [14] NVE. "Hvor kommer strømmen fra?" <https://www.nve.no/energi/energisystem/kraftproduksjon/hvor-kommer-stroemmen-fra/> (accessed 11.03.24).
- [15] FN-Sambandet. "Ren energi til alle." <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ren-energi-til-alle> (accessed 11.03.24).
- [16] A. Bjartnes, L. Ursin, L. Michelsen, and H. Skaugen, "Solenergi mot 2050," *Klimavitenskap og energiomstilling*, Online no. 4, 2021. [Online]. Available: <https://www.klimastiftelsen.no/publikasjoner/solenergi-mot-2050>.
- [17] H. Ødegaard, "VA-Hydrologi," in *Vann- og avløpsteknikk*, 2 ed. Hamar: Norsk vann e-utgave, 2019, pp. 38-64.
- [18] NVE, "Fakta om vannets kretsløp," ed, 2022.
- [19] O. Lindholm, "Håndtering av overvann," in *Vann- og avløpsteknikk*, 2 ed. Hamar: Norsk vann e-utgave, 2019, pp. 458-497.
- [20] Hydraulics Office, "Hydraulics Manual," *Department of Transportation*, 2023.
- [21] NORVAR, "Veiledning ved dimensjonering av avløpsledninger," *SFT 1979*, no. TA-550.
- [22] A. Berland *et al.*, "The role of trees in urban stormwater management," *Landsc Urban Plan*, vol. 162, no. C, pp. 167-177, 2017, doi: 10.1016/j.landurbplan.2017.02.017.
- [23] S. Stenius, P. Glad, T. Wang, and T. Væringstad, "Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt," Norges vassdrags- og energidirektorat, nr 7 12.2015 2015.
- [24] H. Ødegaard, "Vannkvalitet og vannforurensning," in *Vann- og avløpsteknikk*. Hamar: Norsk vann e-utgave, 2019, ch. 5, pp. 125-165.
- [25] § 28-10. *Håndtering av overvann*, 2022.
- [26] A. Hauge and B. L. Walseng, Sigrid

- Borch, Håkon, "Gjenåpning av bekkelukninger-veileder," *Jordforsk*, nr.85/05 16.03 2006.
- [27] K. Paus, "Risikookseptnivåer og tre-trinnstrategi?," Asplan Viak, presentasjon 12.05 2020.
- [28] H. Norheim, K. Flesjø, J. Sellevold, M. Lund, and P. Virehn, "Lærebok drenering og håndtering av overvann," *Statens Vegvesen*, Nr. 681 02.2018.
- [29] S. Hussain. "The largest solar farm in the world is in Bhadla, in the northern Indian state of Rajasthan." <https://www.businessinsider.com/india-harnessing-renewable-energy-through-worlds-biggest-solar-farm-2022-11?r=US&IR=T> (accessed 26.02, 2024).
- [30] T. Evensen *et al.*, "Bakkemonterte solkraftverk i Norge — prosess og beste praksis," *Solenergiklyngen*, 2022.
- [31] L. McPhillips and R. Yavari. "Maximizing hydrological and environmental benefits of solar farms." <https://iee.psu.edu/news/blog/maximizing-hydrological-and-environmental-benefits-solar-farms> (accessed 05.03.24).
- [32] Watershed. "Addressing the environmental impact of erosion and water pollution with solar." <https://watershedgeo.com/addressing-the-environmental-impact-of-erosion-and-water-pollution-with-solar/> (accessed 05.03.24).
- [33] T. Lancaster. "Solar Farm Erosion Protection is Not One-Size-Fits-All." <https://www.nacleanenergy.com/solar/solar-farm-erosion-protection-is-not-one-size-fits-all> (accessed 05.03.24).
- [34] M. Banks. "Can erosion at solar farm be prevented?" <https://www.altenergymag.com/article/2020/08/can-erosion-at-solar-farms-be-prevented/33667> (accessed 05.03.24).
- [35] M. M. Edalat, "Remote sensing of the environmental impacts of utility-scale solar energy plants," *UNLV Theses, Dissertations, Professional Papers, and Capstones*, p. 3075, 2017, doi: <http://dx.doi.org/10.34917/11156717>.
- [36] A. Gullotta, T. M. Aschale, D. Peres, G. Sciuto, and A. Cancelliere, "Modelling Stormwater Runoff Changes Induced by Ground-Mounted Photovoltaic Solar Parks: A Conceptualization in EPA-SWMM," *Water Resources Management*, vol. 37, no. 11, pp. 4507-4520, 2023/09/01 2023, doi: 10.1007/s11269-023-03572-3.
- [37] F. Wang and J. Gao, "How a photovoltaic panel impacts rainfall-runoff and soil erosion processes on slopes at the plot scale," *Journal of Hydrology*, vol. 620, p. 129522, 2023/05/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129522>.
- [38] A. Ferrero, L. Lisa, S. Parena, and L. Sudiro, "Runoff and soil erosion from tilled and controlled grass-covered vineyards in a hillside catchment," *Technical Documents in Hydrology*, vol. 67, pp. 105-111, 2002.
- [39] J. McCall *et al.*, "PV Stormwater Management Research and Testing (PV-SMaRT)," National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO (United States), 2023.
- [40] Oppdragsgiver, "Søknad om konsesjon," 2023.
- [41] Oppdragsgiver, "Konsekvensutredning," 2023.
- [42] Scalgo. "Skap plass til vannet." <https://scalgo.com/nb/> (accessed 19.04.2024).
- [43] Google Earth. "59°25'24.1N, 9°56'50.0E." https://earth.google.com/web/search/59%C2%B025%2724.1N,+9%C2%B056%2750.0E/@59.4233611,9.9472222,122.54653728a,404.63860625d,35y,0h,0t,0r/data=C10aMxltGQRzT7lwtk1AISAX5k765CNAKkh1OckWmJUnMjQuMU4sIDnCsDU2JzUwLjBFGAlgASImCiQJaiWBEDK3TUARyiTX4KS1TUAZCwauvsTwI0AhSG0Ya0_YI0A6AwoBMA (accessed 20.03.24).
- [44] Norges Geologiske Institutt. "Nasjonalt løsmassedatabase." https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/?lang=nor&map=9 (accessed).
- [45] Norges Geologiske Institutt. "NADAG." https://geo.ngu.no/kart/nadag_mobil (accessed).
- [46] Teknisk - vann avløp og renovasjon, "VA-norm Larvik kommune," Larvik kommune, September 2021.

- [47] Kartverket. "Scalgo Live."
https://scalgo.com/live/norway?res=1024&ll=19.777794%2C64.740740&lrs=geonorge_norg_ekart2 (accessed).

14.Vedlegg

Inkludert i vedleggene i rapporten er A3 posteren. Vedleggene forutenom A3 posteren er vedlagt som en egen fil i mappen, og er dermed ikke inkludert i selve rapport dokumentet. Følgende vedlegg er:

Vedlegg 1 – Søkelogg

Vedlegg 2 – Intervju

Vedlegg 3 – Beregninger



Innledning

Bakkemonterte solcelleparker med formål om fornybar energiproduksjon er et nytt konsept i Norge. Denne masteroppgaven ser på hvordan overvannet burde håndteres, og om det er noen spesielle hensyn som burde tas når dette skal etableres.

Forskerspørsmål

Hvordan burde overvannet på bakkemonterte solcelleparker håndteres for å sikre optimal drift av anlegget, og reduserte miljøpåvirkninger?

- Hvordan påvirker etableringen av solcelleparken avrenningen på det aktuelle området?

- Kan overvannet skape problemer for driften av anlegget? I så fall hvilke?



Case

Masteroppgaven tar for seg en bakkemontert solcellepark som er planlagt ved Brandsrud i Larvik kommune. Tiltaksområdet har en størrelse på 96 daa, og perioden for konsesjon er satt til 30 år. Etter den tid skal tomten tilbakestilles. Figuren under viser et skissert kartutsnitt av tiltaksområdet før og etter etableringen av de bakkemonterte solcellene.



Montasjesystemet til solcellepanelene er hovedsakelig planlagt å forankres i grunnen med jordskruer. Før monteringen, må tiltaksområdet jevnes ut og vegetasjon og trær fjernes. Store deler av området brukes i dag til motorsport. Mesteparten av dagens overflateavrenning fra tiltaksområdet har utløp i det nærliggende vassdraget «Renne», hvor det er registrert anadromlaksefisk.

Metode

Det ble brukt fem ulike metoder for å finne en besvarelse på forskerspørsmålet:

- Litteraturstudie til teoribakgrunnen
- Intervju for caseavklaring
- Stedsanalyse av tiltaksområdet
- Mulighetsstudier for overvannshåndtering
- Beregninger av overvannsføring

Funn

Igjennom litteraturstudiet ble det funnet tilfeller av vedlikeholdskrevende erosjon rundt forankringene på bakkemonterte solcelleparker med utilstrekkelig overvannshåndtering. Videre ble det funnet en risiko for det biologiske mangfoldet ved hensynsløshet. Ingen funn tilsier at det materielle ved solcelleanlegget medfører forurensninger i overvannet.

Figuren nedenfor viser mulighetsstudiene som ble utviklet. I det første mulighetsstudiet jevnes området ut, og bekkene og dammene fylles igjen. I det andre mulighetsstudiet beholdes bekkeløpet i det største nedbørsfeltet. Til slutt ses det på mulighetene ved å grave ned overvannsledninger.



Det ble funnet anbefalinger om å utføre overflateoptimalisering på bakkemonterte solcelleparker igjennom etablering av beplantning med dype røtter, unnvikelse av overkompaktering og utførelse med tilstrekkelig mellomrom mellom solcellepanel radene.

Resultater

Tabellen nedenfor viser resultatene fra beregningene av vannføring ut fra tiltaksområdet. Vannmengdene gjelder for en 30 års nedbørsepisode. Resultatene markert i parentes, er avrenningen dersom overflaten optimaliseres. Avrenningen er størst dersom det graves ned overvannsrør, og minst dersom overflaten optimaliseres ved det første og andre mulighetsstudiet.

	Avrenning
Før etablering	502,06 l/s
Etter etablering, Mulighet 1 og 2	824,95 l/s (464,4 l/s*)
Etter etablering, Mulighet 3	923,24 l/s (540,66 l/s*)

Konklusjon

Avrenningen etter etableringen av solcelleparken øker som følge av endringer i topografien, og klimafaktor. Overvannet kan medføre erosjon som påvirker driften av anlegget. Overvannet burde dermed håndteres igjennom bevarte åpne bekker og dammer for å sikre en kontrollert avrenning, og reduserte miljøpåvirkninger. Overflateoptimalisering burde vurderes da dette gir ytterligere fordeler for erosjonsrisiko og miljø.