



UiT Norges arktiske universitet

Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi  
Institutt for bygg, energi og materialteknologi

Konseptløsning for klimaskjerming på Jernvassdammen  
Concept solution for climate shielding at Jernvassdammen

Vår 2023

Ingrid. E. A. Hjallar

Masteroppgave i Integriert bygningsteknologi BYG-3900-1 Mai 2023

# Forord

Denne masteroppgaven er utført som en del av mitt studium ved fakultetet for ingeniørvitenskap ved UiT, Norges arktiske universitet, i samarbeid med Nordkraft, våren 2023. Oppgaven markerer slutten på mitt sivilingeniørstudium innen «integrrert bygningsteknologi» og tilsvarer 30 studiepoeng.

Arbeidet med oppgaven har vært en utrolig læringsprosess, både utfordrende og opplysende. Oppgaven har gitt anledning til å dykke inn i konseptet av bygningsintegrrerte solceller, klimaskjermer og deres potensial i forbindelse med eksisterende vannkraftinfrastruktur. Gjennom denne prosessen har jeg fått verdifull kunnskap om en fremtidsrettet og bærekraftig løsning for energiproduksjon. Jeg håper at resultatene av denne oppgaven vil bidra til å øke forståelsen av klimaskjerming og solcelleteknologi, og at den kan inspirere til ytterligere utforskning innenfor feltet. Jeg håper at oppgaven vil være en verdifull ressurs for alle som er opptatt av bærekraftig utvikling. Og at oppgaven kan videreutvikles i eventuelt videre arbeid.

Jeg vil gjerne takke veilederne mine, Per Arne Sundsbø og Lars Kimo Jørgensen for deres veiledning, oppmuntring og tilbakemeldinger. I tillegg ønsker jeg å rette en spesiell takk til Steffen Henriksen og Raymond Wang som har tatt seg tid til å hjelpe og veilede meg med temaer som har vært utenfor mine ordinære fagområder. Til slutt vil jeg takke min familie og venner for støtte og oppmuntring underveis.

Narvik, 15. Mai 2023



---

Ingrid Evita Antonsen Hjallar

# Innholdsfortegnelse

Sammendrag .....	VI
Abstract .....	VII
Ordforklaringer og forkortelser .....	VIII
1. Innledning.....	1
1.1    Jernvassdammens betydning for Narvik .....	1
1.2    Bakgrunn .....	2
1.3    Oppgavens mål.....	2
1.4    Problemstilling.....	3
1.5    Begrensninger .....	3
1.6    Oppgavens struktur .....	4
2. Teori.....	5
2.1    Dammer.....	5
2.1.1    Generelt om dammer .....	5
2.1.2    Laster på dammer .....	6
2.1.3    Betongdammer.....	6
2.1.4    Gravitasjonsdammer .....	7
2.1.5    Hvelvdammer .....	8
2.1.6    Vanlige skader på betongdammer .....	9
2.2    Klima.....	12
2.2.1    Klima i Norge .....	12
2.2.2    Klimaendringer .....	13
2.2.3    Lokalklima.....	14
2.2.4    Klimaets betydning for betongdammer .....	14
2.2.5    Sol og mørketid .....	15
2.2.6    Klima på Nygård .....	15
2.3    Lover og regler.....	17
2.3.1    Krav og regler for betongdammer .....	17
2.3.2    Virkeområde .....	17
2.3.3    Klassifisering .....	17
2.3.4    Klassifiseringskriteriene.....	18
2.4    Tilsyn av betongdammer .....	20
2.4.1    Miljøtilsyn .....	20
2.5    Klimaskjerm .....	21
2.5.1    Definisjon av klimaskjerming og dens funksjoner .....	21
2.5.2    Betongkonstruksjoner og deres egenskaper .....	21

2.5.3	Trekonstruksjoner og deres egenskaper .....	22
2.6	Solcelle .....	23
2.6.1	Solcelle enkelt forklart.....	23
2.6.2	Solcellepaneler og integrasjon i bygninger.....	23
2.6.3	Solceller i kaldt klima.....	24
2.6.4	Fordeler for integrering av solceller .....	24
2.6.5	Ulemper for integrering av solceller.....	25
2.7	Strøm.....	27
2.7.1	Solkraftens påvirkning på nettet .....	27
2.7.2	El-priser .....	27
3.	Metode .....	28
3.1	PVGIS.....	28
3.2	Autodesk AutoCAD 2014 .....	28
3.3	Befaring .....	28
3.4	Nåverdimetoden .....	30
4.	Casestudie .....	31
4.1	Klimaskjerm på Nygårdsdammen.....	31
4.2	Jernvassdammen.....	33
4.2.1	Litt om Jernvassdammen.....	33
4.2.2	Omgivelser og adkomst .....	34
4.3	Forhold rundt Jernvassdammen.....	35
4.3.1	Vindforhold.....	35
4.3.2	Snøforhold .....	38
4.4	Befaring .....	40
4.4.1	Befaring av Jernvassdammen .....	40
4.4.2	Befaring av Nygårdsdammen .....	42
4.5	Solenergi.....	44
4.6	Solinnstråling vegg .....	45
4.7	Solinnstråling tak.....	47
5.	Resultater .....	48
5.1	Oppbygging av klimaskjerm .....	48
5.1.1	Materialvalg og konstruksjonsmetoder.....	48
5.2	Vinkling av vegg og tak .....	49
5.2.1	Vegg.....	49
5.2.2	Tak .....	50
5.3	Solinnstråling.....	52
5.4	Kostnad.....	55

5.4.1	Eget forbruk.....	55
5.4.2	Nåverdi .....	56
5.5	Vurdering av solcellepanelintegrasjon .....	56
6.	Vurdering av konseptløsning .....	58
6.1	Solinnstråling.....	58
6.2	Betongkonstruksjonen .....	59
6.3	Klimaskjermens oppbygging.....	59
6.4	Økonomi.....	60
7.	Konklusjon og oppsummering .....	61
7.1	Anbefalinger og videre arbeid .....	62
	Referanseliste.....	63
	Vedlegg.....	66
	Vedlegg 01 – Oppgavebeskrivelse .....	66
	Vedlegg 02 – AutoCAD pdf oversiktstegning av klimasekjem .....	70
	.....	1

## Tabelliste

Tabell 1. Oversikt betong dam og fyllingsdam (Guttormsen, 2006). .....	5
Tabell 2. Islaster basert på "Vassdragshåndboka". (Tharan Fergus et al., 2010) .....	11
Tabell 3. Middelværdier og ekstremverdier for endring i klima 1972-2000 til 2071-2100 (klimaservicesenter, 2022) .....	13
Tabell 4. Anvendte parametere under PVGIS analyser .....	54
Tabell 5. Grov beregning av investeringskostnader med trekledning vs. BIPV .....	55
Tabell 6. Nåverdimetoden med totalsum BIPV som investering .....	56
Tabell 7. Nåverdimetoden med .....	56

## Figurliste

Figur 1. Utsikt fra luftside av dam mot Nygårdsfjellet vindpark (Foto: I.E.A. Hjallar, februar 2023).....	1
Figur 2. Oppgavens struktur .....	4
Figur 3. Illustrasjon som viser snitt av gravitasjonsdam. (Illustrasjon av: I.E.A.Hjallar, mai 2023).....	7
Figur 4. Snitt- og oversiktsillustrasjon av hvelvdam (Illustrert av: I.E.A.Hjallar. mai 2023) .....	8
Figur 5. Köppens klimaklassifisering 1991-2020 (Mamen, 2021) .....	12
Figur 6. Maksimum og minimumstemperatur basert på tall hentet fra Norsk klimaservicesenter (Norsk klimaservicesenter, u.år-a) .....	14
Figur 7. Köppens klimaklassifisering 1991-2020 (Mamen, 2021) .....	15
Figur 8. Klassifiseringskriteriene, (Forskrift om sikkerhet ved vassdragsnalegg (damsikkerhetsforskriften), 2010).....	18
Figur 9. Oversikt over nærliggende bebyggelse, (Norgeskart, U.år) .....	19
Figur 10. Illustrasjon solrefleksjon fra is og snødekke mot solceller. (Illustrert av: I.E.A. Hjallar, Mai 2023) .....	24

Figur 11. Utklipp av "As built" tegning av klimaskjermen på Nygård. Bildet er hentet fra Nordkrafts private dokumenter. ....	31
Figur 12. Utklipp av "As built" tegning av klimaskjermen på Nygård. Bildet er hentet fra Nordkrafts private dokumenter. ....	32
Figur 13. Jernvassdammen under befaring. (Foto: I.E.A.Hjallar, Feb. 2023) .....	33
Figur 14. Vindrose for Skitdalsløgda (Norsk klimaservicesenter, u.år-b) .....	35
Figur 15. Oversiktsbilde av Jernvassdammen med vindrose (Norsk klimaservicesenter, u.år-b) .....	36
Figur 16. Kanaliserende vindeffekt rundt strukturer. (Bilde: P.A.Sundsbo, forelesning 04.11.20) .....	37
Figur 17. Kanaliserende vindeffekt (kart, u.år).....	37
Figur 18. Vindnedslag rundt strukturer. (Bilde: P.A.Sundsbo, forelesning 04.11.20).....	37
Figur 19. Vind som rotordannelser. (Bilde: P.A.Sundsbo, forelesning 04.11.20) .....	37
Figur 20. Gjennomsnittlig snødybde .....	38
Figur 21. Kalkutslag på Jernvassdammen. (Foto: I.E.A.Hjallar, Feb, 2023).....	40
Figur 22. Ising på Jernvassdammen. (Foto: I.E.A.Hjallar, Februar, 2023).....	41
Figur 23. Betongkonstruksjonen Nygårdsdammen. (Foto: I.E.A.Hjallar, Mars, 2023).....	42
Figur 24. Snøforhold på Nygårdsdammen. (Foto: I.E.A.Hjallar, Mars, 2023) .....	43
Figur 25. kWh/m <sup>2</sup> for vegg på Jernvassdammen (comission, 2023).....	45
Figur 26. kWh for vegg på Jernvassdammen (comission, 2023).....	45
Figur 27. kWh/m <sup>2</sup> for tak på Jernvassdammen (comission, 2023) .....	47
Figur 28 kWh for tak på Jernvassdammen (comission, 2023).....	47
Figur 29. Prinsipp for oppbygging av BIPV som kledning (Kvande et al., 2021) .....	49
Figur 30. Oversiktstegning av Jernvassdammen, utarbeidet i EutoCAD 2014. (Tegnet av: I.E.A.Hjallar, 2023) .....	49
Figur 32. Rettvinklet solcellevegg. (Illustrert: I.E.A.Hjallar, 2023) .....	50
Figur 31. Azimut for Jernvassdammen (illustrasjon: I.E.A.Hjallar, 2023).....	50
Figur 33. Sammenlagte resultater kWh, (comission, 2023) .....	53

## Sammendrag

Denne oppgaven har utforsket konseptet om å bygge en klimaskjerm rundt Jernvassdammen i Nord-Norge, med integrerte solcellepaneler som en del av skjermen. Motivasjonene bak dette konseptet er å skape en «vinn-vinn situasjon» der både dammens fysiske integritet og bærekraftige energiproduksjon blir fremmet. Oppgaven har evaluert tilstanden til Jernvassdammen og funnet at selv om betongkonstruksjonen virker å være i en sikkerhetsmessig god stand, er det visuelle aspektet en annen sak. Dammens tilstand er preget av avskalling, sprekker og kalkutslag, noe som tydelig fremkommer under befarings. Det er grunn til å anta at betongen under isen er i samme stand som den eksponerte betongen. Disse funnene støtter ideen om å etablere en klimaskjerm for å forbedre dammens tilstand og redusere fremtidige vedlikeholdsutgifter.

Den foreslåtte klimaskjermen for Jernvassdammen er basert på en hybridløsning, inspirert av den eksisterende klimaskjermen av tre på Nygårdssdammen og et eksempel på bygging med BIPV (Building Integrated Photovoltaics) som kledning. Utformingen inkluderer integrerte solcellepaneler, noe som er et nytt konsept i markedet og må derfor nøye planlegges for å unngå utfordringer under eventuell installasjon.

I tillegg til fysiske aspekter, har oppgaven også grovt analysert økonomiske og markedsmessige faktorer. Med dette er oppgavens hovedkonklusjon å anbefale en videre utredning av solcelleintegrasjon i klimaskjermen på Jernvassdammen. Selv om det kan ta tid å utforme dette prosjektet for endelig beslutning, kan forbedringer i teknologi, pris og erfaring med solcelleprosjekter i fremtiden gjøre prosjektet mer lønnsomt enn det er i dag. Gjennomføring av dette prosjektet kan bidra til å bane vei mot en bærekraftig og innovativ fremtid i energisektoren.

## Abstract

This study has explored the concept of constructing a climate shield around the Jernvassdammen in Northern Norway, with integrated solar panels as part of the shield. The motivations behind this concept are to create a “win-win situation” where both the dam’s physical integrity and sustainable energy production are promoted. The thesis has evaluated the condition of the Jernvassdammen and found that while the concrete structure appears to be in safe condition, the visual aspect is another matter. The condition of the dam is characterized by spalling, cracks, and lime efflorescence which is clearly apparent during inspection. It is reasonable to assume that the concrete beneath the ice is in the idea of establishing a climate shield to improve the dam’s condition and reduce future maintenance costs.

The proposed climate shield for the Jernvassdammen is based on a hybrid solution, inspired by the existing wooden climate shield on the Nygårdssdammen and an example of construction with BIPV (Building Integrated Photovoltaics) as cladding. The design includes integrated solar panels, which is a new concept in the market and therefore needs to be carefully planned to avoid challenges during potential installation.

In addition to the physical aspects, the thesis has also roughly analyzed economic and market factors. Thus, the main conclusion of the thesis is to recommend further exploration of solar cell integration in the climate shield on the Jernvassdammen. Although it may take time to design this project for a final decision, improvements in technology, price, and experience with solar cell projects in the future could make the project more profitable than it is today. Implementing this project could help pave the way towards sustainable and innovative future in the energy sector.



## Ordforklaringer og forkortelser

BIPV	Building integrated Photovoltaic
kWh	kilo watt hour
kWp	kilo watt peak
PV	Photovoltaic
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
AR	Alkaliereaksjon
Moh	Meter over havet

# 1. Innledning

## 1.1 Jernvassdammens betydning for Narvik

Narvik har et veletablert rykte som en betydelig produsent innen produksjon av elektrisk kraft, med flere vannkraftanlegg av variert størrelse, samt et vindkraftanlegg i drift. Over tid har denne betydelige kraftproduksjonen markert Narvik som en viktig aktør i energisektoren, ikke bare på kommunalt nivå, men også i forhold til andre norske kommuner. Nordkraft AS, tidligere kjent som Narvik kommunale energiverk, har ekspandert sin virksomhet gjennom fusjoner med andre energiselskaper. De har nå kraftinstallasjoner ikke bare i, men også utenfor Narvik kommune. Som en vesentlig aksjonær i Nordkraft AS, har Narvik dratt fordel av selskapets suksess gjennom aksjeutbytte. Konsernet er også en viktig arbeidsgiver i kommunen som bidrar til skatteinntekter både fra konsernet selv og fra de ansatte. I tillegg betaler selskapet betydelig eiendomsskatt for sine installasjoner. Jernvassdammen er lokalisert i nærheten av Nygårdsfjellet vindpark og dermed utnytter dette området allerede to fornybare energikilder for ren energiproduksjon.



Figur 1. Utsikt fra luftside av dam mot Nygårdsfjellet vindpark (Foto: I.E.A. Hjallar, februar 2023).

Jernvassdammen og de tre andre dammene i Jernvatn-systemet utgjør et magasinivolum som er større enn de 15 andre dammene i Nygård kraftverk kombinert. Dermed utgjør Jernvassdammen en vesentlig faktor for Nordkraft AS sin totale kraftproduksjon, og følgelig også for Narvik, både som stor eier og som mottaker av kraftproduksjonen. Jernvassdammen også kalt Jernvatnet, er en av 18 dammer som er inkludert i Nygård kraftverk. Kraftverket er lokalisert på Trældal i Narvik kommune og utnytter fallet mellom Trollvatnet på Nygårdsfjellet og Rombaksfjorden. Jernvassdammen er en betongdam av typen gravitasjonsdam også kalt massivdam. Det vil si at dammen i hovedsak står imot vanntrykk med sin egen vekt (Guttormsen, 2006).

## 1.2 Bakgrunn

Nordkraft streber etter å oppnå toppresultater i alle sine virksomhetsområder, og dermed initierer konsernet prosjekter innen næringsutvikling og innovasjon med formål om å fremme aktiviteter som gagnar hele regionen. I løpet av de neste fem årene er det forventet at rehabiliteringen av Jernvassdammen skal finne sted. Med bakgrunn i dette ønsker nå Nordkraft å utforske muligheten for å etablere en konstruksjon som beskytter den eksisterende betongdammen ved nedre Jernvatnet, mot blant annet temperatursvingninger, vær og vind. Dette prosjektet har som mål å utvikle en beskyttende vegg med tak plassert en til to meter fra damkonstruksjonen som også inkluderer integrering av solceller som kledning. Integreringen av solceller i klimaskjermen vil ikke bare fungere som beskyttelse for betongen. Den vil også redusere korrosjon, frostsprengning og temperatursvingninger som kan føre til skader på betong og dam. I tillegg vil en slik integrering føre til økt strømproduksjonen fra anlegget. Dette representerer en bærekraftig og multifunksjonell løsning som både forbedrer damkonstruksjonens levetid og bidrar til økt fornybar energiproduksjon.

For å sikre at prosjektet er i samsvar med gjeldende regelverk, vil dette studiet først undersøke relevante krav og forskrifter fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og eventuelle føringer fra Narvik kommune. Dette inkluderer blant annet damsikkerhet, inspeksjon, miljøhensyn samt konsesjoner for anleggets eksisterende produksjon og eventuell tilkobling til strømmettet for solcelleproduksjon. Denne masteroppgaven vil derfor ta for seg å utvikle en integrert løsning for solceller i klimaskjerm som oppfyller kravene til både beskyttelse av damkonstruksjonen og energiproduksjon, samtidig som det overholder gjeldende regelverk og forskrifter.

## 1.3 Oppgavens mål

Målet med oppgaven har vært å kartlegge betongdammens tilstand ved hjelp av befaringer og videre utvikle en konseptløsning for klimaskjerm som har som hensikt å beskytte betongkonstruksjonen. Som referanse har oppgaven basert seg på klimaskjermen som er etablert på Nygårdsdammen i samme området som Jernvassdammen befinner seg i. Etter visuell befarings kan det konkluderes med at klimaskjermen på Nygård har hatt en positiv innvirkning på betongkonstruksjonen. Videre har et av hovedmålene vært å utnytte bygningsmassens areal for å finne en innovativ og fremtidsrettet løsning, med integrering av solceller som fokusområde. I den forbindelse er det utført enkle simuleringer for solinnstråling og lønnsomhetsberegninger for å danne et grunnlag for vurdering om denne løsningen vil være bærekraftig.

## 1.4 Problemstilling

Utforme en konseptløsning for klimaskjerming for betongkonstruksjonen på Jernvassdammen, som ligger ved Nedre Jernvatnet i Narvik kommune. Det skal spesielt vurderes om skjermingen skal inkludere solcellepanel og om løsningen eller deler av løsningen, skal ha overføringsverdi til tilsvarende anlegg.

### Delproblemstillinger

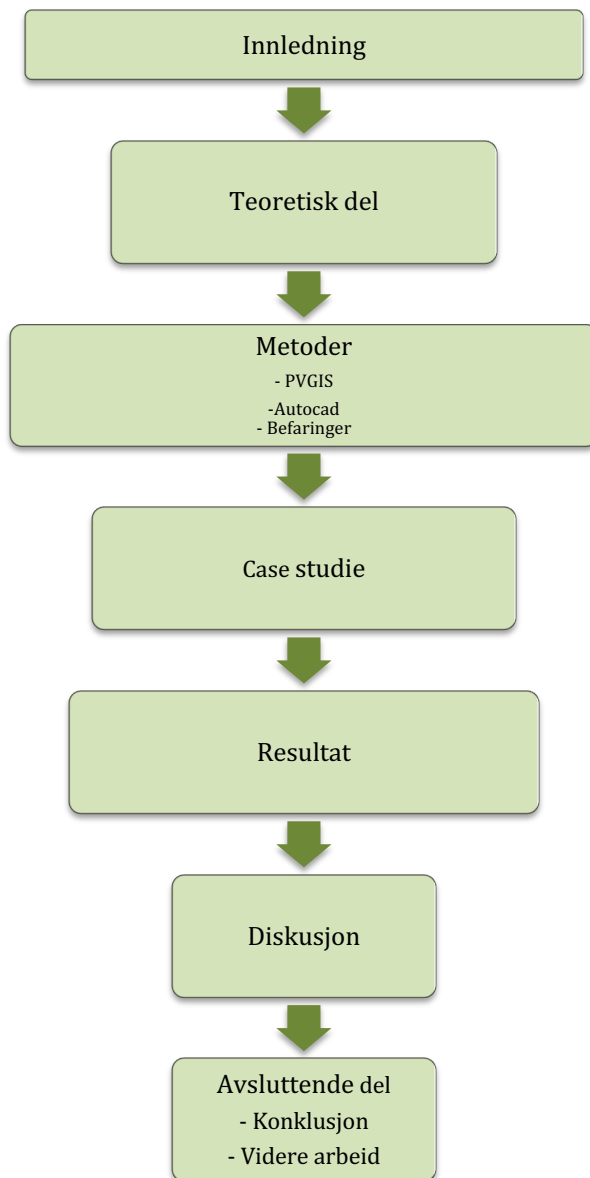
Vurdere og systematisere:

- Aktuelle skader på dambetong – Årsak og virkning
- Prinsipper for klima-skjerming for betongkonstruksjoner
- Vurdere bruk av solceller i klimaskjerm
- Hensyn til vedlikehold og tilgang i anlegg
- Overordnet levetidsvurdering/betraktning
- Betydning av dammen for Narvik
- Økonomi

## 1.5 Begrensninger

Denne masteroppgaven har som hensikt å utvikle en konseptløsning for klimaskjerming av Jernvassdammen. Oppgaven begrenses til å bare vurdere bygningsintegreerte solceller (BIPV) som kledning. Andre potensielle kledningstyper er ikke vurdert. Videre er designet av klimaskjermen som er foreslått i denne oppgaven på et konseptnivå. Det vil si at det ikke har blitt foretatt noen dimensjonering eller detaljering av klimaskjermen. I tillegg er økonomiske vurderinger i denne oppgaven preget av grove antakelser og prisvurderinger, og gir derfor bare en indikasjon på den økonomiske levedyktigheten for det foreslåtte konseptet. En mer detaljert og presis økonomisk analyse vil være nødvendig for å gi en grundig vurdering av lønnsomheten ved implementering av klimaskjermen med BIPV-kledning på Jernvassdammen.

## 1.6 Oppgavens struktur



*Figur 2. Oppgavens struktur*

## 2. Teori

### 2.1 Dammer

#### 2.1.1 Generelt om dammer

Dammer, også kalt demning, brukes til å kontrollere vannføring og lagre vann for ulike formål. Valg av type dam avhenger av flere faktorer inkludert funksjon, økonomi og ikke minst sikkerhet. I tillegg spiller faktorer som topografi, geologi og klima en viktig rolle. Dammer kan normalt kategoriseres i to hovedgrupper ut fra hvilke materialet som er benyttet, prinsipp for kraftoverføring og utforming. De to hovedkategoriene er betongdammer og fyllingsdammer, hvor de to kategoriene har egne underkategorier som ser ut som følgende:

Tabell 1. Oversikt betong dam og fyllingsdam (Guttormsen, 2006).

Betongdam	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gravitasjonsdam (massivdam)</li><li>• Pillardam (platedam, lamelldam og flerbuedam)</li><li>• Hvelvdam (Buedam)</li></ul>
Fyllingsdam	<ul style="list-style-type: none"><li>• Jorddam</li><li>• Steinfyllingsdam</li></ul>

I tillegg til de nevnte damtypene finnes det også dammer av stål, tømmer eller tre. Det er mest vanlig for mindre dammer. Kostnader knyttet til ulike damtyper kan variere avhengig av tilgjengeligheten av byggematerialer og transportmuligheter (Guttormsen, 2006). Formen på damstedet påvirker også hvilken type dam som egner seg best for en gitt lokasjon. En viktig og enkel parameter for å beskrive tverrsnittet på en dal eller et damsted er forholdet mellom bredden ved toppen av dammen (B) og dybden på dalen nedenfor topp dam, også kjent som damhøyden (H). Ved å bruke dette forholdet kan man dele dalen eller damstedet inn i forskjellige kategorier. Hvis  $B/H$  er mindre enn 3, blir området klassifisert som en kløft (gorge). Hvis  $BH$  er mellom 3 og 6, klassifiseres området som en trangdal. Og hvis  $B/H$  er større enn 6 blir området klassifisert som en vid dal:

- Kløft (gorge) når:  $B/H < 3$
- Trang dal når:  $3 < B/H < 6$
- Vid dal når:  $BH > 6$

Denne klassifiseringen er viktig for å bestemme hvilken type dam som vil være egnet for det aktuelle området. I en kløft kan være vanskelig å bygge en tradisjonell dam på grunn av de smale dimensjonene, og en fyllingsdam vil nok da være en bedre løsning. En vid dal derimot kan være godt egnet for en stor betongdam, men en trang dal kan kreve en spesielt tilpasset design for å unngå skader på dammen. Det er også viktig å vurdere fjellkvaliteten på stedet der dammen skal bygges, da dette vil påvirke hvor mye trykk fundamentet tåler. Fjellet må være i stand til å motstå de enorme kreftene som oppstår når vannet i dammen presser mot den. Det er derfor viktig å vurdere om fjellet har slepper, svakhetssoner og lagdeling, da dette vil påvirke lastkapasiteten til fundamentet. Fjellkvaliteten på damstedet spiller en så stor rolle at forholdene noen ganger kan utelukke visse damtyper.

For en dam som er 100 meter høy, bør fjellet i fundamentet tåle følgende grad av trykkspenninger for å sikre at dammen er trygg og stabil (Guttormsen, 2006):

- Massivdam 3 – 4 MPa
- Pillardam 5 – 7 MPa
- Hvelvdam 7 – 10 MPa

Det er viktig å merke seg at dette er generelle retningslinjer og at fjellkvaliteten kan variere fra sted til sted. I noen tilfeller kan det være nødvendig å gjøre en grundigere undersøkelse av fjellet for å avgjøre om det vil være egnet for en bestemt type dam. De fleste massive bergarter har en høy motstandsdyktighet mot trykkspenninger og kan vanligvis takle betydelig større belastninger (Guttormsen, 2006). Dammene som skal vurderes i denne oppgaven er en gravitasjonsdam (Jernvassdammen) og en hvelvdam (Nygårdsdammen).

### 2.1.2 Laster på dammer

En dam kan utsettes for flere forskjellige belastninger. I tidlig stadier av utforming og prosjektering av en dam er en av de viktigste vurderingene å utforske hvilke belastninger som påvirke konstruksjonen. Belastningene en dam er utsatt for kan klassifiseres i følgende kategori:

1. Vanntrykk
2. Egenvekt
3. Istrykk
4. Sedimentbelastning
5. Bølgekrefter
6. Jordskjelvkrefter
7. Reaksjonskrefter

En sentral belastning på alle damstrukturer, inkludert Jernvassdammen, er vanntrykk. Dette er nok spesielt merkbart i perioder med begrenset vannutløp. Gitt dammens beliggenhet og de lokale klimatiske forholdene, er det også nødvendig å ta hensyn til effekten av istrykk. I løpet av vintermånedene når temperaturen ofte synker betraktelig, kan oppbyggingen av is resultere i betydelige trykkbelastninger på damstrukturen. Ekstremvær er et annet aspekt som karakteriserer området rundt Jernvassdammen. Dette kan gi opphav til betydelige bølgekrefter, spesielt under stormforhold. Som en respons på disse eksterne lastene kan det oppstå reaksjonskrefter innenfor dammen (Guttormsen, 2006).

For å forstå omfanget og potensiell alvorlighet av lastene, er det nødvendig å gjennomføre detaljerte, geologisk, hydrologisk og klimatiske undersøkelser av området. En grundig inspeksjon og analyse av damstrukturer vil også være nødvendig for å vurdere dens evne til å motstå disse lastene (Guttormsen, 2006).

### 2.1.3 Betongdammer

Betongdammer er en viktig type dam innen damkonstruksjoner og har blitt mye brukt i vassdragsteknikk over hele verden. De kan som nevnt over grovt deles inn i to hovedtyper: gravitasjonsdammer og buedammer (Guttormsen, 2006).

Gravitasjonsdammer er karakterisert ved at dammen utnytter tyngdekraften for å motstå vanntrykket fra reservoaret og holde strukturen stabil.

Buedammer derimot, overfører vanntrykket til de omkringliggende bergsidene gjennom buede strukturer, og de krever generelt mindre betongmengde enn gravitasjonsdammer (Tharan Fergus et al., 2010).

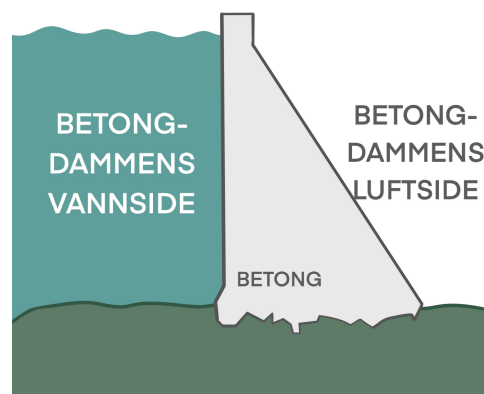
En av hovedfordelene med betongdammer er deres robuste og holdbare konstruksjon som tåler høy belastning og krevende klimatiske forhold (Guttormsen, 2006). De er også i stand til å takle store variasjoner i vannstanden og kan konstrueres for å håndtere store flomhendelser. I tillegg kan de utformes med ulike estetiske og arkitektoniske egenskaper, noe som gir mulighet for å tilpasse dammen til det omkringliggende landskapet (Tharan Fergus et al., 2010). Imidlertid er det også noen ulemper og utfordringer knyttet til betongdammer. For eksempel kan aldring av betongen og påvirkning av klimaforholdene som frost- og tineprosesser, forårsake avskalinger, forvitringsskader og kalkutslag (Guttormsen, 2006). Dette kan redusere dammens holdbarhet og strukturelle integritet, samt påvirke dens estetiske utseende. Videre krever betongdammer regelmessig vedlikehold og inspeksjon for å sikre deres sikkerhet og funksjon (Tharan Fergus et al., 2010).

Sammenfattende er betongdammer en kritisk infrastruktur innen vassdragsteknikk, med mange fordeler som deres robusthet, holdbarhet og tilpasningsdyktighet. Imidlertid er det viktig å være oppmerksom på de potensielle utfordringene og ulempene som kan oppstå som et resultat av aldring og klimapåvirkninger, og å implementere passende vedlikehold og beskyttelsesstrategier for å sikre dammens levetid og integritet.

## 2.1.4 Gravitasjonsdammer

En gravitasjonsdam, slik som Jernvassdammen, er en type dam som er avhengig av sin egen vekt samt tyngdekraften for å motstå vanntrykket. Gravitasjonsdammer kalles også massivdam, i motsetning til andre betongdammer som ikke er massive (Andersen, 2011). Det er en stor solid og monolittisk struktur som vanligvis er laget av betong eller murverk. Dammens design er preget av en bred base, en buet profil og en smal kam. Basen er bredere enn toppen for å sikre at vekten av dammen er jevnt fordelt og kan motstå vanntrykket.

Dammens buede profil gir ekstra stabilitet og motstand mot de horisontale kreftene som skapes av vannet. Gravitasjonsdammer har tverrsnitt formet som en trekant med en toppvinkel som dannes med proporsjonal bredde og høyde. Dersom en dimensjonerende vinkel for en dam er stabil ved en gitt høyde, vil den respektive vinkelen være stabil for alle høyder. Gravitasjonsdammer er vanligvis konstruert over trange daler, og de kan variere i høyden fra noen få meter til flere hundre meter. Til tross for sin massive vekt og størrelse, er gravitasjonsdammer fleksible og kan tilpasse seg noe bevegelse, noe som gjør dem egnet for områder utsatt for seismisk aktivitet (Guttormsen, 2006).



gravitasjonsdam. (Illustrasjon av: I.E.A.Hjallar, mai 2023)

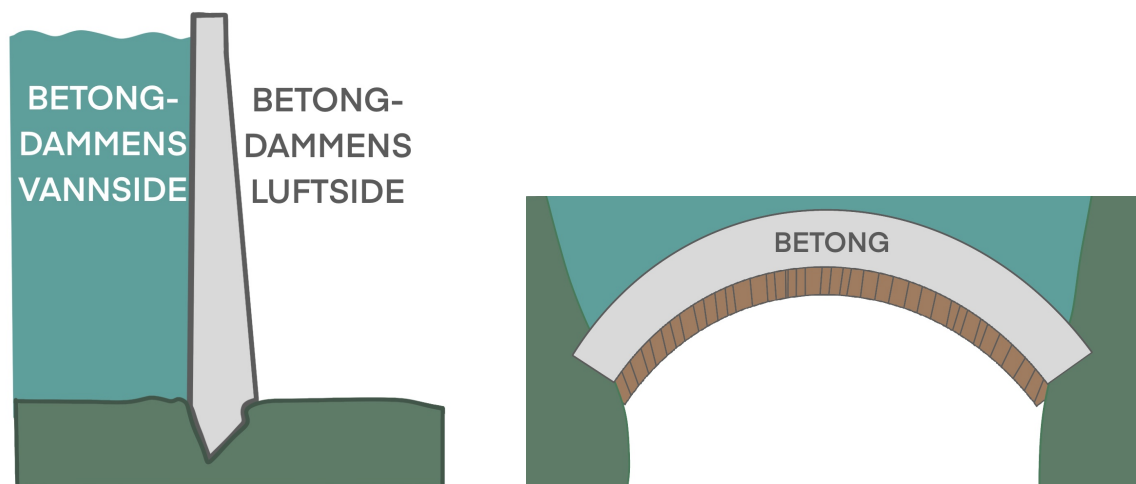
For at en gravitasjonsdam skal være sikker og stabil, må den dimensjoneres for å tilfredsstillende visse krav. Ifølge Vassdragsteknikk 1, må en gravitasjonsdam dimensjoneres for å være sikker mot velting ved ethvert horisontalt snitt i dammen, fundamentfugen eller i fundamentet. Videre må en gravitasjonsdam dimensjoneres for å være sikker mot glidning i ethvert horisontalt snitt i dammen, i fundamentfugen eller langs en svakhetszone i fundamentet. Dette krever at dammen er tilstrekkelig tung og robust til å motstå eventuelle horisontale krefter og bevegelser som kan oppstå og at den er konstruert med tilstrekkelig friksjon mot underlaget for å hindre glidning. Det er også viktig at en



gravitasjonsdam er utformet slik at de opptredende spenningene i dammen eller i fundamentet ikke går ut over det tillatte. Erfaringsmessig ønsker man å dimensjonere slik at det under vanlige belastninger ikke oppstår strekkspenninger i forkant av dammen (Guttormsen, 2006).

## 2.1.5 Hvelvdammer

En hvelvdam er en type dam som overfører krefter til dalsidene gjennom buene som dammen består av, i motsetning til andre typer dammer som overfører krefter til dalbunnen gjennom fundamentet til dammen. Nygårdsdammen er en hvelvdam og fungerer ved at den tar opp vanntrykket på samme måte som en sylinder som er utsatt for aksesymmetrisk belastning. Når man betrakter det buesegmentet en hvelvdam består av som en del av en hel sirkel eller sylinder, vil det oppstå trykkspenninger bestemt av matematisk ligning. Ifølge ligningen vil trykkspenningene påvirkes av høyden og bredden på buesegmentet, samt belastningen som dammen utsettes for. Hvis bredden på buesegmentet øker, vil trykkspenningene reduseres, mens en økning i høyden vil føre til økt trykkspenning.



Figur 4. Snitt- og oversiktsillustrasjon av hvelvdam (Illustrert av: I.E.A.Hjallar. mai 2023)

En av fordelene med hvelvdammer er at de kan tilpasses til ulike terrengforhold og topografier. Hvelvdammer kan konstrueres med varierende høyder, bredder og spennvidder. Ved hjelp av avansert design og konstruksjonsteknologi kan dammen tilpasses til ujevnt terreng. Dette kan være en fordel i områder med vanskelige geologiske forhold, hvor andre typer dammer kan være mindre egnede, slik som tilfellet ved Nygårdsdammen.

Det er imidlertid viktig å merke seg at hvelvdammer også har noen begrensninger. Som med alle typer dammer, kan hvelvdammer være utsatt for ulike typer skader og feil, som for eksempel forvitring, korrosjon, sprekkdannelse og deformasjoner. Derfor er det viktig med regelmessige inspeksjoner og vedlikehold for å sikre at hvelvdammer oppfyller de nødvendige sikkerhetskravene. I tillegg kan hvelvdammer være mer utfordrende å bygge og vedlikeholde enn andre typer dammer, på grunn av den spesielle konstruksjonen og de avanserte tekniske kravene. Det kreves derfor ekspertise og erfaring for å kunne både bygge og vedlikeholde hvelvdammer på en trygg og effektiv måte (Guttormsen, 2006).

## 2.1.6 Vanlige skader på betongdammer

Betongdammer er strukturer som er konstruert for å holde tilbake vann og produsere vannkraft. De er bygget for å tåle påkjenninger fra naturkreftene og trykket fra vannet som de holder tilbake. Over tid kan betongen ta skade av belastningene som den utsettes for.

De typiske skadene for betongdammer vil variere ut fra de lokale klimapåkjenningene som den utsettes for. For å minimere skader og øke levetiden til dammene må det lokale klimaet- og klimaendringene tas i betraktning. Det er utfordrende å fastslå nøyaktig hvilke skader som er de mest vanlige for betongdammer i Norge da landet er preget av store geografiske og klimatiske ulikheter. I Ifølge (Grøner, 1991) er følgende skader på betongdammer de mest vanlige i Norge:

- Forvitring
- Alkaliereaksjon
- Kalkutslag
- Ising

Dette er skader som gir et visuelt dårlig inntrykk. Selv om nevnte skader ikke nødvendigvis påvirker funksjon- og sikkerhetstilstanden til dammene, kan det for publikum føre til usikkerhet og bekymringer rundt hvorvidt dammene er godt vedlikeholdt og om sikkerhet er ivarettatt. (Gautefall, 1990). Kostnadmessig vil det alltid i et langsiktig perspektiv være bedre å forebygge skader eller utbedre disse på et tidlig stadium, for å unngå at skadene eskalerer, og blir dyrere og mer omfattende å reparere. Betongdammer i Norge er ofte utsatt for ulike typer skader på grunn av ytre faktorer, som værforhold, miljøpåvirkninger og naturkatastrofer. Ifølge en undersøkelse som ble utført av Sintef for å kartlegge status for betongdammer i Norge, er de fleste betongdammer i Norge i sikkerhetsmessig grei stand.

### Forvitring

Forvitring på betongdammer er en vanlig problematikk som oppstår over tid og gradvis bryter ned betongens overflate som følge av eksponering for ulike ytre faktorer som temperatur, fuktighet og kjemiske forbindelser. Det skiller mellom mekanisk og kjemisk forvitring.

Mekanisk forvitring er nedbrytning av bergarter eller mineraler som oppstår som følge av fysiske krefter eller mekaniske prosesser. Dette kan inkludere prosesser som friksjon, frostsprengning eller termisk utvidelse. Gjentatt ekspansjon og sammentrekning av isen kan forårsake betydelig skade over tid. Mekanisk forvitring fører ofte til at stein eller mineraler sprekker opp eller deler seg i mindre biter. Frostsprengning eller frostforvitring er problematikk som er spesielt aktuelt i områder med store temperaturforskjeller og områder som er preget av hyppige fryse-tine-sykluser. Når vann som er fanget i betongen fryser, utvider vannet seg og kan på den måten forårsake sprekker, avskalling og andre former for skade. (Spjeldnæs, 2022).

Kjemisk forvitring derimot, er nedbrytning av bergarter eller mineraler og stoffer som finnes i vann eller luft. Dette kan inkludere prosesser om oksidasjon, karbonatisering eller hydrolyse. Kjemisk forvitring kan føre til at bergarter eller mineraler mister styrke og stabilitet og gradvis brytes ned over tid.

Betong er et porøst materiale og når det utsettes for disse faktorene over lang tid, kan det føre til sprekkdannelse, avskaling, redusert styrke og stabilitet i strukturen. Forvitring kan også føre til høyere vedlikeholdskostnader og behov for hyppigere reparasjoner eller utskiftning av betongstrukturen eventuelt etablering av andre skjermende tiltak. Det er derfor viktig å forebygge og overvåke forvitring på betongdammer. Dette kan gjøres ved å bruke materialer med høyere motstandsdyktighet mot vær, klima og kjemiske forbindelser, samt ved å utføre tiltak som beskytter betongkonstruksjonen mot eksponering av disse faktorene (Lindland, 2004).

### **Alkaliereaksjon (AR)**

Alkaliereaksjon er et fenomen som oppstår som følge av en kjemisk reaksjon mellom sementpastaen og tilslaget i betongen og gjør at betongen utvider seg og kan føre til sprekkdannelse og avskaling i betongen. Alkaliereaksjon vil videre i oppgaven bli referert til som AR. Mønsteret som oppstår som følge av AR danner som regel et karakteristisk krakkeleringsmønster som kan minne om et bikubemønster eller et riss som igjen danner et nettverk som danner et trebeinsmønster. Mønsteret alene kan ikke brukes for å fastslå om den oppståtte reaksjonen gjelder AR, nærmere undersøkelser må foreligge for å kunne konkludere med AR (Svendsen & Torblaa, 1989).

### **Kalkutslag**

Kalkutslag er et vanlig fenomen på betongoverflater, ettersom sement naturlig inneholder kalk. Når betongen utsettes for fuktighet i form av regn, kondens eller dugg, trenger vannet inn i betongens porer og løser delvis opp kalken. Denne oppløsningen migrerer til betongens overflate, der vannet fordampes og etterlater et hvitt tungt oppløselig kalkslør (Miljøstein, u.å). Lekkasje i betongkonstruksjonen kan også føre til kalkutslag, som igjen påvirker betongens holdbarhet og fasthet. Når vann trenger inn i betongens porer, løser vannet opp kalsiumhydroksyd og transporterer kalken vekk. Dette resulterer i en reduksjon av kalkkonsentrasjonen, noe som fører til at betongens bindemiddel, kalsiumshydrosilikater, avspalter kalsiumhydroksyd. Som en konsekvens svekkes betongens fasthet. Porøs betong vil oppleve en raskere kalktransport og dermed akselerert nedbryting. Kalsiumhydroksyd reagerer med kullsyre i luften og omdannes til kalsiumkarbonat. I teorien kan 500 liter vann fjerne all kalk fra 1 kg sement. Imidlertid må kalkinnhold i vann måles for å kartlegge hvilke mengder kalk som fjernes ved enkeltlekkasjer (Grøner, 1991).

Betongens vanngjennomgang avhenger av dens permeabilitet. Vanntett betong vil ha en langsom og ufarlig nedbrytningsprosess. På den annen side, vil porøs betong i spesielt eldre gravitasjonsdammer oppleve raskere kalkutvasking som fører til en hurtigere reduksjon av fastheten. Tidsrammen for betongens utvasking er avhengig av både permeabilitet og tykkelse. For eksempel, med en permeabilitet på 0,00001m/s, vil 20 % av kalken bli vasket ut i løpet av 30 år (Grøner, 1991).

### **Ising**

Ising på betongdammer og andre strukturer kan oppstå som et resultat av flere fenomener, som skyising, våtsnø og underkjølt regn.

Skyising også kjent som atmosfærisk ising, oppstår når skydråper, vanddamp eller nedbør fryser og legger seg lagvis på utsatte overflater. Dette fenomenet oppstår typisk i kystnære områder og eksponerte fjellpartier ved lavt skydekke, vind og temperaturer rundt 0°C. Grensene for skyising er normalt tregrensen, men kan variere på grunn av lokale strømningsforhold og skjermingseffekter.

Våtsnø er en annen årsak til ising og består delvis av smeltede snøflak som klapper og fester seg til overflaten innenfor et temperaturintervall fra +0,5°C til 2°C. Våtsnø forekommer normalt innenfor et snevert høydeintervall fra 100-200 meter over havet eller i et smalt belte innenfor kystområder.

Underkjølt regn oppstår når det er en temperaturinversjon, og nedbør i form av snø smelter i de litt høyere luftlagene, men fryser lenger ned mot bakken hvor temperaturen er under 0°C. Isen legger seg på utsatte overflater og kan føre til ising (Løkke, 2015). Dette islaget kan føre til at betongen sprekker eller skades på annen måte, spesielt når isen smelter og ekspanderer i sprekker og hulrom. Isen kan skape problemer i form av isganger og istrykk på byggverk. (T Fergus et al., 2010). Ising kan være spesielt utfordrende på betongdammer i Norge på grunn av lave temperaturer og høyt fuktighetsnivå. Ising kan utgjøre en betydelig belastning på konstruksjoner. Belastningen og isens egenskaper varierer ut fra elementer som, temperatur, porevolum og belastningens hastighet og retning. Det er vanskelig å beregne islaster, tabell 1 viser noen vanlige islaster med eksempler på maksverdier for store konstruksjoner (T Fergus et al., 2010)

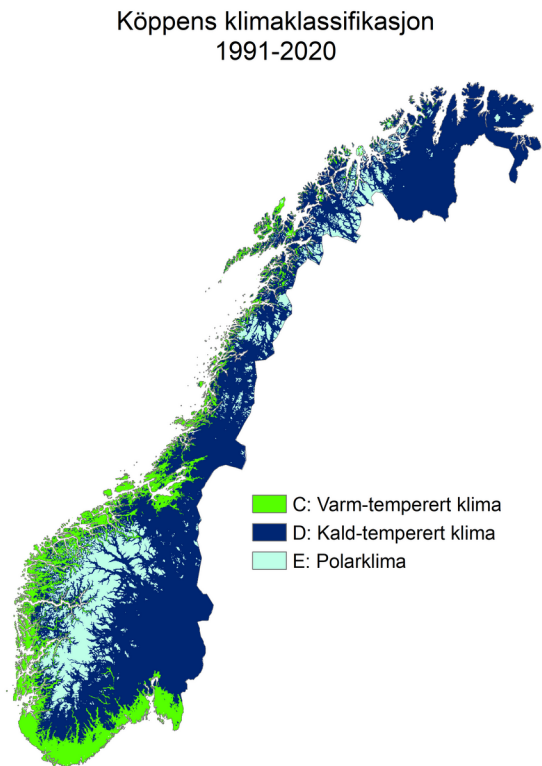
Tabell 2. Islaster basert på "Vassdragshåndboka". (Tharan Fergus et al., 2010)

Frostsprengning	~ 200 Mpa
Krefter fra is i bevegelse	> 1.000 kN/m <sup>2</sup>
Termisk ekspansjon	300 kN/m
Dynamisk last når isdekket sprekker	100 kN/m
Løftekrefter fra flytende is	1.000 kN
Påhengskrefter av isdekke	1.000 kN
Nedising fra bølgeslag	5 kN/m <sup>2</sup>
Nedising fra snø	2 kN/m <sup>2</sup>
Nedising fra atmosfæren	1 kN/m <sup>2</sup>

## 2.2 Klima

### 2.2.1 Klima i Norge

Norge er et langstrakt land som ligger langt mot nord. Landet er preget av et variert klima på grunn av sin store størrelse og geografiske mangfold. Store fjell, dype daler og lange, dype fjorder er elementer som er karakteristisk for Norge og som i stor grad påvirker klimaet. På grunn av de høye fjellene vil den indre delen av landet preges av et langt mer kontinentalt klima enn den nordlige plasseringen skulle tilsi. Høye fjell langs kysten skjermer og har på denne måten en påvirkning på både vindmønstre, nedbørsfordeling og temperatur. I tillegg er kysten av Norge påvirket av den varme nordatlantiske strømmen som resulterer i milde vintre og kjølige somre (Mamen, 2021). I følge Köppens klimaklassifisering som er utarbeidet av den tyske meteorologen Wladimir Köppen og baserer seg på normalperioden 1961-1990, deles klimasonene inn i fem hovedgrupper, A, B, C, D og E (Mamen, 2021). Köppens klimaklassifisering er den mest brukte metoden for å dele jorda inn i klimasoner. Norges deles inn i tre av de totalt fem klimasonene, C: varm-temperert klima langs kysten, D: Kald-temperert klima og E: Polarklima, se figur under (Kvande et al., 2021). Landet er preget av store geografiske forskjeller som resulterer i store variasjoner i både temperatur og solinnstråling. Derfor er det særlig viktig med tydelige og lokale krav og retningslinjer.



Figur 5. Köppens klimaklassifisering 1991-2020 (Mamen, 2021)

## 2.2.2 Klimaendringer

Det må skilles mellom klima og vær. Været er det som kan observeres og oppleves ute av vind, nedbør og temperatur på et gitt sted ved et gitt tidspunkt. Med klima og klimaendringer menes de langsiktige endringene i temperatur, nedbør, vindmønstre og klima som skjer over lengre perioder. Ofte representert over en 30 årsperiode. Klimaet kan enten beskrives som middelverdier eller ekstremverdier av temperatur og nedbør. Det er ikke mulig å se endringene i klimaet fra dag til dag, derfor må det utføres målinger over flere tiår for å skjønne hvilke endringer som skjer med klimaet. Klimaet på jordkloden har og vil alltid være i en viss endring som følge av fysiske årsaker. Regelmessige målinger utført i løpet av de siste 100 år viser at klimaet faktisk har endret seg (Sambandet, 2018). Ifølge FNs klimapanel har derimot klimaet i løpet av de siste 30-40 årene endret seg raskere enn det naturlige årsaker alene kan forklare. Å spå klima i fremtiden er ingen enkel oppgave. Det er umulig å forutsi nøyaktig hva utfallet for det fremtidige klimaet vil være. Ved hjelp av avanserte klimamodeller som baserer seg på matematiske formler er det derimot mulig å beskrive noen av de fysiske prosessene som påvirker verdensklimaet. Imidlertid er det enkelte deler av klimasystemet som fortsatt er vanskelig å beskrive. Som for eksempel skyer og partikler i luften. FNs klimapanel har kommet frem til at klimagassutslipp fra menneskelig aktivitet svært sannsynlig er hovedårsaken til den globale oppvarmingen. For å beregne hvordan menneskelige aktiviteter vil påvirke klimaet i fremtiden må det gjøres flere antakelser. Blant annet på hvordan omfanget for urensende aktiviteter vil se ut i fremtiden. Disse utslippene vil i forskning regnes som ekstra klimabelastning på atmosfæren i tillegg til naturlige årsaker. (Hanssen-Bauer et al., 2009). Beregninger om fremtidig klima er belemret med stor usikkerhet, men det er fortsatt et godt hjelpemiddel for å få et tydelig bilde av hvordan klimaet i fremtiden vil se ut. Dersom klimagassutslippene i like stor grad fortsetter å øke spår klimaforskningen blant annet følgende endringer i klima i Norge fra perioden 1971-2000 til 2071-2100:

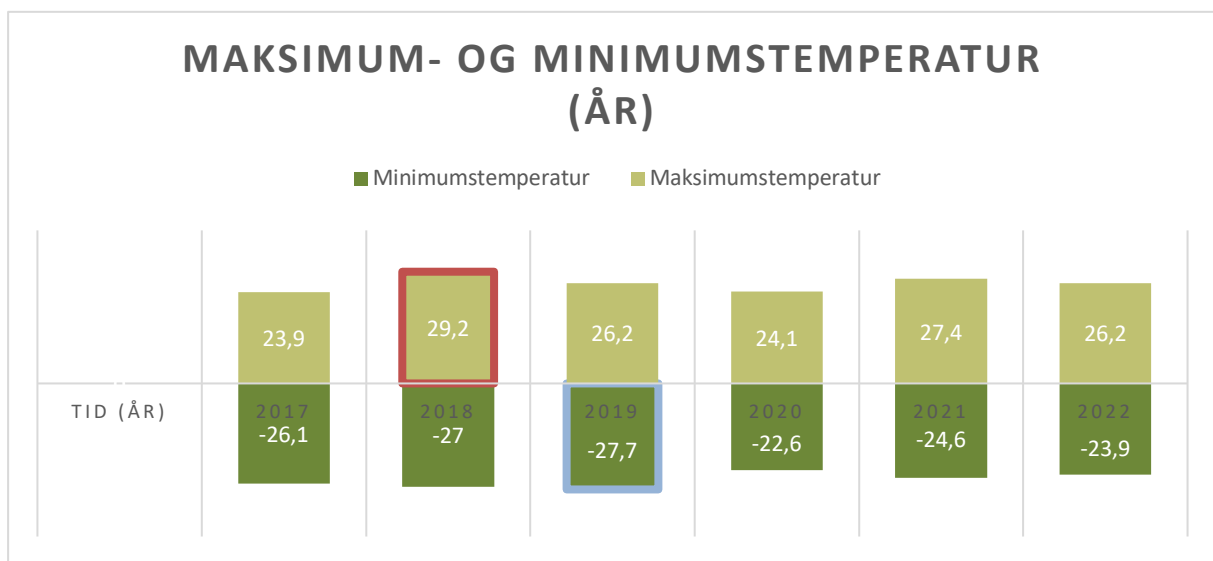
Tabell 3. Middelverdier og ekstremverdier for endring i klima 1972-2000 til 2071-2100 (klimaservicesenter, 2022)

Middelverdier	Ekstremverdier
<ul style="list-style-type: none"><li>• Årstemperatur: Økning på 4,5°C</li><li>• Årsnedbør: Økning på 18%</li><li>• Snømengder: Større snømengder på høyfjellet, mindre mengder i lavlandet.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Regn: Styrregnperioder vil forekomme hyppigere og kraftigere.</li><li>• Snø: snøsmelteflommer vil bli færre.</li><li>• Isbre: Isbreer blir mindre, og flere breer forsvinner som følge av smelting.</li></ul>

Den største økningen når det gjelder nedbør vil forekomme i vinterhalvåret og det har blitt registrert en økning i gjennomsnittstemperaturen i Norge på 1°C siden 1900-tallet. I tillegg er det forventet en temperaturøkning på cirka 5°C for vinteren og 4,5°C for sommeren. I det samme tidsrommet er det registrert en økning i nedbørsmengde på 20%. Størst økning er det i vinterhalvåret noe som resulterer i tidligere vår og lengre høst. (klimaservicesenter, 2022)

### 2.2.3 Lokalklima

Nordland fylke kjennetegnes av et klima med en relativt mild og nedbørrik kyst, med lav årsnedbør og lave temperaturer vinterstid i indre dalstrøk. Årsnedbøren varierer fra under 1000 mm i Saltdal til over 3000mm i vestlige deler, og vinterstid kan polare lavtrykk gi rask vindøkning og kraftig snønedbør i ytre strøk. Klimaet på Nygård, der Jernvassdammen befinner seg, er preget av lange og kalde vintre og korte og kjølige somre. Den gjennomsnittlige temperaturen ligger på rundt 0,3 °C. Temperaturen i området kan synke helt ned til -20°C og enda lavere. Tabellen under viser maksimum og minimumstemperaturer for Bjørnfjell stasjon SN84900, målt i en 5 årsperiode fra 2017 til 2022. Høyeste temperatur i området er målt 29,2 °C og laveste temperatur er målt -27,7°C. Den gjennomsnittlige målte snødybden er 34,2cm. I luftlinje har målepunktet en avstand på 12.783 km fra Jernvassdammen.



Figur 6. Maksimum og minimumstemperatur basert på tall hentet fra Norsk klimaservicesenter (Norsk klimaservicesenter, u.år-a)

### 2.2.4 Klimaets betydning for betongdammer

Klimaendringer har en betydelig innvirkning på betongdammer, og deres potensielle effekter på konstruksjonens levetid og integritet må nøye vurderes (Hanssen-Bauer et al., 2009). Endringer i nedbørsmønstre, temperatur, frost- og tineprosesser, samt ekstreme værhendelser, kan forårsake ytterligere påkjenninger på betongkonstruksjoner (Norsk klimaservicesenter, 2022). Dette kan resultere i akselerert aldring og økt risiko for skader som avskalinger, forvitringsskader og kalkutslag. I følge (Hanssen-Bauer et al., 2009), vil klimaendringene i Norge føre til en økning i gjennomsnittstemperaturen, mer nedbør og hyppigere ekstreme værhendelser som flom og tørke. Dette kan ha konsekvenser for betongdammer, spesielt i områder som allerede er utsatt for tøffe klimatiske forhold, som Nordland fylke (Norsk klimaservicesenter, 2022). Økt nedbør og flomrisiko kan legge ytterligere belastning på damkonstruksjonene, og økt temperatur kan påvirke tørking og fuktighetsbalanse i betongen (Wang et al., 2010). Frost- og tineprosesser er spesielt kritiske for betongdammer, ettersom de kan forårsake avskalinger og forvitringsskader.

Klimaet spiller en betydelig rolle når det kommer til planlegging av utbedringer for fremtiden. Forskning og prognoser spår større mengder nedbør, mer ekstremt vær, hyppigere væromslag, høyere temperaturer, oftere og større regnflommer samt mer snø i høyfjellet (Hanssen-Bauer et al.,

2009). Disse faktorene vil sannsynlig skape mer krevende forhold for betongdammer i fremtiden sammenlignet med i dag, noe som kan betraktes som alvorlig og bør overvåkes i tiden fremover.

## 2.2.5 Sol og mørketid

I områder nært jordens poler, slik som Nygård i Narvik, opptrer det to divergerende fenomener som kalles mørketid og midnattssol.

Mørketiden defineres som en periode av året da sola går under horisonten i løpet av en hel dag. Denne perioden varer fra starten av desember (6. desember) til starten av januar (6.januar) (Timeanddate, u.år). I dette tidsaspektet vil det nødvendigvis ikke være helt mørkt hele dagen. Det forekommer et mørke som kalles tussmørke som er en fellesbetegnelse på overgangen mellom natt og dag og motsatt. Det er også kjent som demring ved morgengry og skumring i det natten starter (Ringnes, 2020)

Under midnattssolperioden er solen over horisonten hele døgnet (leksikon, 2018). Det vil si at det er lyst hele døgnet. Hvor lenge midnattssolperiodene øker fra polarsirkelen mot polen. For Nygård starter perioden i slutten av mai og varer til rundt midten av juli (Timeanddate, u.år).

I forbindelse med implementering av BIPV på klimaskjermen på Jernvassdammen er det viktig å vurdere de unike klimatiske forholdene som kan påvirke effekten til solceller. De nordligste strøkene har tidligere vært vurdert som lite lønnsomme når det gjelder produksjon av solenergi. Dette kommer av at vintermånedene, hvor det er størst behov for elektrisitet, er preget av mørketid og lite solinnslipp. Samtidig som dette er et faktum, er det interessant å utforske solinnslipp i periodene med midnattssol og sol kombinert med snørefleksjon. Studier viser at det nødvendigvis ikke er mindre solinnslipp i de nordlige strøkene når det årlige solinnslippet er tatt i betraktning. Ifølge teknisk ukeblad er beregnet solinnstrålingen for et solcelle-anlegg i Arktis, på samme nivå som for et solcelle-anlegg i München (Nilsen, 2016). Det har vist seg å være viktigere å fokusere på optimal vinkling og orientering tilpasset det spesifikke stedet.

## 2.2.6 Klima på Nygård

Målinger utført på Bjørnfjell viser at middeltemperaturen for juli måned, som er årets varmeste måned på Bjørnfjell, er 11,8 °C (Norsk klimaservicesenter, u.år-a). Gitt klimaparameterne for Nygård og regionale forhold, kan Köppens klimaklassifisering brukes til å kategorisere dette området. Klassifiseringen er basert på flere kriterier, blant annet middeltemperaturer og nedbørsmønstre. Med en middeltemperatur på 11,8 °C i årets varmeste måned (juli) og det beskrevne klimaet i området, kan Nygård klassifiseres som et kaldt havklima

(hovedklassifisering C) med et fuktig kontinentalt klima, undertype (underklassifisering Dfb) i følge Köppens klimaklassifisering. (Mamen, 2021). Det er viktig å merke seg at klimaforholdene på Nygård og omkringliggende områder kan variere betydelig på grunn av lokale og regionale faktorer. Köppens klimaklassifisering gir et generelt rammeverk for å forstå klimaet i et gitt område, men det er også nødvendig å ta hensyn til lokale variasjoner og spesifikke klimatiske forhold som kan påvirke det aktuelle stedet. Videre er klimaet dynamisk og kan endre seg over tid som følge av naturlige svingninger og menneskeskapte påvirkninger. Derfor bør klimadata og klassifiseringer oppdateres regelmessig for å gi en nøyaktig og relevant beskrivelse av klimaforholdene i et bestemt område.



Figur 7. Köppens klimaklassifikasjon 1991-2020 (Mamen, 2021)



Nygård kraftverk kan med dette klassifiseres som et kaldt havklima med hovedklassifisering C, med et fuktig kontinentalt klima undertype, underklassifisering Dfb i henhold til Köppens klimaklassifisering (Mamen, 2021).

## 2.3 Lover og regler

### 2.3.1 Krav og regler for betongdammer

Jernvassdammen er en betongdam av typen gravitasjonsdam, også kalt massivdam. Det betyr at dammen står imot vanntrykk med egen vekt. Regelverk rundt dammer har vært endret over tid. Dagens gjeldende forskrift er «Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg» (damsikkerhetsforskriften). Det er også en gjeldende veiledning til denne forskriften av 2014/3. Begrunnelse for dette finnes i forskriftens forklaring til § 1-4 Virkeområde (Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften), 2010).

### 2.3.2 Virkeområde

Forskriften gjelder for alle typer dammer, også dammer med vannforsyningsformål. For lukkede vannveier som leder vann under trykk er ordlyden innskrenket til å gjelde vannveier i tilknytning til kraftproduksjon. Rør og ledninger knyttet til vannforsyning faller dermed utenom lovens virkeområde, jf. §1-3 i veileder til damsikkerhetsforskriften. Drikkevannsforskriften regulerer rør og ledningsnett for vannforsyningsformål (Forskrift om vannforsyning og drikkevann (drikkevannsforskriften), 2017).

Slik det fremkommer her er alle typer dammer underlagt denne forskriften, også til vannforsyningsformål. For lukkede vannveier som leder vann under trykk, gjelder forskriften bare vannveier i tilknytning til kraftproduksjonen. Tidligere forskrift vedrørende dammer var fra 2001. Forskriften fra 2001 ble erstattet av den nye forskriften i 2010. En av de største endringene i ny forskrift, var at uttrykket «konsekvensklasser» ble innført med damsikkerhetsforskriften. Alle vassdragsanlegg som omfattes av damsikkerhetsforskriften skal plasseres i en av fem konsekvensklasser (Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften), 2010).

### 2.3.3 Klassifisering

§ 4.1 Damforskriften omhandler klassifisering og hvem om gjør det. Alle vassdragsanlegg skal klassifiseres i en av fem konsekvensklasser. Det fremkommer fra § 4.1 at det er de ansvarlige for anlegget som skal vurdere anlegget og omgivelsene og fremme et begrunnet forslag om konsekvensklasse, og det er NVE som fatter vedtak om konsekvensklasse (Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften), 2010).

## 2.3.4 Klassifiseringskriteriene

Videre er det inntatt i damforskriftens § 4.2 med tabell 4-2.1 kriteriene som blir lagt til grunn for plassering av konsekvensklasse.

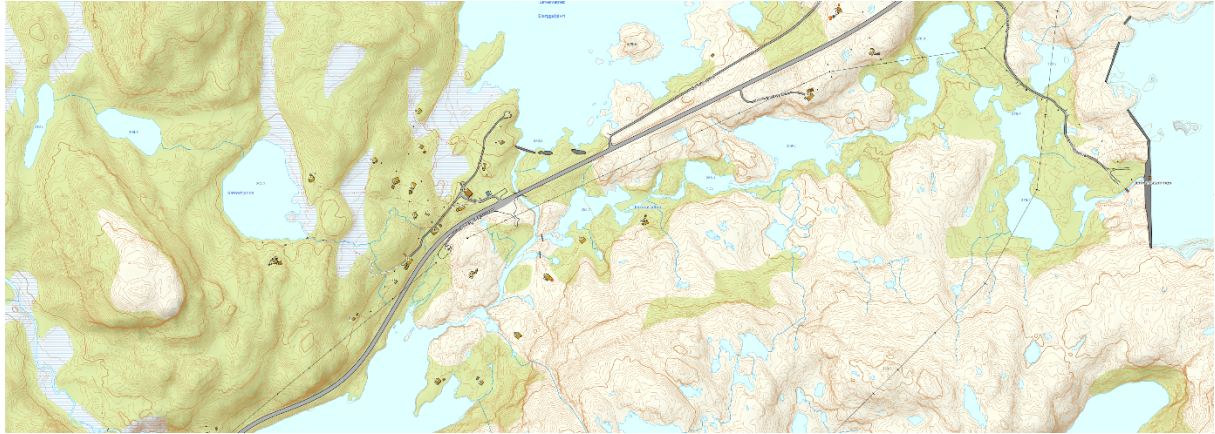
Konsekvens-klasse	Boenheter	Infrastruktur, samfunnsfunksjoner	Miljø og eiendom
4	> 150		
3	21-150	Skade på sterkt trafikkert veg eller jernbane, eller annen infrastruktur, med spesielt stor betydning for liv og helse	Stor skade på spesielt viktige miljøverdier eller spesielt stor skade på fremmed eiendom
2	1 – 20	Skader på middels trafikkert veg eller jernbane eller annen infrastruktur med stor betydning for liv og helse.	Stor skade på viktige miljøverdier eller stor skade på fremmed eiendom
1	Midlertidig oppholdssted tilsvarende < 1 permanent boenhet	Skader på mindre trafikkert veg eller annen infrastruktur med betydning for liv og helse	Skade på miljøverdier eller fremmed eiendom

Figur 8. Klassifiseringskriteriene, (Forskrift om sikkerhet ved vassdragsnalegg (damsikkerhetsforskriften), 2010)

Ifølge veilederen til forskriftens §4-1 skal det:

*«Ved ny etablering av vassdragsanlegg eller som har betydning for vassdragsanleggets konstruksjon eller funksjon skal følge vassdragsanleggets konsekvensklasse. Søknad om konsesjon vil ikke bli behandlet dersom forslag til konsekvensklasse ikke følger søknaden.» (Forskrift om sikkerhet ved vassdragsnalegg (damsikkerhetsforskriften), 2010)*

Jernvassdammen ble bygget før denne forskriften ble vedtatt. Forskriften er likevel gjeldene for eksisterende dammer, og fastsettelse av konsekvensklasse har stor betydning for hensyn og regelverk en må ivareta ved bygging og drift av anlegget. Energi Norge fikk i 2016 en rapport med tittelen «Damsikkerhet i et helhetlig perspektiv- fremtidige oppdragsbehov av dammer». Denne rapporten ble utarbeidet av Sweco. Rapporten kartlegger at Jernvatnet sidedam I, I og III ble rehabilitert i 2013. Dameier er Nordkraft Produksjon AS, og alle dammene var satt i konsekvensklasse 1. Dette valget relateres nok tabell vist i figur 7, der klassifiseringskriteriet «Boenheter» oppgir konsekvensklasse 1 for: «Midlertidig oppholdssted tilsvarende mindre 1 permanent boenhet. Det er ingen boliger i området. Ut fra kartdata fra Narvik kommune, er det registrert 9 hytter mellom E10 og Jernvasselva, som går i utløp fra dammen i Nedre Jernvatnet. Videre er det registrert 3 hytter tilknyttet Sætervatnet, som Jernvasselva utløper i. Det betyr at det muligens er 12 hytter som kan bli berørt av et eventuelt dambrudd i Jernvassdammen. Forskriften bruker kriteriet «boenheter» for å sette konsekvensklasse. I «veilederen til damsikkerhetsforskriften 3/2024», er det vist omregningsfaktorer for andre typer bygg enn boliger, tilsvarende omgjort til boenheter (Forskrift om sikkerhet ved vassdragsnalegg (damsikkerhetsforskriften), 2010).



Figur 9. Oversikt over nærliggende bebyggelse, (Norgeskart, U.år)

For hytter viser veilederen § 4.5.1. «Boliger og andre bygninger» i tabell, at beregninger av hytter er oppholdstiden i % av året 8, ut fra 30 dager per år, 24 t/d. Antall beboere regnes i boenhet med 2,2 per boenhet; som gir oppholdstid antall mennesker /2,2:

Følgende utregning for hytter, blir da:

$$\frac{(0,08 * 2,2)}{2,2} = 0,08$$

Som gir utregnet boenhet for 1 hytte til 0,08. Med utgangspunkt i 12 hytter, gir dette  $12 * 0,08 = 0,96$  boenheter i området. Dette er marginalt under kravet til tiltaksklasse 2, som setter krav om konsekvensklasse 2 ved boenheter som kan bli berørt mellom 1-20. Bestemmelser i damsikkerhetsforskriften viser ulike krav avhengig av anleggets konsekvensklasse. Det er foretatt en kortfattet systematisk opplisting av paragrafer som har ulike krav avhengig av konsekvensklassen. Ulike krav kan også forekomme i NVEs veiledninger og praksis. Dette er ikke behandlet i notatet (Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften), 2010).

## 2.4 Tilsyn av betongdammer

For høye dammer er det viktig å vurdere etablering av inspeksjonskallerier som det fremheves i damsikkerhetsforskriften § 5-6, som handler om utforming og tilgang. Forskriften understreker at det skal legges til rette for nødvendig adgang for tilsyn, drift og vedlikehold. Det er flere sentrale punkter i dette kapitlet av damsikkerhetsforskriften som er verdt å merke seg. For det første, § 5-14, omhandler stenge- og tappeorganer, og fastslår at disse organene skal ha tilfredsstillende funksjonsegenskaper under alle forutsetninger for åpning og vannstander. Funksjonalitet og vern skal testes minst ved hvert hovedtilsyn, i henhold til et program tilpasset stenge- og trappeorganets funksjon og driftsforhold. Det er også spesifisert at disse organene skal ha tilgang for tilsyn og vedlikehold. Videre, § 5-15, angir at rør og tverrslagsporter samt tilhørende komponenter skal ha tilgang for tilsyn og vedlikehold. I tillegg gjentar § 5-6 betydningen av tilgang og presiserer at kravet om tilgang gjelder både selve vassdragsanlegget og det omkringliggende området, nødvendig for å utføre tilfredsstillende tilsyn, drift og vedlikehold (Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften), 2010).

I forbindelse med revidering av internkontrollsystemet er det viktig å fokusere spesielt på forhold som kan påvirkes av klimaendringer, slik som økt erosjon og rasfare, samt begroing/gjengroing av tørrlagte elveløp/flomløp. Dette blir fremhevet i «Forskrift om internkontroll for å oppfylle lov om vassdrag og grunnvann 2003» som understreker betydningen av disse aspektene (Forskrift om internkontroll for å oppfylle lov om vassdrag og grunnvann, 2003).

### 2.4.1 Miljøtilsyn

Ved bygging, drift og vedlikehold av vassdrags- og energianlegg er det påkrevd at dam-eieren følger gjeldende lover og forskrifter. Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) er ansvarlig for å overvåke at dette blir utført korrekt. I startfasen av en vassdrags- og energilagingsutbygging må NVE gi konsesjon for tiltaket. Konsesjonen tar sikte på å ivareta miljø- og samfunnsinteresser så langt det er mulig. For Jernvassdammen har konsesjon allerede blitt gitt, og anlegget er ferdig utbygd. Derfor er det viktig å ha et godt og velfungerende operativt internkontrollsystem. Dette systemet skal sikre at det etableres rutiner for planlegging og gjennomføring av tiltak i henhold til utarbeidede handlingsplaner. I tillegg skal internkontrollsystemet sikre og fremme kontinuerlig forbedringsarbeid i virksomheten.

I forbindelse med revidering av internkontrollsystemet er det spesielt viktig å fokusere på forhold som påvirkes av klimaendringer, som for eksempel økt erosjon- og rasfare samt begroing/gjengroing av tørrlagte elveløp/flomløp. Nedenfor refereres det til et utdrag fra «Forskrift om internkontroll for å oppfylle lov om vassdrag og grunnvann av 2003» (grunnvann., 2003):

*«§4. Internkontroll*

*8) Kartlegge særlige problemområder som kan oppstå i forhold til naturmiljø og landskap, kulturmiljø og kulturminner under planlegging, bygging og drift av vassdragsanlegg/grunnvannstiltak» (grunnvann., 2003).*

Virksomheten skal følge punkt §4 punkt 1-10 for internkontroll (grunnvann., 2003). Dersom etablering av klimaskjerm med bygningsintegreerte solceller på Jernvassdammen blir realisert, vil det være avgjørende å sikre at dette systemet fungerer i henhold til planen. Dette vil kreve en nøye oppfølging av internkontrollen. Punkt 8 i interkontrollforskriften blir spesielt relevant i denne sammenheng, da det understreker behovet for å vurdere og håndtere eventuelle negative konsekvenser (grunnvann., 2003). Dette kan inkludere refleksjon av sollys på omkringliggende bebyggelse og potensielle effekter på det lokale fuglelivet. Skulle det oppstå negative konsekvenser, vil det være nødvendig å vurdere og potensielt implementere kompensierende tiltak for å motvirke disse effektene.

## 2.5 Klimaskjerm

### 2.5.1 Definisjon av klimaskjerming og dens funksjoner

Klimaskjerm kan ifølge (Dokka & Grini, 2013) defineres på følgende måte:

*«Klimaskjerm er primære bygningsdeler etter NS 3451 som beskytter oppvarmet bruksareal mot utvendig klima»*

Dette vil si at bygningens ytre skall på tak, vegger og gulv er definert som klimaskjerm. Videre er begrepet klimaskjerm omhandlet i kapittel 14 i TEK 17 med veileder, som omhandler energi (forskrift, 2017).

*«4) For bygning eller del av en bygning som skal holde lav innetemperatur, gjelder ikke energikravene dersom energibehovet holdes på et forsvarlig nivå»*

Dette kapitlet gjelder generelt for bygninger med bruksareal, og der man skal bevare størst mulig grad den eksisterende innetemperatur slik at den ikke slipper ut i for stor grad. I tilfellet Jernvassdammen er det tenkt en konstruksjonsløsning som innebærer oppbygging av et ytre skall bestående av solcellepaneler. Formålet med dette designet er å skape et temperaturkontrollert areal mellom damkronen og det solcelledekkede ytre skallet. Dette er særlig relevant under kalde forhold, da opprettholdelse av en viss temperatur i dette mellomrommet kan bidra til å beskytte dammens struktur mot frostskafer. Frostsprengning, som er en konsekvens av vann som fryser og utvider seg i dammens struktur, kan føre til betydelige skader og svekkelser. Dermed er den foreslåtte løsningen med solcellepaneler ikke bare en måte å generere fornybar energi på, men også et potensielt tiltak for å forbedre dammens holdbarhet under kalde klimaforhold.

*«Bestemmelser gjelder for bygninger der tilsiktet temperaturer er under 15°C i oppvarmings sesongen, som for eksempel lagerhaller, idrettsbygninger, lokaler for fysisk arbeid, skipsverft, fiskeforedlingsbedrifter, slakterilokaler, sagbruks- og høvleribedrifter. Det aktuelle arealet (bygningen eller en del av bygningen) som skal holde lav temperatur, skal innsettes slik at transmisjonsvarmetapet ved aktuell innetemperatur ikke blir større enn det som tillates i en fullt oppvarmet og fullisolert bygning jfr. § 14-2 (forskrift, 2017). Isolasjonsstandarden kan i slike tilfeller bestemmes ved en enkel beregning som omfatter U-verdier og temperaturdifferanser (forskrift, 2017)»*

En bør derfor i planleggingsfasen gjøre en enkel beregning med hensyn på U-verdier og temperaturdifferanser fra eventuell oppvarmet areal i areal mellom dam og klimaskjerm.

### 2.5.2 Betongkonstruksjoner og deres egenskaper

Betong er et av de vanligste og viktigste byggematerialene som brukes i konstruksjoner over hele verden, som blant annet broer, kaier, bygninger, prefabrikkerte betongelementer og dammer. (Thue, 2019). Materialet består av en blanding av sement, vann, sand og stein, og kan støpes i ulike former og størrelser. En av fordelene med betong er at betong kan være motstandsdyktig mot brann og råte. Betong tåler fukt i motsetning til andre organiske materialer. Dette gjør betong til et attraktivt materiale for bygninger, broer og andre infrastrukturer der sikkerhet og holdbarhet er avgjørende. Spesielt for konstruksjoner som er særlig utsatt for fukt i lengre perioder, for eksempel, dammer. Betong har også en høy innebygget varmekapasitet, som betyr at den kan lagre og holde på overskuddsvarme over lengre tid enn andre materialer som tre eller stål. Imidlertid er det noen ulemper med bygging med betong. Betong er et tungt materiale og kan derfor være vanskelig å håndtere og transportere, spesielt over lengre avstander. I tillegg er betong et porøst materiale og

har ofte lav motstand mot frost og korrosjon. Dette kan føre til sprekker og andre skader over tid, noe som igjen kan redusere betongens styrke og holdbarhet (Norge, 2023).

### 2.5.3 Trekonstruksjoner og deres egenskaper

Tre har blitt brukt som materiale i byggeprosjekter i mange tusen år på grunn av materialets tilgjengelighet, estetiske uttrykk og holdbarhet. I de nordiske land har det vært en lang tradisjon for bruk av tre, hovedsakelig bartrær som konstruksjonsmateriale for ulike typer bygninger, inkludert bolighus og andre relevante konstruksjoner. Dette har vært tilfellet til tross for at de lokale treslagene generelt ikke har vært ansett som særlig holdbare. I Norge har bartrær, spesielt gran tradisjonelt vært benyttet som utvendig kledning. I løpet av de siste tiårene har det vært en fornyet interesse for bruk av ubehandlet tre og alternative treslag som fasadematerialer. Denne økte interessen kan delvis tilskrives arkitektens engasjement, samt påvist miljømessige og klimatiske fordeler knyttet til bruk av tre. Når det brukes korrekt, er tremateriale blant de mest bærekraftige materialene tilgjengelig. De er produsert av en fornybar ressurs, representerer et rent materiale og kan være svært holdbart når det benyttes på riktig måte (Gobakken et al., 2014).

Trematerialer fungerer også som et karbonlager, og deres bærekraftige egenskaper forsterkes desto lenger de er i bruk og desto flere ganger de kan gjenbrukes. Denne pågående utviklingen viser betydningen av å utnytte trematerialenes potensial i byggeprosjekter for å oppnå bærekraftige og miljøvennlige løsninger. En av hovedutfordringene knyttet til prosjektering og bruk av tre er å sikre forutsigbarhet og dokumentasjon av levetiden for de trematerialene som benyttes i prosjekter. Flere av de aktuelle tre- og trebaserte materialene har uavklart levetid, og det mangler kunnskap og erfaring om optimal bruk av nye trematerialer. Imidlertid har ny teknologi som impregnering, overflatebehandlingsmetoder og konstruksjonsteknologi gjort det mulig å bruke trematerialer på områder som tidligere var umulig på grunn råte og andre skader fra ytre påvirkninger. Ifølge (ISO, 2011) defineres levetid som den tiden etter oppfølging der bygningen eller bygningsdelene møter kravene til ytelse, for eksempel ved estetiske hensyn. Levetiden anses som avsluttet når en kritisk egenskap ikke lenger oppfyller kravene til ytelse, som for eksempel fare for å trække gjennom et terrassegulv på grunn av råte/sopp-skader. For å forlenge levetiden på treverk benyttes ulike teknikker, inkludert utnyttelse av variasjonen i trevirkets naturlige holdbarhet, konstruktiv trebeskyttelse (design for optimal holdbarhet), kjemisk eller termisk trebeskyttelse og overflatebehandling. Dette bidrar til å fremme bærekraftig og langvarig bruk av trematerialer i byggeprosjekter (Lee & Nørve, 2021).

I rapporten fra Norsk institutt for skog og landskap refereres det til en analyse basert på omfattende feltstudier i Norge, gjennomgang av relevant litteratur og eksperter erfaringer (Gobakken et al., 2014). Dette har ført til utarbeidelsen av en tabell for levetid (i år) for et utvalg av trematerialer i ulike utendørs bruksområder i Norge, forutsatt behandling med ulike beskyttelsessystemer. Et relevant utdrag fra rapporten viser at furu kjerneved, gran a, gran b, gran c, sitka gran og lerk alle har en levetid på 60 år som kledning. Imidlertid er levetiden for furu yteved kun 15 år som kledning. Alle disse trematerialene reduserer levetiden med omtrent 5 år ved jordkontakt. Ifølge Calkins forventes bygninger og plasser som bygges i dag å ha en levetid på mellom 30-50 år, mens et betongdekket er beregnet til å vare rundt 30 år, men ofte kortere i realiteten (Calkins, 2008). Til sammenligning produserer solcelleanlegg strøm i minst 30 år (Solenergiforening, 2012). En ulempe med trekonstruksjoner er at de er mer brennbare, krever mer vedlikehold og har lavere styrke enn materialer som stål og betong. Til tross for disse utfordringene er det viktig å vurdere de potensielle miljømessige bærekraftige fordelene ved å bruke trematerialer i byggeprosjekter.

## 2.6 Solcelle

Sollyset utgjør en enorm energiressurs, hvor mengden energi som når jordoverflaten fra solen på et år er mer enn 10 000 ganger større enn all annen energi som i dag som hentes fra andre kilder til sammen (Reenaas et al., 2010). Solceller er en av teknologiene som kan utnytte denne ressursen ved å omdanne sollys direkte til elektrisk energi, og de ansees derfor som en lovende teknologi som kan bidra til en betydelig andel av fremtidens globale strømproduksjon. Imidlertid har solcelleindustrien møtt utfordringer de siste årene hvor høye kostnader for solcellestrøm har vært en vesentlig hindring for utbredt bruk (Reenaas et al., 2010).

### 2.6.1 Solcelle enkelt forklart

Solceller fungerer ved å konvertere solenergi til elektrisk energi ved hjelp av halvledende materialer. En typisk solcelle består av en halvleder skive som er belagt med elektroder på oversiden og undersiden. Solcellen fungerer ved at fotoner fra sollyset absorberes av valenselektronene i halvledermaterialet. Når fotonene overfører sin energi til elektronene i valensbåndet, blir elektronene løsrevet fra sin plass og «hopper opp» i ledningsbåndet. Energimessig har elektronet nå beveget seg fra valensbåndet til ledningsbåndet og har blitt et ledningselektron. For at et foton skal kunne bli absorbert, må det ha en energi som er større enn båndgapet i halvlederen. Når elektronet befinner seg i ledningsbåndet, kan det bevege seg lettere rundt i halvlederen og generere elektrisk strøm (Reenaas et al., 2010). Når et elektron blir revet løs fra sin plass i valensbåndet, blir det igjen en tom elektrontilstand i valensbåndet. Andre valenselektroner kan nå fylle denne ledige plassen, og etterlate seg en annen tom plass som beveger seg mot elektronstrømmen. Dette bidrar til strømmen i solcellen. For å studere bevegelsen av tomrommet i halvlederen, innfører man en virtuell partikkel kalt hull, som har motsatt ladning av et elektron og beveger seg i motsatt retning av elektronet i et elektrisk felt (Reenaas et al., 2010).

### 2.6.2 Solcellepaneler og integrasjon i bygninger

Integrasjon av solcellepaneler i klimaskjermingen kan bidra til å produsere elektrisitet og redusere energiforbruk i konstruksjoner. Solcellepanelene kan monteres på taket eller veggene på bygningen og kan ha ulike utforminger og funksjoner, avhengig av konstruksjonens behov og ønskede estetikk (Kvande et al., 2021). Det finnes ulike typer solcellepaneler som kan integreres i klimaskjermen, inkludert krystallinske og tynnfilmpaneler. Krystallinske paneler er vanligvis laget av silisium og har høyere effektivitet, mens tynnfilmplater kan produseres i forskjellige former og størrelser i tillegg har de lavere kostnad (Kvande et al., 2021). For å velge riktig type solceller må både ønsket energiproduksjon og estetikk for bygningen vurderes. Solcellepanelene kan ha ulike utforminger og funksjoner. De kan blant annet være transparente eller ugjennomsiktige og de kan utformes med ulike farger og mønstre for å matche bygningens utseende. Solcellepanelene kan også ha ulike funksjoner, som å gi skygge og beskyttelse mot sollys og samtidig produsere elektrisitet, eller absorbere varme og produsere varmtvann (Kvande et al., 2021).

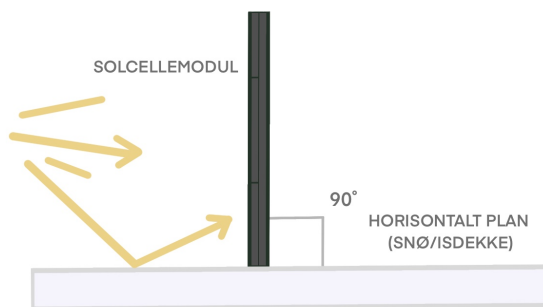
For å oppnå en vellykket integrasjon av solcellepaneler i klimaskjermen er det viktig å ta hensyn til flere faktorer, som konstruksjonens plassering, eksponering for ytre påvirkninger, energibehov og ønsket utseende. Det er også viktig å vurdere solcellepanelenes ytelse, effektivitet og holdbarhet for å sikre en optimal løsning for konstruksjonen (Kvande et al., 2021).

Ved å integrere solcellepaneler i klimaskjermen kan bygningen redusere energikostnadene i tillegg regnes solenergi som en fornybar energikilde og kan på den måten bidra til å begrense klimaendringene. Solcellepanelene kan også bidra til å øke bygningens energieffektivitet og bærekraftighet.



### 2.6.3 Solceller i kaldt klima

Solceller i kaldt klima er et tema som er lite utforsket da områder i arktisk er preget av mye ekstremvær, snø, vind, høye fjell og perioder med lite og ingen sollys. Imidlertid viser nyere forskning at solceller i kaldt klima kan være mer aktuelt en tidligere antatt. Temperatur på solcellepaneler har stor påvirkning på effektiviteten av solcellene (Mussard, 2017). Under vintermånedene fungerer de kalde omgivelsene som en regulerende faktor for driftstemperaturen til solcellene, noe som øker deres spenning og dermed effektivitet. Til tross for redusert soleksponering i disse månedene, demonstrerer solceller økt effektivitet når omgivelsestemperaturen synker under  $-5^{\circ}\text{C}$  (Bruarøy & Yksnøy, 2020).



Figur 10. Illustrasjon solrefleksjon fra is og snødekke mot solceller. (Illustrert av: I.E.A. Hjallar, Mai 2023)

Til tross for potensialet solceller byr på, er det flere utfordringer knyttet til produksjon av solcelleenergi, spesielt i områder hvor snø og isdannelse er vanlig. Akkurat som skygge kan påvirke solcellenes effektivitet, vil et lag av snø eller is på panelene begrense lysinntrålingen og dermed redusere strømproduksjonene. Ethvert lag med snø, uavhengig av dens tykkelse, vil kraftig minske den potensielle energiproduksjonen om vinteren. Ved et snølag på over 10 cm vil produksjonen nærmest være null. Dersom solcellepanelene er delvis eller helt dekket av snø eller is, vil det føre til en raskere reduksjon i strømproduksjonen enn det skygge ville gjort. Tildekking av snø eller is vil kunne vedvare i lengre perioder avhengig av temperatur og vær, med mindre snøen fjernes mekanisk, noe som kan være skadelig for panelene dersom det ikke utføres med forsiktighet (Andenæs et al., 2018).

Vinterens snø- og isdekke presenterer betydelige utfordringer for effektiv drift av solcellepaneler. Samtidig er det stort potensial for solceller i kaldere strøk med optimale temperaturforhold og forsterking av innstråling i perioder med sol og snø.

### 2.6.4 Fordeler for integrering av solceller

Integrering av solceller i betongdammen kan potensielt gi en rekke fordeler. Først og fremst kan solcellepaneler bidra til å generere ren og fornybar energi, som kan benyttes til drift av damanlegget eller forsynes til det lokale strømmettet (Kvande et al., 2021). Det avhenger av hvor mye elektrisitet panelene kan produsere, som igjen avhenger av blant annet dammens størrelse og plassering. Dette kan redusere avhengigheten og bruken av fossile energikilder eller andre energikilder og bidra til en mer bærekraftig energiproduksjon. På denne måten kan BIPV bidra til å redusere damkonstruksjonens miljøavtrykk. Ved å benytte solenergi som en ren energikilde, kan potensielt CO<sub>2</sub>-utslippene og andre miljøskadelige utslipp reduseres. Dette er i tråd med de nasjonale og internasjonale målene om å redusere klimagassutslipp og fremme bærekraftig utvikling. I tilfellet Jernvassdammen har ikke betongkonstruksjonen en fungerende bygningskomponent som "kledning"

eller klimaskjerm, som skal motstå ytre miljøpåvirkninger. Jernvassdammens luftside er kun bestående av betong og har ikke noen form for beskyttelse i dag, noe dammen bærer preg av.

Solcellepaneler kan tradisjonelt monteres utenpå vegger og tak, som såkalte “utenpå monterte solcelleelementer”. Solcellepaneler kan imidlertid også monteres slik at de i tillegg har en funksjon som kledning eller taktekke på konstruksjonen. Da fungerer de som såkalte bygningsintegrerte solcelleelementer. Bygningsintegrerte solcelleelementer får altså en dobbel funksjon ved at de produserer elektrisitet og samtidig fungerer som klimaskjerm som beskytter betongkonstruksjonens luftside.

I tillegg representerer bruk av solcellepaneler på betongdammer en utnyttelse av et allerede eksisterende område der det har blitt begått et betydelig naturinngrep. Dette kan redusere ytterligere inngrep i naturen og samtidig øke energiproduksjonen fra det samme området, noe som bidrar til en mer effektiv arealbruk og en forsterket bærekraftig energiproduksjon.

### 2.6.5 Ulemper for integrering av solceller

Det er også noen ulemper og utfordringer knyttet til integrering av solceller i betongdammer. En av de viktigste utfordringene er de høye investeringskostnadene forbundet med installasjon og drift av solcelleanlegg (Kvande et al., 2021). Disse kostnadene kan være en barriere for dameier og kan gjøre det vanskelig å oppnå økonomisk bærekraft. En annen ulempe er at solcellepanelets ytelse kan bli påvirket av lokalklimatiske forhold. For eksempel kan snø, is og skitt redusere solcellepanelets effektivitet og kreve hyppig vedlikehold og rengjøring. Dette kan øke driftskostnadene og redusere lønnsomheten for solcelleanlegg i noen regioner (Østbye, 2014). Integrering av solceller kan også påvirke damkonstruksjonens estetikk og visuelle uttrykk. Solcellepanelene kan endre dammens utseende og kreve en grundig vurdering av arkitektoniske og landskapsmessige aspekter. I tillegg kan det være utfordringer knyttet til å integrere solcellepaneler i eksisterende betongdammer med tanke på tekniske løsninger. Mulig ulempe ved bygging av integrerte solcellepanel på standard bygg, er at det kan være vanskelig og kostnadsdrivende å oppfylle de byggetekniske krav som er gitt i byggeteknisk forskrift. De relevante krav for både utenpå monterte solcelleelementer og bygningsintegrerte solcelleelementer, er følgende byggetekniske krav som er gitt i byggeteknisk forskrift (Kolstad et al., 2022).

- Konstruksjonssikkerhet
- Funksikkerhet
- Sikkerhet ved brann
- Helse og miljø

Installasjon av solcelleanlegg vil gi økte laster på konstruksjonen den installeres på. Jernvassdammen er en solid konstruksjon, der det ikke antas at en må vurdere konstruksjonssikkerheten til dammen på grunn av noe større laster som blir hengt på denne. Det som må gjøres er å utføre beregninger for å ivareta innfestning på grunn av solcelleanleggets egenvekt samt vind og snølaste på solcelleanlegget. I en ordinær bygningskonstruksjon som et bygg, vil kravet om funksikkerhet bety at det må være varig tetthet i forbindelse med innfestningen av solcellepanelene. Ved montering av solcelleanlegg for eksempel på et tak er det risiko for at utetthet ved gjennomføringer fører til skader senere. I dette tilfellet ved en bakenforliggende damkonstruksjon vil det være å tilstrebe å etablere en så tett solcellekonstruksjon som mulig. Imidlertid vil fare for skader på betongkonstruksjonen være minimale ved utettheter her. Normalt skal bygningsintegrerte solcelleelementer også oppfylle tilsvarende krav som den bygningskomponenten den erstatter for å oppfylle krav slik at disse kan fungere som byggets klimaskjerm. I dette tilfellet vil solcellepanelene fungere som en ytterligere klimaskjerm i tillegg til den eksisterende og som er en godkjent klimaskjerm. Sikkerhet ved brann, vil

her være å sikre solcelleanlegget i seg selv med påhengskonstruksjonen. Helse og miljø ved bygging av anlegget må sikres i henhold til forskriftskrav.

Sammenfattende er det både fordeler og ulemper knyttet til integrering av solceller i betongdammer. Selv om solcellepaneler kan bidra til økt energiproduksjon, reduserte klimagassutslipp og mer effektiv arealbruk, må også utfordringer knyttet til investeringskostnader, driftsforhold og estetiske hensyn nøye vurderes. Ved å veie fordeler og ulemper mot hverandre er det mulig å beslutte om hvorvidt integrering av solceller er en lønnsom og bærekraftig løsning for det enkelte anlegget.

## 2.7 Strøm

### 2.7.1 Solkraftens påvirkning på nettet

Integrasjon av solenergi i det eksisterende energisystemet kan potensielt føre til kapasitetsutfordringer på det lokale kraftnettet, særlig dersom lokal kraftproduksjon konsekvent overgår det lokale forbruket. Dette scenarioet er mest relevant i områder med en høy konsentrasjon av solcelleanlegg eller større solkraftinstallasjoner. Mindre solcelleanlegg, hvor majoriteten av den årlige produserte elektrisiteten forbrukes på stedet. Mellomstore anlegg der topp solstrømproduksjon samsvarer med strømforbruk, er mindre sannsynlig å bidra til kapasitetsproblemer. I situasjoner hvor maksimalt forbruk og solstrømproduksjon sammenfaller, kan solkraft faktisk bidra til å redusere effektbehovet, og potensielt utsette behovet for lokale nettførsterkninger (Pedersen, 2017).

### 2.7.2 El-priser

Kraftprisene har i de siste årene vært svært variable. Dette ble forsterket etter at det brøt ut krig i Ukraina i 2022, og gassimporten fra Russland til Europa ble kraftig redusert. NVE utarbeidet en rapport i 2021, hvor de forsøkte å skissere en langsiktig analyse av kraftmarkedet fra 2021 til 2040, basert på en rekke forutsetninger. Rapporten tar opp forventet prisutvikling i både Europa, norden og spesielt Norge.

Videre identifiserer rapporten flere faktorer som har bidratt til høye kraftpriser nylig. Disse inkluderer langvarig kuldeperioder i vinteren 2020/2021 som førte til høyt energiforbruk både i Norge og Europa. Stigende brensel og CO<sub>2</sub>-priser som bidro til et høyere prisnivå på kontinentet – en effekt som ble forsterket av krigen i Ukraina. Og en tørr værtype som svekket den hydrologiske balansen i Norge i 2021, spesielt i Sør-Norge. Videre har forbindelsen av kraft mellom Norge, Tyskland og Storbritannia økt prisnivået, her også spesielt i Sør-Norge. Begrensninger i overføringskapasiteten mellom nord og sør i Norge, kjent som nettflaskehals, har også bidratt til store prisforskjeller internt i Norden. I Nord-Norge og har det vært stor overføring av kraft mellom Nord-Norge og Nord-Sverige, samtidig har flaskehals sør i landet sørget for at regionen stort sett har nytt godt av lave kraftpriser (Kolstad et al., 2022; Wilson & Paul, 2011).

Analysen fra NVE antyder at det fremdeles vil være prisforskjeller mellom nord og sør i Norge i fremtiden. Det antas at prisforskjellen vil være størst i starten i perioden 2021-2040, men vil gradvis avta mot 2040. Analysen indikerer også at energiprisene antas å stige frem til 2030 og så videre avta mellom 2030 og 2040.

Kraftbalansen i Nord-Norge forventes å svekkes gradvis frem til 2040, grunnet økt industrielt forbruk og elektrifisering av transportsektoren. Muligheten for å elektrifisere Melkøya har også blitt vurdert nylig, noe som vil bidra til at prisene i Nord-Norge vil nærme seg prisnivået i resten av Norden. Planlagt økt overføringskapasitet mellom nord og sør i Sverige vil også bidra til økte priser i Nord-Norge, da vi i dag overfører til Nord-Sverige, noe som vil bidra til å utjevne prisforskjellene mellom nord og sør. Det antas videre at mye av fornybar kapasiteten, som inkluderer vindkraftverk, havvind og solkraft, som blir bygget ut i Norge og Sverige etter 2030 vil bli lokalisert i de sørlige områdene. Reduserte nettbegrensninger og en styrket kraftbalanse, kombinert med utbygging av fornybar energi i Europa vil bidra til at spesielt kraftprisene i sør og vest i Norge vil være i 2040 enn i 2025 (Wilson & Paul, 2011).

Denne rapporten viser at Nord-Norge også må tenke på å styrke tilgangen her til fornybar energi. Solcellekraft fra Jernvassdammen vil gi et bidrag til dette fornybar skiftet i energisektoren.

## 3. Metode

### 3.1 PVGIS

For å estimere hvor mye elektrisitet solceller kan produsere for et gitt areal, kan Photovoltaic Geographical Information System, (PVGIS) benyttes. PVGIS er et online verktøy utviklet av Joint research Centre (JRC) og European Commission, som gir en detaljert beregning av solenergipotensialet og elektrisitetsproduksjonen fra solcellesystemer i Europa og Afrika. I dette tilfelle skal det beregnes energiproduksjonen for solceller plassert på et areal 2394 m<sup>2</sup> på Nygård i Narvik kommune. Solcellene er planlagt å fungere som en klimaskjerm for Jernvassdammen og solcellene vil være vestvendt. For å benytte PVGIS, må det angis koordinater og lokasjonen, solcellepanelenes orientering og tiltvinkel, samt systemytelse og areal.

Energiproduksjonen estimeres via nettsiden (comission, 2023). For denne simuleringen er PVGIS versjon 5.2 benyttet. Nødvendige parametere som breddegrad og lengdegrad for Narvik kommune, orienteringen og tiltvinkelen for solcellepanelene må angis. For dette tilfellet er det antatt en tiltvinkel lik dammens vinkel mot horisonten. Ytterligere parametere som systemytelse og totalt areal av solcellepaneler skal også legges inn i verktøyet.

Etter at alle parametere er angitt, vil PVGIS beregne den årlige og månedlige energiproduksjonen for solcellesystemet basert på historiske solinnstrålingsdata og temperaturforhold. Resultatene presenteres i form av grafer og tabeller som viser den forventede elektrisitetsproduksjonen for solcellesystemet. Disse dataene kan deretter brukes til å vurdere lønnsomheten og miljøfordelene ved å installere solcellepaneler som en klimaskjerm på Jernvassdammen i Narvik kommune (comission, 2023).

### 3.2 Autodesk AutoCAD 2014

I denne studien ble Autodesk AutoCAD 2014 tatt i bruk for å utvikle en foreløpig konseptuell løsning for klimaskjermen ved Jernvassdammen. Programmet har fungert som et godt verktøy for å visualisere det planlagte konseptet. I tillegg har det vært god hjelp for å hente ut høyder, arealer og lengder. Eksisterende DWG lengdeprofil for Jernvassdammen ble benyttet som grunnlag for utformingen av klimaskjermen.

### 3.3 Befaring

For å forstå konteksten og utfordringene knyttet til de respektive dammene har befaringene vært et sentralt element i denne studien. I tillegg har det hatt en betydelig innvirkning på designprosessen for klimaskjermen med BIPV ved Jernvassdammen. Befaringene ble utført for å få en grundig forståelse av de eksisterende forholdene, strukturelle utfordringene og miljømessige påvirkningene som hver dam er utsatt for. Observasjoner og data fra befaringene har vært nødvendige for å kunne identifisere potensielle problemer og muligheter for forbedring ved hver av dammene. Dette inkluderer vurdering av tilstanden til betongen, tegn på slitasje og kalkutvasking, og eksisterende infrastruktur for energiproduksjon og overvåkning. Befaringene har også spilt en viktig rolle i designprosessen for klimaskjermen ved Jernvassdammen. Informasjonen samlet under befaringene har bidratt til å identifisere de mest hensiktsmessige løsningene for integrering av solceller i klimaskjermen, samt forstå hvordan ulike materialer og konstruksjonsmetoder kan brukes for å oppnå ønskede resultater. Dette omfatter blant annet valg av solcellepaneler som er mest egnet for de klimatiske forholdene i regionene, samt plassering og innfestning av solcellepanelene i klimaskjermen for å sikre maksimal energiproduksjon og levetid.

Ved å utføre befaringene og analysere de innsamlede dataene har det vært mulig å skape en mer informert og helhetlig tilnærming til utformingen av klimaskjermen med BIPV for Jernvassdammen.

Dette har bidratt til å sikre løsningene som forslås er bærekraftige, funksjonelle og tilpasset de unike utfordringene og behovene ved hver av dammene.

### 3.4 Nåverdimetoden

Nåverdimetoden er en sentral metode for evaluering av lønnsomhet og rangering av investeringer. Denne metoden er ikke bare verdifull i seg selv, men tjener også som grunnlag for mange andre økonomiske vurderinger. Den sentrale ideen bak nåverdimetoden er å bringe alle fremtidige inn- og utbetalinger tilbake til et bestemt tidspunkt, vanligvis investerings- eller beregningstidspunktet. Dette innebærer at alle inn- og utbetalinger omregnes til dagens økonomiske nivå gjennom en prosess kjent som diskontering. Diskontering tillater oss å beregne nåverdien av alle fremtidige inntekter eller besparelser som en investering kan generere. Ved å gjøre dette, kan nåverdien beregnes for hver besparelse, merket som  $B_1, B_2, \dots, B_n$ . Denne prosessen resulterer i en rekke nåverdier av alle fremtidige inntekter eller besparelser som investeringen vil medføre. På denne måten gir nåverdimetoden oss en robust og nøyaktig måte å vurdere lønnsomheten av en potensiell investering på. Nåverdi metoden er gitt ved følgende likning:

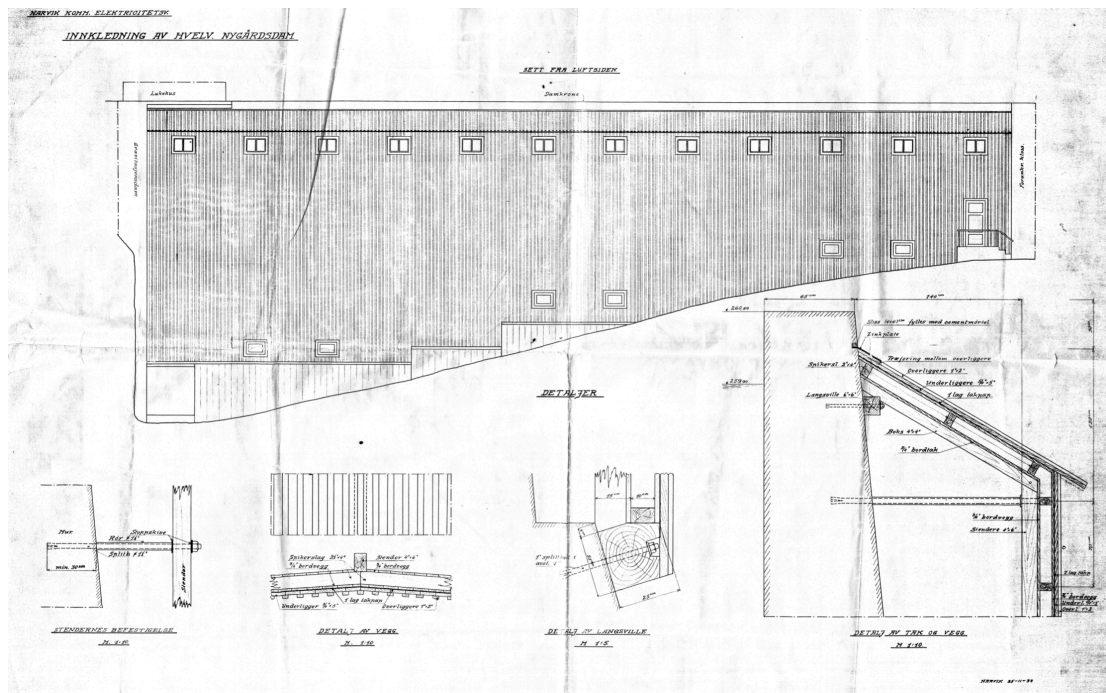
$$NPV = -I_0 + \sum_{n=1}^i \frac{B_n}{(1+r)^n}$$

- $I_0$  = Investeringskostnad år 0
- $n$  = År
- $r$  = Diskonteringsrate
- $B_n$  = Netto kontantstrøm gjeldende år
- $i$  = Levetid (år)

## 4. Casestudie

### 4.1 Klimaskjerm på Nygårdsdammen

Nygårdsdammen som er en hvelvdam av betong, har blitt konstruert med en beskyttende trekledning på dammens luftside. Kledningens hensikt er å skape et gunstig miljø for betongkonstruksjonen. Denne stående kledningen dekker nesten hele luftsiden av betongdammen og har en isolerende effekt hvor den både beskytter mot frostpåkjenninger og andre naturpåkjenninger. Kledningen starter omtrent 0,5 meter fra damkronen og strekker seg ned med tilstrekkelig avstand til terreng. Noe som gjør at det blir mindre vannsprut mot terreng (Byggforskserien, 2022).



Figur 11. Utklipp av "As built" tegning av klimaskjermen på Nygård. Bildet er hentet fra Nordkrafts private dokumenter.

Øvre del av dammen har 12 vinduer som sikrer både ventilasjon og lysinnslipp til innsiden av kledningen. Vinduenes dimensjon er ukjente, men antas å være av standardmål. Mellom betongkonstruksjonen og innsiden av kledningen er det en avstand på 140 cm ifølge tegninger fra Nordkrafts arkiv, noe som gir god plass for inspeksjon og vedlikehold. Dette skaper en passasje mellom kledningen og betongdammen. Inngangen til passasjen befinner seg på sørsiden av kledningen og består av et forhøyet inngangsparti med tilsynelatende tre trappetrinn som fører til inngangsdør, antatt med standardmål. I 2017 ble det gjennomført vedlikeholdsarbeid i form av påføring av tjeralin på kledningen.

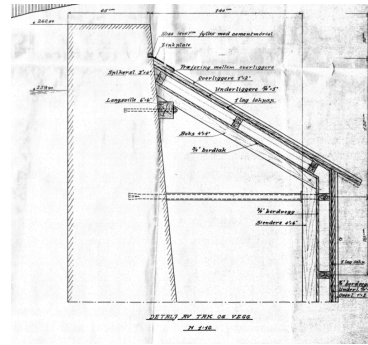
Kledningens vegg har følgende oppbygging fra innside og ut:

- Stender: 4" x 6"
- ( $\frac{3}{4}$ )" bordvegg
- Spikerslag: (2  $\frac{1}{2}$ )" x 4"
- $\frac{3}{4}$ " bordvegg
- 1 lag takpapp
- Underliggere: ( $\frac{5}{4}$ )" x 5"
- Overliggere: 1" x 2"



Taket som dekker toppen av kledningen, har en antatt vinkel mellom 20- og 30°. Det starter 30 cm ned fra damkronen og takutstikket går omtrent 20 cm ut fra vegg og har en beskyttende effekt for underliggende del av utstikket. Tretaket har følgende oppbygging fra innside og ut:

- Langsville: 6" x 6"
- Boks: 4" x 4"
- Bordtak: (3/4)"
- Spikerslag: 2" x 4"
- 1 lag takpapp
- Underliggere: (5/4)" x 5"
- Treforing mellom overliggere
- Zinkplate
- Sliss (4x4)" fylles med sementmørtel



Figur 12. Utklipp av "As built" tegning av klimaskjermen på Nygård. Bildet er hentet fra Nordkrafts private dokumenter.

Denne beskyttende kledningen bidrar til å bevare betongkonstruksjonen ved å isolere og beskytte den mot ytre påvirkninger, samtidig som den gir tilgang for inspeksjon og vedlikehold når det er nødvendig. Samlet sett har konstruksjonen tatt hensyn til viktige faktorer som isolasjon, beskyttelse, ventilasjon, varme og vedlikehold. Den stående trekledningen, vinduene og passasjen mellom kledningen og betongdammen fungerer sammen for å sikre dammens integritet og levetid. I tillegg har det forlengede takutstikket en skjermende effekt mot fuktpåkjenning på kledningen. Gjennom å inkludere disse elementene i damdesignet har det blitt en konstruksjon som virker å være i stand til å motstå de tøffe klimatiske forholdene i området, samtidig som den ivaretar estetiske hensyn og praktiske krav for inspeksjon og vedlikehold når det er nødvendig. Et viktig element i dette designet er den planlagte luftgjennomstrømningen og lysinnslippet som oppnås gjennom vinduene. Disse funksjonene bidrar til å opprettholde en sunn og stabil atmosfære for betongkonstruksjonen ved å tillatte fuktighet og varme å unnslippe. Samtidig som de gir lys for inspeksjon og vedlikehold.

Selv om klimaskjermen som er konstruert for Nygårdsdammen bidrar til å beskytte betongkonstruksjonen på mange måter, finnes det også noen utfordringer og begrensninger ved denne løsningen. Et viktig aspekt er at kledningen ikke dekker toppen av dammen og damkronen, noe som gjør disse åpne områdene mer sårbare for skader fra klimatiske påvirkninger som, forvitring, avskaling og kalkutslag. Dette er et problem ettersom det kan føre til større skader over tid. Det er mulig at en mer omfattende klimaskjerm som dekker både toppen av dammen og damkronen, samt innføring av et tak over damkronen, kunne ha redusert disse skadene og forbedret dammens ytelse samt redusert kostnader i form av utbedringer i fremtiden.

Oppsummert er klimaskjermen på Nygårdsdammen en konstruksjon som er godt tilpasset sine omgivelser og klimatiske forhold. Kledningen er i god forfatning til tross for sin lange levetid og det kan konkluderes med at betongkonstruksjonen som beskyttes med kledning har hatt god nytte av beskyttelsen. Samtidig er det noen endringer i utformingen av kledningen som kunne ha vært vurdert utført på en annen måte. Som for eksempel å strekke kledningen til toppen av dammen, samt å etablere et tak som beskytter damkronen i tillegg.

## 4.2 Jernvassdammen

### 4.2.1 Litt om Jernvassdammen

Jernvassdammen som er en gravitasjonsdam, har en lengde på 59 388,208 mm, et areal på 2 840 982 106 mm<sup>2</sup> og et magasinivolum på 52,9 millioner m<sup>3</sup>. Den ble først konstruert rundt 1939 og deretter utvidet i 2004 (Rodum, 2005). Gravitasjonsdammer er kjent for sin robuste og pålitelige konstruksjon, som utnytter tyngdekraften for å motstå vanntrykket fra reservoaret. Dette gjør dem til en velegnet løsning for lokasjoner med høy belastning og krevende klimatiske forhold, noe som er tilfelle på Nygård (Nordkraft, u.år).



Figur 13. Jernvassdammen under befaring. (Foto: I.E.A.Hjallar, Feb. 2023)

Luftsiden av dammen gir imidlertid et visuelt dårlig inntrykk. Den bærer preg av avskalinger, forvitringsskader og kalkutslag (Rodum, 2005). Dette kan skyldes flere faktorer, inkludert aldringen av betongen og de klimatiske forholdene i området. Avskalinger og forvitringsskader på betongen kan redusere betongens holdbarhet og svekke den strukturelle integriteten. Kalkutslag er et resultat av oppløselige kalsiumforbindelser som akkumuleres på overflaten av betongen og danner krystaller når de tørker. Dette kan forårsake estetiske skader og forringe overflatebehandlingen av betongen, noe som kan redusere dens levetid og funksjon. Vannsiden av dammen er i vesentlig bedre forfatning. En ytterligere utfordring er at betongkonstruksjonen har gjennomgått ulike faser av bygging og påbygging, noe som kan ha ført til varierende kvalitet og kapabilitet mellom de ulike delene av dammen (Rodum, 2005). Disse forskjellene er viktig å vurdere i utviklingen av en konseptløsning for klimaskjerming, ettersom de kan påvirke materialvalg, konstruksjonsmetoder og vedlikeholds strategier.

For å sikre dammens integritet og levetid, samt forbedre dens estetiske utseende, er det avgjørende å utvikle en klimaskjermingsløsning som tar hensyn til de spesifikke egenskapene og utfordringene ved betongkonstruksjonen. Dette inkluderer å velge materialer og metoder som beskytter mot avskalinger, forvitringsskader og kalkutslag, samtidig som dammens strukturelle krav og arkitektoniske verdi ivaretas.

## 4.2.2 Omgivelser og adkomst

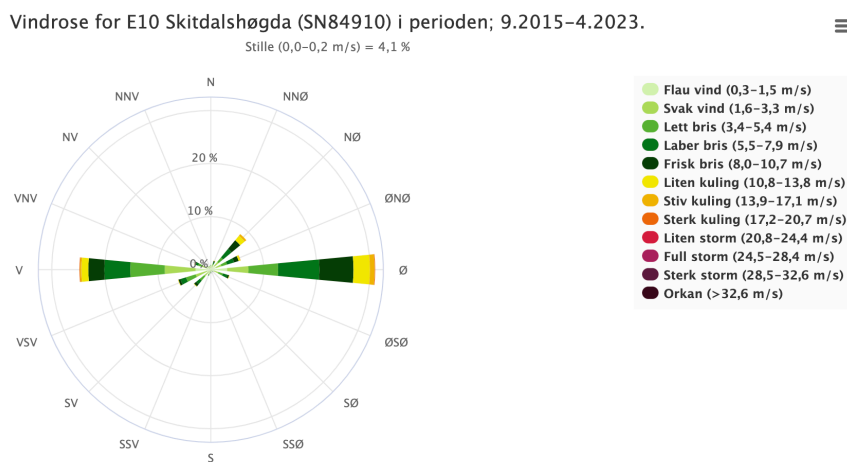
Jernvassdammen, som er lokalisert omtrent 20 km øst for Narvik by har en høyde på 279 moh., utgjør en betydelig ressurs i regionen. For å nå dammen om vinteren, er det mulig å parkere på østsiden av E10, deretter følge E10 rundt 340 m sørover og ta anleggsveien omtrent 600 m frem til dammen. Om sommeren kan man parkere på vestsiden av Jernvassdammen, hvorfra det er omtrent 100 meter til dammen selv. En gangvei er etablert på damkronen for inspeksjon av dammen. Dammen har en lang og smal form, med ytterpunkter som strekker seg over 5,6 km i luftlinje. Dammens smaleste punkt måler 220 m i luftlinje. På sørsiden av dammen ligger Store Haugfjell, med et høyeste punkt på 824 moh., som følger dammens langside. Nordsiden av dammen er forholdsvis flat med lite vegetasjon. Den nærmeste hytta til dammen befinner seg 340 m unna, mens det i et dalsøkk mot vest er fire hytter innenfor en omkrets på 600 m. En tursti som fører til Store Haugfjell, går også langs nedsiden av dammen (Norgeskart, U.år).

Vannet i midtre del av dammen danner en kanalform, på grunn av fjell og berg på begge sider av vannet. Nygårdsfjellet vindpark, som består av 14 vindturbiner med en kapasitet på 32 megawatt (MW) og en gjennomsnittlig årsproduksjon på 105 GWH, befinner seg på nordsiden av vannet, omtrent 2,7 km fra dammen. Vindparkens energiproduksjon starter ved vindhastigheter på 3 m/s og stopper ved 25 m/s. Dette vil si at området allerede bærer preg av stor energiutnyttelse og det er derfor interessant å utforske muligheten for å integrere flere fornybare energikilder i fremtiden. Dette vil si at området allerede bærer preg av stor energiutnyttelse og det er derfor særlig interessant å utforske muligheten for å integrere flere fornybare energikilder i fremtiden.

## 4.3 Forhold rundt Jernvassdammen

### 4.3.1 Vindforhold

I Bjørnfjellområdet er det to fremherskende regionale vindsektorer: fralandsvind og pålandsvind. Fralandsvind kommer fra innlandet og er ofte ikke nedbørsførende, men fører imidlertid kalde vindstrømmer mot kysten om vinteren. Disse vindene, kjent som «landvind» i Nord-Norge, er den mest dominerende snødrivende effekten i åpne snørike områder. Pålandsvind blåser inn fra kysten og er vanligvis mildere og nedbørsførende om vinteren. Avhengig av lokale forhold kan pålandsvinder også føre til betydelige mengder drivsnø og fonndannelse. Kilde. Bjørnfjell-området er preget av varierende terreng og betydelige lokalklimatiske variasjoner, hvor regionale dominerende vinder blir ledet og dreid gjennom lokale terrengformasjoner. Vindroser for E10 ved Skitdalsløgda i perioden 2015-2023, viser en dominans av østlige vinder. I tillegg viser vindrosen at det aktuelle området også i stor grad er preget av vestlig vind (Norsk klimaservicesenter, u.år-b).



Figur 14. Vindrose for Skitdalsløgda (Norsk klimaservicesenter, u.år-b)

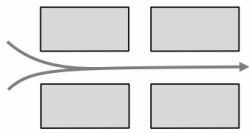


Figur 15. Oversiktsbilde av Jernvassdammen med vindrose (Norsk klimaservicesenter, u.år-b)

### Vind fra ØST

Ifølge (Sundsbo, 1999) er det utarbeidet en oversikt over prosentvis fordeling av vind som forårsaker snødrift og kolonnekjøring på E-10 Bjørnfjell. Det viser seg at vind fra Øst er klart dominerende, med en frekvens på 91% for vind i en sektor fra nordøst til sørøst. Det er viktig å merke seg at måledataene er basert på en relativt kort periode og det kan forekomme variasjoner over tid. Som nevnt over er Bjørnfjellområde preget av lokale terrengformasjoner, og området rundt Jernvassdammen er ikke et unntak. Jernvassdammen befinner seg i enden av en kanalformet struktur som er formet av omkringliggende terrengformasjoner. Denne topografiske utformingen har

en betydelig innvirkning på vindforholdene i området og har implikasjoner for snøakkumulering og videre på planlagt konstruksjon.



**Channel flow - Kanalisert vindfelt** i en korridor dannet av bygninger trenger nødvendigvis ikke øke vindens hastighet mellom bygningene, men i fravær av en normal blokkering av «kanalen» vil ofte medføre relativt større vindstyrker enn i omkringliggende områder. Vindhastigheten vil kunne øke dersom bygningene i korridoråpningen danner en trakt mot vinden.

Figur 16. Kanaliserende vindeffekt rundt strukturer. (Bilde: P.A.Sundsbo, forelesning 04.11.20)

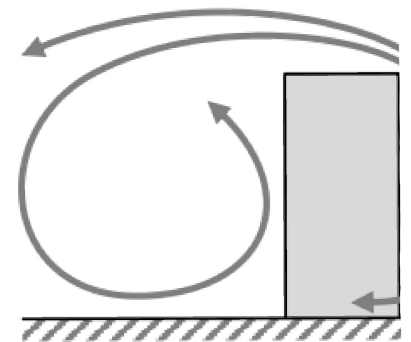


Figur 17. Kanaliserende vindeffekt (kart, u.år)

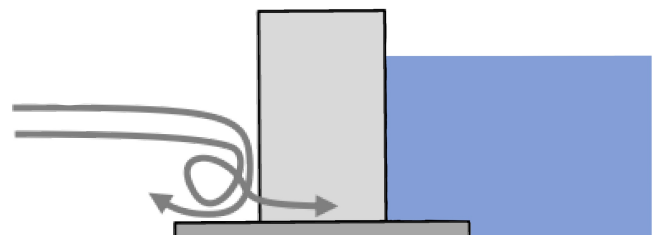
Den kanalformede strukturen skaper en kanalisierende effekt på en østlig vind, som forårsaker snødrift fra øst mot vest i løpet av vintermånedene. Dette fenomenet kan føre til en økning i snøakkumulering og vindhastighet og resultere i utfordringer knyttet til strukturell belastning og vedlikeholdet av dammen. Vinden vil sannsynligvis blåse i retning av dammen og fortsette over dammens overflate, noe som også kan ha en innvirkning på erosjon av strukturen. Snøen vil hovedsakelig akkumuleres på venstre side av dammen, sett fra luftsiden, i nærheten av overløpet. Der kan det vurderes løsninger for snøhåndtering og egne vedlikeholdstiltak for å sikre både effektivt overløp og strukturens integritet. Fra befaring av Jernvassdammen 15 februar, fremkommer det i stor grad snøakkumulering ved overløp og i litt mindre grad jevnt over roten av dammen. Damkronen var under befaring ikke dekket av snø.

#### Vind fra VEST

Det er sannsynlig at vestlig vind vil opptre som en rotordannelse rundt konstruksjonen, noe som betyr at konstruksjonens nedre del kan utsettes for betydelige



Figur 18. Vindnedslag rundt strukturer. (Bilde: P.A.Sundsbo, forelesning 04.11.20)



Figur 19. Vind som rotordannelse. (Bilde: P.A.Sundsbo, forelesning 04.11.20)

belastninger under disse vindforholdene. Videre kan disse vindforholdene sannsynligvis føre til en snøakkumulering ved damfoten, som illustrert i figur.

### Vindforholdene oppsummert

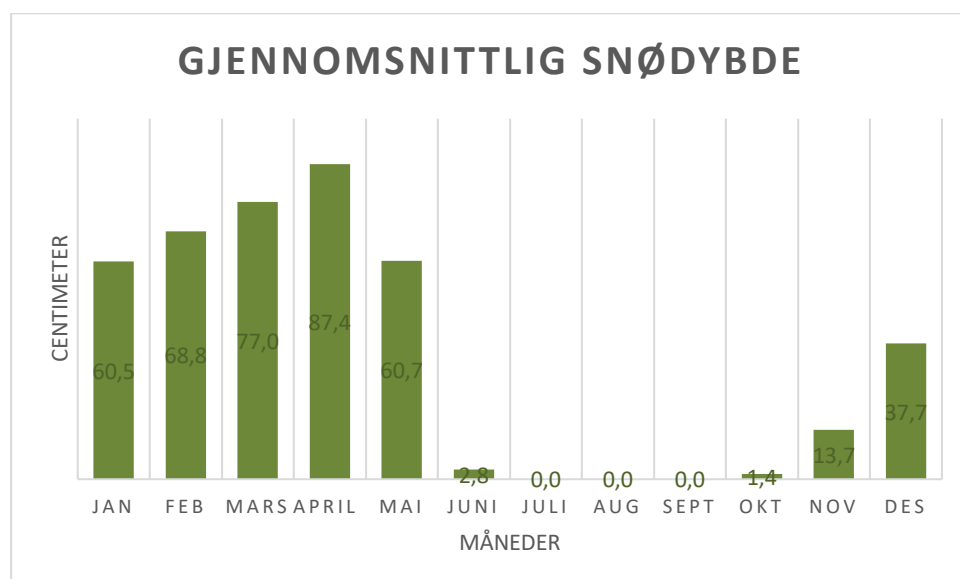
Det hovedsaklig to fremherskende vindretninger ved Jernvassdammen, østlig- og vestlig vind. Vinden fra øst vil i størst grad føre til snøakkumulering, imidlertid vil vestlig vind i noen grad også kunne føre til noe snøakkumulering, da kun på luftsiden av dammen.

*Det er nødvendig å forstå og ta hensyn til de lokale klimaforholdene og deres effekter på Jernvassdammen, for å kunne utvikle en integrert og robust konstruksjon som er i stand til å stå imot de unike utfordringene som dette miljøet presenterer. Disse betraktningene er viktig for å kunne utvikle bærekraftige løsninger og sikre klimaskjermens langvarige ytelse og pålitelighet, samt minimere potensielle miljøpåvirkninger og ressursbruk.*

### 4.3.2 Snøforhold

Under befaringen av Jernvassdammen den 15 februar 2023, ble det observert betydelige mengder snø som dekket store deler av dammen, spesielt på venstre side sett fra luftsiden. Overløpet, som befinner seg på denne siden var nærmest fullstendig dekket av snø. Det ble også registrert betydelig snøakkumulering i nedre del av dammen. I tillegg var isdannelse synlig bak snølaget, som strakte seg oppover mot den øvre delen av dammen. Isdannelsens omfang og plassering kan påvirke dammens integritet og stabilitet, spesielt under vårens snøsmelting. Det er imidlertid verdt å merke seg at damkronen ikke var påvirket av snø, og hele overflaten var fri for snø.

Data fra målinger utført på Bjørnfjell stasjon indikerer at den gjennomsnittlige snødybden i perioden 2016-2022 varierer betydelig mellom månedene, som vist i tabellen nedenfor. April måned, som har den høyeste nedbøren i form av snø, hadde et gjennomsnitt på 87,4 cm. I 2020 ble det registrert en gjennomsnittlig snødybde på hele 124 cm i april måned, noe som er den høyeste verdien i den målte perioden. Denne informasjonen understreker nødvendigheten av å vurdere sesongmessige variasjoner og ekstreme klimahendelser når man utformer og vedlikeholder damanlegg, som Jernvassdammen.



Figur 20. Gjennomsnittlig snødybde

En grundig forståelse av snø- og isdynamikk er nødvendig for å kunne utvikle de mest hardføre og bærekraftige løsningene for damkonstruksjonen. Videre kan det være nødvendig å utarbeide en mer

detaljert analyse av snø- og isforholdene rundt dammen for å kunne forutse og håndtere potensielle problemer relatert til snø- og is akkumulering, spesielt med tanke på klimaendringer og deres innvirkning på værmønstre og nedbør.

Sammenstillingen av værdata for både vind og snødybde bekrefter at snøakkumuleringen observert under befaringen er et resultat av fremherskende vindretning og snødrift. Dette innebærer at lignende snøakkumuleringer sannsynligvis vil forekomme i fremtiden også. På grunn av klimaendringer, som kan medføre økt nedbør og sterkere vind, er det mulig at snøakkumuleringen kan bli enda større i de kommende årene. Det er derfor viktig å ta hensyn til klimaforhold og lokale variasjoner i snøfall.



## 4.4 Befaring

### 4.4.1 Befaring av Jernvassdammen

Befaringen av Jernvassdammen ble utført den 15. Februar 2023 kl. 14:30 under solrike forhold, med en temperatur på +1°C, en østlig vind på 4m/s og uten nedbør. På tidspunktet for befaringen var dammens luftside eksponert for sollys. For å nå dammen måtte vi benytte ski eller truger, og vi valgte å bruke truger fir enkelt å kunne undersøke store deler av luftsidan av dammen. Befaringen besto av visuell inspeksjon, og kun luftsidan av dammen ble vurdert. Dette ga oss et detaljert innblikk i dammens tilstand og potensielle problemområder som kunne være viktig å vurdere i oppgaven.

#### Betongkonstruksjonen

Betongkonstruksjonen ga et visuelt dårlig inntrykk, og dette funnet indikerer at dammen har vært utsatt for flere negative påvirkninger over tid. Den visuelle undersøkelsen antydte at betongen har vært utsatt for frostsprengning, forvitring og kalkutslag. Kalkutslag var svært utbredt, spesielt i skjøter og overganger mellom damkrone og selve dammen. Videre var betongkonstruksjonen preget av store avskalinger, som sannsynligvis skyldes forvitring og frostsprengning, særlig under frysetineperioder. Det er også mulig at betongen har pådratt seg skader fra sollys.



Figur 21. Kalkutslag på Jernvassdammen. (Foto: I.E.A.Hjallar, Feb, 2023)

#### Snø- og isforhold

Når det gjelder snø- og isforhold, var det samlet seg store snømengder ved nedre del av betongkonstruksjonen. I området rundt overløpet var det betydelige snøansamlinger som strakte seg opp mot åpningen av overløpet. Under snølaget var det et tynt islag som gikk opp mot toppen av overløpet. I noen områder strakte islaget seg kontinuerlig fra vannsiden av dammen til luftsidan.



*Figur 22. Ising på Jernvassdammen. (Foto: I.E.A.Hjallar, Februar, 2023)*

Samlet sett ga befaringen av Jernvassdammen en god forståelse av dammens nåværende tilstand og de utfordringer som må adresseres i oppgaven. Dette inkluderer betongens tilstand og eventuelle tiltak for å forbedre den, samt snø- og isforholdene som kan påvirke dammens funksjon og levetid.

#### 4.4.2 Befaring av Nygårdsdammen

Befaring av Nygårdsdammen ble gjennomført den 8. mars 2023 kl. 10:30 under solrike forhold, med en temperatur på  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  og en vestlig vind på omtrent  $1\text{ m/s}$ . Målt snødybde på Skitdalshøgda var  $44\text{ cm}$ . Befaringen ble utført ved hjelp av truger, og det var kun dammens luftside som ble inspisert. Den visuelle befaringen omfattet kun det som var synlig på befaringdagen, og både jeg og damansvarlig Steffen Henriksen deltok i prosessen. Hensikten med befaringen var å undersøke den eksisterende klimaskjermen og dens oppbygging, inkludert dimensjoner, varme, tekniske løsninger og andre viktige detaljer. Videre var det ønskelig å utforske hvordan klimaskjermen påvirket betongkonstruksjonen og om den hadde den ønskede effekten.

##### Betongkonstruksjonen

Sammenlignet med Jernvassdammen fremsto betongkonstruksjonen ved Nygårdsdammen i vesentlig bedre stand. Det var også en markant forskjell mellom betongen som befant seg utenfor klimaskjermen og betongen innenfor skjermingen. Betongen på innsiden av skjermen var visuelt i meget god stand og viste ingen synlige skader. Det var overraskende å observere hvor positivt klimaskjermingen påvirket betongkonstruksjonen. Betongen utenfor klimaskjermen viste derimot de samme typene skader som ble observert ved Jernvassdammen, inkludert avskaling, forvitring og kalkutslag.



Figur 23. Betongkonstruksjonen Nygårdsdammen. (Foto: I.E.A.Hjallar, Mars, 2023)

##### Snø- og isforhold

Under befaring av Nygårdsdammen den 8. mars, ble det registrert betydelige snømengder i bunnen av dammen. Snøakkumuleringen dekket nedre del av dammen og en del av nederste delen av klimaskjermingen. Det var derfor ikke mulig å undersøke nedre del av dammen. Bilder tatt av Nygårdsdammen fra tidligere år viser svullisproblematikk, hvor store mengder tykk is har lagt seg rundt dammen. Det kan derfor antas at det ligger et islag under snøakkumuleringen.

Inngangsdøren til klimaskjermen var halvveis dekket av snø som måtte måkes bort. Snøen som dekket inngangen var hard, pakket og preget av isdannelse. Noe som indikerer at værforholdene har vært preget av fryse-tine perioder, samt harde vindforhold. Damkronen var også dekket av et tykt lag snø. Som illustrert i bildet nedenfor, var taket over klimaskjermen dekket av et tykt lag snø, med

istapper som hang ned fra takets overflate. Dette viser at taket er utsatt for betydelige snø- og isbelastninger, noe som tyder på at solceller på et eventuelt tak, kan føre til utfordringer i forbindelse med snøakkumulering og tykk isdannelse. Damkronen var også dekket av et tykt lag snø.



Figur 24. Snøforhold på Nygårdsdammen. (Foto: I.E.A.Hjallar, Mars, 2023)

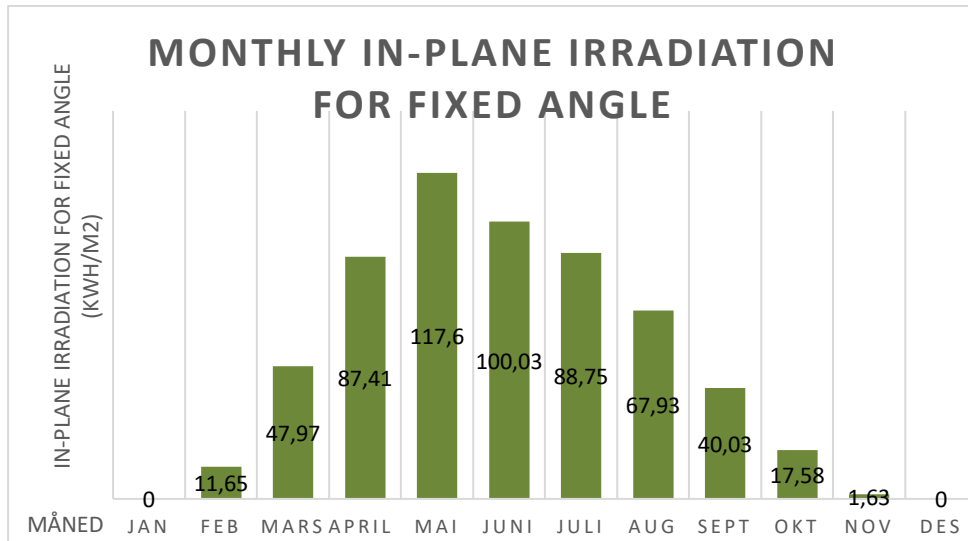
## 4.5 Solenergi

For å undersøke hvor mye solinnstråling som kan forventes på klimaskjermen som skal etableres på betongdammen ble Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) benyttet. PVGIS er et verktøy som gir informasjon om solenergipotesial og solinnstråling for ulike geografiske steder. Med PVGIS kan man estimere energiproduksjonen fra et solcelleanlegg basert på gitte parametere og lokale solforhold. For denne analysen ble følgende parametere benyttet:

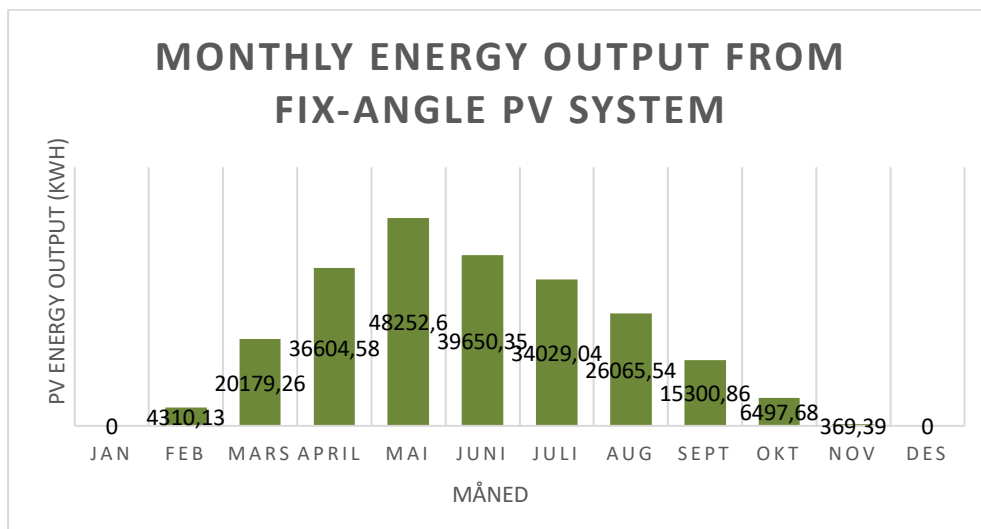
- Montering av solcelleanlegg: Performance off grid-connected PV
- PV-teknologi: Krystallinsk silisium
- Installert topp PV-effekt kWp: 514
- Systemtap (%): 14 (standard)
- Montering: Takintegrert i bygning
- Helning: 90°
- Asimut: 90°

## 4.6 Solinnstråling vegg

PVGIS ga følgende estimater for månedlig energiproduksjon fra det fastvinklede PV-systemet:



Figur 25. kWh/m<sup>2</sup> for vegg på Jernvassdammen (comission, 2023)



Figur 26. kWh for vegg på Jernvassdammen (comission, 2023)

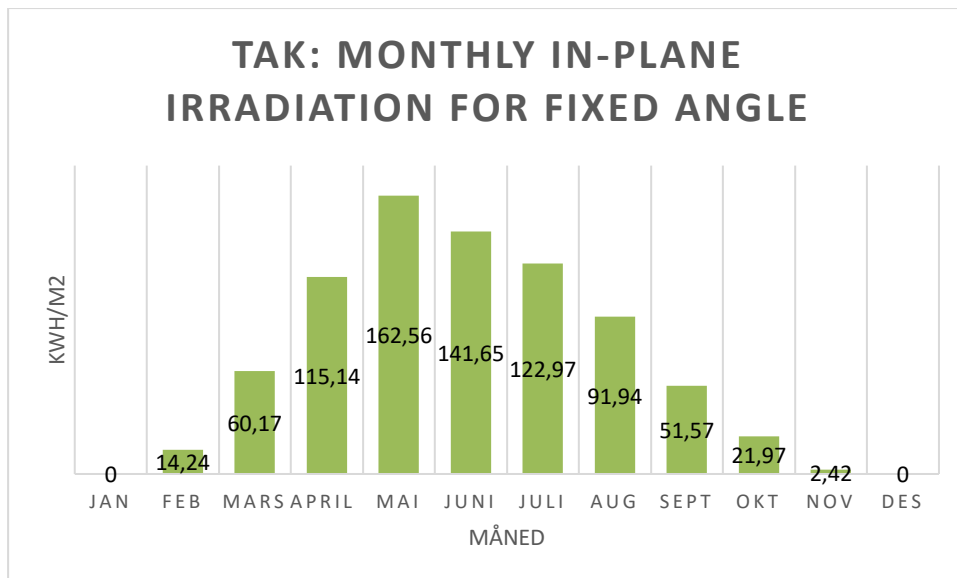
Resultatene fra PVGIS-analysen indikerer at energiproduksjonen fra solcelleanlegget vil variere betydelig gjennom året, med høyest produksjon i månedene april til august og lavest i vintermånedene. Dette mønsteret er forventet, gitt at solinnstrålingen er sterkest i sommerhalvåret, og svakere i vinterhalvåret når solen står lavt på himmelen, og dager er kortere. Fra disse resultatene er det noen interessante trekk og implikasjoner for det planlagte solcelleanlegget på klimaskjermen for betongdammen. For det første viser analysen at det er betydelig variasjon i energiproduksjonen gjennom året. Dette kan ha konsekvenser for hvordan planlegging og dimensjonering av solcelleanlegget og tilhørende infrastruktur vil foregå. For eksempel er en mulighet å vurdere å installere et større solcelleanlegg for å kompensere for perioder med lavere solinnstråling, eller det kan suppleres med andre energikilder som vindkraft, vannkraft eller bioenergi for å sikre en

kontinuerlig og stabil energiforsyning. For Jernvassdammen er dette spesielt aktuelt da dammen i seg selv står for energiproduksjon. I tillegg befinner Jernvassdammen seg ca. 3 km fra en vindmøllepark.

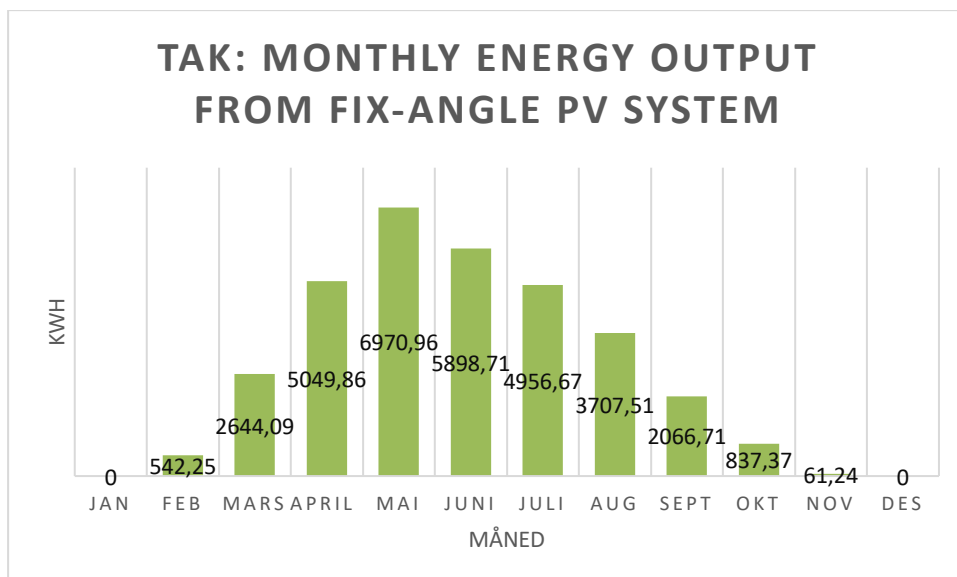
For det andre bør variasjonene i energiproduksjonen under planlegging av energilagring og fordeling hensynstas. I måneder med høy energiproduksjon, som mai og juni, kan lagring av overskuddsenergi i batterier vurderes. Lagring av energi fra større solcelleanlegg er i dag veldig dyrt og sannsynligvis lite lønnsomt. Batteriene har en høy kostnad, men forskningen på dette går fremover, og en kan sannsynligvis anta at lagringskapasiteten vil kunne bli bedre, samtidig som kostnadene her kan gå ned. For det tredje kan det være nyttig å se nærmere på den faktiske ytelsen til solcelleanlegget i forhold til de estimerte verdiene fra PVGIS. Selv om PVGIS gir et godt estimat basert på historiske data, kan lokale forhold og endringer i klimaet føre til avvik fra de estimerte verdiene. Ved en eventuell produksjon vil det være ønskelig å overvåke og evaluere ytelsen til solcelleanlegget, slik at forbedringsområder kan identifiseres og justeres for å optimalisere energiproduksjonen. En annen viktig faktor å vurdere, er vedlikehold og levetid for solcelleanlegget. Selv om solcellemodulene ofte har en forventet levetid på rundt 30 år (Viak, 2018), kan ytelsen og levetiden reduseres over tid dersom vedlikehold og rengjøring av solceller ikke utføres korrekt og med forsiktighet.

## 4.7 Solinnstråling tak

For taket var det som antatt mindre energiproduksjon grunnet et mindre areal. Samtidig var den analyserte energiproduksjon per kvadrat større for taket en det var for veggen. Dette skyldes sannsynlig vinkelen for taket. For måneden med mest solinnstråling ligger energiproduksjonen for taket på 162,56 kWh/m<sup>2</sup>. Samme måned var det analysert en energiproduksjon på 117,6 kWh/m<sup>2</sup> for veggen. Vinkelen som er bestemt for taket viser seg å gi en god energiproduksjon.



Figur 27. kWh/m<sup>2</sup> for tak på Jernvassdammen (comission, 2023)



Figur 28 kWh for tak på Jernvassdammen (comission, 2023)



## 5. Resultater

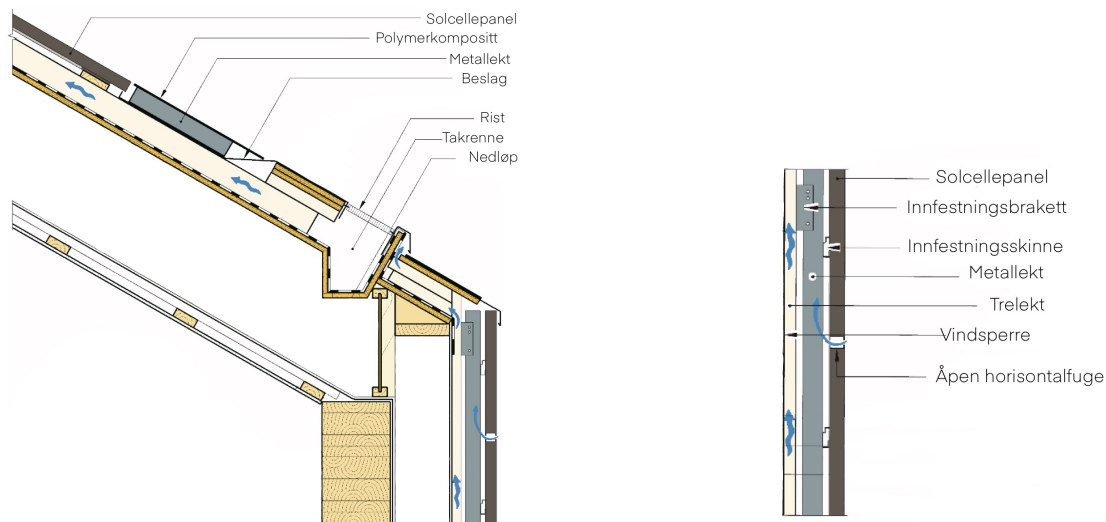
### 5.1 Oppbygging av klimaskjerm

Klimaskjermen som skal etableres på Jernvassdammen vil ta utgangspunkt i klimaskjermen som allerede er implementert på Nygårdsdammen, med prinsipper for kledningens oppbygging bevart. Imidlertid er det en vesentlig forskjell i at klimaskjermen på Jernvassdammen skal inneholde bygningsintegrerte solcellepaneler, noe som krever en tilpasset konstruksjon. Klimaskjermen på Jernvassdammen vil derfor også basere seg på en rapport utarbeidet av SINTEF (Kvande et al., 2021), hvor de i rapporten har samlet erfaringer for bruk av bygningsintegrerte solceller i Norge. Rapporten inkluderer blant annet et eksempel på en ytterveggs konstruksjon med BIPV som luftet kledning, og sammen med kledningen på Nygårdsdammen, vil dette danne grunnlaget for klimaskjermen på Jernvassdammen. Kledningen har et samlet areal på 2182 m<sup>2</sup>, er plassert i rettvinklet i forhold til terrenget. Arealet som dekkes av trekledning har en størrelse på 332 m<sup>2</sup> og danner nederste del av klimaskjermen lengde er planlagt å være 157,36m, høyden over damkronen er 1,5 m for at det skal være tilstrekkelig med plass for gang og inspeksjon. For øverste del av kledningen er det planlagt 15 vinduer i samme dimensjon som solcellene: 1046mm x 1558mm og med samme avstand mellom samtlige vinduer, omtrent 10 m. Det er også planlagt en åpning i kledningen for inspeksjonsluke for å sikre fri tilgang for inspeksjon. Klimaskjermen starter ved enden av overløpet mot sør overløpet vil derfor ikke dekke denne delen av betongkonstruksjonen.

#### 5.1.1 Materialvalg og konstruksjonsmetoder

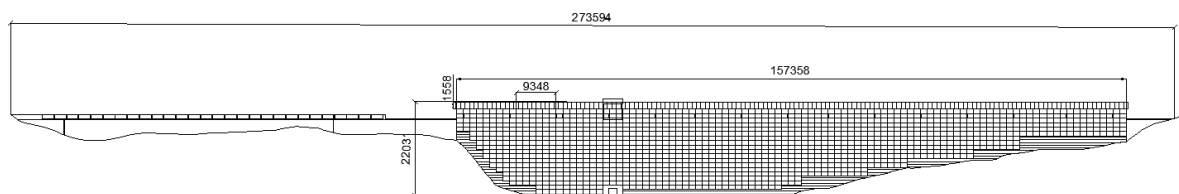
I henhold til ovennevnte prinsipper og erfaringer, anbefales klimaskjermen på Jernvassdammen konstrueres med følgende oppbygging:

1. Solcellepanel
2. Innfestningsbrakett
3. Innfestningsskinne
4. Metallekt
5. Trelekt
6. Vindsperre
7. Åpen horisontalfuge



Figur 29. Prinsipp for oppbygging av BIPV som kledning (Kvande et al., 2021)

Klimaskjermens oppbygging er delt i to hovedseksjoner: øvre del i tilknytning til tak og nedre del av vegg. Denne konstruksjonen tar de samme hensynene til både den eksisterende klimaskjermen på Nygårdsdammen og de nødvendige tilpasningene for å integrere solcellepaneler på en effektiv og funksjonell måte. Kombinasjonen av disse elementene skal sikre en robust og holdbar klimaskjerm som oppfyller kravene til både beskyttelse av betongkonstruksjonen og energiproduksjon fra solcellepaneler. Den planlagte klimaskjermen vil kunne ha et utseende som illustrert i figur under.



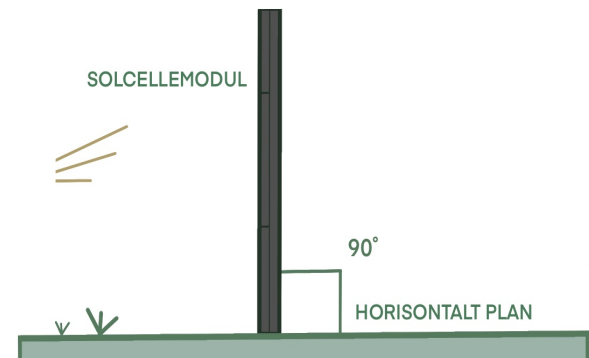
Figur 30. Oversiktstegning av Jernvassdammen, utarbeidet i EutoCAD 2014. (Tegnet av: I.E.A.Hjallar, 2023)

## 5.2 Vinkling av vegg og tak

### 5.2.1 Vegg

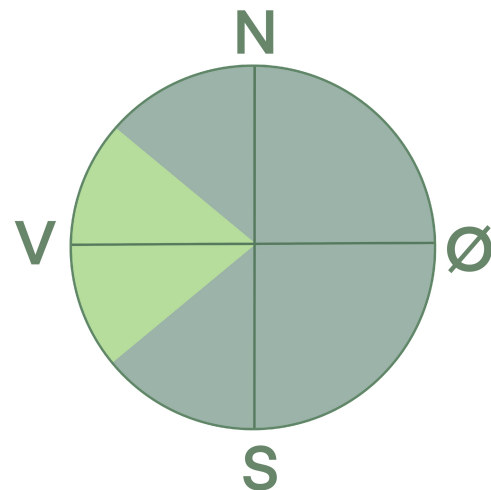
For å bestemme hvilken vinkling på solcellepanelene som vil være mest hensiktsmessige for Jernvassdammen må flere faktorer vurderes, inkludert snøakkumulering, solens posisjon i løpet av året, den geografiske plasseringen av anlegget og den vestvendte orienteringen av dammen. Det er spesielt viktig å minimere snøakkumulering på solcellepanelene for å sikre optimal ytelse og energiproduksjon gjennom hele året. Ved å plassere solcellene i en vinkel på 90 grader, vil tyngdekraften bidra til at snøen lettere sklir av panelene og dermed redusere mengden snø som samler seg opp på solcellepanelene. Dette vil også bidra til å opprettholde en høyere energiproduksjon, spesielt i vintermånedene når snøfall er vanlig og energibehovet er høyest.

Videre er det viktig å vurdere solens posisjon i løpet av året og hvilken vinkel som vil gi maksimal strømproduksjon i perioder med størst behov. I nordlige strøk, slik som ved Jernvassdammen, vil en større vinkel være fordelaktig for å fange opp den lave solen gjennom høst-, vinter- og vårperioder. I tillegg vil en større vinkel bidra til å fange opp diffus refleksjon fra snødekte arealer i vintersesongen noe som øker energiproduksjonen ytterligere (Østbye, 2014). Og motsatt vil det for sydlige områder være mer hensiktsmessig med en mindre vinkel for å fange opp solenergien i sommerperiodene, da solpotensialet er størst i den perioden. Den vestvendte orienteringen av dammen vil påvirke solinnstrålingen, og en vinkel på 90 grader vil bidra til å maksimere energiproduksjonen i løpet av ettermiddagen når solen er lavere på himmelen. Imidlertid er det viktig å optimalisere vinklingen basert på den spesifikke lokasjonen der anlegget skal monteres (Landau, 2017). I tilfellet med Jernvassdammen, ligger anlegget i et nordlig område og derfor vil en større vinkel som for eksempel 90 grader være mest hensiktsmessig. Selv om en vinkel på 90 grader kan gi noe lavere energiproduksjon i løpet av sommermånedene, når solen står høyere på himmelen, er dette et akseptabelt kompromiss gitt de økte fordelene i vintermånedene. Det er også viktig å merke seg at energibehovet generelt er lavere om sommeren, og derfor vil effekten av eventuell reduksjon i energiproduksjon i disse månedene være mindre kritisk. Det optimale for å utnytte mest mulig solinnstråling vil bestandig være å implementere solceller som



Figur 31. Rettvinklet solcellevegg. (Illustrert: I.E.A.Hjallar, 2023)

Basert på disse faktorene har det blitt bestemt at en vinkel på 90 grader for solcellepanelene integrert i klimaskjermen er det mest hensiktsmessige valget. Dette vil bidra til å minimere snøoppsamling, fange opp solenergi effektivt i nordlige strøk og sikre en høy energiproduksjon.



Figur 32. Azimut for Jernvassdammen (illustrasjon: I.E.A.Hjallar, 2023)

## 5.2.2 Tak

Som tidligere nevnt i oppgaven er det ønskelig at klimaskjermen skal beskytte damkronen i tillegg til dammens luftside. Her vurderes det å benytte konvensjonelt treverk i vegg- og takkonstruksjoner, likt oppbyggingen av bæreverket i klimaskjermen for dammen. Det mest optimale, med tanke på energilagring, ville innebære å integrere solceller i både tak og vegger. Veggens struktur er planlagt å følge samme prinsipp som klimaskjermen på dammen, med bygningsintegreerte solcellepaneler på veggene. Når det gjelder solceller på taket, er det muligheter for å velge takvinkel og helling på solcellepanelene som gir optimal effekt, siden det ikke er begrensninger i valg av vinkel og helling i dette tilfellet.

Det er ikke nærliggende bebyggelse eller vegetasjon en heller må ta hensyn til. Dammen ligger for seg selv på snaujellet, med lite eller ingen vegetasjon rundt seg. Dersom det eksisterer vegetasjon som forårsaker skyggelegging på solcellepanelene, bør det vurderes å fjerne dette, da skyggepartier på

solcellene er uheldig for solcellenes effektivitet. Takhellingen vil orienteres mot øst og vest, ettersom dette representerer den mest naturlige takvinkelen gitt konstruksjonen over damkronen. For å generere mest mulig energi fra solcellene på taket, er det mest optimalt å peke solcellepanelene i den retningen som fanger mest sollys. Dersom en befinner seg på den nordlige halvkule, bør panelene orienteres mot sør, og motsatt, dersom en befinner seg på den sørlige halvkule bør panelene orienteres øst-vest (Landau, 2017).

Normalt monteres solenergisystemene i en fast stilling, der panelene kan vippes manuelt etter behov. Som et eksempel kan solcellene justeres sesongmessig. Solcellepanelenes høyeste effektivitet oppnås i sommermånedene, når solinnstrålingen er mest intens. Målet for damprosjektet er å oppnå størst mulig grad av selvforsyning gjennom året. Dammens energiforbruk er relativt lavt, så det mest interessante aspektet er å maksimere strømproduksjonen i de mest gunstige periodene av året og deretter overføre overskuddet til strømmettet for salg. Med dette i betraktning, er det valgt å montere solcellepanelene i en fast posisjon og vinkel som gir best mulig effektivitet i sommermånedene.

Ifølge (Energy, u.år) er formelen for å beregne den optimale vinklingen for solcellepaneler om sommeren (separate beregninger finnes for vinter, vår og høst) å multiplisere breddegraden med 0,9 og deretter trekke fra 23,5 grader. Jernvassdammen ligger omtrent på 68 grader nord noe som gir en helningsvinkel på:

$$\beta = (68 \times 0,9) - 23,5 = 37,7$$

Fastmonterte solcellepaneler vil være minst effektive i forhold til potensialet om sommeren, våren og høsten, ettersom solen beveger seg over et stort himmelområde i løpet av disse periodene. Et alternativ er å installere solcellepaneler som «sporer» solens posisjon, noe som øke effektiviteten. Selv om dette medfører høyere investeringskostnader, kan det vurderes av utbygger i forhold til kost-nytte-analyse. I denne oppgaven vil det imidlertid fokuseres på et fastmontert system for en kost-nytte-vurdering.

## 5.3 Solinnstråling

For å måle solinnstrålingen og den produserte effekten uttrykt i (kW) for de bygningsintegrerte solcellene baseres analysen på data generert fra PVGIS. Det første trinnet i denne prosessen er å identifisere det relevante området på kartet. Deretter velges det mest hensiktsmessige monteringsystemet for solcellepanelene blant tre alternativer som er:

1. Performance of grid-connected PV (fastmontert)
2. Performance of tracking PV (sporende)
3. Performance of off grid PV (utenfor strømnettet)

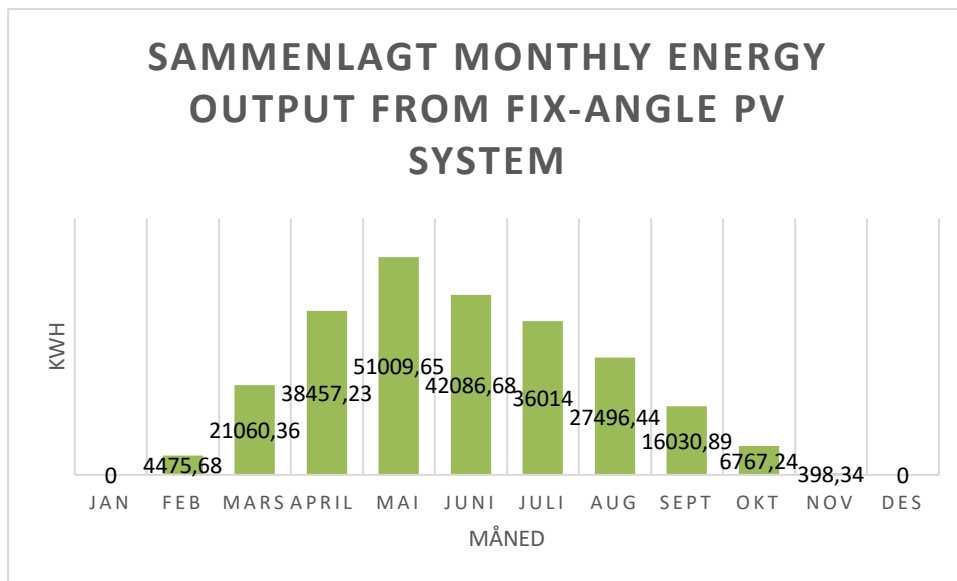
Etter å ha avgjort monteringsystemet, beregnes det potensielle energiutbyttet fra solcellepanelene under optimale forhold. Denne beregningen utføres ved å bruke en gitt formel for installert topp PV effekt (kWp). Videre tas det hensyn til systemtap, i henhold til standardene som er angitt i PVGIS. Monteringsposisjonen for solcellepanelene blir deretter bestemt, der alternativene er enten frittstående eller integrert. Deretter bestemmes vinkelen på solcellepanelene fra det horisontale planet, og til slutt i azimut, eller orienteringen av solcellepanelets vinkel, bestemt. Denne prosessen og de tilhørende beregningene gir en omfattende vurdering av den potensielle energiproduksjonen fra solcellepanelene under ulike forhold og konfigurasjoner (comission, 2023).

$$kWp = \frac{1kW/m^2 \times Areal(m^2) \times Paneleffektiviteten(\%)}{100}$$

$$\text{Installert kWp vegg} = \frac{1kW/m^2 \times 2182(m^2) \times 21,5(\%)}{100} = 469,13 kWp$$

$$\text{Installert kWp tak} = \frac{1kW/m^2 \times 245,9(m^2) \times 21,5(\%)}{100} = 59,2k Wp$$

PVGIS ga følgende resultat for årlig produksjon (kWh) inkludert vegg og tak sammenlagt:



Figur 33. Sammenlagte resultater kWh, (comission, 2023)

Tabellen nedenfor gir en oversikt over de anvendte parameterne under analysen for både vegg og tak. Disse parameterne inkluderer detaljer om monteringsystem, beregnet potensielt energiutbytte, systemtap, monteringsposisjon, vinkel på solcellepanelene og azimut.

Tabell 4. Anvendte parametere under PVGIS analyser

	Vegg	Tak
Område	Jernvassdammen	Jernvassdammen
Monteringsystem	Performance of grid-connected PV (fastmontert)	Performance of grid-connected PV (fastmontert)
Areal	2182m <sup>2</sup>	245,9 m <sup>2</sup>
Paneleffektivitet	21,5%	21,5%
Installert topp PV effekt (kWp)	469,13 kWp	52,9 kWp
Systemtap	14%	14%
Monteringsposisjon	Integrert	Integrert
Vinkel for solceller fra horisontal plan	90°	37,7 °
Asimut (orientering)	90 ° (vest)	90 ° (vest)
Årlig energiproduksjon (kWh)	211143,59 kWh	32750,74 kWh
Årlig innstråling (kWh/m <sup>2</sup> )	581,08 kWh/m <sup>2</sup>	785,42 kWh/m <sup>2</sup>
År til år variasjon (kWh)	11969,07 kWh	1484,77 kWh

## 5.4 Kostnad

Kostnader for BIPV er som regel sammenlignbare med andre kledninger. Prisen varierer fra 2500 til 10 000 kr/kvm for et ferdig installert anlegg (Bjørheim, 2020). I denne oppgaven vurderes en pris på omtrent 5000 kr/m<sup>2</sup>. Vurderingen baserer seg på følgende argumenter, klimaskjermen ligger avsidesliggende til og ikke midt i en by derfor vil det ikke kreve mange arkitektoniske tilpasninger, samtidig kan den avsidesliggende plasseringen føre til at det blir store kostnader knyttet til frakt og dårlig adkomst til byggeplass (Viak, 2018). Når det gjelder pris for tak inkludert montering og materialer kan det ifølge byggestart estimeres en pris på rundt 2000kr/m<sup>2</sup> (Byggstart, u.år). Med disse kostnadene lagt til grunn viser en grov beregning følgende resultat:

Tabell 5. Grov beregning av investeringskostnader med trekledning vs. BIPV

Estimert brutto kostnad	BIPV		Trekledning		Differanse	
	Total kostnad (NOK)	Pris/ m <sup>2</sup> (NOK)	Total kostnad (NOK)	Pris/m <sup>2</sup> (NOK)	Tot. Kost. (NOK)	Pris/m <sup>2</sup> (NOK)
Fasade m/montering	5 629 560 kr	2580 kr	4 364 000 kr	2000 kr	1 265 560 kr	580 kr
Tak m/montering	634 800 kr	2581 kr	565 570 kr	2300 kr	69 230 kr	281 kr
SUM	6 264 360 kr	-	4 929 570	-	1 334 790 kr	861 kr

Tabellen over viser resultatene for et grovt anslag av pris for begge løsningene inkludert BIPV og trekledning. I tillegg viser tabellen prisdifferansen for de to alternativene. Hvis BIPV prisen skal vurderes uten sammenligning med prisen for en standard trekledning, kan summen virke noe avskrekkende. Setter man derimot disse to prisene opp mot hverandre og tar utgangspunkt i at det skal etableres en klimaskjerm uavhengig om det blir solceller, virker BIPV alternativet svært gunstig.

### 5.4.1 Eget forbruk

En av fordelene ved å implementere BIPV i kledningen er at klimaskjermen kan være selvforsynt med strøm for blant annet oppvarming og lys. For å gjøre et estimat av hvilket forbruk som kan forventes har det i denne beregningen tatt utgangspunkt i gjeldende strømforbruk på Nygårdsdammen som allerede har en etablert klimaskjerm med lys og oppvarming. Det årlig forbruke for Nygårdsdammen er ifølge Nordkrafts interne oversikt over strømforbruk 73681,19 kWh.



## 5.4.2 Nåverdi

For å vurdere kostnadseffektiviteten av et potensielt solcelleanlegg på Jernvassdammen, ble det utført to forenklede nåverdiberegninger. Begge scenarioene antok installasjon av solcellepaneler over hele tilgjengelige vegger og tak over damkronen. For alternativ 1 er det tatt utgangspunkt i et prosjekt hvor klimaskjerm med BIPV vurderes i sin helhet og investeringskostnaden er den totale kostnaden for installasjon av BIPV på vegg og tak. Alternativ 2 tar utgangspunkt i prisdifferansen som total investeringskostnad. På den måten vurderer alternativ 2 nåverdi med grunnlag i at det er besluttet at det skal etableres en klimaskjerm, og da er det interessant å se lønnsomheten i å velge BIPV framfor en standard trekledning. Som resultatene under viser, gir alternativ 1 en negativ nåverdi som betyr at prosjektet ikke lønner seg. Alternativ 2 viser derimot en positiv nåverdi, det vil si at dersom en klimaskjerm skal etableres på Jernvassdammen, vil alternativ med BIPV kledning være en lønnsom investering. Det er benyttet grove anslag i beregningen og resultatene kan derfor variere (R. Riise, forelesing 12.08.2020).

$$NPV = -I_0 + \sum_{n=1}^i \frac{Bn}{(1+r)^n}$$

Tabell 6. Nåverdimetoden med totalsum BIPV som investering

Investeringskostnad solcelleanlegg	NOK	6 264 360 kr
Årlig energiproduksjon	kWh	243 894,33
Årlig energibruk Jernvassdammen	kWh	73 000
Årlig salg av energiproduksjons	kWh	170 894 kWh
Total kostnad strøm og nettleie	NOK	1,00 kr
Av dette er fastdel på strøm	NOK	0,30 kr
Netto kostnad spart strøm	NOK	0,70 kr
Pris for solgt strøm	NOK	0,50 kr
Verdi av spart strøm	NOK	73 000 kr
Verdi av solgt strøm	NOK	85 447 kr
Verdi av solgt og spart strøm	NOK	158 447 kr
Vekst i strømpris/år	%	2,7
Rentekrav til investeringen	%	3 %
Levetid	ÅR	30
Antall år før du har tjent inn investeringen	ÅR	10
SUM NÅVERDI	NOK	-1242740

Tabell 7. Nåverdimetoden med

Investeringskostnad solcelleanlegg	NOK	6 264 360 kr
Årlig energiproduksjon	kWh	243 894,33
Årlig energibruk Jernvassdammen	kWh	73 000
Årlig salg av energiproduksjons	kWh	170 894 kWh
Total kostnad strøm og nettleie	NOK	1,00 kr
Av dette er fastdel på strøm	NOK	0,30 kr
Netto kostnad spart strøm	NOK	0,70 kr
Pris for solgt strøm	NOK	0,50 kr
Verdi av spart strøm	NOK	73 000 kr
Verdi av solgt strøm	NOK	85 447 kr
Verdi av solgt og spart strøm	NOK	158 447 kr
Vekst i strømpris/år	%	2,7
Rentekrav til investeringen	%	3 %
Levetid	ÅR	30
Antall år før du har tjent inn investeringen	ÅR	35
SUM NÅVERDI	NOK	-1242740

## 5.5 Vurdering av solcellepanelintegrasjon

For å vurdere kostnadseffektiviteten av et potensielt solcelleanlegg på Jernvassdammen, ble det utført to forenklede nåverdiberegninger. Det første scenarioet antok installasjon av solcellepaneler på tilgjengelig vegg og tak over damkronen. Det andre scenarioet inkluderte investeringskostnadene for solcelleanlegget, minus investeringskostnadene for konstruksjonen av en klimaskjerm av tremateriale. Hovedformålet med denne oppgaven var å undersøke potensialet for en klimaskjerm for å beskytte betongdammen mot klimapåvirkninger, som har vist seg å være effektivt for Nygårdssdammen. I tillegg var det et mål å utforske en mulig dobbel gevinst ved å integrere

solcellepaneler som en del av denne klimaskjermen. Det er imidlertid viktig å merke seg at etablering av solceller som klimaskjerm medfører betydelige høyere oppstartskostnader sammenlignet med en tradisjonell trevegg. Nåverdiberegningene for de totale kostnadene knyttet til etablering av solcelleanlegget på dammen indikerer ikke økonomisk lønnsomhet for prosjektet, gitt at tilbakebetalingstiden overstiger solcellens forventede levetid. Dette innebærer at anlegget potensielt må byttes ut før det er fullt nedbetalt.

Imidlertid gir nåverdiberegningen et mer positivt bilde når utgangspunktet er at det sannsynligvis bør bygges en klimaskjerm som trevegg, der det ikke vil være noen inntjening, og trekker fra denne kostnaden i totalbeløpet for solceller som klimaskjerm. Da vil nåverdiberegningen et helt annet og positivt bilde. For dette scenarioet vil prosjektet, ifølge beregningene, være inntjent etter 9 år. Det er verdt å merke seg at denne beregningen ikke tar hensyn til potensielle kostnadsbesparelser knyttet til fremtidig vedlikehold av betongen i damkronen, slik resultatene ved Nygårdsdammen fremgår. Under forutsetning av at også denne gevinsten tas i betraktning, antyder resultatene at dette kan være et lønnsomt prosjekt, noe som bør utforskes videre i en eventuell forprosjektering og detaljprosjektering.

## 6. Vurdering av konseptløsning

Denne studien har hatt som formål å utforme en konseptløsning for klimaskjerm, med hensikt å beskytte betongkonstruksjonen på Jernvassdammen, som ligger ved Nedre Jernvatnet i Narvik kommune. Studien har spesielt vurdert integrasjon av solceller i klimaskjermen. Det er en innovativ tilnærming som kombinerer fornybar energiproduksjon og beskyttelse av kritisk infrastruktur. For å lykkes med en slik løsning krever det nøye planlegging og vurdering av ulike løsninger. Derfor er denne oppgaven utformet som den første delen av en planlegging- og vurderings fase.

Å bygge med solceller er i dag en svært kostbar investering. Derfor er det svært viktig med nøye planlegging for en konstruksjon som utnytter maksimalt av potensialet sitt slik at dameier kan sitte igjen med størst mulig vinning. Det har blitt lagt tydelig vekt på å utforme en klimaskjerm tilpasset de spesifikke forholdene ved Jernvassdammen, med klimaskjermen på Nygårdsdammen som en viktig referanse. Dette har påvirket vurderingen av en rekke detaljer. Blant annet tilgang til dammen, tilrettelegging for inspeksjon og muligheter for utbedring. Denne referansen har vært en god veileder med tanke på å sikre at designet er i tråd med velprøvde løsninger og at det er tatt hensyn til praktiske og sikkerhetsrelaterte hensyn. I dette prosjektet er det vurdert BIPV framfor ettermonterte solceller. Denne vurderingen baserer seg på det faktum at den planlagte klimaskjermen ikke er bygget. Da fremstår det fornuftig med en tilnærming mot vedlikeholdsfrie bygningsintegrerte solcellepaneler framfor ettermonterte solceller både med tanke på økonomiske og estetiske betraktninger. Dette fordi det resulterer i mindre materialbruk og større utnyttelse av området. I tillegg gir det et visuelt penere inntrykk med rene overflater sammenlignet med flere solcelleinstallasjoner fordelt på veggen.

*Dette kapittelet vil gi en diskusjon om disse vurderingene og de viktigste funnene fra studien, med sikte på å gi en bred forståelse av implikasjonene og potensialet for dette innovative designkonseptet.*

### 6.1 Solinnstråling

Ved vurdering av implementering av solceller er det viktig å vurdere lokaliseringen med tanke på solinnstråling. Uten solinnstråling, vil investering av solceller ikke vært kostnadseffektivt. Plassering, orientering og vinkling av solcellene er avgjørende faktorer for maksimal utnyttelse av solenergi. Det er viktig å merke seg at ikke alle områder er egnet for solenergiproduksjon. For Nygårdsdammen vil det nok for eksempel ikke være lønnsomt med implementering av solceller da veggen er buetformet. En slik konstruksjon vil kunne resultere i store skyggefelt for eventuelle solceller. Jernvassdammen er med sin rette form og med lite omkringliggende vegetasjon et bedre alternativ for implementering av solceller. For det aktuelle prosjektet er orienteringen forhåndsbestemt gitt at dammens luftsiden er orientert 90° (vest). Selv om det generelt anbefales å orientere solcelleanlegg sørover i nordlige områder, kan en vestlig orientering være gunstig i dette tilfelle. Dette fordi solens posisjon ligger lavt og lenge på himmelen under de mest produktive månedene. I tillegg gir refleksjon fra snø og is en forsterket energiproduksjon, noe PVGIS ikke inkluderer i analysene.

Effektiviteten til solcellene har også vist seg å forbedres under kalde forhold. En veggvinkling på 90° ble valgt for å unngå akkumulering av snø. Optimal takvinkel med tanke på solinnstråling ble beregnet ved hjelp av Energy (Energy, u.år). Imidlertid kan den valgte vinkelen potensielt øke sjansen for snøoppsamlig på nedre del av tak. En løsning for dette problemet kan være å installere en overbygning over taket, men dette vil kreve ytterligere vurderinger da en slik konstruksjon potensielt kan skape skyggeområder på solcellene som igjen kan redusere energiproduksjonen. Det er heller ikke vurdert i oppgaven å installere solceller på vannsiden av konstruksjonen. I utgangspunktet var det planlagt en klimaskjerm som gikk fra toppen av dammen og til damfoten på luftsiden av dammen. Det ble senere vurdert at det var mer hensiktsmessig at klimaskjermen skulle gå over damkronen og danne en takkonstruksjon over gangpartiet til dammen. Da denne vurderingen ble

lagt til grunn, var det for liten tid for å vurdere solcelleinstråling fra vegg på vannsiden. En slik implementering kan øke energiproduksjonen betraktelig, imidlertid kan det også medføre problemer knyttet til vannsprut, store bølger og isdannelse på solcellene.

Resultatene fra PVGIS viste at den årlige energiproduksjonen (kWh) var høyere for veggen sammenlignet med taket. Det var også forventet da arealet er betraktelig større for veggen sammenlignet med taket. Imidlertid viste resultatene at taket hadde en større årlig energiproduksjon per kvadrat (kWh/m<sup>2</sup>) sammenlignet med veggen. Den årlige energiproduksjonen per kvadrat så slik ut ifølge PVGIS analysen:

- Vegg: 580,5 kWh/m<sup>2</sup>
- Tak: 784,6 kWh/m<sup>2</sup>

Disse resultatene er å forvente da den beregnede vinkelen for taket skulle være den optimale vinkelen i dette området. Samtidig er det viktig å merke seg at PVGIS ikke kan forutse snøens innvirkning på solcellene, hverken ekstra solinnstråling eller snøakkumulering på solcellene. Derfor er det naturlig å anta at vinklingen som er bestemt i oppgaven kan gi andre resultater enn det PVGIS presenterer. Antakeligvis vil resultatet bære preg av en høyere energiproduksjon for veggen enn antatt og en lavere produksjon for taket.

*Solinnstråling i nordlige områder har vist seg å være store og konkurransedyktige med flere sørlige områder som kanskje er mer veletablerte i markedet når det gjelder solceller. Nordligere klima har flere momenter som gjør at solceller kan «trives» godt og produsere mye ren energi i fremtiden. Som gunstige temperaturforhold, Perioder med solinnstråling hele døgnet og snø som forsterker solens refleksjon. Imidlertid er det fortsatt noen utfordringer knyttet til solceller i nord, som snø- og isdekke på solcellene samt perioder med ingen solinnstråling.*

## 6.2 Betongkonstruksjonen

Fra et sikkerhetsmessig perspektiv antas betongkonstruksjonen på Jernvassdammen å være god stand. Dette underbygges av at utbedring av dammen ble utført så sent som i 2017. Under visuell befaring fremstår situasjonen derimot annerledes. Det ble observert betydelige mengder avskalling, sprekkdannelse og kalkutslag i konstruksjonen, noe som er spesielt merkbart under befaring. Disse skadene synes å være gjennomgående langs hele luftsiden av dammen. Selv om det er uklart hvilken stand betongen under islaget er i, er det grunn til å anta at tilstanden er av samme art som betongen som ble inspisert under befaring. Med det klimaet som forventes i fremtiden, preget av mer ekstremt vær, er det naturlig å anta at tilstanden til betongkonstruksjonen vil forverres ytterligere. Observasjoner fra befaringen av Nygårdsdammen tyder på at implementeringen av klimaskjermen har gitt svært gode resultater i form av bevaring av betongkonstruksjon og for reduksjon av langsiktige vedlikeholdskostnader.

*Betongkonstruksjonen gir et svært dårlig visuelt inntrykk og det bør vurderes å rehabilitere betongkonstruksjonen. I tillegg er klimaskjermen på Nygårdsdammen et tydelig bevis på at en skjerming gir gode resultater ved å beskytte betongkonstruksjonen.*

## 6.3 Klimaskjermens oppbygging

Klimaskjermen er planlagt som en hybridløsning som trekker elementer både fra den eksisterende klimaskjermen på Nygårdsdammen og Sintefs eksempel på oppbygging av BIPV som kledning.

Nygårdsdammen sin klimaskjerm synes å fungere optimalt. Med unntak av at taket ikke dekker damkronen samt at inngangsdøren til klimaskjermen var dekket av snø under befaring. Dette har ledet til at utformingen av klimaskjermen av Jernvassdammen har fulgt mange av de samme

løsningene som Nygårdsdammen, men med implementering av solceller. I tillegg er det planlagt at klimaskjermen skal strekke seg over damkronen. Det er viktig å merke seg at BIPV som kledning fortsatt er relativt nytt i markedet. Dette kan medføre potensielle utfordringer ved montering av kledningen. Spesielt hvis det ikke tilrettelegges allerede i planleggingsfasen. Jernvassdammen er en gravitasjonsdam og har en annen oppbygging enn Nygårdsdammen. Det er en fordel at gravitasjonsdammer er kjent for å være de mest stabile dammene. Utfordringen ligger heller i å dimensjonere rundt den kjegleformede veggen. Både kledningen og dimensjonene blir raskt store når det skal være god nok avstand i bunnen av dammen, der dammen har sitt breieste punkt. Det er med bakgrunn i dette at vinduer er planlagt med samme dimensjoner som solcellene. Det er ikke planlagt plassering av dør i oppgaven, da det var store mengder snø i bunnen av dammen ved befaringstidspunktet. Det var utfordrende å utforske terrenget som befant seg under snømengdene. Plassering og dimensjonering av dør bør derfor vurderes i videre arbeid. I tillegg bør også døren dimensjoneres med hensyn til solcellenes dimensjoner og det bør være en form for forhøyelse til døren slik det er på Nygårdsdammen (Kvande et al., 2021).

## 6.4 Økonomi

Ved utarbeidelse av de økonomiske beregningene er det viktig å merke seg at flere av parameterne baserer seg på prisantakelser og estimer. Det er derfor en grad av usikkerhet knyttet til resultatene. Strømpriser og systempriser for BIPV er også to faktorer som bærer preg av stor usikkerhet i fremtiden. Bare disse faktorene alene kan føre til store variasjoner i inntekter og kostnader. Trenden tyder på at strømprisene vil bli høyere med tiden og at kostnadene for BIPV vil gå ned.

I beregningene er det heller ikke vurdert drift og vedlikeholdskostnader. Disse kostnadene ville nok ha gitt en ytterligere positiv innvirkning for kostnadsvurderingene knyttet til BIPV. Det vil antakelig være rimeligere og mindre behov for drift- og vedlikeholdsarbeid ved implementering av solceller sammenlignet med tremateriale, da solceller ansees å være «vedlikeholdsfrie», sett bort fra behov for rengjøring av panelene for optimal effekt. Usikkerhetene som nevnes over innebærer at de faktiske kostnadene kan avvike fra de estimerte kostnadene som er presentert her. Resultatene antyder at det vil være økonomisk gunstig å implementere BIPV dersom en klimaskjerm skal etableres på Jernvassdammen. Basert på de estimerte kostnadene, kan det forventes at investeringen vil være nedbetalt i løpet av en 10-års periode. Dette indikerer at BIPV kan være et lønnsomt alternativ for Jernvassdammen gitt at det er besluttet at det skal etableres en klimaskjerm. Når klimaskjerm med BIPV vurderes som en isolert investering, uten å sammenligne med standard klimaskjerm av tre, blir bildet noe annerledes. I dette scenariet vil ikke investeringen være lønnsom gitt en nedbetalingstid på 35 år og en antatt levetid på solcellepanelene på 30 år. Dette er et viktig punkt å ta i betraktning når den økonomiske bærekraften for implementering av BIPV skal vurderes.

*Beregningene bør betraktes som indikasjoner fremfor endelige resultater. De gir en pekepinn på den potensielle økonomiske levedyktigheten til BIPV på Jernvassdammen. Videre er det viktig å gjennomføre en mer detaljert økonomisk analyse og livssyklusanalyse for å få en mer nøyaktig forståelse av de potensielle kostnadene og økonomiske fordelene.*

## 7. Konklusjon og oppsummering

Det primære målet for denne oppgaven har vært å identifisere en konseptløsning for konstruksjonen av en klimaskjerm på Jernvassdammen. Et sekundært mål har vært å undersøke muligheten for å integrere solceller i klimaskjermen.

Fra et sikkerhetsmessig perspektiv antas betongkonstruksjonen på Jernvassdammen å være i god stand. Dette støttes av det faktum at dammen ble vedlikeholdt så nylig som i 2017. Fra visuell inspeksjon fremstår situasjonen imidlertid annerledes. Betydelige mengder avskalling, sprekkdannelse og kalkutslag ble observert i konstruksjonen. Skadene virket å være gjennomgående langs hele luftsidan av dammen. Synlige skader av så stor grad som ved Jernvassdammen kan for publikum oppfattes som usikkert og lite trygt. I tilfellet Jernvassdammen kan det visuelle uttrykket skape bekymringer rundt dammens stabilitet.

Basert på erfaring fra Nygårdsdammen, samt funnene som er presentert i denne oppgaven kan det konkluderes med at det vil være fordelaktig å etablere en klimaskjerm på Jernvassdammen. Det er sannsynlig at kostnadene ved rehabilitering/vedlikehold av en enkel klimaskjerm vil være mindre enn rehabilitering av en omfattende betongkonstruksjon. Som referanse har det for Nygårdsdammen vært lite behov for rehabilitering og vedlikehold av klimaskjermen.

Klimaskjermen baserer seg på en hybridløsning som trekker elementer både fra den eksisterende skjermen på Nygårdsdammen og Sintefs eksempel på oppbygging av kledning med BIPV. Ved å gjøre dette er det ønskelig å kombinere en bevist god løsning, slik som den på Nygårdsdammen med en forholdsvis ny og innovativ løsning som BIPV. Det er med grunnlag i dette at den planlagte klimaskjermen skal planlegges med 15 vinduer i toppen av veggen for å minimere fukt samt å sikre lysinnslipp i dammen. I tillegg skal kledningen gå over damkronen og danne en innkledd gang i toppen av dammen. Dette er et tiltak som er planlagt å være en forbedring sammenlignet med klimaskjermen på Nygårdsdammen. Videre er det brukt samme avstander i klimaskjermen som ble målt av Nygårdsdammen ved befaring, for å sikre god plass for inspeksjon. En utfordring kan bli å dimensjonere for en gravitasjonsdam som er en kjegleformet konstruksjon, som er bredest nederst. Sammenlignet med Nygårdsdammen som er en hvelvdam og står omtrent rettviskilt i forhold til terreng. Det kan ende med å bli en konstruksjon med store dimensjoner. I tillegg kan det bli utfordrende å dimensjonere øvre del av klimaskjerm som skal danne tak. I denne delen av konstruksjonen vil det bli et stort gangareal, da øverste del av gravitasjonsdammen er smalt.

Integrering av solceller i både front og tak av damkonstruksjonen vil ikke nødvendigvis være økonomisk i seg selv. Som beskrevet i økonomikapittelet, vil ikke dette tiltaket være lønnsomt før anleggets forventede levetid er utløpt. Men dersom det bestemmes at det skal bygges en klimaskjerm, og tar dette i betraktning i økonomiske beregninger, endrer bildet seg. Med den antatte økningen i strømpriser som diskutert i økonomikapittelet, vil dette også bidra positivt i anleggets inntjening. I rapporten til NVE påpekes det at solceller i dag er en dyr investering. Det antas imidlertid at markedet vil vokse i fremtiden, med flere aktører som potensielt vil presse prisene ned.

Dersom Nordkraft skulle velge å realisere prosjektet med BIPV dette prosjektet, er det viktig å innse at det kanskje ikke vil resultere i større økonomiske gevinster på sikt. Imidlertid vil det representere et skritt mot en mer bærekraftig og innovativ fremtid. Solkraft er for tiden i stor vekst i energisektoren og vil sannsynligvis spille en stor rolle i årene som kommer. Ved å være en pioner i å integrere vann-, vind- og solkraft i et samlet geografisk område, kan Nordkraft være posisjonert i frontlinjen for denne voksende trenden. Gjennomføring av et slikt prosjekt vil ikke bare være et uttrykk for miljøbevissthet og innovasjon, men det vil også tjene som et viktig signal til industrien og samfunnet om viktigheten av å utforske og utnytte nye og bærekraftige energikilder. Dette er en

spennende målsetting som bringer med seg potensiale for både lokale og globale forandringer og det vil være givende å se den i en eventuell videre utvikling.

Det anbefales å fortsette med å undersøke muligheten for å integrere solcellepaneler i klimaskjermen på Jernvassdammen. Dette også fordi at slike løsninger kan benyttes på andre konstruksjoner og anlegg hos Nordkraft. Det vil ta tid å utarbeide mer detaljerte planer for en endelig beslutning. På det tidspunktet kan teknologi, pris og erfaringer med solcelleprosjekter ha utviklet seg betydelig og prosjektet kan vise seg å være mer lønnsomt enn det fremstår i dag.

## **7.1 Anbefalinger og videre arbeid**

For videre arbeid bør det utføres mer detaljerte dimensjoneringer og kostnadsberegninger for å få en mer nøyaktig forståelse av de økonomiske aspektene ved prosjektet. Dette er spesielt viktig fordi Nygårdsdammen er en hvelvdam og Jernvassdammen er en gravitasjonsdam med en annen type oppbygging. Videre kan det undersøkes hvorvidt det er lønnsomt å integrere solceller på vannsiden av klimaskjermens. Selv om det kan føre til potensielle utfordringer kan det også innebære ytterligere potensial for energiproduksjon. En annen viktig faktor som bør vurderes i fremtiden er kapasiteten til det lokale strømnettet. Det bør gjennomføres egne beregninger for å vurdere om strømnettet kan håndtere integrasjon av solenergi produsert av anlegget, ettersom dette vil være avgjørende for effektiv bruk og distribusjon av den produserte energien. I tillegg kan det vurderes alternative løsninger for energilagring eller utvidelse av solcellekapasiteten på et senere tidspunkt. En spennende mulighet kan være å vurdere bruken av flytende solceller på vannet i dammen. Dette kan potensielt øke den totale energiproduksjonen og bidra ytterligere til å forbedre bærekraften til anlegget.

## Referanseliste

- Andenæs, E., Jelle, B. P., Ramlo, K., Kolås, T., Selj, J. & Foss, S. E. (2018). The influence of snow and ice coverage on the energy generation from photovoltaic solar cells. *Solar Energy*, 159, 318-328.
- Andersen, E. (2011). *Gravitasjonsdammer utsatt for jordskjelv*.
- Bjørheim, K. (2020, 12. desember ). *Venter voldsom vekst for integrerte solceller. Prisen for fasade med og uten solceller er omtrent den samme*. Teknisk ukeblad.  
<https://www.tu.no/artikler/venter-voldsom-vekst-for-integrerte-solceller-prisen-for-fasade-med-og-uten-solceller-er-omtrent-den-samme/504074?key=UcY1StIC>
- Bruarøy, I. J. R. & Yksnøy, N. S. (2020). *Analyse av produksjon og økonomi fra et privat solcelleanlegg i Innlandet* [NTNU].
- Byggforskserien. (2022). *Liggende og stående kledning*.  
[https://www.byggforsk.no/dokument/472/liggende\\_og\\_staaende\\_trekledning?gclid=CjwKCAjwjMiiBhA4EiwAZe6jQ3iSo4jF2JaUxSZ0arBf\\_vRFLIYmjg3OIY5U2zq\\_8lbeKZMgwh7DGxoCrAYQAvD\\_BwE](https://www.byggforsk.no/dokument/472/liggende_og_staaende_trekledning?gclid=CjwKCAjwjMiiBhA4EiwAZe6jQ3iSo4jF2JaUxSZ0arBf_vRFLIYmjg3OIY5U2zq_8lbeKZMgwh7DGxoCrAYQAvD_BwE)
- Byggstart. (u.år). *Skifte tak: Hva koster det (2023-pris)*. Hentet 14. mai 2023 fra  
<https://www.byggstart.no/pris/skifte-tak>
- Calkins, M. (2008). *Materials for sustainable sites: a complete guide to the evaluation, selection, and use of sustainable construction materials*. John Wiley & Sons.
- comission, E. (2023, 11.05.2023). *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM*. [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)
- Dokka, T. H. & Grini, C. (2013). Etterprøving av bygningers energibruk. Metodikk.
- Energy, N. (u.år). *Hvordan finne ut riktig vinkel for solcellepaneler i solcelle PV-system*. Hentet 12. mai 2023 fra <https://no.dsisolator.com/info/how-to-figure-the-correct-angle-for-solar-pane-37643825.html>
- Fergus, T., Hoseth, K. & Sæterbø, E. (2010). *Vassdragshåndboka: håndbok i vassdragsteknikk. Ny rev. utg. Trondheim: Tapir akademisk forl.*
- Fergus, T., Hoseth, K. A. & Sæterbø, E. (2010). *Vassdragshåndboka: Håndbok i vassdragsteknikk* (5. utg.). NVE.
- forskrift, B. (2017). *Kapittel 14 Energi* (§14-2). Byggteknisk forskrift.  
<https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/innledning-til-kapittel-14-energi>
- Forskrift om internkontroll for å oppfylle lov om vassdrag og grunnvann. (2003). *Forskrift om internkontroll for å oppfylle lov om vassdrag og grunnvann* (FOR-2003-02-21-199). Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2003-02-21-199>
- Forskrift om sikkerhet ved vassdragsnlegg (damsikkerhetsforskriften). (2010). *Forskrift om sikkerhet ved vassdragsnlegg (damsikkerhetsforskriften)* (FOR-2009-12-18-1600). Lovdata.
- Forskrift om vannforsyning og drikkevann (drikkevannsforskriften). (2017). *Forskrift om vannforsyning og drikkevann (drikkevannsforskriften)* (FOR-2016-12-22-1868). Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-12-22-1868>
- Gautefall, O. (1990). *Status for dammer av betong i Norge*. SINTEF, FCB.  
<https://doi.org/oai:nb.bibsys.no:999101176404702202>
- URN:NBN:no-nb\_digibok\_2009082104034
- Gobakken, L., Alfredsen, G., Brischke, C. & Flæte, p. (2014). *Levetid for tre i utendørs konstruksjoner i Norge* (16/2014). Skog og landskap. Levetid for tre utendørs i konstruksjoner i norge



- grunnvann., F. o. i. f. å. o. l. o. v. o. (2003). *Forskrift om internkontroll, vannressursloven* (FOR-2003-03-21-199). Lovdata.
- Grøner, C. F. (1991). *Aldring og sikkerhet av betongdammer* (Rapport nr. 1). (Prosjekt damsikkerhet, Issue. NVE Tilsyns- og beredskapsavdelingen (NVE-T).  
[https://publikasjoner.nve.no/prosjektdamsikkerhet/prosjektdamsikkerhet\\_01.pdf](https://publikasjoner.nve.no/prosjektdamsikkerhet/prosjektdamsikkerhet_01.pdf)
- Guttormsen, O. (2006). TVM4165, Vannkraftverk og vassdragsteknikk, Vassdragsteknikk 1. I. Trondheim: Tapir Akademisk Forlag.
- Hanssen-Bauer, I., Drange, H., Førland, E., Roald, L., Børsheim, K., Hisdal, H., Lawrence, D., Nesje, A., Sandven, S. & Sorteberg, A. (2009). Klima i Norge 2100. *Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing., Norsk klimasenter, Oslo, Norway.*
- ISO, I. (2011). 15686-1: 2011 Buildings and Constructed Assets-Service Life Planning-Part 1: General Principles and Framework. *ISO: Geneva, Switzerland.*
- kart, N. (u.år). *Nedre Jernvatnet*. Hentet 10. mai 2023 fra  
<https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=15&lat=7601121.05&lon=615145.15&markerLat=7601121.053176808&markerLon=615145.1473852686&p=searchOptionsPanel&sok=Nedre%20Jernvatnet>
- klimaservicesenter, N. (2022). *Klimaprofil Nordland*.  
<https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/nordland>
- Kolstad, S. T., Jensen, T. M., Skogstad, H. B. & Gullbrekken, L. (2022). Det er også byggetekniske krav til solcelleanlegg.
- Kvande, T., Bunkholt, N. S. & Time, B. (2021). Bruk av bygningsintegreerte solceller.
- Landau, C. (2017, 18 Mars). *Optimum tilt of solar panels*. <http://www.solarpaneltilt.com/>
- Lee, J. & Nørve, V. (2021). *Massivtre og limtre kontra stål og betong: En sammenligningstudie av materialer i et bygg med henhold til klimagassregnskap og pris* [NTNU].
- leksikon, S. n. (2018, 31. oktober). <https://snl.no/midnattssol>
- Lindland, J. (2004). Veiledning i metoder for utbedring av karbonatisert betong i verneverdige bygninger.
- Løkke, K. (2015). Vil klimaendringene ta fra oss lyset i lampa? *Norges vassdrags-og energidirektorat*.
- Mamen, J. (2021, 18. mai). *Köppens klimaklassifisering*. Store norske leksikon.  
[https://snl.no/K%C3%B6ppens\\_klimaklassifisering](https://snl.no/K%C3%B6ppens_klimaklassifisering)
- Miljøstein, A. (u.å). *Kalkutslag*. Hentet 3. Mai 2023 fra <https://www.asak.no/Inspirasjon-og-guider/Arbeidsbeskrivelser/Vedlikehold/Kalkutslag>
- Mussard, M. (2017). Solar energy under cold climatic conditions: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 733-745.
- Nilsen, J. (2016, 9. juni). *Antarktis: Slik skal solcelle-anlegget overleve 40 minusgrader, sandstorm og vindkast på halvannen gang orkan styrke*. Teknisk Ukeblad.
- Nordkraft. (u.år). *Nygård kraftverk*. Hentet 12.mai.2023 fra  
<https://www.nordkraft.no/kraftverk/nygard-kraftverk>
- Norge, B. (2023). *Fakta om betong*. Betongelementforeningen. <https://www.betong.no/fakta-om-betong/>
- Norgeskart. (U.år). *Nedre Jernvatnet*. Hentet 10. mai 2023 fra  
<https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=15&lat=7601121.05&lon=615145.15&markerLat=7601121.053176808&markerLon=615145.1473852686&p=searchOptionsPanel&sok=Nedre%20Jernvatnet>
- Norsk klimaservicesenter. (2022, April). *Klimaprofil Nordland*.  
<https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/nordland>
- Norsk klimaservicesenter. (u.år-a). *Observasjoner og værstatistikk*. Hentet 20. april. 2023 fra  
<https://seklima.met.no/observations/>

- Norsk klimaservicesenter. (u.år-b). *Vindrose med frekvensfordeling*. Hentet 13.mai.2023 fra [https://seklima.met.no/windrose/?timeresolution=last\\_10\\_years&locationid=SN84910](https://seklima.met.no/windrose/?timeresolution=last_10_years&locationid=SN84910)
- Pedersen, B. S. (2017). *Hvordan påvirker vind-og solkraftproduksjon prisvolatiliteten i det nordiske kraftmarkedet?* [Norwegian University of Life Sciences, Ås].
- Reenaas, T. W., Marstein, E. S. & Foss, S. E. (2010). Solceller. *Naturen*, 133(6), 280-290. <https://doi.org/10.18261/ISSN1504-3118-2009-06-02>
- Ringnes, T. (2020, 16.01.2020). *Tussmørke*. <https://snl.no/tussm%C3%B8rke>
- Rodum, E. (2005). *SINTEF - NTNU. Betonginformasjonsdag 2005* (STF50 A05150). SINTEF Digital. [https://www.sintef.no/globalassets/upload/teknologi\\_og\\_samfunn/betong/rapporter/a05150-komplett-for-web.pdf?fbclid=IwAR3Z96nV\\_0LoOJE\\_WV8sXcP2Ht7UYNJwvtYY2rlqFh5T1WrOjpuMHXdy660](https://www.sintef.no/globalassets/upload/teknologi_og_samfunn/betong/rapporter/a05150-komplett-for-web.pdf?fbclid=IwAR3Z96nV_0LoOJE_WV8sXcP2Ht7UYNJwvtYY2rlqFh5T1WrOjpuMHXdy660)
- Sambandet, F. (2018). Klimaendringer. Hentet fra <https://www.fn.no/Tema/Klima-og-miljoe/Klimaendringer>.
- Solenergiforening, N. (2012). Solceller. *Norsk Solenergiforening*, [Online]. Available: <http://www.solenergi.no/om-solenergi/teknologi/solceller/>. [Accessed 16 01 2015].
- Spjeldnæs, N. (2022). Forvitring. *Store norske leksikon*. <https://snl.no/forvitring>
- Sundsbo, P. A. (1999). *Analyse av snødriftforhold ved Sirkelvann kraftverk*. WSB technology as.
- Svendsen, V. N. & Torblaa, E. J. (1989). *Alkalireaksjoner i norske betongdammer* (Bd. V20).
- Thue, J. V. (2019, 16. juli ). *Betong*. Store norske leksikon. <https://snl.no/betong>
- Timeanddate. (u.år). *Narvik, Norway - Sunrise, Sunset, and daylength*. Hentet 11. mai 2023 fra <https://www.timeanddate.com/sun/norway/narvik?month=4&year=2023>
- Viak, M. o. A. (2018). *Solcellesystemer og sol i systemet* (10200404-1080-RAP-001). Solenergiklyngen.
- Wang, X., Nguyen, M., Stewart, M., Syme, M. & Leitch, A. (2010). Analysis of climate change impacts on the deterioration of concrete infrastructure—part 1: mechanisms, practices, modelling and simulations—a review. *Published by CSIRO, Canberra. ISBN, 9780(4310365)*, 8.
- Wilson, M. J. & Paul, M. C. (2011). Effect of mounting geometry on convection occurring under a photovoltaic panel and the corresponding efficiency using CFD. *Solar Energy*, 85(10), 2540-2550.
- Østbye, M. (2014). *Kostnadsevaluering av photovoltaiske-solceller integrert i fasade på Norske næringsbygg*.

# Vedlegg

## Vedlegg 01 – Oppgavebeskrivelse



Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi  
Institutt for bygg, energi og materialteknologi

### MASTEROPPGAVE

For

**Ingrid Evita Antonsen Hjallar (540015)**

Vår 2023

## Klimaskjerming av betongdam

(Climatic protection of concrete dam)

This document is the formal assignment and task description for a master's thesis project at University of Tromsø (UiT). The master's thesis project may be given in collaborating with industry partner or external research institute.

Changes may be done with respect to the content and extent of the project. The given title of this master thesis project is to be regarded as a working title and may be slightly change during this project. However, such changes should be discussed with all parties and must be approved by the main supervisor at the UiT.

### Bakgrunn

Nygård kraftverk er et magasinkraftverk som består av totalt 7 magasiner med 18 dammer som reguleres. En av dammene er Jernvassdammen. Jernvassdammen demmer opp Øvre og Nedre Jernvann som reguleres mellom 299 og 265 moh. Kraftstasjonen brer seg ut over et område på 152 km<sup>2</sup> og har en midlere årsproduksjon på 110 GWh. Kraftverket er preget av en nokså lav magasinandel, hvor magasinvolumet for jernvatnet er 52,9 mill. m<sup>3</sup>. Da NVE kom med nye forskrifter ble det gjort en vurdering av alle dammer for Nygård kraftverk. Da ble det fastslått at dammer på Jernvann ikke tilfredsstillte de nye kravene og dermed må det utføres en utbedring av dammen.

*Betongdammer som er fundamentert på fjell og utført fagmessig, er generelt mindre utsatt for skader som kan føre til dambrudd enn fyllingsdammer. Dette gjelder spesielt massive damkonstruksjoner. Imidlertid vil også betongdammer være utsatt for klimatisk påvirkning, vanntrykk o.l. og det vil det alltid kunne oppstå skader forårsaket av uforutsette lekkasjer, bølger, is, nedbør eller tele- og frostsprengninger. Derfor må det være regelmessig tilsyn, og inspiseres nøye minst en gang hvert år, fortrinnsvis under fullt vanntrykk. Skader bør utbedres snarest mulig, ikke minst hvis de oppstår ved overløp eller andre steder som kan være særlig utsatt for frostsprengninger. Det er viktig at lekkasjer stoppes på oppstrøms side, mens fuger og sprekker på nedstrøms side beholdes åpne for drenering av det indre av dammen ([https://publikasjoner.nve.no/veileder/2006/veileder2006\\_02.pdf](https://publikasjoner.nve.no/veileder/2006/veileder2006_02.pdf)).*

I denne oppgaven skal det utføres en analyse av klimatisk påvirkning og alternativer for skjerming av betongkonstruksjonen på Jernvassdammen i Narvik kommune.

## Hovedproblemstilling

Utforme en konseptløsning for klimaskjerming av betongkonstruksjonen på Jernvassdammen, som ligger ved Nedre Jernvatnet i Narvik kommune. Det skal spesielt vurderes om skjermingen skal inkludere solcellepanel og om løsningen eller deler av løsningen, skal ha overføringsverdi til tilsvarende anlegg

I den innledende fasen av masteroppgaven er det viktig å avklare omfang av analyse, metoder og eventuelle stedlige målinger/observasjoner.

## Delproblemstillinger

Vurdere og systematisere:

- Aktuelle skader på dambetong – Årsak & virkning
- Prinsipper for klima-skjerming for betongkonstruksjoner
- Vurdere bruk av solceller i klimaskjerm
- Hensyn til vedlikehold og tilgang i anlegg
- Overordnet levetidsvurdering/betraktning

## Prosjektbeskrivelse masteroppgave

- ⊛ **Innledende arbeid & forstudie** relatert til den aktuelle oppgaven, en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i prosjektet:
  - Generell analyse av oppgavens problemstillinger.
  - Undersøkelse/analyse av aktuelle lover, regler, kravspesifikasjoner, retningslinjer, praktiske erfaringer og anbefalinger.
  - State-of-the-art undersøkelse med hensyn til betongskader, årsak og avbøtende tiltak.
  - Undersøkelse med hensyn til prinsipper for avbøtende tiltak og byggtekniske tekniske løsninger.
  - Klarere definisjon i forhold til begrensninger og omfang av oppgaven.
  - Klargjøring/beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven med definisjoner av arbeidsoppgavens innhold og omfang.
  - Tidsplan for framdriften av prosjektet.
- ⊛ Analyse av lokalklimatiske forhold og aktuelle klimatiske parametere (inkludert belastning fra snødrift og eventuell is på solcellepanel ol.)
- ⊛ Tilstandsvurdering, vurdering av omfang og konstruksjonstekniske forhold.
- ⊛ Vurdering av kravspesifikasjoner i forhold til bruk og vedlikehold av anlegg.
- ⊛ Vurdering/analyse av potensialet for bruk av solceller på, eller som en del av klimaskjermende konstruksjon (Konstruksjons teknisk, strømproduksjon-potensiale og behov for lokal strømproduksjon).
- ⊛ Hensyn til miljø, estetikk og sikkerhet.
- ⊛ Prinsipielle løsninger for klimaskjerm med eventuelle løsninger for solcelleanlegg.
- ⊛ Forslag til eventuelt fremtidig/gjenstående arbeid. Begrensning i ferdig analyse/rapport.

En videre beskrivelse og planlegging av oppgaven vil bli utarbeidet i det innledende arbeid & forstudie.

### Samarbeidspartner

Oppgaven tenkes gjennomført i samarbeid med Enerconsult.

Oppdragsgiver skal fremskaffe nødvendige opplysninger og grunnlag for å løse oppgaven (tegninger, spesifikasjoner etc.).

### Klassifisering av oppgaven

Oppgaven skal i utgangspunktet klassifiseres som *åpen* og i henhold til UiT's retningslinjer. Endringer med hensyn til klassifisering, publisering eller deling av rapporten kan eventuelt bli gitt for å beskytte oppdragsgivers rettigheter/eiendom.

### Innledende arbeid & forstudie

Innen 2 uker etter at oppgaveteksten er utlevert skal resultatene fra det innledende arbeid og litteraturstudium være ferdigstilt og diskuteres med veilederne. Arbeidsplan og planlagte arbeidsoppgaver skal godkjennes av veilederne før kandidaten fortsetter med resten av hovedoppgaven. **Resultater fra det innledende arbeid inkluderes naturlig inn i innledningen og andre kapitler i masteroppgaven og det trenger dermed ikke være utformet en egen forstudierapport.**

### Generelle krav til rapportering/besvarelse

Besvarelsen redigeres som en forskning/utviklingsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, referanser, innholdsfortegnelse etc. Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser eller logisk argumentasjonsrekke. Måleresultatene vedlegges i både skriftlig og digitalt format.

Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig, velskrevet og godt dokumentert. Oppgaveteksten skal være en del av besvarelsen (plasseres foran Forord).

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

### Generelle retningslinjer

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften.

Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefonutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med veileder på UiT.

Besvarelsen leveres digitalt i WISEflow.

Utleveringsdato (starttidspunkt):	09.01.2023
Innleveringsdato (deadline):	15.05.2023, kl 1200

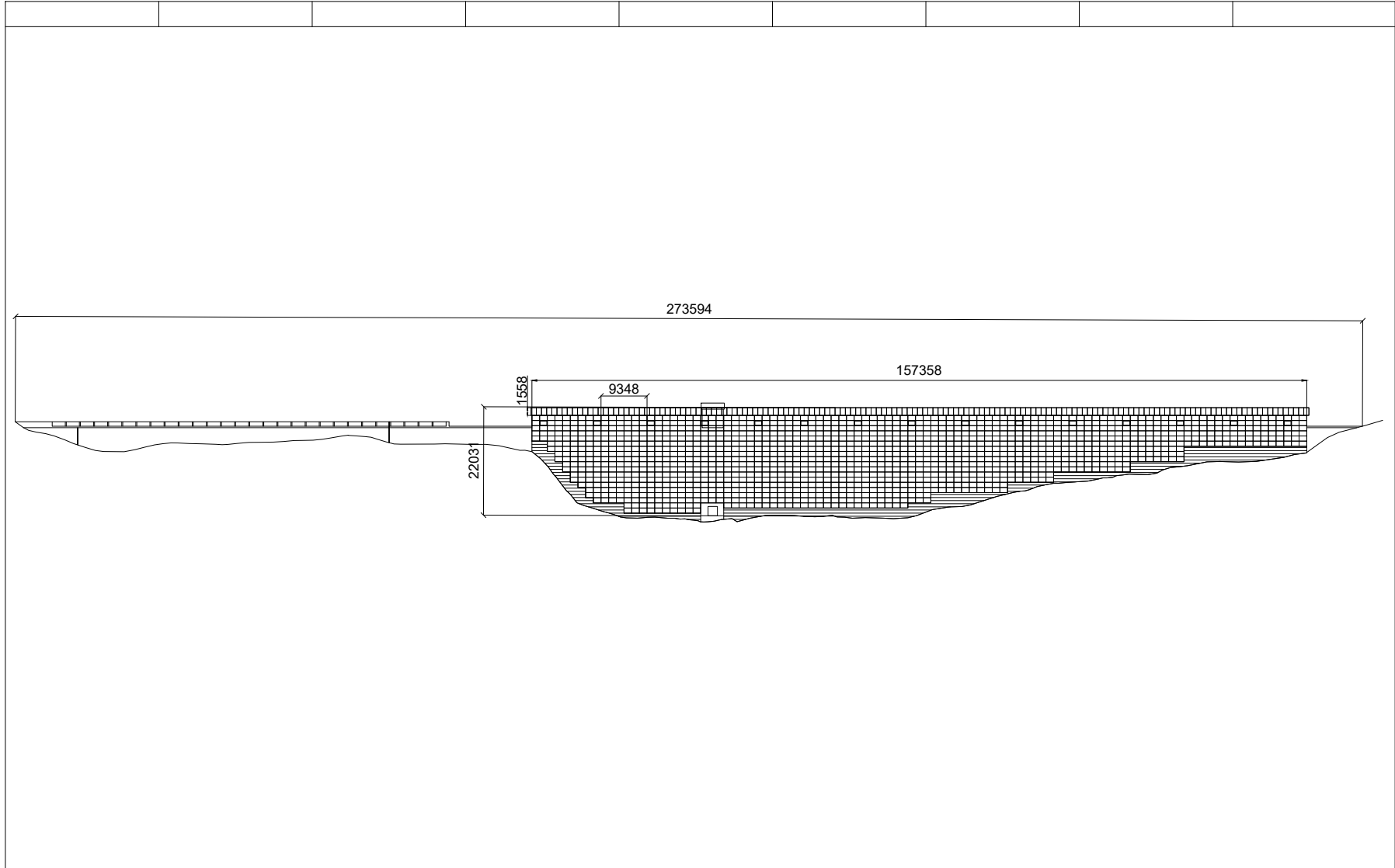
Kandidat	Ingrid Evita Antonsen Hjallar Telefon: (+47) 913 78 603 e-mail: ihj003@post.uit.no
Med-veileder/kontaktperson bedrift	Lars Arne Kimo Jørgensen Telefon: (+47) 402 21 277 e-mail: lars.jorgensen@enerconsult.no
Faglig ansvarlig/veileder ved UiT	Professor Per-Arne Sundsbø, Dr. Ing. Telefon: (+47) 769 66257 / 92 46 34 30 e-mail: psu002@uit.no

Narvik, 21.12.2022



Per-Arne Sundsbø  
Faglig ansvarlig/veileder

## **Vedlegg 02 – AutoCAD pdf oversiktstegning av klimasekjem**



Side 1 av 1

				13.05.2023	INNKLEDNING AV GRAVITASJONSDAM; JERNVASSDAMMEN	OVERSIKTSTEGNING	NORDKRAFT PROSJEKT AS Teknologiveien 2B, Narvik	MASTEROPPGAVE	
				IAH				1:1500	2023.05.13
				IAH					



