

AUGUST 2022

# RAPPORT COWI TRY 2022



**COWI**

# INNHold

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| Klimaløsninger fra neste generasjon ingeniører | 3   |
| Introduksjon                                   | 4   |
| Rapport Gruppe 1                               | 7   |
| Rapport Gruppe 2                               | 29  |
| Rapport Gruppe 3                               | 54  |
| Rapport Gruppe 4                               | 77  |
| Rapport Gruppe 5                               | 109 |
| Rapport Gruppe 6                               | 124 |

# Klimaløsninger fra neste generasjon ingeniører

Det er mange grunner til at jeg liker sommermånedene ekstra godt. Én av dem er fordi sommerstudentene ankommer COWI-kontorene og skaper en helt egen energi i gangene. Det er forventning, spenning og et stort engasjement for nyskapende løsninger som dirrer i veggene disse ukene. Det smitter over på alle oss andre.

I år har det 11.kullet med studenter deltatt i sommerjobbprogrammet COWI Try. Her har de, tradisjonen tro, fått bryne seg på et Innovasjonsprosjekt. Denne gangen var det Tanberghøgda, et stort utviklingsprosjekt i Hønefoss, de skulle jobbe med. Prosjektet har store klima-ambisjoner og ønsker å bli Norges første CEEQUAL-sertifiserte boligfelt.

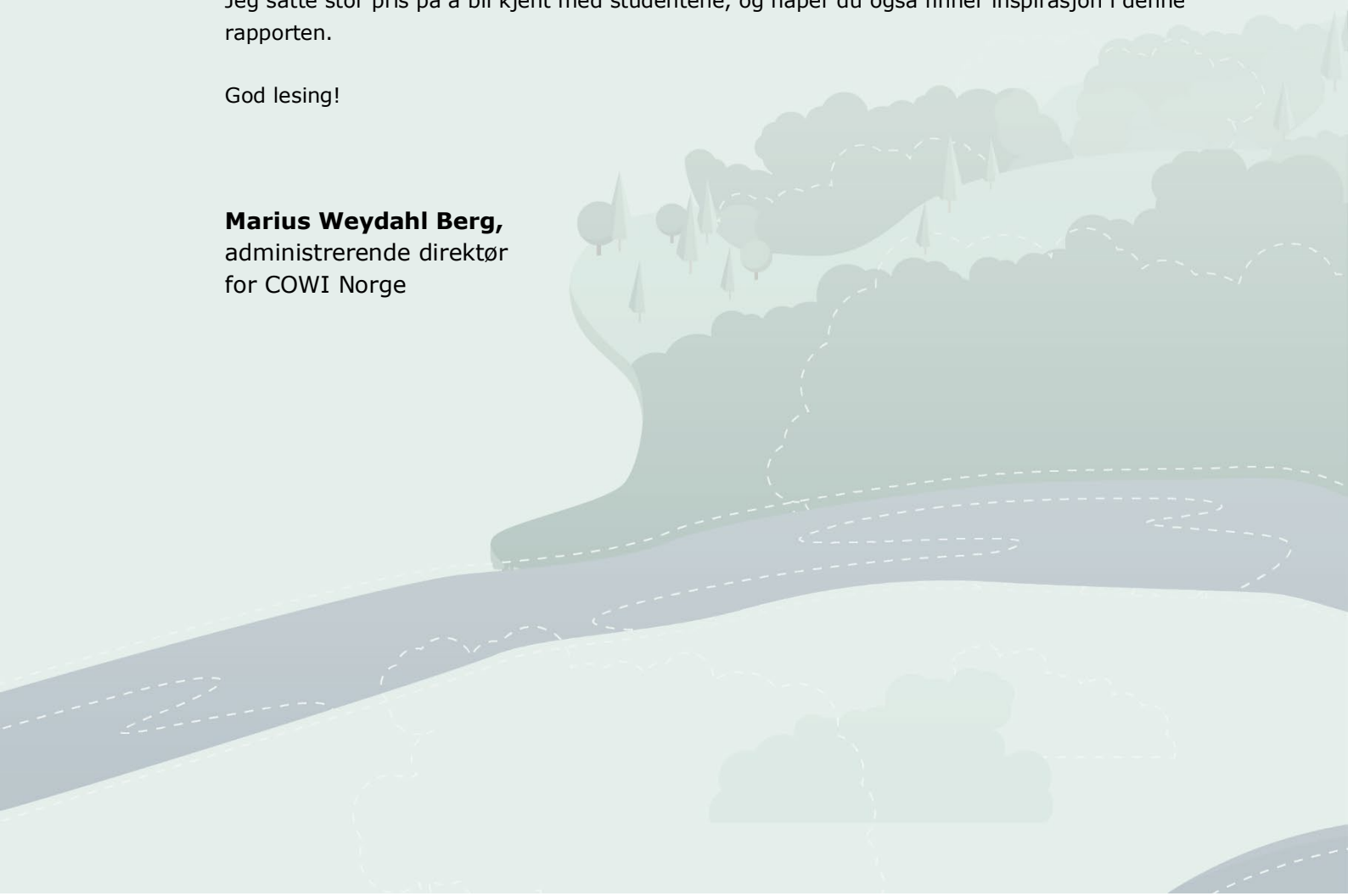
Det er ingen tvil om at verden trenger prosjekter, slik som Tanberghøgda, som setter innovasjon og bærekraft høyt. Jeg er stolt av at COWI har tatt et standpunkt til bærekraft og satt oss et mål om at alle våre prosjekter skal gjøre samfunnet mer bærekraftig innen 3-5 år. Det vil kreve enda flere nysgjerrige og motiverte ingeniører – slik som sommerstudentene våre.

Derfor var jeg ekstra spent på studentenes løsninger til årets Innovasjonsprosjekt. Og jeg må si de har levert godt. De har både utfordret og innovert – og inspirert med ideene sine. De har turt å stille spørsmålstegn og foreslå andre løsninger. Det er beundringsverdig.

Jeg satte stor pris på å bli kjent med studentene, og håper du også finner inspirasjon i denne rapporten.

God lesing!

**Marius Weydahl Berg,**  
administrerende direktør  
for COWI Norge



## Introduksjon

Årets Innovasjonsprosjekt for studentene ved COWIs sommerjobbprogram, COWI Try, ble gjennomført med Fossen Utvikling AS som hovedsamarbeidspartner. 2022 er den ellevte gangen sommerjobbprogrammet arrangeres.

I arbeidet med Innovasjonsprosjektet ble studentene delt inn i seks tverrfaglige grupper. Hver gruppe jobbet med egne innovasjonsoppgaver knyttet til utviklingen av Tanberghøgda i Hønefoss. Totalt hadde sommerstudentene ca. 1800 timer til å gjennomføre prosjektet i perioden 27. juni til 10. august.

Innovasjonsprosjektet har som formål å bidra til inspirasjon, de unges perspektiver og innspill. For studentene er Innovasjonsprosjektet en øvelse i hvordan man sammen kan skape noe nytt og nyttig, som lar seg nyttiggjøre.

Prosjektets grunnpilarer bygger på COWIs tre medarbeiderløfter:

- 1 Outstanding together – eksepsjonelle løsninger skapes ut ifra godt lagarbeid og tverrfaglig samarbeid,
- 2 Extend your potential – vi utvikler oss gjennom å utfordre egne faglige og personlige grenser,
- 3 Design the future – muligheten til å sette sitt personlige preg på fremtidens løsninger i et ekte prosjekt – for et bærekraftig samfunn.

Partene er på ingen måte forpliktet til å bruke arbeidet studentene kommer med i det videre arbeidet i prosjektet, men står fritt til å bruke hele eller deler av innspillene og funnene som produseres. Vi ønsker å takke alle involverte for samarbeidet og fagressursene som er stilt til rådighet i form av veiledning av studentene.

### **Tanberghøgda – et utviklingsområde med ambisiøse klimamål**

Tanberghøgda i Hønefoss er det største utviklingsområdet som er planlagt på 50 år i regionen. Området ble ferdig regulert i 2019 og er trinn 2 i den nye bydelen og kommunedelplanen Krakstadmarka – Hønefoss Øst. Planen viser ca. 17 eneboliger, ca 250-300 enheter i småhusbebyggelse og landsby, samt ca. 200-250 enheter i lavblokk. Området kobler seg på Tanberglia og strekker seg nordover mot Stølandet og Hjertelia. Prosjektet inkluderer en ny vei, barnehage, felles gårdsplass, lekeareal, kjørevei, fortau, friområder, grøntområder og turdrag.

Fossen Utvikling AS har høye ambisjoner for bærekraft og er det første CEEQUAL-sertifiserte boligprosjektet i Norge. Prosjektet har også søkt om CEEQUAL-sertifisering for infrastrukturen på Tanberghøgda.

I tillegg er et av Norges største bakkemonterte solcelleanlegg blant de unike energivinningene i området – og et viktig bærekraftig initiativ for prosjektet. Solkraftanlegget vil ha en installert effekt på 500kWp og skal levere strøm til en utslippsfri bygge- og anleggs plass, hurtiglader, fellesområder, boligene og boligeiernes elbiler.

Kan årets Innovasjonsprosjekt bidra til å skape et av Norges mest bærekraftige boligprosjekter?

### **Innovasjonsoppgaver**

Gruppene ble tildelt seks ulike oppgaver der de kunne velge å fordype seg i én av caseoppgavene, men kan også velge å inkludere de øvrige caseoppgavene eller elementer fra dem.

#### **Innovasjonsoppgave #1 - Overvannshåndtering og blågrønne løsninger**

- > Hvordan kan overvann håndteres på en smart måte i samspill med biologisk mangfold, blågrønne strukturer og flomløsninger på Tanberghøgda? Ta særlig for dere løsninger for ravinedalen og områdene rundt som overvannet og løsningene vil påvirke.
- > Er det mulig å lede mer vann enn opprinnelig ned i ravinedalen? Hvordan kan vi skape trygge flomveier?

#### **Innovasjonsoppgave #2 - Mobilitet fra Tanberghøgda mot sentrum**

- > Hvordan kan en gang- og sykkelbru over Storelva se ut?
- > Hvordan kan en gangforbindelse fra brua og opp til Tanberghøgda se ut og hvor kan forbindelsen legges? Er det mulig med universell utforming?
- > Dersom vi ikke bygger en bru, hvordan kan vi da legge til rette for effektiv og klimavennlig ferdsel mellom Tanberghøgda til sentrum?
- > Hvilke fordeler og ulemper gir mobilitet med og uten bru, og hva anbefales?

#### **Innovasjonsoppgave #3 - Mobilitet i en bilfri by**

- > Hvordan kan vi legge til rette for grønn mobilitet og god flyt innad i Tanberghøgda-området? Kan området gjøres helt eller delvis bilfritt?
- > Hvordan kan vi legge til rette for god flyt og grønn mobilitet til og fra Hjertelia/Stølandet/Hønefoss Nord?

#### **Innovasjonsoppgave #4 - Energiløsninger**

- > Hvordan kan vi legge til rette for mest mulig energifleksibilitet og -samspill på Tanberghøgda?
- > Det skal selges energi til borettslaget, eller leie ut energiløsningene som en tjeneste. NVE/RME kommer med nytt forslag til forskrift for solceller for borettslag i juni. Basert på denne, hvordan bør energiparken i Tanberghøgda organiseres/ struktureres med eierskap og størrelser for å optimalisere eget forbruk og økonomi for Fossen Kraft AS?

- > Har dette konsekvenser for inndeling av solcelleanlegg, endret størrelse på batterier, organisering av borettslag, mm?
- > Hvordan kan Energipark 2 gjennomføres og videreutvikles fra Energipark I, med tanke på energiproduksjon og -lagring
- > Kan energien på området gjenbrukes? I så fall, hvordan?

#### **Innovasjonsoppgave #5 - Energisentralen**

- > Hvordan kan en termisk energiløsning for området se ut?
- > Hvordan kan solceller og solfangere på bygningskroppen, varmegjenvinning av gråvann og solfangst på harde overflater integreres i den termiske løsningen på Tanberghøgda?
- > Finnes det andre alternative metoder for å hente ut solvarme på Tanberghøgda som kan integreres i den termiske løsningen?

#### **Innovasjonsoppgave #6 – Gjenbruk av ressurser**

- > Hvordan kan Tanberghøgda brukes som et testområde for sirkulærøkonomi og gjenbruk? Spesielt med tanke på ressursene som finnes på stedet i dag, som for eksempel jord og trær.
- > I etableringen av Tanberghøgda blir det store overskuddsmasser: Hvordan kan overskuddsmassene fra infrastrukturprosjekter upcycles og brukes som tilslag andre steder, som f.eks i grøfter, betong, asfalt, jord ol.?
- > Hvordan kan vann (overvann, gråvann og eventuelt også svartvann) brukes og gjenbrukes på en mer energi- og klimavennlig måte i samspill med biologisk mangfold, blågrønne strukturer og/eller drift av boligene?

AUGUST 2022

# RAPPORT

## COWI TRY 2022

### OVERVANNSHÅNDTERING TANBERGHØGDA

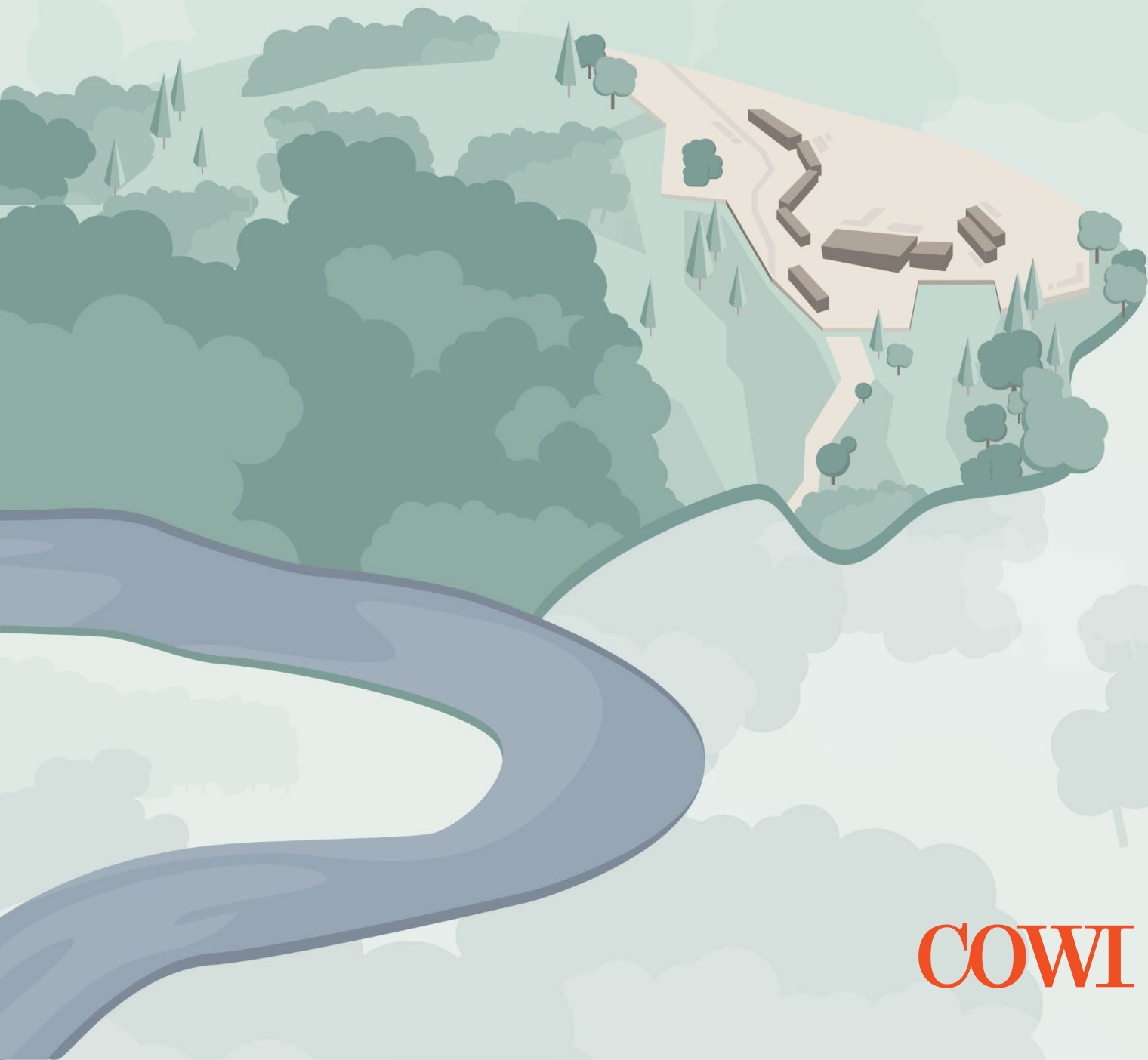
**GRUPPE 1:**

Vebjørn Løkensgard, NMBU

Joakim Skjelde, NTNU

Nebil Hassen, UIO

Ploy Chutigan, NMBU



COWI

# INNHOOLD

|     |                            |    |
|-----|----------------------------|----|
| 1   | Innledning                 | 9  |
| 2   | Områdebeskrivelse          | 10 |
| 3   | Overvannshåndtering        | 11 |
| 3.1 | Tretrinnsstrategien        | 11 |
| 3.2 | Hydrologiske beregninger   | 12 |
| 3.3 | Effekt av utbygging        | 12 |
| 4   | CEEQUAL                    | 13 |
| 5   | Forslag til løsninger      | 14 |
| 5.1 | Permeable flater og dekker | 14 |
| 5.2 | Grønne tak                 | 15 |
| 5.3 | Grønne vegger              | 16 |
| 5.4 | Oppsamlingstanker          | 16 |
| 5.5 | Regnbed                    | 17 |
| 5.6 | Grøfter og kanaler         | 19 |
| 5.7 | Overvannsdam               | 21 |
| 5.8 | Tiltaksgradering           | 23 |
| 6   | Diskusjon                  | 25 |
| 7   | Konklusjon                 | 26 |
| 8   | Referanser                 | 27 |
| 9   | Liste over figurer         | 28 |

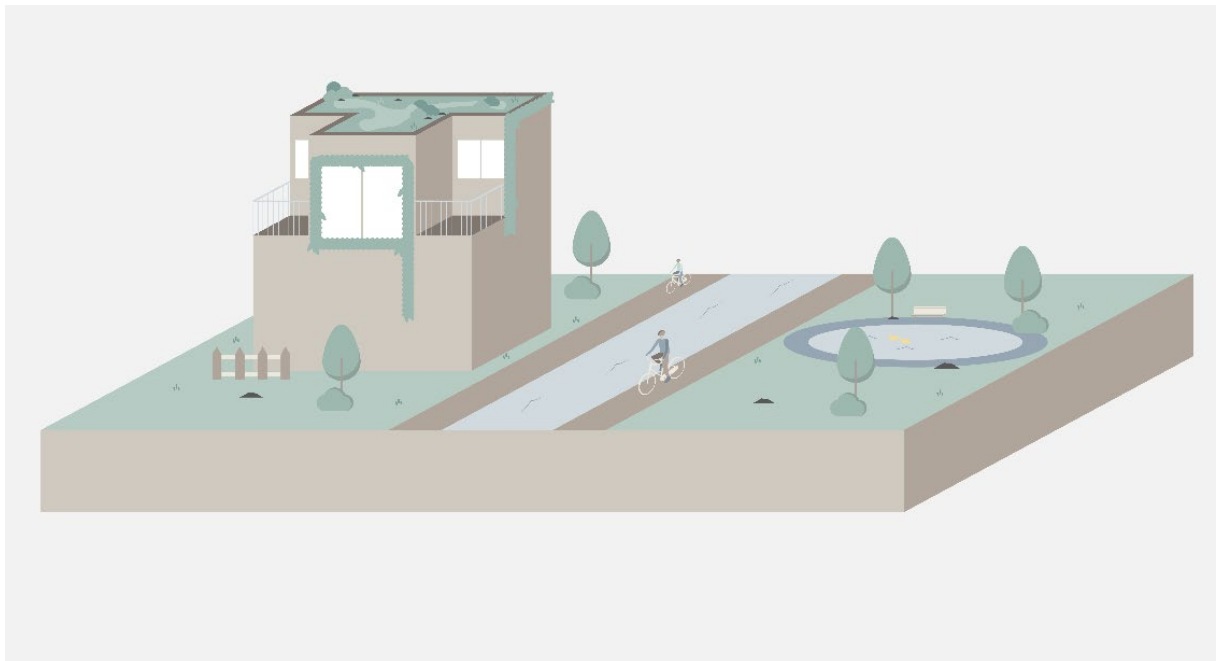


# 1 Innledning

I forbindelse med innovasjonsprosjektet i regi av COWI Try, har gruppen fått i oppgave å finne løsninger for overvannshåndtering knyttet til utbygging av boliger på Tanberghøgda i Hønefoss. Med klimaendring som resulterer i blant annet kraftig nedbør i form av styrtregn, er det viktig at overvann og flom kan håndteres på en smart måte. Samtidig er det et mål om å øke det biologiske mangfoldet som følger med blågrønne løsninger.

Som en del av kommunedelplanen Krakstadmarka – Hønefoss Øst, er Tanberghøgda et bynært, variert boligtilbud som ble ferdig regulert i 2019. Fossen Utvikling AS stiller som byggherre på all infrastruktur. I tillegg blir Tanberghøgda det første boligområdet i Norge som miljøsertifiseres i tråd med den internasjonale standarden CEEQUAL.

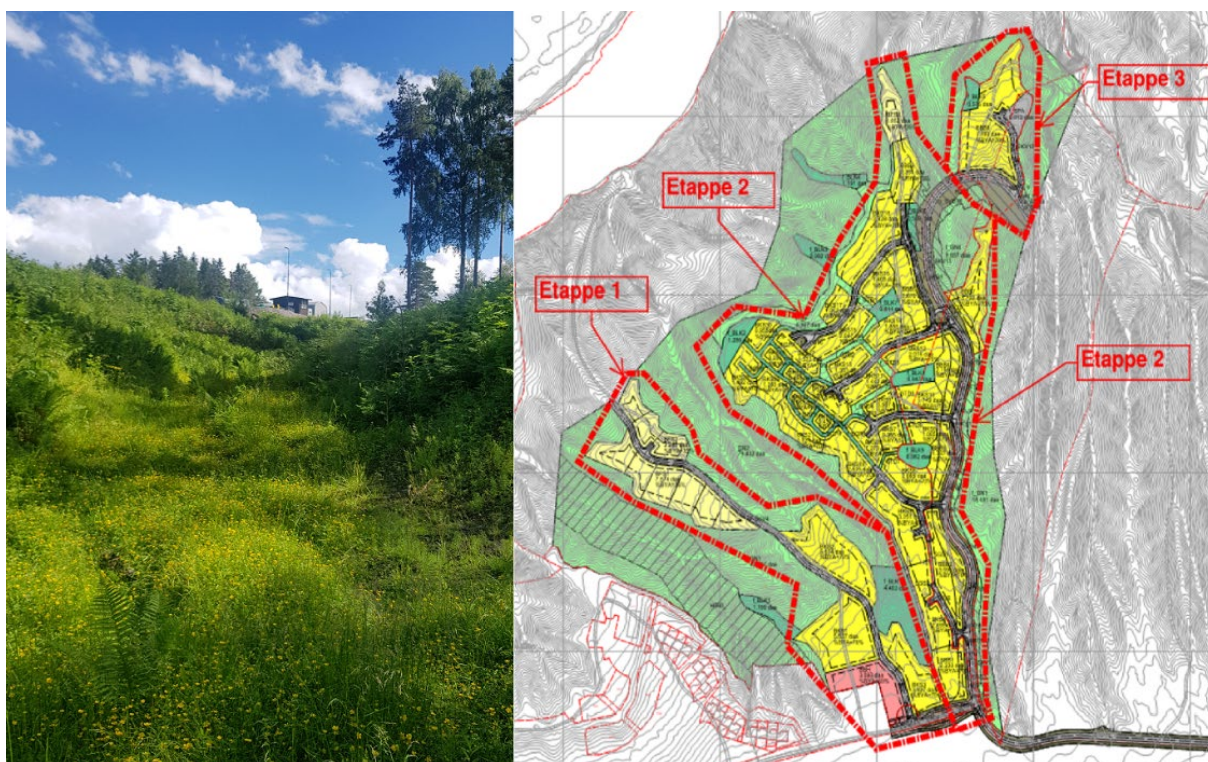
Det er utført datainnsamling og beregninger på nedbørsfeltet for området og undersøkelser på hvordan regnvannet kan håndteres på en god og sikker måte samt skape et funksjonelt og innbydende område for familier og fremtidig beboere.



Figur 1. Illustrasjonsbilde av tiltak

## 2 Områdebeskrivelse

Ifølge detaljplanen for Tanberghøgda består tomteområdene av moderat hellende platåer hovedsakelig mot nordvest mellom ravinedaler, som varierer mellom en veibredde på noen få meter og opp mot flere hundre meter. Ravinelandskapet er dannet som følge av issmelting og nedgraving av vann i marine sedimenter bestående av silt og leire. Ravinedalene som er bratte deler av tomteområdene har begrenset bruk, men det åpner for mulighet for igjenfylling som kan benyttes til bl.a. veier og friområder for aktiviteter. Grunnforholdene for bebyggelse av boliger er karakterisert som gode basert på geotekniske undersøkelser. Massene består hovedsakelig av siltig leire med sand og siltlag, og det er ikke påvist kvikkleire, men man kan ikke utelukke funn av det i området [1].



Figur 2. Ravinedal (foto: privat) og plankart over Tanberghøgda [1].

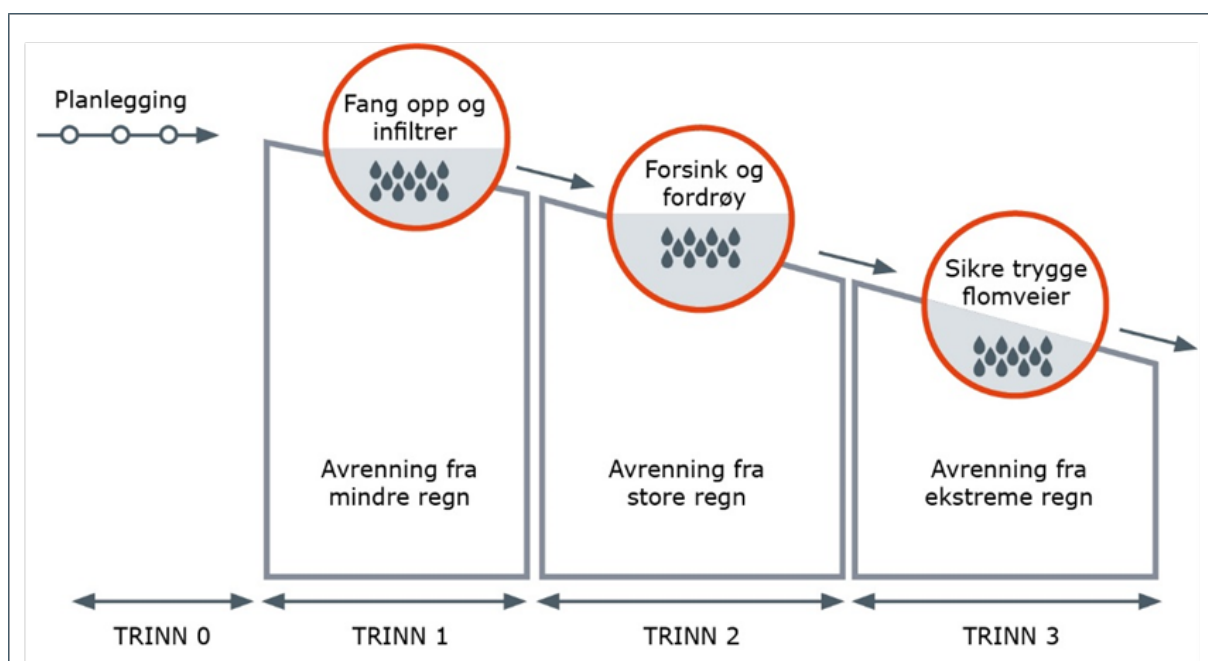
Utbygging er fordelt på 3 etapper som fremgår i plankartet i **Error! Reference source not found..** Det blir lagt fokus på ravinedalene som er lokalisert mellom etappe 1 og 2 ifm. løsninger knyttet til overvannshåndtering.

Det er ønskelig at ravinelandskapet ivaretas ettersom de fungerer som naturlig flomvei, og håndterer dermed overvann på en bærekraftig og rimelig måte.

## 3 Overvannshåndtering

### 3.1 Tretrinnsstrategien

Ved utbygging iverksettes tretrinnsstrategien for håndtering av overvannsproblemer som går ut på lokale tiltak LOD (lokal overvannsdiskonering). I trinn 1 håndteres små regnhendelser som utgjør regn mindre enn 20 mm. Regnet siver ned til grunnvannet og fordampes fra vegetasjon og overflater. Ved middels mengde regn (20-40 mm) håndteres dette i trinn 2 hvor regnet infiltreres og fordrøyes til grunnvannet gjennom fordrøyingstiltak som eksempelvis grønne arealer eller grøfter. Dette er for å forsinke vanntransporten til resipient. Ved ekstreme regnhendelser kan det ledes gjennom trygge naturlige eller planlagte flomveier i trinn 3 [2].



Figur 3. Illustrasjon av 3-trinnsstrategien.

Overvann skal håndteres åpent og lokalt med hensikt om å sikre ekstremnedbør i utsatte områder og beskytte eksisterende (kommunalt) ledningsnett slik at infrastrukturen ivaretas. Et overbelastet ledningsnett kan føre med seg forurensning til vassdrag. I tillegg kan vannet følge sitt naturlige kretsløp og kunne utnyttes som en ressurs [3].

Ettersom ravinedalene naturligvis vil lede vann nedover til resipient, er det viktig å vurdere sikkerheten knyttet til fare for erosjon og ras. Dersom mengden av vannmasse som transporteres overskrider den evnen løsmassene som utgjør landskapet kan håndtere, kan det føre til erosjon. Massene består som nevnt i områdebeskrivelse (avsnitt 10) av finkornede siltig leire og sand, som har høyere vanninnhold og dermed mindre friksjon mellom partiklene. I tillegg inneholder disse større porerom som fylles opp med vann, hvor høyt vanninnhold kan resultere i blant annet flomskred.

## 3.2 Hydrologiske beregninger

Beregningene for å finne vannføringen før og etter utbygging, er gjort ved å benytte den rasjonelle formel [4]. Formelen tar hensyn til arealbrukens effekt på avrenning, og er derfor praktisk for å finne effekten en utbygging har på avrenning. Formelen er på følgende form:

$$Q = C * i * A * k_f$$

der

Q: Vannføring ved gitt gjentakintervall (l/s)

C: Avrenningskoeffisient (-)

i: Nedbørintensitet ved gitt gjentakintervall og konsentrasjonstid (l/(s\*ha))

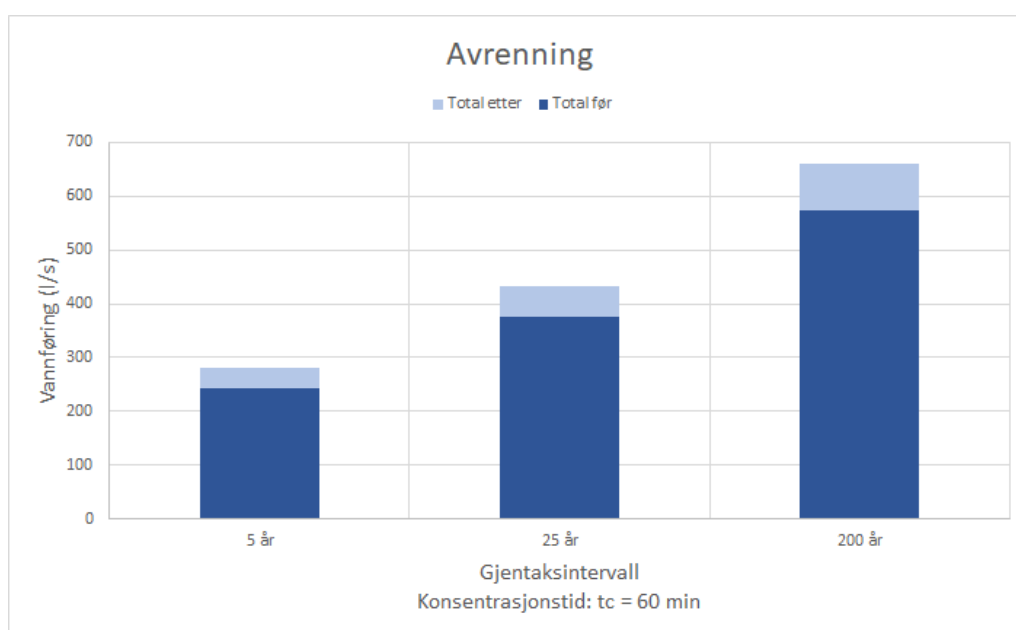
A: Nedbørfeltets areal (ha)

kf: Klimafaktor (-)

For de overordnede beregningene for hele området, er nedbørfeltene gitt i Tegning 01 benyttet, med relevante avrenningsfaktorer. Disse nedbørfeltene dekker samlet sett hoveddelen av utbyggingsområdet det fokuseres på i rapporten.

## 3.3 Effekt av utbygging

Endringen i arealbruk er en viktig årsak til økt avrenning ved utbyggingsprosjekter [3]. Endring fra permeable overflater til ikke-permeable overflater reduserer muligheten for infiltrasjon i grunnen, som videre gir økt avrenning på overflaten. Fortetting av overflaten gjør også at konsentrasjonstiden i de aktuelle nedslagsfeltene blir lavere. Disse faktorene bidrar derfor til både mer og kraftigere avrenning. I Figur 4 nedenfor vises hvordan endring i arealbruk påvirker avrenningen ved ulike gjentakintervall i nedbørsfelt A og B (Se tegning 01). En konsentrasjonstid på 60 minutter ble sett på som gunstig å benytte for de overordnede hydrologiske beregningene i nedbørsfeltet.



Figur 4. Total vannføring fra området før og etter planlagt utbygging ved forskjellige gjentakshendelser.

## 4 CEEQUAL

CEEQUAL tilsvarer anleggsbransjens BREEAM, som er et bevisbasert system for dokumentasjon av bærekraftarbeidet for hele eller deler av prosjektforløpet. Systemet omfatter økonomisk, sosial og miljømessig bærekraft, og deles opp i 8 hovedtemaer med tilhørende vurderingskriterier.

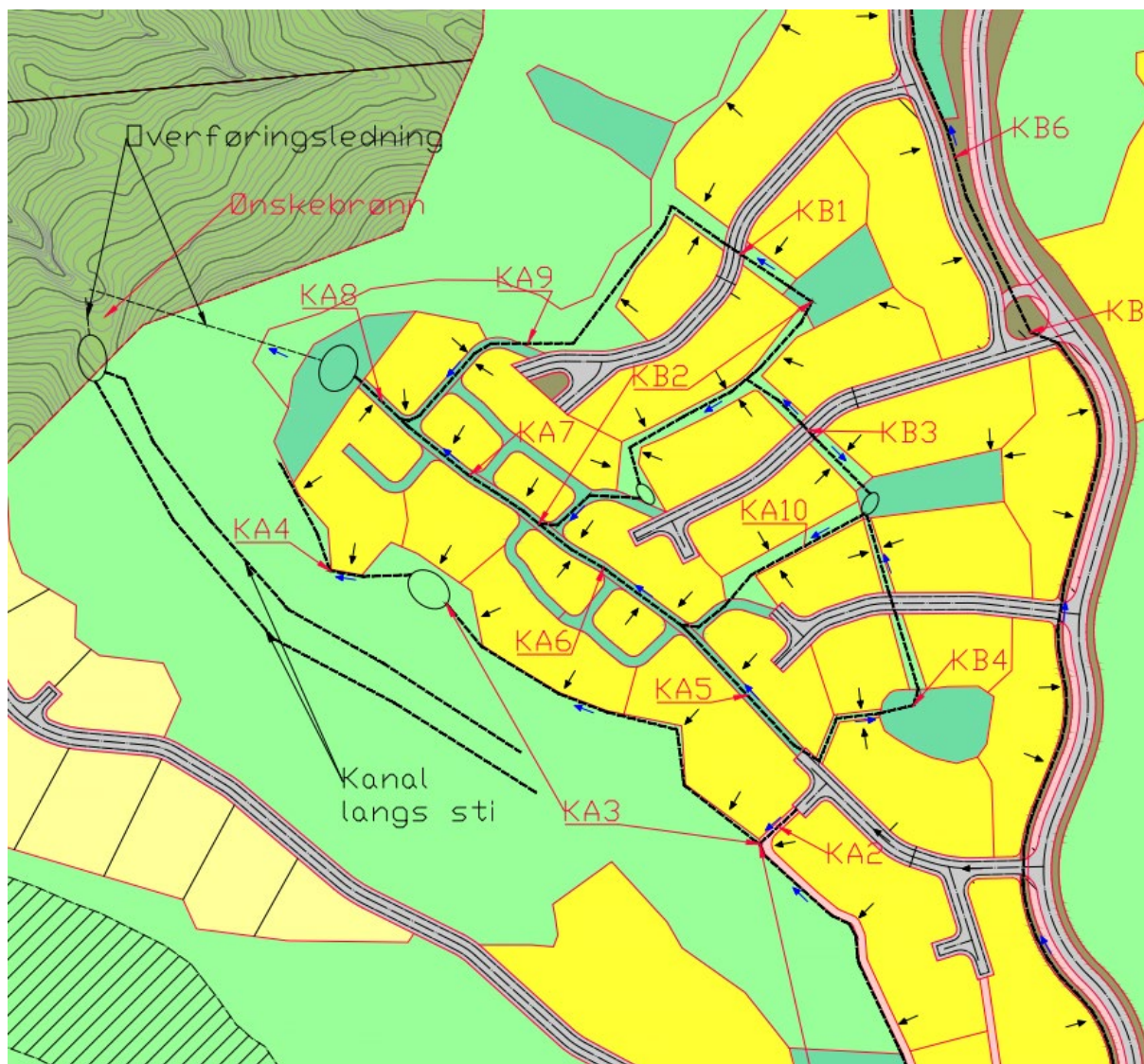
Tanberghøgda blir det første boligområdet som miljøsertifiseres i Norge. Ved bruk av en internasjonal standard for miljøsertifisering av infrastruktur, motiveres det til flere innovative delprosjekter som energikonseptutredning, forbedring og ivaretagelse av biologisk mangfold, gjenbruk av masser og smart teknologi inne/ute [5]. I denne oppgaven følges ett av hovedtemaene "Sårbarhet og motstandsdyktighet". Fra et overvannsperspektiv tas det hensyn til kriteriene i kapittel 2, i designfasen som inkluderer: tiltak utover det som er kravpålagt, naturbaserte løsninger og flomsikre tiltak. Se Tabell 1.

Tabell 1. Forenklet tabell av CEEQUAL kriterier som omhandler overvannshåndtering.

| Seksjon og spørsmål | Dokumentasjon for poeng                                                          | Forslag                                                            |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <b>2.2.2</b>        | Bevis for hvilke tiltak som innlemmes i designet                                 | Alle løsninger presentert i kapittel 4                             |
| <b>2.2.3</b>        | Bevis for å demonstrere at SuDS (Sustainable drainage system) har blitt vurdert  | Naturbaserte løsninger: rensedammer, grønne vegger/tak, kanal osv. |
| <b>2.2.4</b>        | Langsiktig flomresistens og tilpasning                                           | Dimensjonering for 5-, 25- og 200-årsflom (trinn 1-3)              |
| <b>2.2.5</b>        | Bevis for at tiltakene i 2.2.2 innlemmes i prosjektet                            | Implementering av tiltakene (fra 2.2.2) i konstruksjonsfasen       |
| <b>2.2.6</b>        | Bevis for at SuDS innlemmes i prosjektet                                         | Implementering av naturbaserte løsninger (2.2.3)                   |
| <b>2.2.7</b>        | Beregninger og styring av overflatevannavrenning ved kilden gjennom infiltrasjon | Se vedlagt excelfil for beregninger                                |

## 5 Forslag til løsninger

Løsningene i denne oppgaven er vurdert og valgt utfra virkning og bærekraft basert på tretrinnsstrategien, og med hensyn på CEEQUAL kriterier. I dette kapittelet presenteres løsningene og forslag til plassering. Figur 5 viser en tenkt utførelse for kanal- og damsystemet i området. I de neste delkapitlene vil forskjellige løsninger forklares.

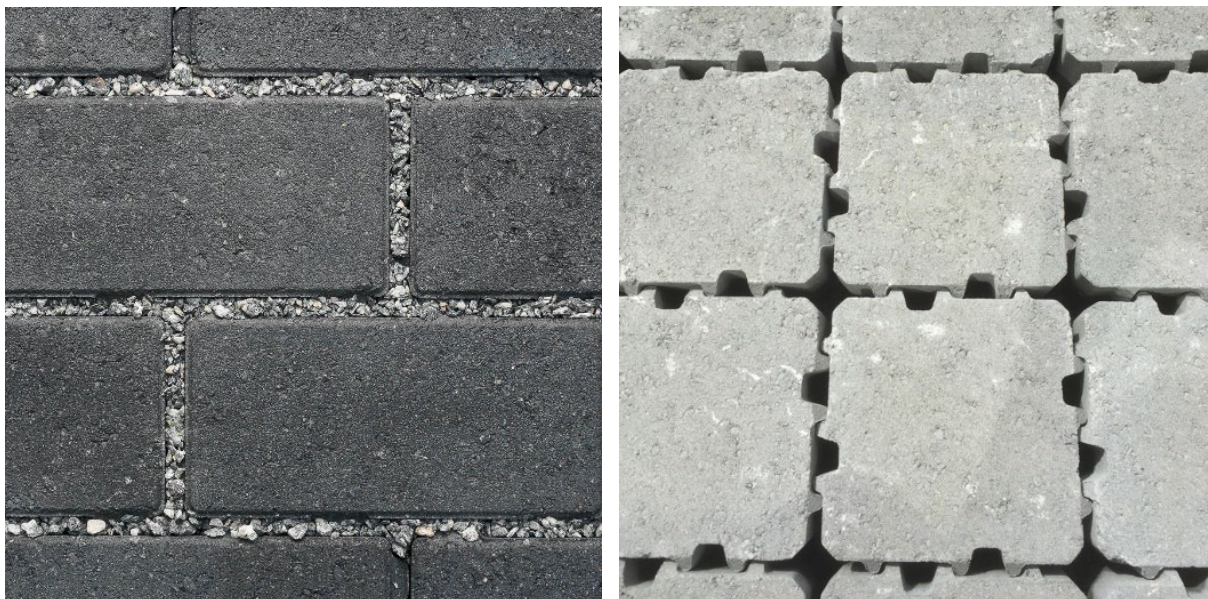


Figur 5. Oversiktsbilde av deler av feltet med tenkt plassering av kanaler, dammer og avrennings mønster. Komplette bilde er vedlagt som **Error! Reference source not found..**

### 5.1 Permeable flater og dekker

Rundt boligområder eller biloppstillingsplasser der det vanligvis er harde flater, er det muligheter for bruk av permeable flater og dekker bestående av drenstein oppbygget som rutenett fylt med fugemasse av jord/sand/gress der drenering skal foregå.

Dette vil være løsningen for både trinn 1 og 2 i overvannshåndteringsstrategien.



Figur 6. Belegningsstein legges med avstand slik at vann kan infiltrere vertikalt [6].

- > Bruk av belegningsstein med avstandsknaster som drenerer overvann gjennom dekket. Materiale av naturstein fremfor betong eller asfalt som vil være avhengig av fall.
- > Underlag av er avhengig av hvor stor kapasitet grunnen har til å håndtere vannet som infiltreres. Skiller derfor mellom full, delvis og ingen infiltrasjon. Førstnevnte inngår i det første trinnet i tretrinnsstrategien. Ved delvis infiltrasjon hvor grunn har mindre kapasitet, tillegges dreneringsløsning av vann til grøft eller nærmeste resipient, og inngår dermed i både første og andre trinn i strategien.
- > Dersom grunnforholdene ikke er egnet for infiltrasjon, tillegges en tett membran som skiller mellom overvann og grunnvann. En dreneringsløsning fører vannet til eksempelvis nærmeste kanal, og inngår i det siste trinnet i strategien [7].

## 5.2 Grønne tak

Grønne tak er tak som dekkes helt eller delvis i vekstmateriale, med evnen til å tilbakeholde eller forbruke regnvann som ellers ville ha vært avrenning fra tak. Deler av vannet brukes av beplantning, fordampes eller rennes av, hvor sistnevnte skjer i lavere tempo enn dersom man sammenligner med normal avrenning.

Grønne tak bidrar også til å forminske varmetapet fra bygget, og lavere oppvarmingsbehov på sommertid med mye sol. Vekten av grønne tak blir betraktelig tyngre enn tradisjonelle tak, avhengig av tykkelse og type beplantning (se Tabell 2), og må tas hensyn til ved dimensjonering av bygg. Ved å bytte ut deler av massene med lavastein eller andre lettere materialer med stor overflate, kan vekten forminskes betraktelig. Valg av dette må tas med tanke på hva taket skal brukes til og hvilken funksjonalitet som er ønskelig [8].

Dette vil være løsningen for både trinn 1 og 2 i overvannshåndteringsstrategien.

Tabell 2. Eksempel på typer beplantning og tilhørende avrenningskoeffisienter.

| Bepantning                              | Tykkelse på vekst (mm) | Avrenningskoeffisient |
|-----------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Mose og bergknapp                       | 20-40                  | 0.6                   |
| Mose, bergknapp og andre mindre planter | 60-100                 | 0.5                   |
| Gress og mindre planter                 | 150-200                | 0.4                   |
| Gressplen og større planter/mindre trær | > 500                  | 0.1                   |

- > Grønne tak på alle boliger med mose, bergknapp, gress, urter, blomster – takhage med busker og mindre trær på større bygg som eksempelvis barnehage.
- > Skaper nye møteplasser, økt trivsel for brukere og biologisk mangfold for flere arter.



Figur 7. Eksempel på grønt tak med blomster og illustrasjon av oppbygging.

## 5.3 Grønne vegger

Som et eget eller tilleggstiltak kan deler eller hele vegger til bebyggelsen dekkes i beplantning. Dette vil ha en lignende effekt som grønne tak, men i noe mindre grad. Beplantningen kan foregå på bakkenivå og "klatre" oppover veggene, eller bli beplantet i egne beholdere på veggen. Veggene som vil bli beplantet må være vinklet mot solen for å tilstrekkelig vekst. Vannet som blir brukt vil komme fra oppsamlingen fra taket direkte eller som sildring nedover veggene og bli tatt opp.

Ved implementering av dette må det tas til hensyn et økt vedlikehold av veggene for å opprettholde vekst og estetikk på bygningen. På bakkeplan vil det ubrukte vannet komme sildrene diffust nedover og kan da være til seanse for opphold. Overbygg på bakkeplan kan være med på holde utgangspartier og oppholdssteder tørre. Veggene vil da være med å skape svale omgivelser med mindre varmerefleksjon mot bakkeplan og motstående bygninger.

## 5.4 Oppsamlingstanker

Langs veggene på bakkeplan kan det monteres oppsamlingstanker med utløpskran for vanning. For å redusere forbruket av tilført drikkevann til boligområdet som brukes ved vanning av eiendommer, er et forslag å installere oppsamlingstanker for takvann. Når tankene er fulle kan vannet gå videre langs takrennen ned til overflaten på bakken før det sendes til kanalen, dammer eller regnbed i området. Ved denne måten får rent takvann et nytt gjenbruksområde.

## 5.5 Regnbed

Ved håndtering av overvannsforekomster kan implementering av regnbed være et effektivt tiltak. Regnbed er nedsenket, beplantede grøntområder som både fanger, infiltrerer og fordrøyer, og dermed dekker trinn 1 og 2 av strategien. Grunnmassene i regnbedet tilsier om det er egnet for infiltrasjon. Dersom grunnmassene består av grus og sand med nedsivningsevne mellom  $10^{-3}$  og  $10^{-6}$  m/s, regnes massene som gode for infiltrasjon samt tilbakeholdelse av eventuelle forurensninger [8]. Renseeffekter minker med økende nedsivningsevne, ettersom forurensninger ikke får nok oppholdstid slik at det tilbakeholdes eller brytes ned i lagene.

Nedsenking i bedet fra omliggende områder fungerer også som forsinkelse av vann. Det er viktig at bedet i sin helhet er planert ut slik at vannet fordeles over hele området. Plasseringen må være i området som har fall vekk fra bygninger, for å forhindre avrenning til naboeiendommer. Videre vil beplantningen være med på å forbruke vannet som blir tilført samt øke fordampningen gjennom evapotranspirasjon.

Dimensjonering av nødvendig areal:

$$A = Q_{dim}/k_f$$

der

A: arealet av gressflaten

$Q_{dim}$ : dimensjonert vannmengde

$k_f$ : jordas evne til nedsivning

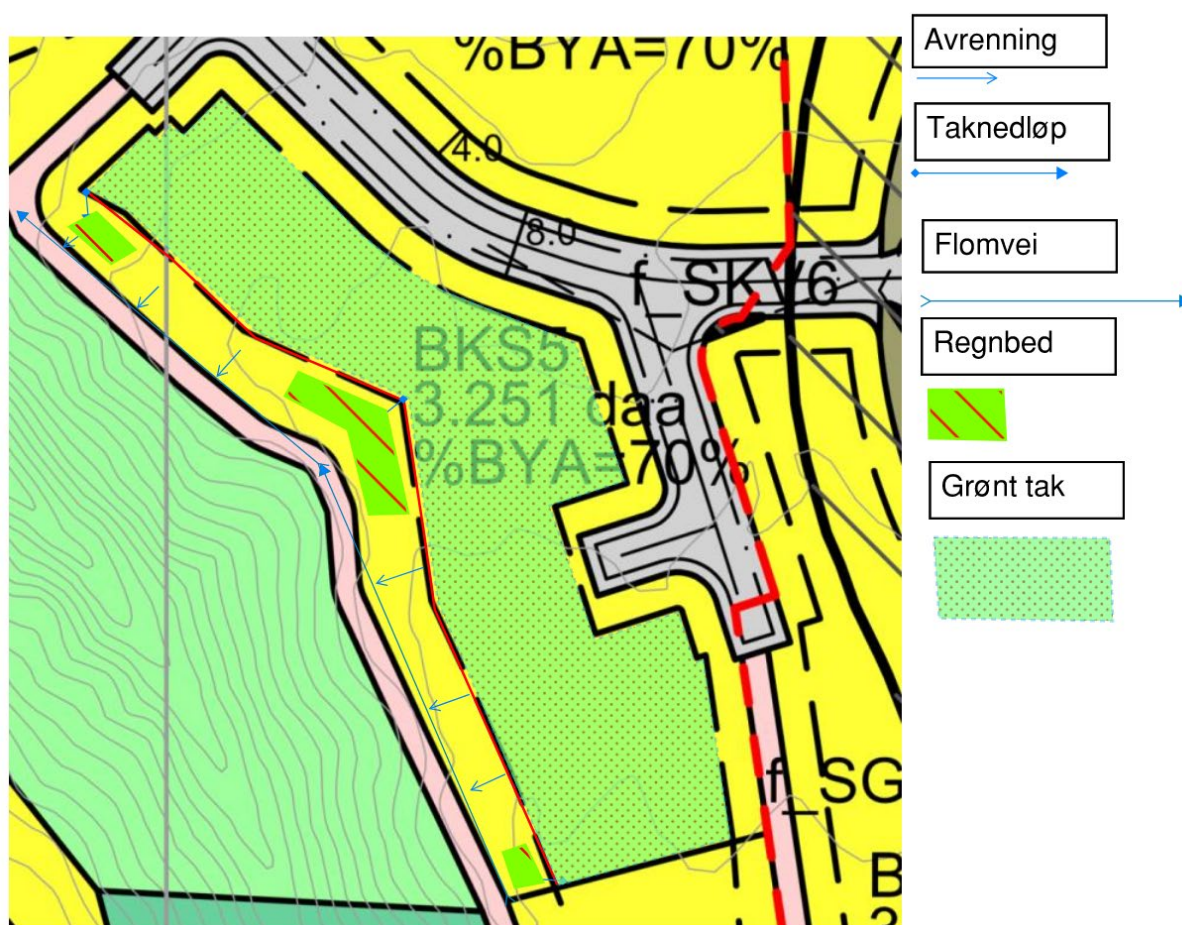
Ved implementering av grønne tak kan Q forminskes med 50-80% avhengig av hvilke løsninger som er valgt [9].

Dette vil være løsningen for både trinn 1 og 2 i overvannshåndteringsstrategien, og bidra til økning av biologisk mangfold.



Figur 8. Illustrasjon av regnbet [10].

- > Regnbet plasseres ønskelig i de grønne fellesarealene for å opprettholde tilgjengelig uteareal til boligene.
- > I fellesarealet f-BLK9 med tilhørende bygninger BKS6, BBB3 og BKS8, vil et regnbet med infiltrasjon i grunnen og maksdybde 20 cm kreve et overflateareal på 62 m<sup>2</sup> ved en 25 år regnhendelse med varighet 60 minutter. Da vil regnbetet fungere som trinn 1 og 2 med fordrøyning av vannforekomstene. Dersom grunnen er mettet og ikke tillater infiltrasjon må arealet økes til 159 m<sup>2</sup>. Dette er størrelsen som trengs ved tilbakeholdning av 50% av vannet som treffer grønne tak.
- > Ved godkjenning av bygging i tilhørende grøntareal til eiendommer vil eksempelvis tomt BKS5 kreve et regnbet på 41 m<sup>2</sup> med infiltrasjon og 105 m<sup>2</sup> uten infiltrasjon. Bedene kan splittes opp i størrelse så lenge nedløp fra taket splittes med lik fordeling. Tilføring av takvann til regnbet skjer på harde flater med helning vekk fra husvegg.



Figur 9. Viser eksempelvis størrelse og plassering av trinn 2 regnbed for bygning BKS5.

## 5.6 Grøfter og kanaler

For å sikre området i sin helhet for flomfare og andre store vannforekomster er det planlagt ut et kanal-/grøftesystem som går rundt og i utbyggingsområdene. Kanalene dimensjoneres ved bruk av Mannings formel, som avhenger av kanalens tverrsnitt, ruhet og helning [4]. Formelen er på følgende form:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

der

Q: Vannføring (m<sup>3</sup>/s)

n: Ruhetskoeffisient (-)

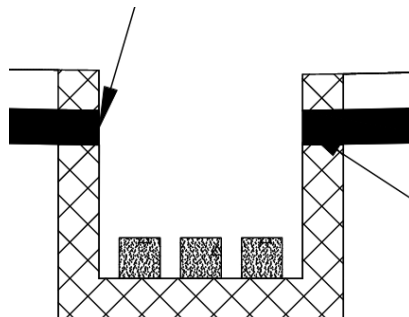
A: Vått areal av tverrsnitt (m<sup>2</sup>)

R: Hydraulisk radius av tverrsnitt (m)

I: Helning i strømningsretning (m/m)

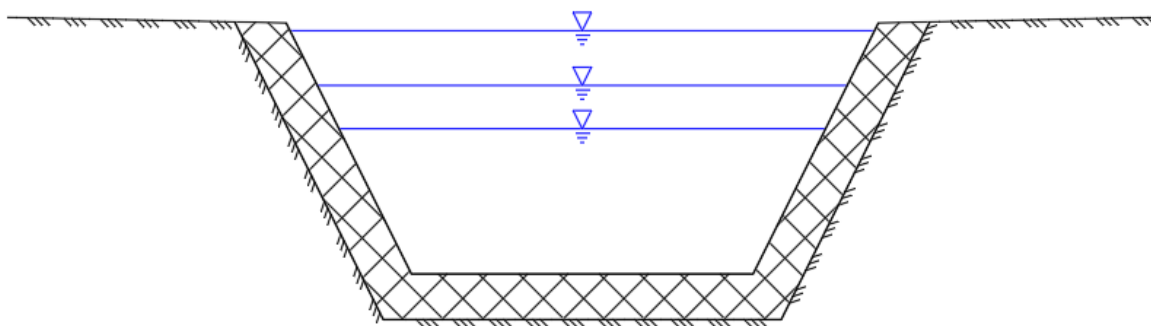
Beregningsprogrammet RAGMAG VA er benyttet for disse beregningene, med enkelte håndberegninger for kvalitetssikring av svarene. Helningen på de ulike kanalene er basert på antagelser, og beregnet med minimumsfall der dette er sett på som hensiktsmessig. Større helning vil gi en høyere kapasitet på vannføringen, som betyr at beregninger med lavere fall gir en

sikkerhet i resultatene. Beregningene er videre basert på bruk av stein i oppbyggingen av kanalene, med tanke på å i mest mulig grad gjenbruke stein av ulik størrelse fra utbyggingsområdet. Størrelsen på steinmassene som tas i bruk på de enkelte kanalene avhenger av de faktiske strømningsforhold og fare for erosjon.



Figur 10. Forslag til kanalutførelse med vertikale vegger, innløp og utløpsordninger og terninger i bunn.

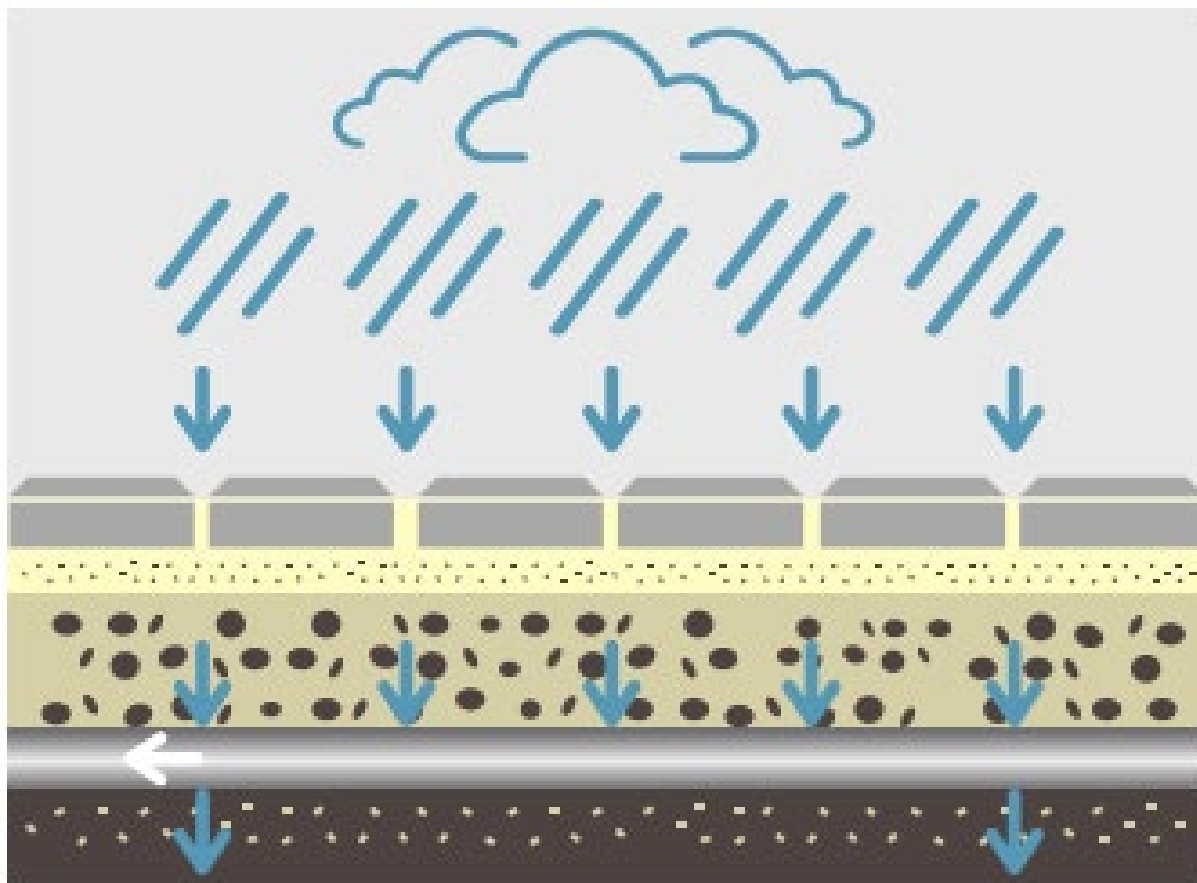
Kanalene er dimensjonert for å kunne håndtere en 200 års regnhendelse med en varighet på 10 min i de øvre feltene og 60 minutter i bunnen av feltet. Alle tomtene vil ha en eller flere muligheter til å tilføre kanalen med vann, enten gjennom små konstruerte renner fra husvegg til kanalen, eller gjennom normal avrenning fra plen ved ikke-avvisende kanter til kanalen. Kanalen vil ha en utforming som er dypere enn den er bred med "terninger" i bunnen (Figur 10). Dette er for å kunne opprettholde en viss vannstand i kanalen samt skape sirkulasjon i vannet ved strømning. Sirkulasjonen vil tilføre vannet med oksygen som er nyttig, da vannet skal supplere konstruerte dammer på området med vann. Ved et oksygenrikt vann vil vannliljer og andre dypt stikkende aquaplanser trives bedre og holde vannet rent og estetisk pent.



Figur 11. Kanaltverrsnitt i bunn av ravine, med vannstand for ulike gjentaksintervall

Figur 11 viser et forslag til utforming av kanalen i bunn av ravinen, ved utløp til Storelva. Tegning 04 viser tverrsnittet med aktuelle mål. Kanalen er dimensjonert for et 200 års nedbørshendelse som resten av kanalene, og vannstanden ved denne nedbøren er vist med den øverste blå linje på Figur 11. Praktisk sett vil et 200 års nedbør i området føre til en vannføring i Storelva som dekker de nederste kanalene ved ravinen.

Ved områder som trenger en større vanntilførsel enn det regnet kan tilføre, vil kanalen ha små hull som tillater utstrømning av vann. Vice versa vil kanalen ha innløp i veggen fra områder som ikke kan infiltrere så godt, henholdsvis biloppstillingsplasser og mettede regnbed.



Figur 12. Illustrasjonsbilde av delvis infiltrasjon [11].

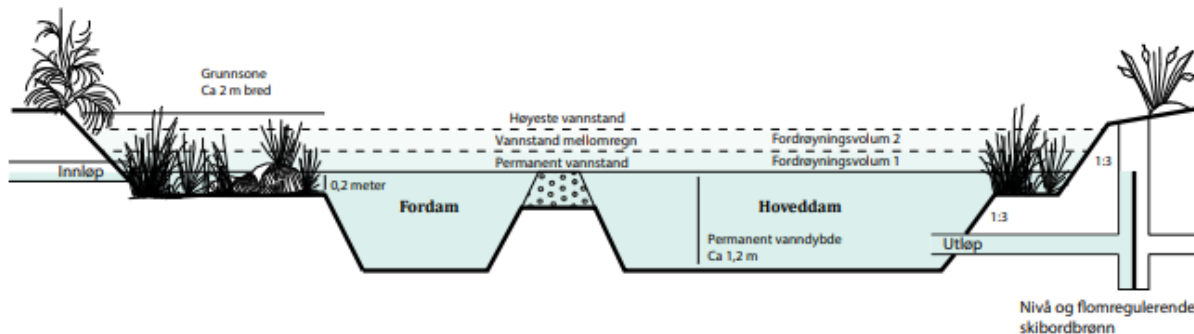
Figur 12 viser en løsning for hvordan biloppstillingsplasser og gatebelegg kan bygges opp. Et permeabelt dekke med infiltrasjon i grunnen, samt et vannrør som er perforert i øvre halvdel som tillater innsig og dermed videre transport av vannet, i dette tilfellet til kanalen i området. Kanalen må avgrenses med bed eller overganger for kryssende ferdsel med jevne mellomrom for å kunne opprettholde universal utforming.

## 5.7 Overvannsdam

Overvannsdam anses som et effektivt tiltak i overvannshåndtering med flere fordeler. Ved åpning av arealer for dammer med permanent vannspeil samles både nedbør og overflateavrenning som igjen slippes ut under kontrollert tempo, og demper flomtopper. Vannet som lagres kan være et estetisk tiltalende bidrag til området, og har ikke minst nyttige funksjonaliteter. Med utgangspunkt i et boligfelt som på Tanberghøgda hvor det skal foregå veitrafikk, bør det legges opp til at utformingen av en slik dam inkluderer naturlige renseprosesser for veiavrenning – i form av sedimentering, planteopptak, adsorpsjon og mikrobiologisk nedbrytning [12].



Figur 13. Overvannsdam i et boligområde i Sjølund, København [13].



Figur 14. Prinsippskisse av et overvannsdam – med fordam som kan skille ut større partikler. Mindre partikler kan sedimenter i hoveddammen [12].

- > De oppløste fraksjonene av forurensning kan skilles fra overvann ved binding til sedimenter og opptak i planter. Stor horisontal avstand mellom innløpet og utløpet sørger for separasjon av forurensninger grunnet lenger oppholdstid.
- > Vannsirkulasjon/kontinuerlig gjennomstrømning (pumpe, forsyningsvann ol.) for oksygenrikt vannmiljø gir bedre trivsel for planter i dammen og unngår oppblomstring av alger.
- > Tilrettelegging for møteplass, lek og rekreasjon. Fast vannspeil bør sikres pga. fare for drukning.
- > Ved å plassere overvannsdammer i områdene hvor det er akkumuleringspunkter for vannmasser, vil det fungere som fordrøyning og tilbakeholdning av vann som deretter slippes ut under kontrollerte forhold.

Ravinen sin utforming utgjør en naturlig flomvei for overløp fra dammene. Konstruksjoner som kanaler, bed, og blågrønne overflater håndterer noe av overvannet fra boligfeltet, men vann fra nedbørfeltet vil renne naturlig ned fra den ene siden av åsen. Overløp fra kanalene på Tanberghøgda vil renne diffust ned mot kanalen som leder inn til dammen. Det er mulighet for at utløpet fra overvannsdammen kan stå åpent med rist over eller legges i bakken i rør. Ved å legge det åpent vil man kunne opprettholde det arkitektoniske snittet.

Hvis overvannsdammen skal være et overvannstiltak av trinn 2, må tilbakeholdningsvolumet være på rundt 125 m<sup>3</sup>. Dette kan reguleres med et kontinuerlig maks utløp. Dersom dybden til overvannsdammen overskrider 20 cm, er det nødvendig med sikringstiltak.

Dimensjoneringsgrunnlaget for dammen baseres på en tilbakeholdning ved 25-års nedbørshendelse og fungerer som en flomvei ved 200-års nedbørshendelse dersom utløpet åpnes for dette. Dette oppfyller CEEQUAL krav (punkt 2.2.4) om langsiktig flomresistens og tilpasning.

## 5.8 Tiltaksgradering

Nedenfor i Tabell 3 er en oppsummering over alle tiltak som inngår i prosjektområdet knyttet til overvannshåndtering.

Tabell 3. Oversikt over tiltak og tiltaksgrupper [14].

| Tiltak                                                     | Tiltaksgruppe i tretrinnsstrategien | Beskrivelse                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Frakobling av takrenner</b>                             | 1,2                                 | Takvann frakobles ledningsnett, vann ledes ut på plen/beplantning eller infiltrasjon-/fordrøyningstiltak på bakken.                                       |
| <b>Grønne tak</b>                                          | 1,2                                 | Et grønt tak er et tak dekket med vegetasjon bestående av sedum, moser, stauder, busker eller trær.                                                       |
| <b>Infiltrasjonssone/-grøft</b>                            | 1,2,3                               | En infiltrasjonsgrøft er en langstrakt, kunstig bygget infiltrasjonsløsning i områder med dårlige naturlige infiltrasjonsforhold. Kan brukes som flomvei. |
| <b>Tørr renne, trase</b>                                   | 2,3                                 | Konstruert fast grøft med eller uten vegetasjon til fordrøyning og avledning av overvann.                                                                 |
| <b>Regnbed</b>                                             | 1,2                                 | Regnbed er en beplantet forsenkning i terrenget som tilføres overvann på overflaten for fordrøyning, infiltrasjon og rensing.                             |
| <b>Terskler med strupet utløp</b>                          | 2,3                                 | Innsnevret overløp som holder tilbake overvann.                                                                                                           |
| <b>Infiltrasjonsbasseng</b>                                | 1,2                                 | Er et åpent basseng som kombinere magasinerer av overvann på overflater og infiltrasjon i grunnen.                                                        |
| <b>Overvannsdam</b>                                        | 2                                   | Et basseng med permanent vannspeil. I tillegg har bassenget et volum til fordrøyning av avrenning.                                                        |
| <b>Beholde infiltrerbare flater, åpne opp tette flater</b> | 1,2                                 | Spare naturlig vegetasjon, beskytte infiltrasjonsstedet.                                                                                                  |
| <b>Vegetasjonskledte elv- og bekke drag</b>                | 1,2,3                               | Vegetasjonsdekkede areal langs bekker og elver.                                                                                                           |

|                                                          |     |                                                                          |
|----------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>Permeable dekker</b>                                  | 1,2 | Overflatedekket er permeabelt slit at overvann kan sige ned i grunne.    |
| <b>Sikring av byggverk</b>                               | 3   | Heve                                                                     |
| <b>Redusert bruk av kantstein</b>                        | 2   | Føre vann fra faste flater direkte til vegeterte, infiltrerbare arealer. |
| <b>Sikring av byggverk</b>                               | 3   | Heve hus over gatenivå, hindre vann å renne inn.                         |
| <b>Skape infiltrerbare flater, åpne opp tette flater</b> | 1,2 | Erstatte eksisterende tette overflatemasser med infiltrasjonsmateriale.  |

## 6 Diskusjon

I tillegg til CEEQUAL som har stått sentralt i arbeidet med denne oppgaven, har det også blitt tatt hensyn til fellesverdier og visjoner utformet av Fossen Utvikling AS i idémyldringen. Målet var å finne naturbaserte løsninger som tilfredsstiller miljøsertifiseringen, samtidig som de skal være gjennomførbare og være et godt grunnlag for trivsel for fremtidige beboere. Det er ingen tvil at bærekraftige løsninger er mer utfordrende når det gjelder materialvalg, prosesser og kostnader. Likevel er det ekstremt spennende dersom noen av løsningene kan implementeres slik at Tanberghøgda kan gå frem som et eksempel for utbygging av boligprosjekter i fremtiden.

For området som er valgt er det ønskelig å håndtere den økte mengden overvann som forekommer med utbyggelse fra skog og mark til bebygde områder, samt å beholde og om mulig øke det biologiske mangfoldet i området med tilrettelegging. F.eks. er det mulig å bygge en flytende klekkeholme for fugler ved utbygging av overvannsdam. Ved å utforme ellers tette flater som veier, parkeringsplasser og takflater som blågrønne løsninger vil dette være med på å oppfylle ønskene for området. Videre bringer blågrønne løsninger med seg flere positive sider utenom de rent tekniske fordelene for vannhåndtering. Kostnader ved vannforbruk til vann blir redusert da oppsamlede mengder fra takene kan brukes. Forurensning i overvann som forekommer fra dyr og transport på flater vil bli delvis eller helt renset ved infiltrasjon i grunnen og masser. De blå løsningene vil gi rolige omgivelser og er med på å skape åpne områder der en kan oppholde seg i rolige omgivelser. Beplantningen rundt om og i løsningen vil være med på å rense luften ved opptak av CO<sub>2</sub> i fotosyntese. Videre vil beplantningen og besparelse av trær på områdene være med på å være skjermende for vær og vind, og skape et lokalt klimaregulert området som vil forbedre levestandarden i feltet. Som en følge av å gjennomføre blågrønne løsninger, vil det biologiske mangfoldet bli bevart og øke ved at nye egnede områder for forskjellige arter blir etablert.

For overvannshåndtering har det blitt vurdert flere forslag som utnytter arealer og naturlig utforming. Løsningene som er presentert i rapporten dekker en rekke CEEQUAL krav i designfasen (2.2.2–2.2.4). I tillegg er det blitt gjort beregninger for hvor mange prosent av overflater som infiltrerer overvann ved bruk av eksempelvis blågrønnfaktor, som oppfyller krav 2.2.7. Resterende punkter (2.2.5–2.2.6) inngår i konstruksjonsfasen som er utenfor oppgavens rammer. I vedlagt Excel filer vises utregninger og dimensjonering av flere forskjellige tiltak. Utregningene ligger i grunnlag for valg av hvordan løsninger kan velges utfra nødvendig arealkrav og effekter av implementeringene.

## 7 Konklusjon

Løsningen det er kommet frem til er å kle bygninger med takterrasser med grønne områder og grønne vegger, på bakkenivå vil det stå oppsamlingstanker for vannet takene sender i overløp. Dette vannet vil kunne brukes til vanning av plen og hager. Etter dette vil vannet bli ført til et kanalsystem som brer seg rundt i hele boligfeltet og/eller til regnbed før kanalen. Kanalen vil fungere som et bindeledd, en vannvei/flomvei som frakter med seg overvannet til overvannsdammene og videre i feltet før det slippes ut kontrollert ved «Ønskebrønn».

Ved å implementere overnevnte tiltak som grønne tak, grønne vegger, oppsamlingstanker langs husvegg, regnbed, permeable flater, kanal/grøfter og overvannsdammer vil området få en god og effektiv overvannshåndtering som vil sikre området for oversvømmelser ved store regnhendelser. Ved å koble sammen tiltakene til ett stort system som avhenger av hverandre vil det skape en samkjørt, velfungerende og sikker løsning for håndtering av vannmassene.

Ettersom tilhørende uteareal for hver eiendom er begrenset er plassering av overvannstiltak som regnbed anbefalt å plasseres i fellesområder. Dette vil og være med på å skape visuelt fine uteområder og øke trivselseffekten i områdene.

De sosiale og helsemessige fordelene med å utnytte blågrønne løsninger vil være med på å løfte Tanberghøgda opp og frem som et trivelig, pent og attraktivt boområde i Hønefoss.

## 8 Referanser

- [1] Fossen utvikling AS, «Planbeskrivelse Tanberghøgda,» 2 10 2018. [Internett]. Available: <https://www.ringerike.kommune.no/contentassets/c073104c53144f329f6e00dba2a7227f/04planbeskrivelse.pdf>. [Funnet 04 07 2022].
- [2] O. Lindholm, S. Endresen, S. Thorolfsson, S. Sægrov, G. Jakobsen og L. Aaby, Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering, Hamar: Norsk Vann, 2008.
- [3] NVE, «NVE - Norges vassdrags- og energidirektorat,» 28 04 2021. [Internett]. Available: <https://www.nve.no/arealplanlegging/overvann-i-arealplanlegging/>. [Funnet 04 07 2022].
- [4] Vegdirektoratet, «Vannhåndtering - Flomberegninger og hydraulisk dimensjonering,» Statens Vegvesen, 2020.
- [5] Fossen Utvikling AS, «Miljøsertifisering CEEQUAL,» [Internett]. Available: <https://www.fossenutvikling.no/informasjon-om-prosjektet/miljosertifisering-ceequal>. [Funnet 04 07 2022].
- [6] Asak Miljøstein, «Belegningsstein,» [Internett]. Available: <https://www.asak.no/Produkter/Belegningsstein>. [Funnet 07 28 2022].
- [7] E. Sivertsen, T. Muthanna og B. Time, «Permeable dekker med belegningsstein i betong håndterer overvann,» SINTEF, 2 10 2018. [Internett]. Available: <https://www.sintef.no/community/fagblogg/poster/permeable-dekker-med-belegningsstein-i-betong-handterer-overvann/>. [Funnet 04 07 2022].
- [8] VA-miljøblad nr. 107, «Grønne tak,» 1 10 2013. [Internett]. Available: <https://www.va-blad.no/gronne-tak/>.
- [9] VA-miljøblad nr. 106, «Regnbed, renner og nedsivningsarealer,» 1 10 2013. [Internett]. Available: <https://www.va-blad.no/regnbed-renner-og-nedsivningsarealer/>.
- [10] Norge Geologiske Undersøkelse, *Regnbed*, 08: 11, 2021.
- [11] Asak Miljøstein, «Permeabel oppbygning,» [Internett]. Available: <https://www.asak.no/Offentlig-uterom/Permeable-dekker/Permeabel-oppbygning>. [Funnet 02 08 2022].
- [12] Norges Vassdrags- og energidirektorat, «Overvannsdammer - et urbant miljø,» 01 2016. [Internett]. Available: <https://www.nve.no/Media/5031/overvannsdammer-et-urbant-vannmilj%C3%B8.pdf>.
- [13] VA-miljøblad nr. 75, «Utforming av overvannsdammer,» 09 11 2008. [Internett]. Available: <https://www.va-blad.no/utgitte-blader/>.
- [14] Departementenes sikkerhets- og serviceorganisasjon, «Norge offentlige utredninger,» Norges offentlige utredninger, 2015.

## 9 Liste over figurer

|                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figur 1. Illustrasjonsbilde av tiltak                                                                                                                | 9  |
| Figur 2. Ravinedal (foto: privat) og plankart over Tanberghøgda [1].                                                                                 | 10 |
| Figur 3. Illustrasjon av 3-trinnsstrategien.                                                                                                         | 11 |
| Figur 4. Total vannføring fra området før og etter planlagt utbygging ved forskjellige gjentakshendelser.                                            | 12 |
| Figur 5. Oversiktsbilde av deler av feltet med tenkt plassering av kanaler, dammer og avrennings mønster. Komplette bilder er vedlagt som Tegninger. | 14 |
| Figur 6. Belegningsstein legges med avstand slik at vann kan infiltrere vertikalt [6].                                                               | 15 |
| Figur 7. Eksempel på grønt tak med blomster og illustrasjon av oppbygging.                                                                           | 16 |
| Figur 8. Illustrasjon av regnbed [10].                                                                                                               | 18 |
| Figur 9. Viser eksempelvis størrelse og plassering av trinn 2 regnbed for bygning BKS5.                                                              | 19 |
| Figur 10. Forslag til kanalutførelse med vertikale vegger, innløp og utløpsordninger og terninger i bunn.                                            | 20 |
| Figur 11. Kanaltverrsnitt i bunn av ravine, med vannstand for ulike gjentakintervall                                                                 | 20 |
| Figur 12. Illustrasjonsbilde av delvis infiltrasjon [11].                                                                                            | 21 |
| Figur 13. Overvannsdam i et boligområde i Sjølund, København [13].                                                                                   | 22 |
| Figur 14. Prinsippskisse av et overvannsdam – med fordam som kan skille ut større partikler. Mindre partikler kan sedimentere i hoveddammen [12].    | 22 |

AUGUST 2022

# RAPPORT

## COWI TRY 2022

### MOBILITET FRA TANBERGHØGDA MOT SENTRUM

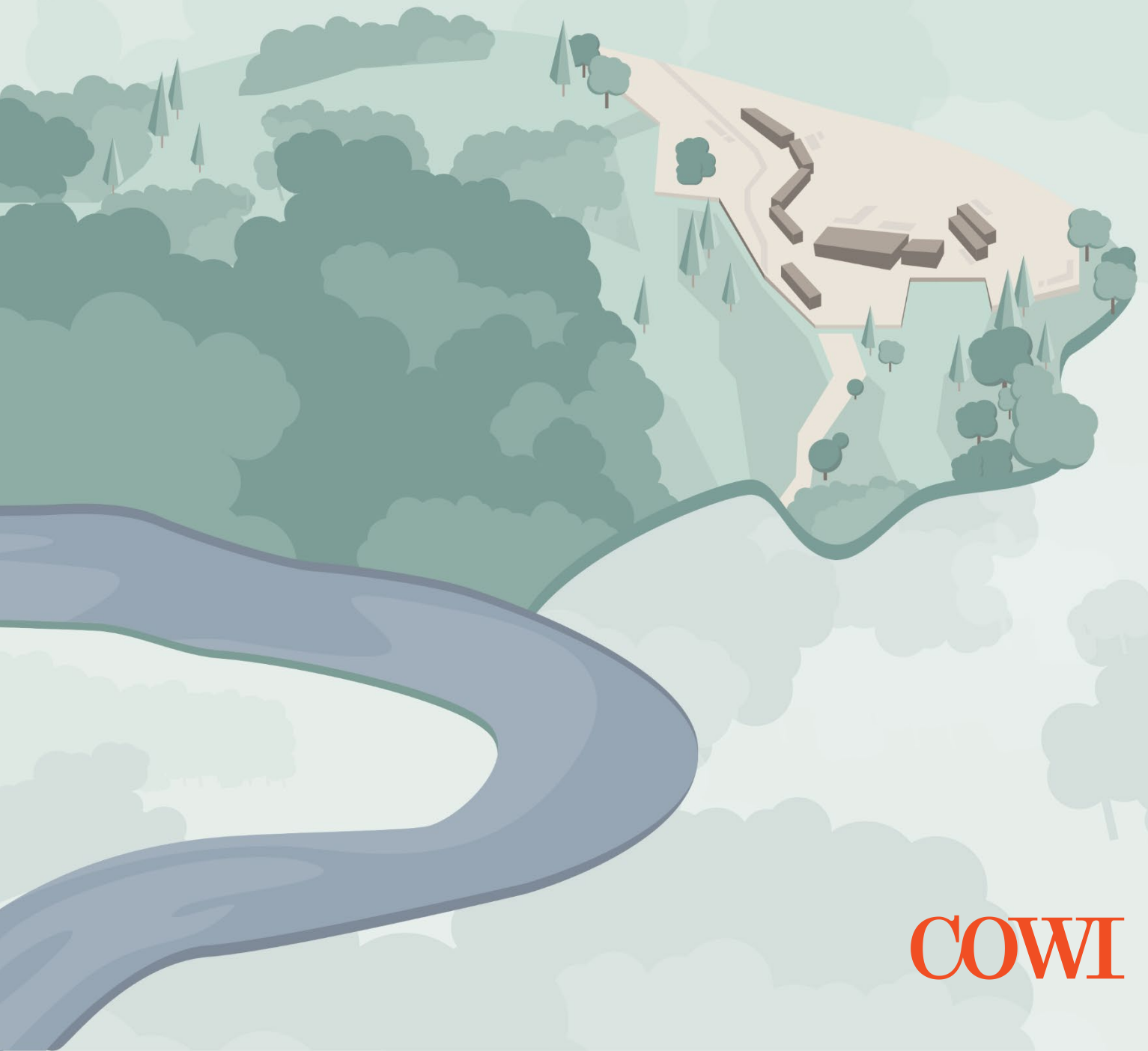
#### GRUPPE 2:

Joar Frækaland, NTNU

Ola A Markussen, NTNU

Simen Steinkjer Løken, NTNU

Jalaludin Resha, Oslo Met



COWI

# INNHOOLD

|     |                                              |    |
|-----|----------------------------------------------|----|
| 1   | Innledning                                   | 31 |
| 1.1 | Oppgavebeskrivelse                           | 31 |
| 1.2 | Regelverk                                    | 32 |
| 2   | Grunnlag                                     | 33 |
| 2.1 | Eksisterende konstruksjoner                  | 33 |
| 2.2 | Storelva                                     | 33 |
| 2.3 | Grunnforhold                                 | 36 |
| 2.4 | Drift og vedlikehold                         | 37 |
| 2.5 | Laster                                       | 38 |
| 2.6 | CEEQUAL                                      | 39 |
| 2.7 | Nødvendige avklaringer                       | 39 |
| 3   | Adkomstvei                                   | 40 |
| 3.1 | Universell utforming                         | 40 |
| 3.2 | Alternativ adkomstvei                        | 41 |
| 4   | Bru fra Tanberghøgda over til Schjongslund   | 42 |
| 4.1 | Plassering                                   | 42 |
| 4.2 | Type bru                                     | 43 |
| 5   | Alternative løsninger                        | 48 |
| 5.1 | Erstatte/utbedre eksisterende bruer i område | 48 |
| 5.2 | Bru på hver enda av Ringeriksgata            | 48 |
| 5.3 | Heis fra Tanberghøgda til Schjongslund       | 49 |
| 6   | Anbefalinger                                 | 50 |
| 6.1 | Videre arbeid                                | 51 |
| 7   | Litteraturliste                              | 52 |



# 1 Innledning

Som en del av COWIs sommerstudentprogram, COWI Try, har gruppen fått en oppgave i forbindelse med utbygningen av Tanberghøgda i Hønefoss. Innovasjonsprosjektet er i regi av COWI med Fossen Utvikling som hovedsamarbeidspartner og eiendomsutvikler på prosjektet. Fossen Utvikling er en eiendoms- og næringsutvikler, med et spesielt fokus på bærekraft. Dette fokuset preger også dette prosjektet ved å være det første boligområde i Norge som blir miljøsertifisert. Denne sertifiseringen skal komme fra den internasjonale evidensbaserte ordningen CEEQUAL (Wikipedia, 2022).

## 1.1 Oppgavebeskrivelse

Mobiliteten mellom sentrum av Hønefoss og de sørlige områdene fremstår i dag som ikke tilstrekkelig for å dekke økende sykkeltrafikk, kravene til universell utforming og den generelle utbyggelsen i dette området. Storelva skiller disse områdene fra hverandre og dagens krysning består hovedsakelig av en bru, som er plassert nedstrøms fra Tanberghøgda. Denne bruene utgjør ifølge "Energikonseptutredningen for Tanberghøgda" et dårlig tilbud for gående og syklende. Samtaler med Lars Torstensen Lindstøl og Grethe Tollefsen i Ringerike Kommune bekreftet også dette, og hvor de beskriver den eksisterende bruene som et dårlig tilbud for de myke trafikantene. Det er derfor ønskelig å finne en ny løsning for gående og syklende. En løsning for å knytte Tanberghøgda mot sentrum gjennom Schjongslund vil ikke bare ha stor nytteverdi for beboerne i Tanberghøgda, men også hele Hønefoss. Det vil knytte beboerne i Hønefoss til rekreasjonsområdene på Tanberghøgda, samt avlaste Osloveien for de myke trafikantene. Det nærliggende universitet vil også kunne ha nytte av dette. Det vil ikke nødvendigvis gjøre veien til sentrum kortere, men det vil være et tryggere alternativ. Studentene vil også ha lettere tilgang til Schjongslunden. Det har tidligere blitt utforsket muligheten for å plassere en ny gang- og sykkelbru for å løse dette problemet. Dette har vært en utfordring på grunn av store høydeforskjeller i terrenget og et relativt stort spenn over elva. Denne rapporten vil se på ulike muligheter for mobilitet fra Tanberghøgda mot sentrum, med vinkling inn mot en gang- og sykkelbru løsning.

## 1.2 Regelverk

For å oppføre byggverk lovlig i Norge må man følge Byggeteknisk forskrift. Byggeteknisk forskrift forklarer også de preaksepterte ytelsene som vil oppfylle kravene. For konstruksjoner vil dette være å følge Eurokodene, med tilhørende nasjonale tillegg. (DIBK, 2017)

En eventuell konstruksjon, i form av en gang- og sykkelbru, vil ikke være knyttet opp mot det offentlige veinettet. Det anbefales likevel å ta utgangspunkt i Statens Vegvesens vegnormaler, hvor blant annet N400 er gjeldene for bruer. (Statens Vegvesen, 2022)

## 2 Grunnlag

Etablering av en bru mellom Tanberghøgda og Schjongslund vil støte på flere krevende utfordringer. Området på østsiden er svært bratt, noe som gjør fremkommeligheten vanskelig. På vestsiden ved Schjongslund er terrenget flatere med bedre fremkommelighet, men kan risikere å stå under vann i en 200-års flom. Selve bredden på elva vil variere avhengig av krysningspunkt, hvor minimum 100 meters bredde må forventes.

### 2.1 Eksisterende konstruksjoner

Nåværende mobilitet mot sentrum for gående og syklende, baserer seg i stor grad av en bru. Kunnskap om denne og andre bruer i nærheten kan gi gode indikasjoner for prosjektering av ny bru. Bruene er veibruer og har fortau i begge retninger.

#### 2.1.1 Kvernbergsund bru

Kvernbergsund bru ligger nedstrøms for Tanberghøgda, ble oppført i 1941/1942 og er hoved forbindelsen mellom Eikliområdet og Hønefoss sentrum. Bruen har en total lengde på 153 meter med et største spenn på 42 meter. Bruen er utført som en fagverksbru, med fagverk på undersiden og overliggende betongdekke (Wikipedia, 2021). Ved normal vannføring i Storelva er undersiden av bruene ca. 5,5 meter over vannoverflaten.

#### 2.1.2 Hønefoss bru

Hønefoss bru er plassert oppstrøms for Tanberghøgda og ble oppført i 1952. I tilknytning til denne bruene finnes det også en mindre gang- og sykkelbru som ligger få meter nedstrøms.



Figur 1. Oversikt over eksisterende bruer i nærheten av Tanberghøgda. Kilde: (Google, Google Earth, 2022)

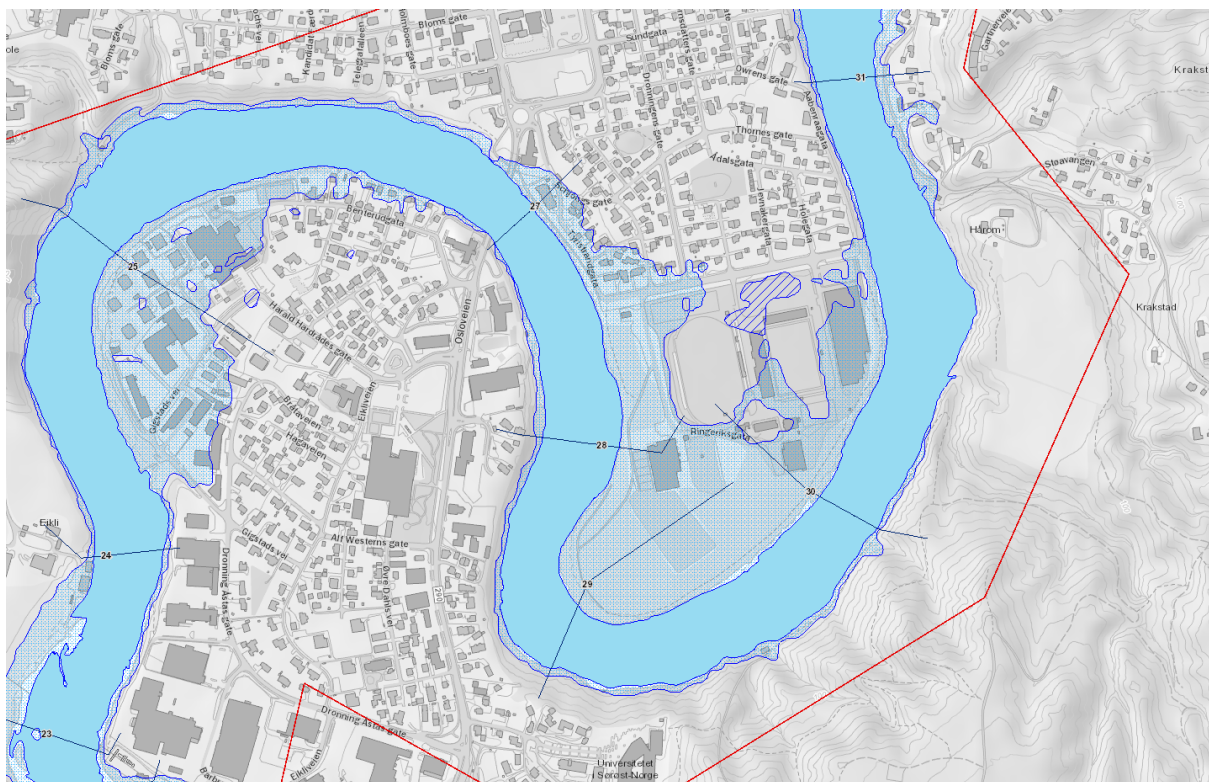
#### 2.1.3 Overmannsund bru

Overmannsund bru ligger øst for Hønefoss bru og er en veibru med to kjørefelt, samt fortau på begge sider. Bruen ble oppført i 1953 i betong etter at de tidligere bruene utført i tre hadde blitt tatt av flom eller overgått sin levetid.

## 2.2 Storelva

Storelva har et stort nedslagsfelt som kan gi store variasjoner i vannføringen. Normal vannstand i det aktuelle krysningsområdet ligger på rundt 66,5 m.o.h., men kan stige til 69,2 m.o.h. under en 200-årsflom og vil med det legge Schjongslund under vann (Stokseth & Svegård, 2003), se Figur 2. En bru over Storelva bør derfor prosjekteres slik at bruoverbygningen går klar av 200-årsflomen

med tilstrekkelig sikkerhetsmargin på minst 0,5 meter i henhold til håndbok N400. For å ta hensyn til båttrafikken bør ikke nye bruer ha en lavere fri høyde enn andre bruer langs elven. Fra reguleringsbestemmelser knyttet til Ringeriksbanen fastsettes en fri høyde på 5,4 meter over normalvannstand på minimum 1/3 av elvebredden. En GS-bru bør derfor ha en fri høyde på minimum 3,2 meter på det laveste punktet med hensyn på en flomsituasjon, og minimum 5,4 meter over 1/3 av elvebredden for å ta hensyn til båttrafikken under normal vannstand.



Figur 2. Flomsonekart for 2008 års flom i Storelva. Skravert i blått er landområder som vil være dekt med vann.  
Kilde: (NVE, NVE Flomsone, 2022)

Gjennom dette mulighetsstudiet er det vurdert etablering av en flomvoll på østsiden av Schjongslund, for å unngå å måtte bygge deler av broens ankomstrampe under vann ved en 200års flom. Den eventuelle flomvollen må strekke seg langs hele øst siden, og vil bli minst 800 meter lang. Dette vil antagelig også heve flommens føringshøyde. Å dimensjonere ankomstrampen for flommen ansees dermed å være den beste løsningen. Ved dimensjonering av rampen må det, slik som for pilarene, tas hensyn til flom og islaster. Ut ifra elvens utforming kan det antas at det ikke vil være sterke strømmer i området hvor rampen vil legges, da de største strømmene vil være i yttersvingen av elva. Forslag til utforming av rampe vises i Figur 3 og Figur 4, hvor den nederste delen av rampen anbefales å vinkles motstrøms slik at flomvannet blir ført over rampen (samme prinsipp som for operataket).

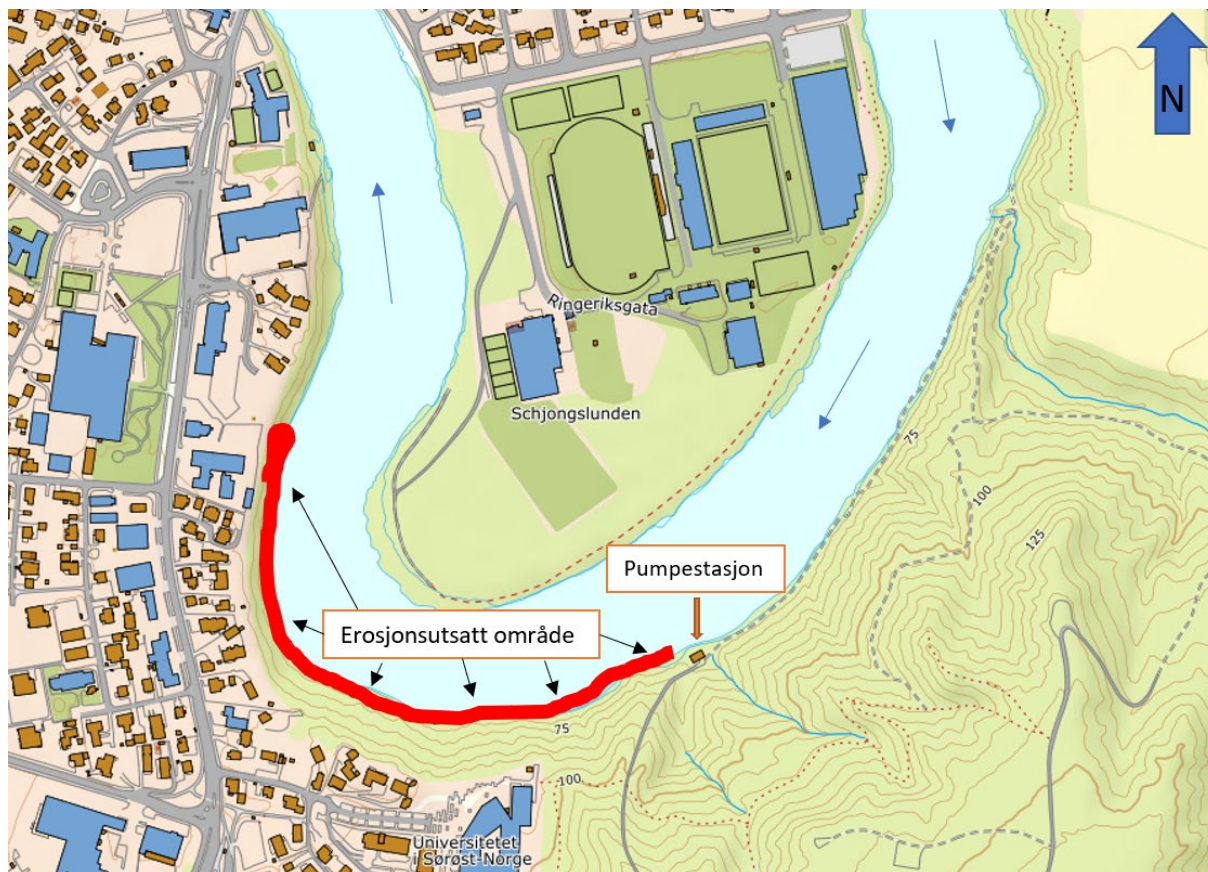


Figur 3. Rampe sett ovenfra. (Privat bilde)



Figur 4. Rampe sett nedenfra. (Privat bilde)

Som vist i Figur 5 svinger elveløpet 180-grader rundt Schjongslund mot vest. Slik utforming av elveløpet fører til erosjon av elvens ytterside hvor det, ifølge kommunen, er observert undervannskred. Med tanke på plassering av bruene må det tas hensyn til elvens påvirkning på området, og det må vurderes erosjonssikring i ytterkanten av elva om broen plasseres nedstrøms av pumpestasjonen. Erosjonssikring kan gjøres ved fylling av blokker, steiner og grus, se NVEs "Veileder for dimensjonering av erosjonssikring av stein" (Jenssen & Tesaker, 2009).



Figur 5. Erosjonsutsatt område nedstrøms av pumpestasjon. Kilde: (Kartverket, Norgeskart, 2022)

## 2.3 Grunnforhold

Gjennom feltundersøkelser høsten 2020, med supplerende undersøkelser våren 2021, er det gjort nøyte kartlegging av Tanberghøgdas grunnforhold. Totalt er det gjennomført 118 feltundersøkelser, derunder totalsonderinger, trykksønderinger (CPTu), prøveserier og elektriske poretrykkstester. De uthentede prøvene er undersøkt i laboratoriet hos NGI med tanke på klassifisering og identifisering av jordarter.

Basert på borloggene består løsmassene generelt av sand, silt og leire over et fast morenelag. Tykkelsen på de ulike lagene varierer. Basert på borprofil fra laboratorieundersøkelsene består løsmassene generelt av tørrskorpeleire over middels til fast leire med varierende lag av silt-/finsandlag. Det er ikke påvist kvikkleire.

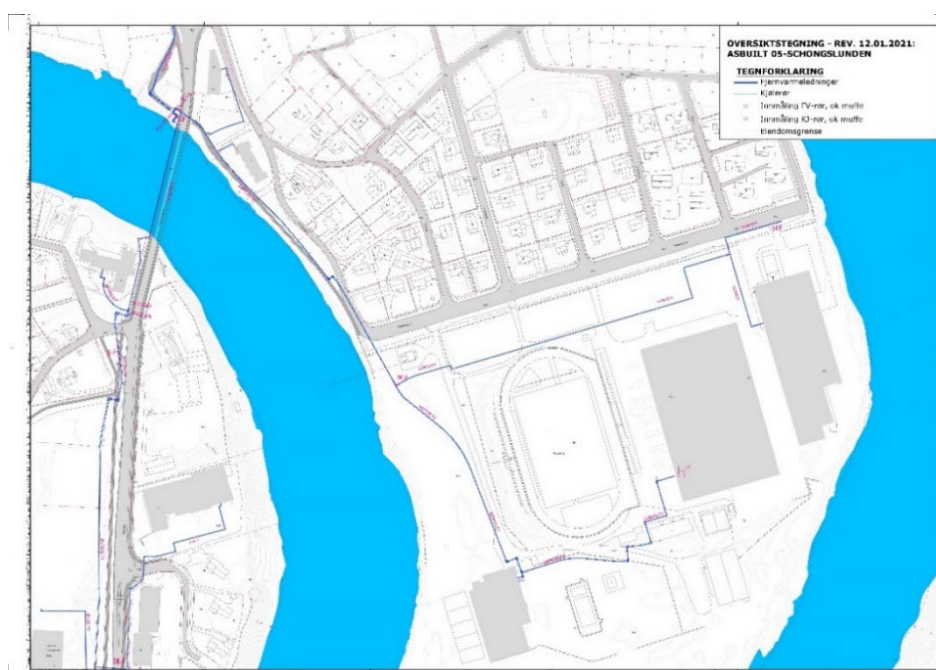
Det er gjort en totalsondering nede ved elven i det aktuelle området for bruene. Boringen er 20m og det ble ikke truffet berg. Løsmassene er trolig tørrskorpe til omtrent 2 meter under terrengoverflaten. Heretter sandige masser til 17 meter under terrengoverflaten over morene til

bunnen av boringen. Med over 20 meter ned til fast fjell vil det kunne by på utfordringer med tanke på forankring og fundamentering av en eventuell bro.

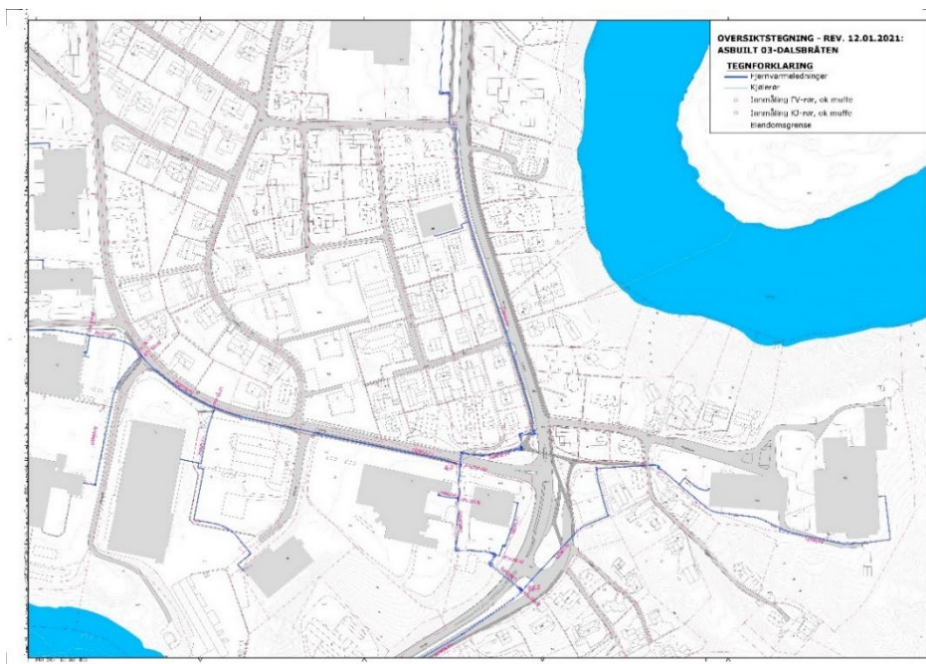
## 2.4 Drift og vedlikehold

En bru over Storelva skal kunne nyttes hele året uavhengig av årstid. Gjennom vinterhalvåret må det forventes at snøen ligger gjennom flere måneder og brøyting vil være nødvendig. Bruen må derfor prosjekteres for laster fra nødvendig servicekjøretøy. I en dialog med kommunen kommer det fram at det kan være aktuelt med mindre traktorer til brøyting av en eventuell gang- og sykkelbru med tilhørende veinett til Tanberghøgda. Med det vil det ikke være nødvendig å dimensjonere for de store trafikklastene som anbefales i Statens vegvesens håndbøker. Ettersom en bru over Storelva ikke må følge regelverket i håndbøkene, kan det også vurderes en løsning hvor gitterrister nyttes som dekke. Med en slik løsning kan man unngå at snøen legger seg på bruene, og med det slipper brøyting. Det kan også være aktuelt å se på mer innovative løsninger som kan fjerne behovet for brøyting, og sikre snøfri bru gjennom vinteren.

Etter ønske fra kommunen vil det være mulighet for å føre fjernvarmerør gjennom bruene og over til sentrumssiden av elven. Fjernvarme leverandøren i området, Vardar, har også stor interesse i dette for å bygge en ringstruktur i fjernvarmenettet. Det er allerede, som vist i Figur 6 og Figur 7, etablert fjernvarme inn til universitetet, USN, og ut til Schjongslunden. Disse ønsker Vardar å koble sammen (Bockmann, 2022). Fjernvarmen som føres gjennom bruene kan brukes til tining av is og snø om vinteren for å holde gang og sykkelbruene bar året rundt. Bruen Tullhusbron i Norrkøping (Sverige) bruker et varmluftssystem for å holde bruene bar om vinteren. På Tullhusbron brukes returvarmen i fjernvarmeanlegget som kilde til varmluften, da det ikke kreves så voldsom varm luft for å få holdt bruene bar i Norrkøping. Varmluften blåses ut gjennom kanaler langs bruene og ut på brudekket som har en tynn overflate med akrylat. Med dette unngås energitap til stålet i selve brukonstruksjonen (Nikolaisen, 2013).



Figur 6. Fjernvarmenett Schjongslunden. Kilde: (Bockmann, 2022)



Figur 7. Fjernvarmenett sør i Hønefoss (USN på høyre side). Kilde: (Bockmann, 2022)

## 2.5 Laster

Prosjektering og dimensjonering av gang- og sykkelbruer er ikke noe nytt, og har et klart og tydelig regelverk for hvilke laster som må vurderes. Allikevel er det enkelte laster som kan påvirkes i planleggingsfasen, og med det påvirke kompleksiteten av en kryssing av Storelva. Trafikklaster, flom og islast er eksempel på disse.

### 2.5.1 Trafikklaster

En gang- og sykkelbru må prosjekteres for folkeansamlinger på bruene. For myke trafikanter er lastmodell 4 i NS\_EN1991-2 gjeldende, med en last på 5 KN/m<sup>2</sup>. I tillegg må laster fra eventuelle servicekjøretøy vurderes dersom barrierer ikke settes opp og bruene skal brøytes. Om det planlegges å bruke mindre servicekjøretøy for å redusere trafikklaster, må tiltak gjøres for å hindre utilsiktede kjøretøy som kan overskride prosjektert last fra å kjøre inn på bruene.

### 2.5.2 Flom og islast

Vannføringen i Storelva kan, som omtalt i kapittel 2.2, være utfordrende og påføre en bru store laster. Selv om overbygningen blir hevet til å gå klar av 200års flommen, må flom- og islast allikevel vurderes ettersom landkaret på Schjongslund-siden og eventuelle søyler mellom bruens ender vil være utsatt. I henhold til SVVs håndbøker kan islastene være veldig store og derfor ønskelig å unngå. Dersom løsningen faller på en bru som krever fundamentering i sonen for islast, kan det være aktuelt å se nærmere på lokale vurderinger for å redusere lastene. Fra en flomrapport kommer det fram at de store flommene opptrer på vår, sommer og høst, med vårflokker ved snøsmelting som den dominerende. Med det kan det antas liten sannsynlighet for at islast og en 200års flom opptrer samtidig. Dette er noe som må undersøkes nærmere i et eventuelt forprosjekt.

Dybden til fjell kan også skape problemer knyttet til fundamentering i elven når de store islastene opptrer. Dersom fundamentering i fjell ikke er en mulighet, vil pilarene i elven være svært kostbare, og kreve peler med store dimensjoner.

## 2.6 CEEQUAL

Prosjektet på Tanberghøgda har et mål om å oppnå CEEQUAL-sertifisering. Det er derfor ønskelig at denne delen av prosjektet kan bidra positivt til et høyere sertifiseringsnivå, og med det bidra i den bærekraftige utviklingen.

Med en bru som reduserer reisetiden for myke trafikanter, kan unødvendig bruk av bil reduseres. Dette vil bidra til et tryggere og grønnere samfunn i og rundt Tanberghøgda. Seksjon 8 i CEEQUAL tar for seg transport og vil derfor være hovedfokuset i denne rapporten.

## 2.7 Nødvendige avklaringer

Den geotekniske undersøkelsen ved aktuelt krysningsspunkt er begrenset, og vil ikke være tilstrekkelig for et endelig valg av eventuell bruløsning.

## 3 Adkomstvei

For å ha kortest mulig gang- og sykkel vei til viktige målpunkter i Hønefoss; Hønefoss sentrum, idrettsområdene på Schjongslund, kollektivtilbud langs Osloveien, bør en adkomstvei til bruene bidra med å redusere antall bilturer og å ha flere myke trafikanter.

### 3.1 Universell utforming

Adkomstvei til bruene er veldig utfordrende på grunn av store høydeforskjeller mellom Storelva og Tanberghøgda. I utgangspunktet ble det tenkt universell utforming av adkomstveien ned til bruene. Veien var tenkt å svinge seg oppover i terrenget for å oppnå en helning på 1:20. Dette vil gi en veldig lang vei, noe som vil redusere lønnsomheten sammenlignet med den eksisterende veien over Kvernbergsund brua.

Til tross for disse utfordringene kan en gang- og sykkelvei etableres til brua hvor andre krav til universell utforming blir tatt hensyn til (Belysning, pauseplasser etc). I tillegg kan det tilrettelegges trappeløsning og sti for fotgjengere fra fellesområde på Tanberghøgda ned til brua, noe som vil være en raskere adkomstvei.

Det bør også tilrettelegges for en gang- og sykkelvei fra USN til brua. Med dagens situasjon må en fra USN gå ca. 2 km til idrettsområdene på Schjongslund, vist i Figur 8. Med en GSV fra USN til tenkt bru blir avstanden ca. 0,6km, som vist i Figur 9, altså reduseres avstanden til nesten 1/4.



Figur 8. Gåavstand fra USN til idrettsområdet på Schjongslunden. Kilde: (Google, Google Maps, 2022)



Figur 9. Gang- og sykkel avstand fra USN til Schjongslunden over planlagte bru. Kilde: (Google, Google Earth, 2022)

## 3.2 Alternativ adkomstvei

En heis langs terrenget fra fellesområdet i Tanberghøgda ned til brua kan løse problemet med universell utforming. Heisen bør være stor nok til å kunne brukes av både syklister og personer med funksjonsnedsettelse. Med denne løsningen trengs det ikke store terrenginngrep.

Tanberghøgda skal være delvis selvforsynt med strøm som skal produseres av solenergi, noe som kan brukes til å drifte heisen uten særlig ekstra kostnader.

## 4 Bru fra Tanberghøgda over til Schjongslund

På grunn av elvens bredde og terrenget rundt vil en kryssing av Storelva kreve en bru på 120-140 meter, avhengig av plassering og type bru. Mulige bru-løsninger vil være avhengig av fundamentering og omvendt. Med en dybde på over 20 meter til fast fjell anser vi ikke direktefundamentering på fjell eller forankring i fjell som et alternativ, og vil med det gjøre enkelte brutyper mer utfordrende. Ved pelefundamentering i eksisterende masser kan terrenginnngrepet reduseres. Friksjonspeler eller rammede/borede peler til fjell kan være aktuelle alternativ. Det vil derfor være hensiktsmessig å gjøre flere grunnundersøkelser før et endelig valg på løsning blir tatt.

### 4.1 Plassering

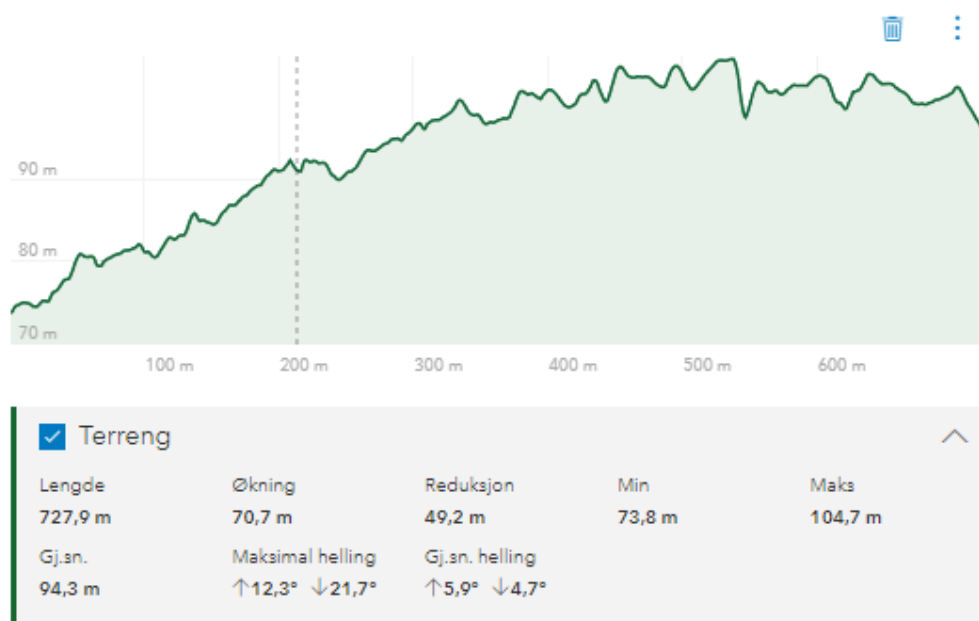
Det er gjort flere vurderinger når det kommer til bruens plassering, blant annet universell utforming, topografien rundt elven, kommunens ønske om å inkludere universitetet og brukervennlighet.

Bruens plassering langs elven er avhengig av elveløpet og bruens tilgjengelighet for beboere i området. Som tidligere beskrevet er det ønskelig å unngå elvens erosjonsutsatte område nedstrøms av pumpestasjonen, og da heller legge bruene oppstrøms for den. For å inkludere Universitetet i Sørøst-Norge på best mulig måte, vil det være gunstig å ikke legge den for langt oppstrøms, men mellom 30-100 meter nord-øst for pumpestasjonen for å også kunne utnytte det bratte terrenget slik at bruene kommer i ønsket høyde. Fra dette området er det flere mulige løsninger for å gjøre bruene godt tilgjengelig for både Tanberghøgda og universitetet. For å opprettholde en slak helning er tanken å utforme en gang- og sykkelvei/delvis-universelt utformet vei i retning nord-øst fra bruene. Denne stien vil kunne kobles på en tiltenkt sykkelsti som nordover fører til Tanberghøgdas nordlige område, og sørover til universitetet samt Tanberghøgdas vestlige område. En brattere, og kortere, gangvei i retning universitetet vil komme i tillegg for å korte ned avstanden for gående (se Figur 10 og Figur 11). Det vil også anbefales å tilrettelegge for mindre stier fra sykkelveien og inn på det eksisterende stinetteverket i Tanberghøgdas område for å øke tilgjengeligheten.

Ved å ta hensyn til universell utforming og Storelvas vannføring under en 200års flom vil det være gunstig å legge bruene 8-10 meter over elvens normale vannføringshøyde. Ved å gjøre dette vil bruene også enklere kunne knyttes opp mot Tanberghøgdas sti-nettverk og tilhørende delvis-universelle utformede veier da de kommer litt opp i høyden av skråningen. På Schjongslund-siden er det en liten knaus på ca. 3,5 høydemeter opp til et platå 6-7 meter inn fra elvekanten hvor bruene vil komme ca. 2,5-3 meter over bakkenivå. Platået egner seg godt for en rampe for universell utforming kombinert med trapp for å ankomme bruene.



Figur 10. Gang- og sykkelvei til bru med avstand fra universitetet. Kilde: (Google, Google Earth, 2022)



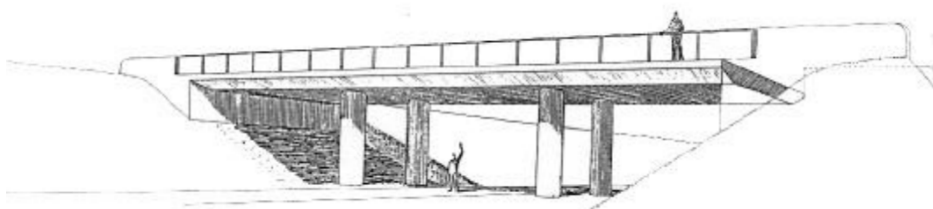
Figur 11. Terrengprofil av gang- og sykkelvei (Blå linje i Figur 10). Kilde: (Kartverket, Høydedata, 2022)

## 4.2 Type bru

Type bru vil være avgjørende for antall spenn som vil være nødvendig. Ved å fundamenterer i elva reduseres spennet og åpner opp for flere muligheter. En slik løsning kan være ett rimeligere alternativ gitt gode grunnforhold og lave islaster. En annen faktor som kan være avgjørende er transporten dit. Med ingen sjøvei må alt transporteres langs veinettet, og vil med det begrense størrelsen på eventuelle prefabrikkerte elementer.

### 4.2.1 Platebru

Ved å fundamenterer flere steder i elven er det mange muligheter for hvordan en bru kan utformes. Da kan man benytte seg av flere spenn og dermed redusere momentene og kreftene. Dette vil også gi flere muligheter i valg av materiale, som for eksempel tre. På den måten kan bruene utføres på en av de rimeligere måtene, spennarmert betong platebru. Tidligere erfaringsdata gir en indikasjon på dimensjoner, spennlengde og antall spenn. I dette tilfelle, med en bru på 100+ meter, vil det anbefales å dele opp bruene i 3 spenn på maksimum 40 meter. Ved bruk av platebru vil man måtte legge kommunale ledninger som fjernvarme og brannvann i underkant av bruene, noe som vil føre til økt høyde på brudekket.



Figur 12. Platebru. Illustrasjon hentet fra Statens Vegvesen Bruhåndbok 4 - Plassproduserte platebruer. Kilde: (Statens Vegvesen, 2002)

### 4.2.2 Kassebru

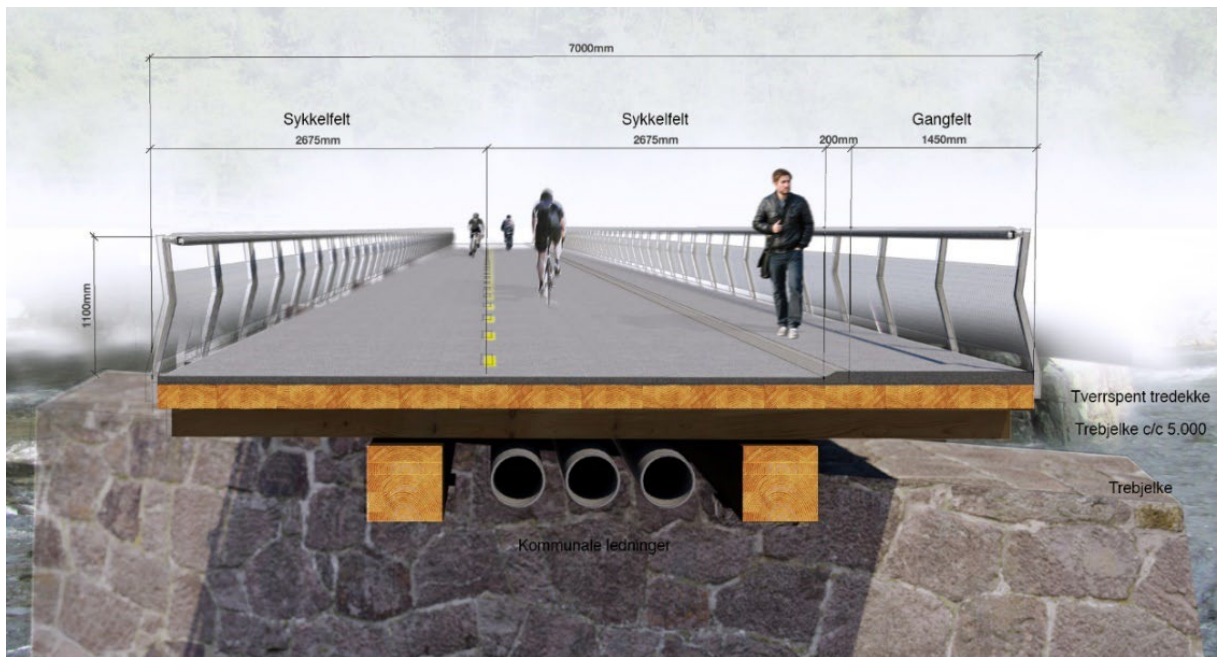
For å redusere antall fundamenteringer i elven, og dermed øke spennlengdene, kan en kassebru være en løsning. En kassebru kan enten utføres i et rent betongtverrsnitt eller som betong i samvirke med stål. Av erfaringsdata til veibruer, vil en samvirkebru for en 2-spenns bru gi gode forutsetninger for tilstrekkelig kapasitet. Tverrsnittene til kassebruer vil generelt være en del høyere enn for en platebru. Med tanke på høyde over 200 års flommen vil derfor brudekket bli en del høyere enn for platebru. Til gjengjeld vil det kreve færre fundamenter for å støtte opp bruene. Ved bruk av kassetverrsnitt er det enkelt å føre kommunale ledninger i forbindelse med bruene uten å måtte øke høyden på brudekket.



Figur 27. Kassebru under bygging. Kilde: (Hamakareem, u.d.).

### 4.2.3 Bjelkebru

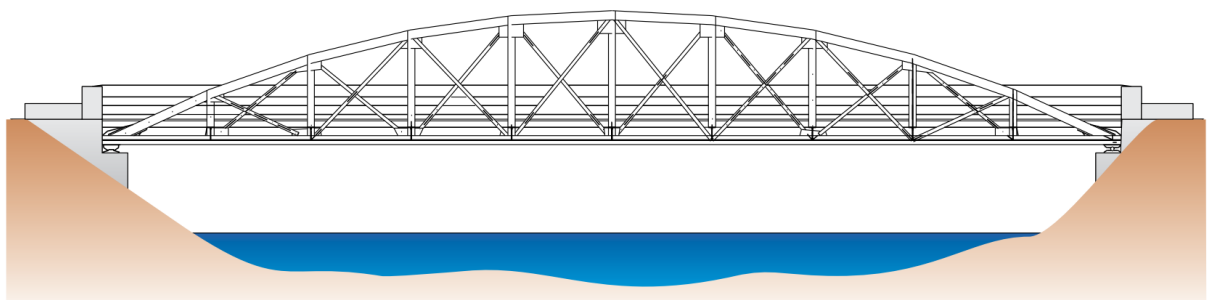
En annen løsning når man deler opp bruene i flere spenn er en bjelkebru. Lengden på hvert spenn avgjøres av materialvalg. Bjelkene kan utføres iblant annet stål, spennarmert betong eller tre med et dekke av betong eller tre. Ved å bruke bjelker kan kommunalt ledningsnett enkelt legges i rommet mellom dekket og støttefundamentene som vist i Figur 14.



Figur 14. Illustrasjon av bjelkebru med kommunale ledninger. Hentet fra forprosjekt gjort på en gang- og sykkelbru i forbindelse med Sluppen. Kilde: (Tango)

### 4.2.4 Fagverksbru

En fagverksbru kan utformes med et overliggende eller underliggende bæresystem. På grunn av 200års flommen vil et overliggende bæresystem være et foretrukket alternativ, og med det unngå at overbygningen kommer for høyt, se Figur 15. En slik bru kan spanne nokså langt, men det vil være gunstig å dele bruene i to til tre spenn, noe som gir flere muligheter med tanke på materialvalg. Et bæresystem i tre eller stål er vanlig for en fagverksbru, hvor tre kan være et godt alternativ for prosjektets miljøfokus, samt estetikk. Aluminium kan også være en mulighet, som krever mindre energi å produsere og gjenvinne sammenlignet med vanlig konstruksjonsstål.



Figur 15. Fagverksbru med buet overgurt. Kilde: (Vegdirektoratet, 2014)

#### 4.2.5 Buebru

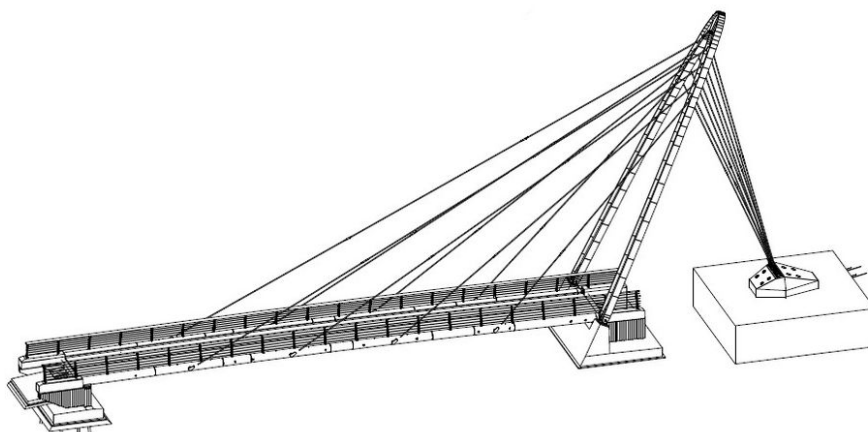
Som et alternativ til bjelkebru, kan buebru være et alternativ som gir større spennvidder. Spennet vil være begrenset av materialvalg, hvor en bue i betong eller stål kan spenne fritt over hele elvens bredde. Med tre som konstruksjonsmateriale vil minimum to spenn kreves, og kan utføres som fagverksbuer eller massive limtrebuer. En annen faktor som kan begrense spennet er transport og tilkomst. Buebroer i stål og tre blir oftest prefabrikkert og transportert som lange og høye elementer. For å redusere elementlengden kan buene utføres med ledd på midten, som vist i Figur 16. Ved å del bruene i to spenn, og innføre ledd i midtspennet på buen, anser vi buebro i stål eller limtre som en mulig løsning.



Figur 16. Buebru med ledd i midtspennet. Kilde: (Plan Arkitekter, 2006)

#### 4.2.6 Skråstagbru

Skråstag bru er en estetisk fin bru, men også en del dyrere enn de tradisjonelle løsningene som plate- og kassebru. Ved bruk av skråstag kan bruene utføres i et spenn, og kan med det unngå islast hvis skråstaget plasseres på land. Med ukjent avstand til berg i området Tannberghøgda er det vanskelig å forutsi best fundamentering av et skråstag. Det kan derfor være både aktuelt med pelefundamentering til berg eller motvektsfundament i skråningen. Et motvektsfundament i skråningen vil være et større terrenginngrep, men kan være en løsning dersom det er lang avstand ned til berget. En løsning med motvektsfundament er illustrert i et anbud på en skråstagbru i Levanger, se Figur 17 (Haakonsen, 2014). Her kan det være nødvendig å sette opp en spuntgrop i skråningen når man skal plassere et motvektsfundament.



Figur 17. Illustrasjon av skråstagbru med motvektsfundament. Kilde: (Reinertsen, 2014)

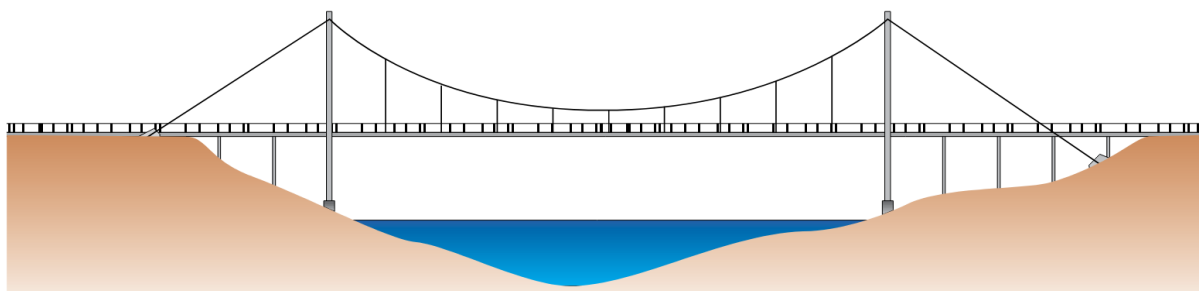
Det kan i dette tilfellet være ønskelig å dele gang- og sykkelveien i to for å føre de gående og syklende til ønsket destinasjon, henholdsvis universitet og en eventuell gang- og sykkelsti i Tannberghøgda. En estetisk fin løsning på dette kan være tilsvarende som Ypsilon bru i Drammen, se Figur 18.



Figur 18. Ypsilon Gangbru i Drammen. Kilde: (Skanska, u.d.).

#### 4.2.7 Hengebru

Et annet alternativ med ett spenn vil være en hengebru. I likhet med skråstagbru kan forankring av kablene kreve store utgravinger, men nå på begge sider. Bruoverbygningen på en hengebru kan være en lett konstruksjon, men som ikke er like stiv som overnevnte alternativer. Dersom fjernvarme og brannvann skal føres under bruene kan dynamikken være et problem.



Figur 19. Hengebru. Kilde: (Vegdirektoratet, 2014)

## 5 Alternative løsninger

Som det har blitt forklart er det knyttet økonomiske og andre utfordringer til å plassere en ny bru i forbindelse med Tanberghøgda. Derfor er også andre mulige løsninger på mobilitet fra Tanberghøgda utforsket.

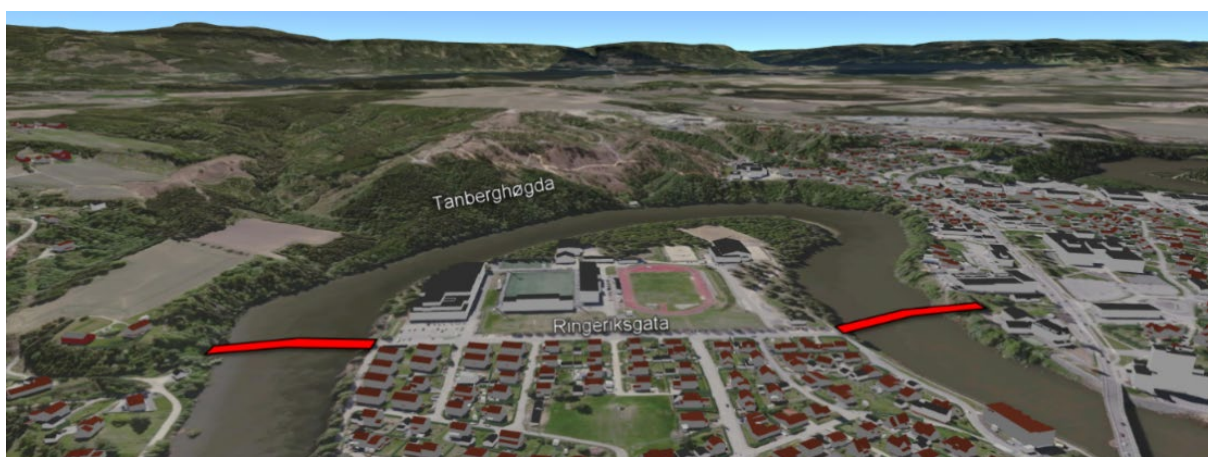
### 5.1 Erstatte/utbedre eksisterende bruer i område

Som tidligere beskrevet er det eksisterende tilbudet for myke trafikanter knyttet opp mot de eksisterende vegbruene i området. Disse er et generelt dårlig tilbud til de myke trafikanter og er på utgående levetid. Begge bruene er satt opp på midten av 1900-tallet og vil nå mer enn 50 år senere trenge større vedlikehold. (Hasle, 2017) Disse to bruene er altså en del av en "eldrebølge" innen bruer i Norge, som vil kreve mye vedlikehold eller erstattes. En løsning på mobilitetsproblemet vil derfor være å erstatte de eksisterende bruene med nye bruer som er bedre egnet for dagens trafikk og som håndterer de myke trafikantene på en bedre måte. Dette vil være et større prosjekt med store utgifter.

En annen løsning kan være å forbedre de eksisterende bruene. Ved å bygge en ny gang- og sykkelbru tilknyttet den eksisterende bru avlastes Kvernbergsund bru for myke trafikanter og det blir lettere å ledde gående og syklende videre. Dette kan blant annet gjøres ved å plassere en lett komposittbru på siden av eksisterende bru.

### 5.2 Bru på hver enda av Ringeriksgata

I samtale med Ringerike Kommune kom det frem at det også sees på muligheten for å legge en gang- og sykkelbru på hver side av Ringeriksgata, som illustrert i Figur 20. Dette vil generelt avlaste de eksisterende bruene for myke trafikanter og føre Tanberghøgda og Schjongslunden nærmere hverandre. Dette kan spesielt bli gunstig for skolevei, ved å føre barn og unge vekk fra den tunge trafikken. Avstanden til Hønefoss sentrum forblir ganske lik som i dagens situasjon.



Figur 20. Illustrasjon av bru på hver side av Ringeriksgata. Kilde: (Norkart, u.d.).

### 5.3 Heis fra Tanberghøgda til Schjongslund

På grunn av det bratte terrenget vil det være vanskelig å få til en universelt utformet vei til Schjongslund. Derfor er en taubane fra felles området på Tanberghøgda til Schjongslund et interessant alternativ for bru. En slik "heis" vil kunne brukes av alle, også mennesker med nedsatt funksjonsevne. Denne løsningen vil også kunne brukes hele året uten behov for brøyting eller salting. Det vil allikevel være en del vedlikehold knyttet opp mot en slik løsning. Sammen med kostnadene av selve konstruksjonen og bemanning vil dette være et relativt dyrt alternativ.



Figur 21. Taubane mellom Schjongslund og Tanberghøgda.

En heis/taubane vil ikke bidra i noen grad til å knytte universitetet nærmere sentrum. Dermed kan det være vanskelig å involvere universitetet i et slikt prosjekt. En slik løsning vil være mer gunstig for hele Hønefoss ved å knytte byen nærmere naturen og fungere som en turistattraksjon i byen. En taubanetur over Storelva, med fin utsikt, kan bli en attraksjon som videre kan lede turister til de andre attraksjonene i Hønefoss. Eksempel på Taubane er vist i **Error! Reference source not found..**



Figur 22. Verdens lengste taubane. Kilde: (ct\_admin, 2013)

## 6 anbefalinger

Gjennom dette mulighetsstudiet er det kommet frem til ulike forslag til utbedring av mobiliteten fra Hønefoss sentrum og de sørlige områdene adskilt av Storelva. Det er foreslått ulike typer bruer avhengig av kundens og kommunens visjon og økonomiske forhold. Bruens valgte plassering er vurdert og begrunnet ut ifra ulike forhold som topografi, elveløp, flomfare, bebyggelse og brukervennlighet. I tillegg er det sett på mulige løsninger om det ikke skulle la seg gjøre å bygge en bru i dette området.

Til slutt presenteres tre type bruer som kan plasseres over Storelva fra Tanberghøgda til Schjongslund. En bru over Storelva vil gi et positivt bidrag til CEEQUAL-sertifiseringen ved å føre myke trafikanter bort fra biltrafikkert vei, og dermed øke sikkerheten til blant annet barn og unge.

Gitt gode forutsetninger i form av gode grunnforhold, uproblematisk islast osv., vil en plate eller bjelkebru plassert over minst to pilarer være et økonomisk alternativ. Det enkleste i dette tilfellet vil være å utføre bruene som en spennarmert betongbru. Hvis dette derimot ikke er tilfellet, kan pilarene bli svært kostbare.

Med fokus på det grønne skriftet er alternativ to basert på et ønske om å utføre bruene i tre. Det anslås at den beste løsningen på dette vil være en buebru som kan utføres med kun to spenn. Dette vil også kunne gi en estetisk fin bru, som reflekterer materialbruken til tidligere bruer i område.

Det siste forslaget baserer seg på å skape et nytt landemerke i Hønefoss. Et broalternativ som skiller seg ut estetisk er en skråstagbru som kan utføres i et spenn. Dette er illustrert i Figur 23 på neste side og er inspirert av Ypsilon bru i Drammen. Ved å splitte bruene mot Tanberghøgda kan man på en fin måte føre gående og syklende til ønsket destinasjon gjennom et tiltenkt stinettet på Tanberghøgda. En slik bru vil være kostbar sammenlignet med de andre brutypene og vil kreve større forarbeid i form av prosjektering. Ved å unngå islast er det også mulig å utføre denne bruene som en lettere konstruksjon. Ved å utføre brukassen eller overbygningen i aluminium kan man redusere vekten opp til 30%. Dette vil igjen redusere dimensjonene til andre konstruksjonsdeler som skråkablene, brutårnet og et eventuelt motvektsfundament. Bruk av aluminium vil også være veldig gunstig med tanke på miljø. Med mindre utslipp fra produksjon og transport, samt lavere materialmengder, gir bruk av aluminium et bedre klimagassregnskap.



Figur 23 Illustrasjon av skråstagbru over Storelva.

## 6.1 Videre arbeid

Videre er det nødvendig å supplere med ytterligere grunnundersøkelser langs og i elva. Det er spesielt relevant å bestemme dybde til fjell, da dette vil ha stor påvirkning av plassering av bru og fundamenter. Det vil også være nødvendig med grundigere dimensjonering og kostnadsoverslag, i form av et forprosjekt på de alternative løsningene. Islast må også undersøkes nærmere.

## 7 Litteraturliste

- Bockmann, K. (14. 07 2022). Fjernvarme Hønefoss Tannberghøgda (Vardar). (Gruppe2, Interviewer)
- ct\_admin. (29. 08 2013). *Verdens lengste taubane*. Hentet fra horecanytt: <https://www.horecanytt.no/2013-arkiv-august-2013/verdens-lengste-taubane/302778>
- DIBK. (2017). *Veiledning om teknisk krav til byggverk*. Hentet 15. Juli 2022 fra Direktoratet for Byggkvalitet: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/>
- Google. (2022). *Google Earth*. Hentet fra Google Earth: <https://earth.google.com/web/>
- Google. (2022). *Google Maps*. Hentet fra Google Maps: <https://www.google.no/maps/@60.1600366,10.2816709,15z>
- Hamakareem, M. I. (u.d.). *Construction of Box Girder Bridges - Specifications, Uses and Benefits*. Hentet 4. August 2022 fra The Constructor: <https://theconstructor.org/structures/construction-box-girder-bridge/2166/>
- Hasle, G. (29. Desember 2017). *Nytt tiltak mot bruenes eldrebølge*. Hentet August 2022 fra Tungt: [https://www.tungt.no/article/view/756971/nytt\\_tiltak\\_mot\\_bruenes\\_eldrebolge](https://www.tungt.no/article/view/756971/nytt_tiltak_mot_bruenes_eldrebolge)
- Haakonsen, A. (5. Mai 2014). *Skråstagbru på anbud i Levanger*. Hentet 1. Juli 2022 fra Veier24: Skråstagbru på anbud i Levanger
- Jenssen, L., & Tesaker, E. (2009). *Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein (4)*. Oslo: NVE.
- Kartverket. (2022). *Høydedata*. Hentet fra Høydedata: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn2/>
- Kartverket. (2022). *Norgeskart*. Hentet fra Norgeskart: <https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=14&lat=6678375.96&lon=237407.50&markerLat=6678101.258793851&markerLon=237377.7468915481&p=searchOptionsPanel&sok=Storelva>
- Nikolaisen, P.-I. (14. 11 2013). *Varmluft holder den svenske premiebrua snøfri*. Hentet fra Teknisk Ukeblad: <https://www.tu.no/artikler/varmluft-holder-den-svenske-premiebrua-snofri/233712>
- Norkart. (u.d.). Hentet 4. August 2022 fra 3D Kommunekart: <http://3d.kommunekart.com/?funksjon=vispunkt&y=237275.26963125097&x=6678091.51030296&z=84.24834788547577&lookatx=6678105.038975921&lookaty=237374.05314976283&lookatz=76.58078775739307&zoom=13&srid=32633&kommune=undefined&ruteberegning=undefined&host=undef>
- NVE. (2022). *NVE Flomsone*. Hentet fra NVE Flomsone: <https://temakart.nve.no/tema/flomsone>
- Plan Arkitekter. (20. jan 2006). *Veier24*. Hentet fra Tre erstatter stål i Vågåmo: <https://www.veier24.no/artikler/tre-erstatter-stal-i-vagamo/195085>
- Reinertsen. (5. mai 2014). *Veier24*. Hentet fra Skråstagbru på anbud i Levanger: <https://www.veier24.no/artikler/skrastagbru-pa-anbud-i-levanger/196414>
- Skanska. (u.d.). *Ypsilon Gangbru*. Hentet 4. August 2022 fra Skanska: <https://www.skanska.no/hva-vi-gjor/prosjekter/57146/Ypsilon-Gangbru>
- Statens Vegvesen. (2002). *Bruhåndbok 4 - Plassproduserte platebruer*. Vegdirektoratet.
- Statens Vegvesen. (2022). *N400 Bruprosjektering*. Hentet 15. Juli 2022 fra Vegvesen: [https://store.vegnorm.vegvesen.no/n400\\_2022](https://store.vegnorm.vegvesen.no/n400_2022)

Stokseth, S., & Svegård, J. (2003). *Flomsonekart, Delprosjekt Hønefoss*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.

Tango. (u.d.). *Sluppen Bru, Plan- og Designkonkurranse*.

Vegdirektoratet. (2014). *Statens vegvesen*. Hentet fra HB V440:  
<https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v440.pdf>

Wikipedia. (4. November 2021). *Wikipedia*. Hentet 15. Juli 2022 fra Kvenbergsund bru:  
[https://no.wikipedia.org/wiki/Kvernbergsund\\_bru](https://no.wikipedia.org/wiki/Kvernbergsund_bru)

Wikipedia. (9. Juni 2022). *CEEQUAL*. Hentet 13. Juli 2022 fra Wikipedia:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/CEEQUAL>

AUGUST 2022

# RAPPORT

## COWI TRY 2022

### GRØNN MOBILITET

#### GRUPPE 3:

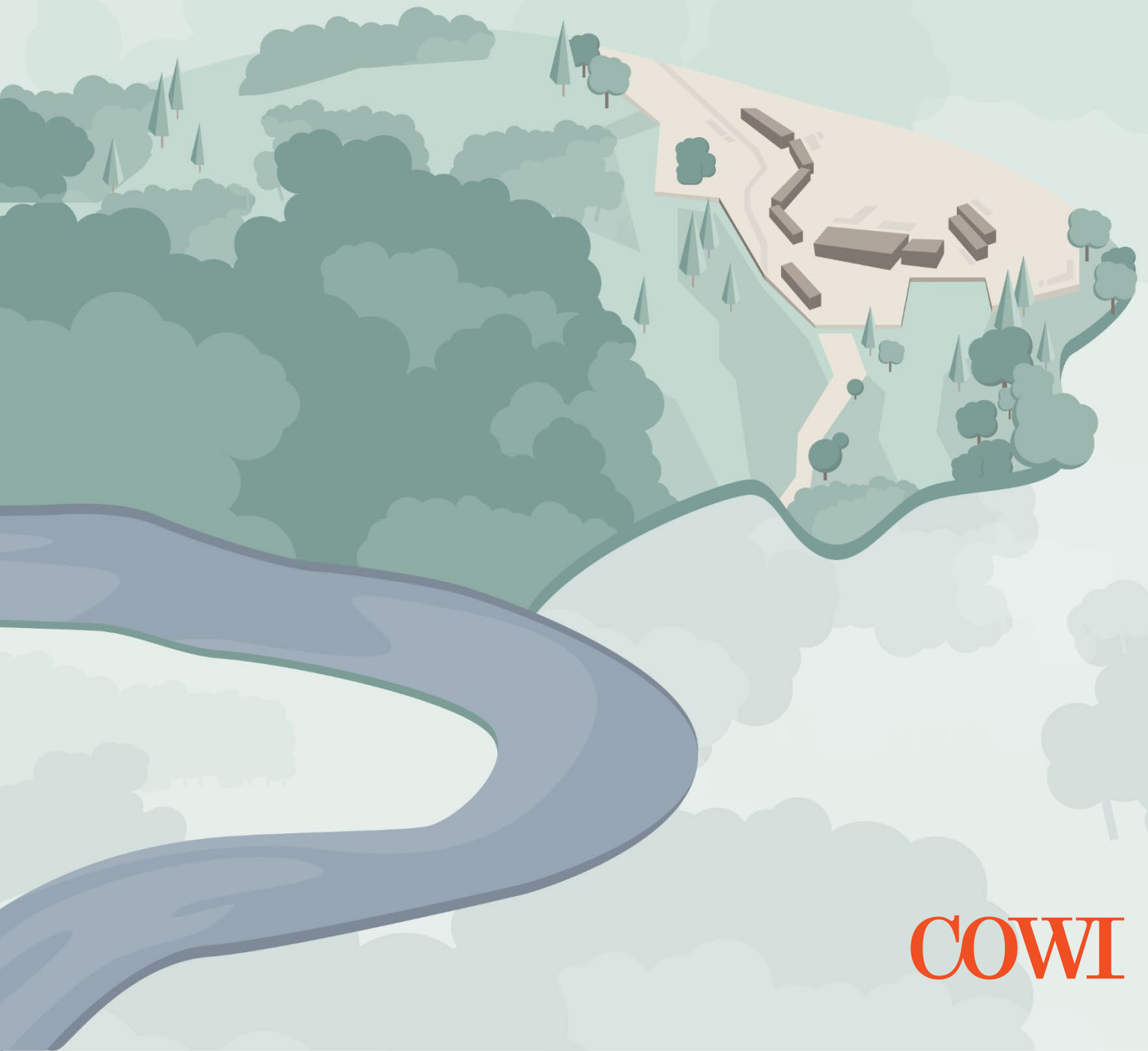
Christoffer Ståhl, HVL

Rasmus Falkeid Hagland, NMBU

Kristoffer Bjørnøy Weaver, NTNU

Vidar Goldfine, NTNU

Sigurd Lundberg Olsen, NTNU



# COWI

# INNHOOLD

|     |                                                                  |    |
|-----|------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | Innledning og problemstilling                                    | 56 |
| 1.1 | Innledning                                                       | 56 |
| 1.2 | Problemstilling                                                  | 57 |
| 2   | Bakgrunn                                                         | 58 |
| 2.1 | Dagens situasjon                                                 | 58 |
| 2.2 | Hva er grønn mobilitet?                                          | 59 |
| 3   | Torg og sentralisering av viktige tjenester                      | 60 |
| 3.1 | Behov                                                            | 60 |
| 3.2 | Strategisk struktur                                              | 61 |
| 3.3 | Utforming av torget                                              | 61 |
| 3.4 | Butikker og næringsliv på Torget                                 | 63 |
| 3.5 | Kontorløsninger og leiligheter                                   | 63 |
| 3.6 | Hvorfor torg på Tanberghøgda                                     | 64 |
| 4   | Mobilitetsalternativer for parkering                             | 65 |
| 4.1 | Behov                                                            | 65 |
| 4.2 | Beskrivelse av alternativene                                     | 65 |
| 4.3 | Vurderingskriterier og analyse                                   | 66 |
| 4.4 | Evalueringskonklusjon                                            | 67 |
| 5   | Miljøvennlig transport                                           | 68 |
| 5.1 | Etablere gang- og sykkeltrase fra Tanberghøgda til fremtidig bru | 68 |
| 5.2 | Skråbaneheis fra Tanberghøgda til fremtidig bru                  | 69 |
| 5.3 | Trapp med sykkelspor fra Tanberghøgda til fremtidig bru          | 69 |
| 5.4 | Delesykelordning                                                 | 70 |
| 5.5 | Sykelhotell med vask og service (sykkelparkering)                | 71 |
| 5.6 | Bru mellom fase 1 og fase 2                                      | 71 |
| 5.7 | Buss                                                             | 72 |
| 5.8 | Skilt med kart over gang- og sykkeltraseer                       | 72 |
| 6   | Videre arbeid                                                    | 73 |
| 7   | Oppsummering                                                     | 74 |
| 8   | Referanser                                                       | 75 |



# 1 Innledning og problemstilling

## 1.1 Innledning

COWI Try er et sommerprogram for studenter hvor man får jobbe i et tverrfaglig innovasjonsprosjekt. Årets samarbeidspartner Fossen Utvikling AS utvikler boligfeltet Tanberghøgda (Figur 1) i Hønefoss – det største utviklingsprosjektet som er planlagt i regionen på 50 år. Samarbeidspartneren har store ambisjoner når det kommer til energi, transport og klimatilpasning. Fossen Utvikling AS setter bærekraft høyt på agenda i alle deler av utviklingsprosessen, og Tanberghøgda vil bli det første CEEQUAL-sertifiserte boligprosjektet i Norge.



*Figure 1 Konseptillustrasjon av Tanberghøgda (Klevjer, 2022)*

Gjennom årets COWI Try prosjekt får studentene mulighet til å tenke nytt og utfordre Fossen Utvikling AS enda mer på bærekraft og grønne løsninger. Dagens befolkningsvekst vokser raskere enn noen gang og fører til større utfordringer innen ressursbruk, areal og transport. For å planlegge og tilpasse fremtidens byer er det viktig å se på hvordan behovet for daglige kan reiser reduseres og tilrettelegge for trygge, enkle og miljøvennlige transportalternativer. Denne rapporten vil ta for seg hvordan man best mulig kan tilrettelegge for grønn mobilitet i en bilfri bydel.

## 1.2 Problemstilling

Gjennom 6 uker har gruppen jobbet på tvers av fagområder og diskutert flere konsepter og tiltak for å legge til rette for grønn mobilitet på Tanberghøgda. Oppgavens problemstilling er følgende: **"Hvordan kan det tilrettelegges for grønn mobilitet på Tanberghøgda, og er det mulig å gjøre området bilfritt?"** Gruppen har valgt å se på flere konsepter og muligheter som vil bidra til å løse noen av dagens utfordringer når det kommer til grønn mobilitet på Tanberghøgda, sett ut ifra de viktigste behovene til beboerne.

## 2 Bakgrunn

### 2.1 Dagens situasjon

Tomten på Tanberghøgda i Hønefoss er blant de største utviklingsområdene i regionen og ble i 2019 ferdig regulert (Figur 2). Fossen Utvikling AS er en ambisiøs eiendomsutvikler som vektlegger bærekraft gjennom hele prosjektet og har allerede gjort en energikonseptutredning som dekker flere fagfelt. Tanberghøgda skal bli en ny bydel i Hønefoss med omkring 600 nye boliger fordelt på lavblokker, småhus og eneboliger. På området er det blant annet planlagt barnehage, fri- og grøntområder, felles lekeareal og turdrag. I tillegg er det planlagt ny infrastruktur med veier som kobler Tanberghøgda til omkringliggende områder. Dagens planløsning inneholder en blanding av parkering under bakken for blokkbebyggelsen og parkering på bakkenivå for mye av den øvrige bebyggelsen.

Utfordringer ved dagens situasjon er høydeforskjellen mellom Tanberghøgda og Hønefoss sentrum som er på omtrent 100 høydemeter. Dette gir god utsikt for fremtidige boliger, men det skaper utfordringer for grønne transportløsninger. En annen utfordring er bruken av privatbil til og fra området. Vintervær, avstander og topografi er faktorer som kan føre til en høy grad av bilbruk i hverdagen.

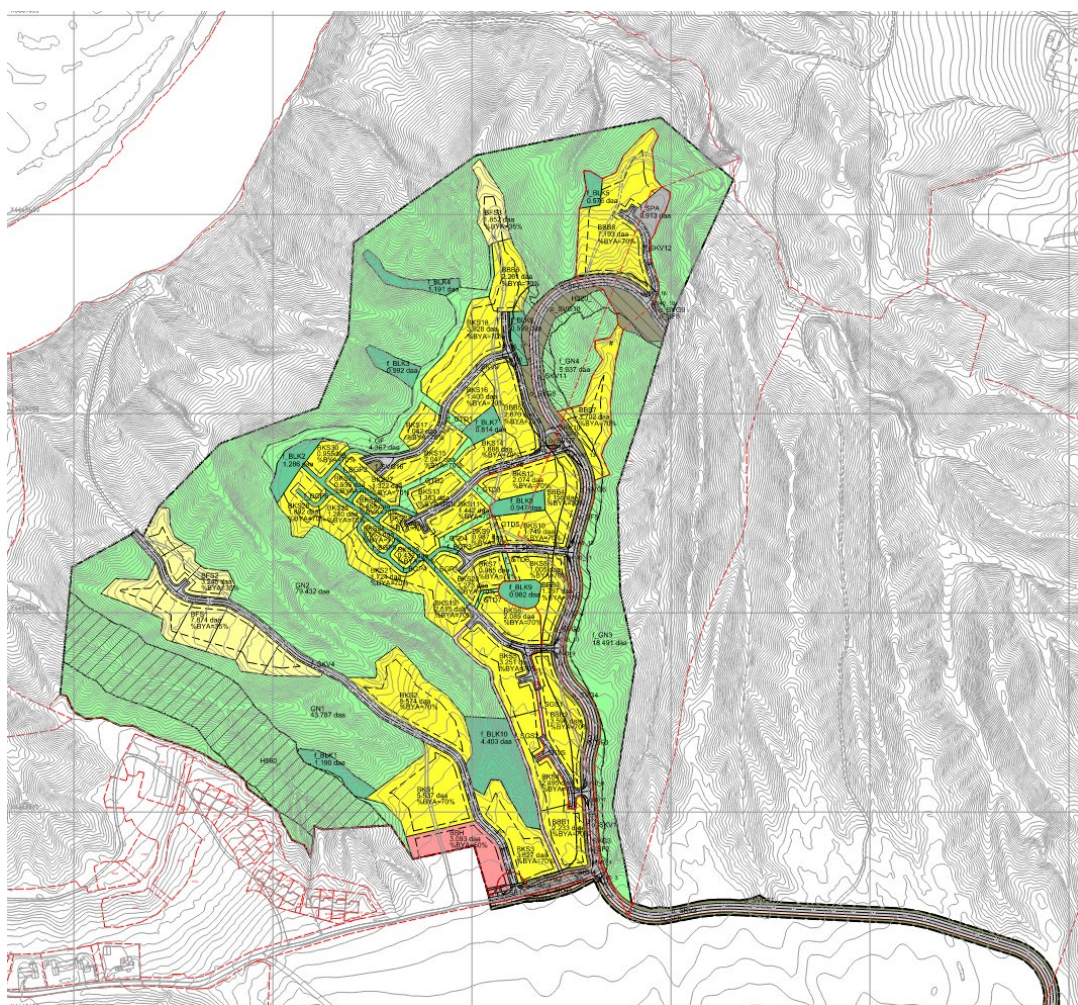


Figure 2 Dagens plankart for fase 2 (Ringerike kommune, 2018)

## 2.2 Hva er grønn mobilitet?

Grønn mobilitet er en felles betegnelse på miljøvennlige transportmetoder hvor man ønsker å redusere bilbruken og tilrettelegge for sykkel, gange og kollektivtransport (Spacescape, 2014). For å illustrere de mest foretrukne reisemetodene for grønn mobilitet kan man se på Den omvendte transportpyramiden (Figur 3). Det mest betydningsfulle tiltaket for å oppnå grønn mobilitet er å redusere transportbehovet ved å samle sentrale funksjoner nær beboerne. Deretter skal det tilrettelegges for aktiv transport som gange, sykkel og muligheten for å benytte små og lette elektriske kjøretøy. Ved lengre avstander skal det eksistere gode kollektivløsninger.

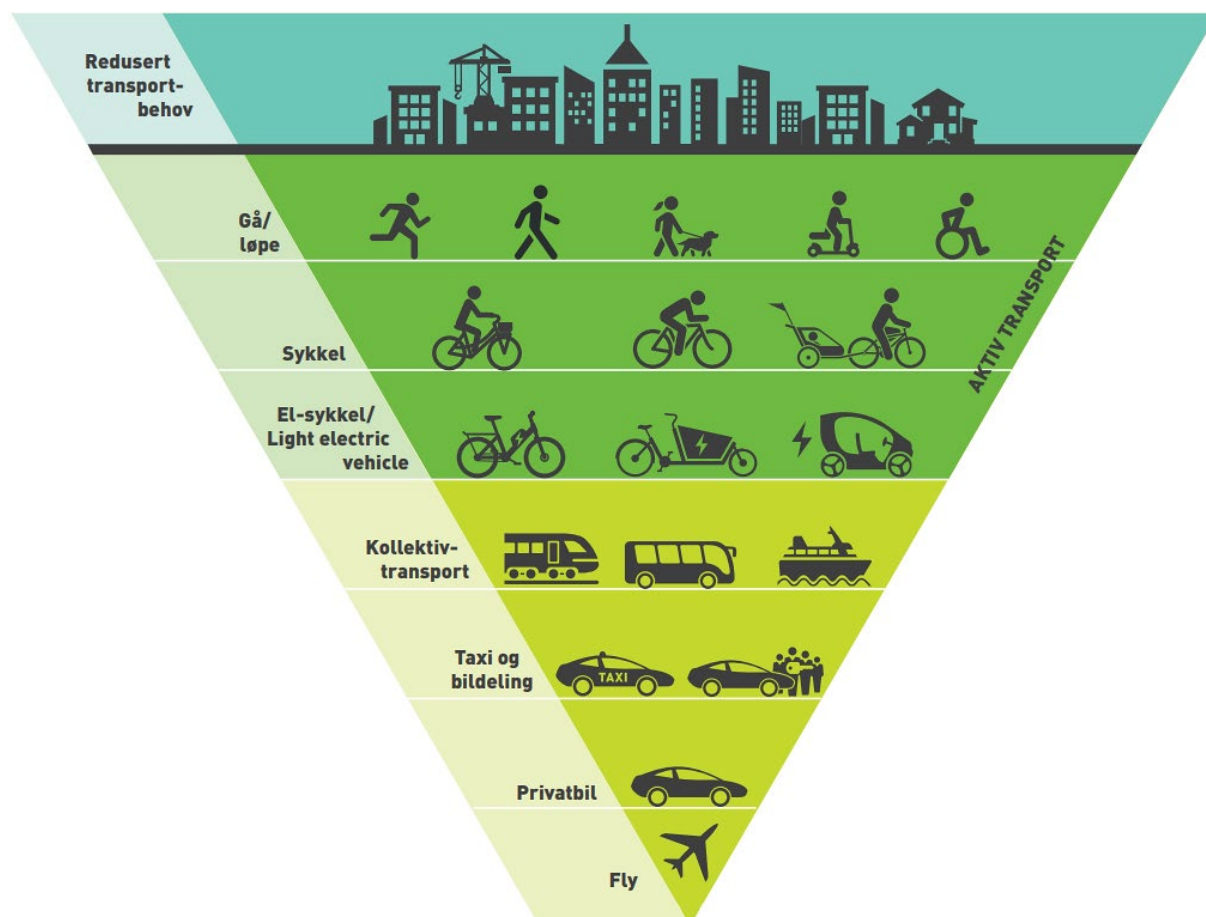


Figure 3 Den omvendte mobilitetspyramiden (Insam AS, 2018)

Ved å redusere bruken av privatbiler og tilrettelegge for grønn mobilitet vil man redusere konflikter mellom biler og myke trafikanter, samt å redusere klimagassutslippet. Ved reduksjon av antall privatbiler blir også behovet for parkeringsplasser redusert. Arealet kan dermed benyttes til andre tiltak. Grønn mobilitet vil øke folkehelsen blant befolkningen ved at flere vil benytte seg av aktiv transport. (Insam AS, 2018) For å fremme grønn mobilitet har gruppen kommet frem til tre hovedløsninger, som diskuteres hver for seg i kapitlene under.

### 3 Torg og sentralisering av viktige tjenester

Et viktig prinsipp i et byutviklingsperspektiv er å tilrettelegge for effektiv arealbruk. Ved å samle viktige funksjoner på et sentralt område med mange innbyggere kan man kutte ned reiseavstander, og dermed gjøre det naturlig å velge grønne mobilitetsløsninger fremfor personbil. Denne delen av rapporten tar for seg mulighetene for å plassere et torg på Tanberghøgda (figur 4) og hvordan dette bidrar til grønn mobilitet.

#### 3.1 Behov

I dagens plan er det lagt opp til flere møtepunkter på området gjennom blant annet utsiktsområdet på "Origo", lekeplasser, og grøntområder mellom bebyggelsen. Strukturen for området er mindre oversiktlig og mangler et område avsatt til formål innen handel og service. Reiser til slike målpunkter står for mesteparten av daglige reiser sett bort fra arbeidsreiser (Opinion AS, 2021). I det videreutviklede nullvekstmålet fra 2020 (Samferdselsdepartementet, 2020) er det et større fokus på sammenhengen mellom arealbruk og transportbehov. For å redusere trafikk med personbil er det viktig med konsentrert bebyggelse og korte avstander. Selv om Tanberghøgda ligger sentralt i Hønefoss med forholdsvis korte avstander til sentrum og andre handelsområder sett fra et bilperspektiv, vil et torg med de mest sentrale handelsfunksjonene kunne muliggjøre at de fleste daglige gjøremål kan gjøres innenfor gangavstand. Samtidig vil et torg være en viktig sosial møteplass som kan huse en rekke funksjoner for innbyggerne på området.



Figure 4 Egenprodusert illustrasjon av torget

## 3.2 Strategisk struktur

Torget bør plasseres sentralt på Tanberghøgda i fase 2, for eksempel i nærhet til bilveien mot øst (Figur 5). Dette vil forandre strukturen for området fra flere mindre områder som kan virke uoversiktlig til et område med mer oversikt. En større åpen plass, med tilhørende bygg og gågater vil det være synlig og et større bygg som vil være synlig fra større deler av Tanberghøgda. Oversikt i byrommet gjør at det skapes en trygghet for menneskene som skal bruke området. Torget vil derfor bli et viktig samlingspunkt, både for boende og besøkende.

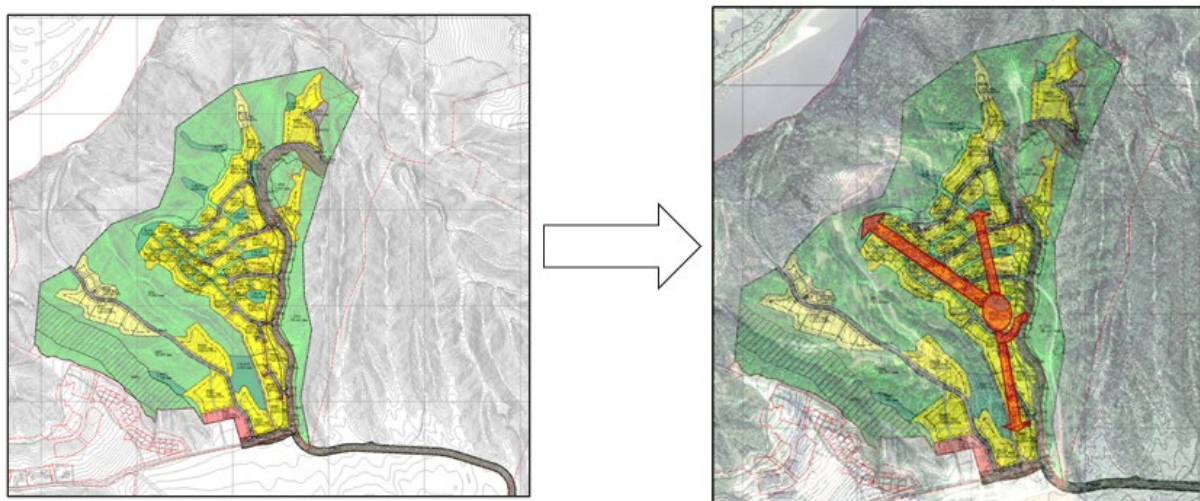


Figure 5 Foreslått struktur på Tanberghøgda. Tre hovedsiktlinjer ut fra torget.

## 3.3 Utforming av torget

Torget foreslås ha en kurvet fasong med en diameter på mellom 50-100 meter. Grunnlaget for størrelsen er proporsjonalitet i forhold til hovedbygget i bakkant og muligheten for blandede funksjoner (Figur 6). En større åpen plass, i motsetning til flere små, vil føre til at torget kan romme flere funksjoner. Torget kan brukes etter ulike planlagte hendelser som konserter, sammenkomster, foodtrucks eller lek og aktiviteter. Bygget vil være halvbuet etter torgets fasong og være på fem etasjer med takterrasse og grønt tak (figur8). De tre siktlinjer skal være utformet som en større- og to mindre gågater, mot henholdsvis Origo, Nord og Syd. Gatene prioriterer gående og syklende. De skal være grønne, godt belyst, flere sitteplasser og ha en brukervennlig utforming.

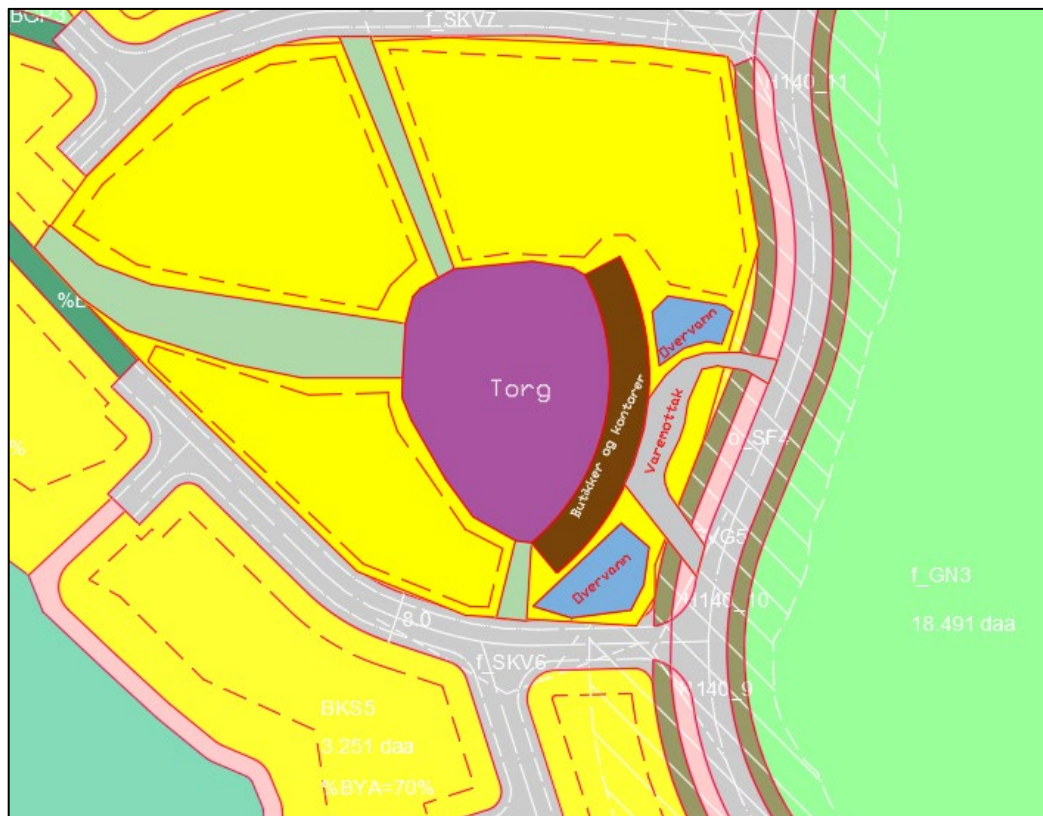


Figure 6 Plan for plassering av torg

Inndelingen av torgets funksjoner kan ses under (Figur 7).

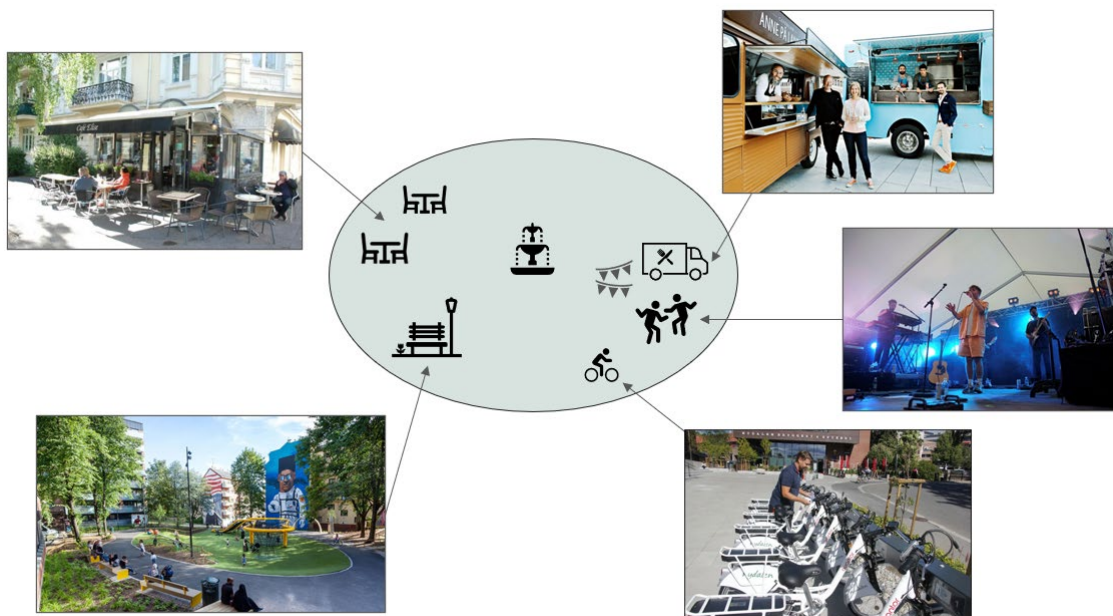


Figure 7 Utenfor kafeen skal det være sitte- og spiseplasser. Sentralt på torget skal det være en blå løsning. Venstre, nede: Et grønnere område med benker, treer og lekestativ. Høyre, nede: Området skal kunne fungere for flere funksjoner, derfor er det i utgangspunktet åpent. Det er tenkt at foodtrucks, mindre konserter og andre aktiviteter kan blir arrangert her.

### 3.4 Butikker og næringsliv på Torget

Hele 4 av 5 nordmenn oppgir at de handler husholdningsvarer daglig eller flere ganger i uken (Wifstad, et al., 2018). På Tanberghøgda er det planlagt 600 boliger, og med tall fra SSB (Statistisk sentralbyrå, 2022) om antall personer per husholdning utgjør dette ca. 1200-1400 personer på området. I Norge er det i snitt 1300-1500 kunder per dagligvarebutikk, og ut ifra dette vil det være nok kundegrunnlag for en dagligvarebutikk på torget (Wifstad, et al., 2018).

Ettersom det fra dagens dagligvarebutikker og opp til Tanberghøgda må bestiges om lag 100 høydemeter over en distanse på ca. 1 km, vil bil bli et naturlig valg av transport for dagligvarehandling (Kartverket, 2022). En dagligvarebutikk med post-i-butikk vil dermed redusere det daglige transportbehovet. I tillegg ønsker vi å fremme etablering av en kafe for å skape en sosial møteplass sentralt på området.

Første etasje i torgbygget utformes som en åpen fasade med kafe og dagligvarebutikk (se Figur 8). Det er ønskelig at etasjen benytter seg av treverk fra området til interiør. For å sikre at tungtransport ikke skaper konflikter på torget ved vareleveringer flere ganger i uken bør det etableres varemottak på baksiden av bygget, rettet mot hovedveien.

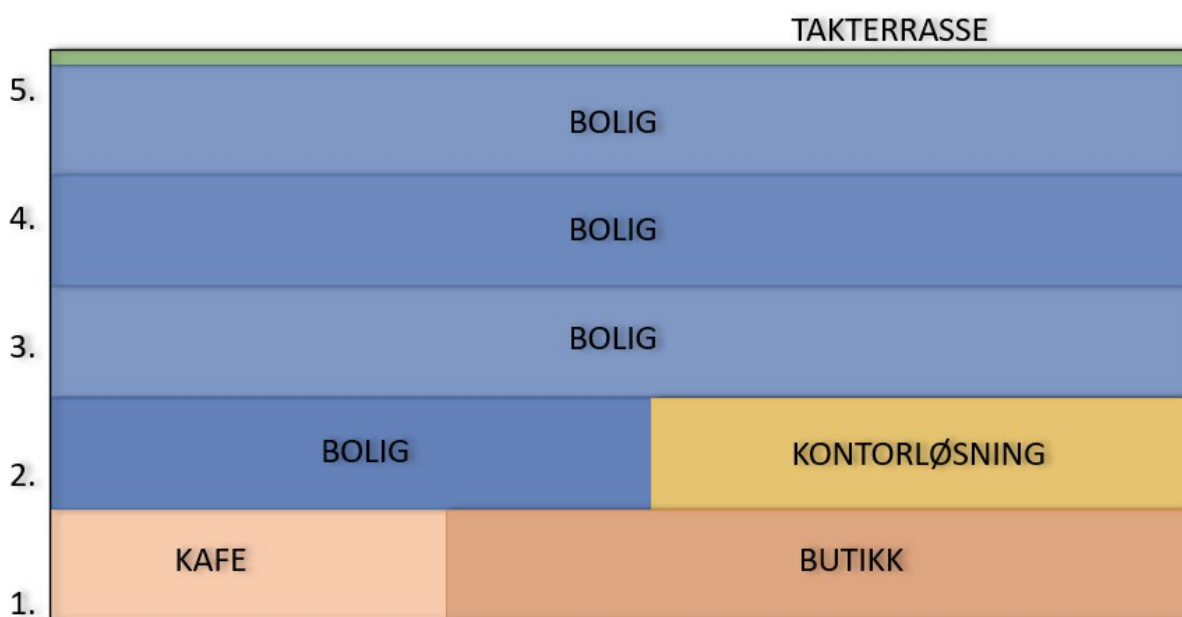


Figure 8 Forslag til planløsning på hovedbygget på torget.

### 3.5 Kontorløsninger og leiligheter

Som et resultat av pandemien har ordninger med hjemmekontor blitt betraktelig bedre, og er fortsatt populært etter at samfunnet åpnet igjen - særlig for de med lengre reisevei. Muligheter for hjemmekontor vil påvirke transportmønsteret ved å redusere behovet for biltransport til og fra arbeidsplassen og dermed gi en mer fleksibel hverdag (Transportøkonomisk institutt, 2021). Felles kontorløsninger vil minske behov for kontor i eget hjem. Det er derfor foreslått å ha et felles kontorlokale i bygget på torget som kan benyttes for de som ønsker et hjemmekontor med gode fasiliteter. I tillegg skal det være leiligheter fra 2. til 5. etasje i hovedbygget på torget. På toppen av bygget skal det være en stor takterrasse med mulighet for grøntarealer og oppholdsområder.

### 3.6 Hvorfor torg på Tanberghøgda

Med tiltakene og funksjonene som er presentert i forslaget om å inkludere et torg vil man redusere bilbruken i hverdagen. På denne måten vil et torg på Tanberghøgda være miljømessig bærekraftig med tanke på forbruk av fossilt brensel og reduksjon av CO<sub>2</sub>-utslipp. I tillegg kan områdene ved torget brukes til å anlegge små grøntområder og overvannndammer som vil bidra til lokal klimatilpasning. Torget vil også kunne gi økt sosial bærekraft og bidra til å minske ulikheter, skape trygghet og øke menneskelig aktivitet (Figur 9). Planlegging for både trivsel og funksjon gjør at byrom brukes mer (Gehl, 2010, pp. 160-170). Et torg bidrar til sosial bærekraft på Tanberghøgda ved at det tilgjengeliggjør en større sosial møteplass som sammenkobler alle de tre delene av området.

GEHL ARCHITECTS 12 KVALITETSKRITERIER FOR BYROM

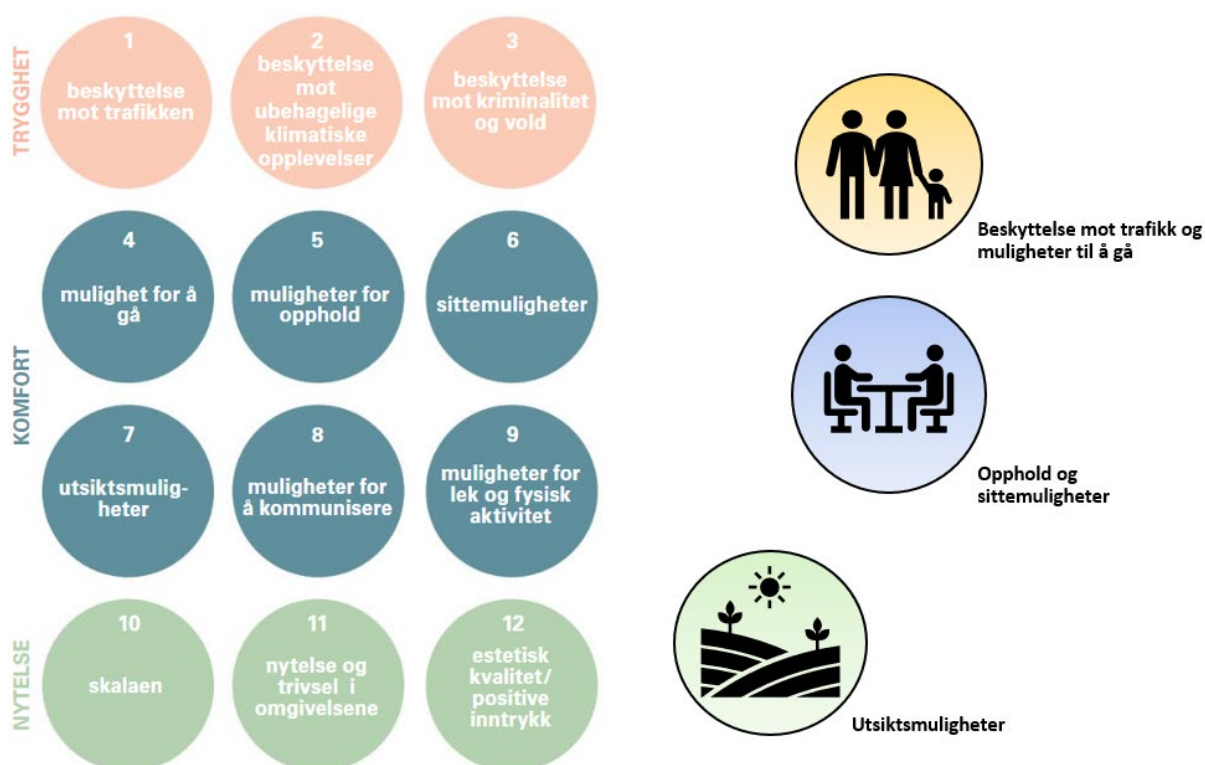


Figure 9 Fra Gehl Architects rapport for Oslo sentrums byrom eksisterer det 12 kvalitetskriterier. For Tanberghøgda er det trukket frem noen kvalitetskriterier som vi mener forbedres ved etablering av et torg.

Bygget i bakkant vil fungere som en skjerm mot trafikk, både i forhold til støy og ulykker. De tre siktlinjene vil bli gode gangveier. Oppholds- og sittemuligheter vil bedres ved sittemuligheter tilknyttet andre funksjoner. Tilbud som kafe, butikk og kulturtilbud vil føre til at flere oppholder seg på torget og det vil forhåpentligvis fungere som en sosial arena for Tanberghøgda. Siktlinjene, særlig mot Origo, vil gi en større grad av åpenhet i boligfeltet og gi utsiktsmuligheter.

## 4 Mobilitetsalternativer for parkering

Utforming av parkeringsløsninger og tilgang til forskjellige typer mobilitet vil legge store føringer for hvor boligene på området kan plasseres, og hvordan innbyggerne forflytter seg. I denne delen diskuteres det hvilket mobilitetskonsept som er best egnet med tanke på grønn mobilitet og i et bærekraftperspektiv, og hvordan dette kan utformes.

### 4.1 Behov

Tilgangen til bil vil i stor grad være en avgjørende faktor for valg av reisemiddel. Omfanget av parkeringsplasser påvirker hvordan en person reiser og ikke nødvendigvis hvilke reiser som gjennomføres. Ved å redusere tilgangen til parkering økes sannsynligheten for at grønne mobilitetsalternativer velges fremfor bil (Christiansen, et al., 2015). I tillegg vil avstanden mellom en bolig og parkeringsplass være avgjørende for konkurranseforholdet mellom bilbruk, gange, sykling og kollektiv (Christiansen, et al., 2016). Ved å tenke nytt rundt parkeringskonseptet som helhet vil man kunne gjøre effektive tiltak for å fremme grønn mobilitet, samtidig som verdifullt areal tilgjengeliggjøres for tomteutnyttelse og områdeutvikling.

### 4.2 Beskrivelse av alternativene

Gjennom arbeidet med parkering og vurdering av privatbilbruken er det kommet frem til tre ulike konsepter som alle løser mobilitetsutfordringene på ulike måter (Figur 10). Den første baserer seg på løsningen som er fremlagt i dagens detaljreguleringsplan, med en blanding av privat parkering ved småhusbebyggelsen og parkeringskjellere ved blokkene. I alternativ 2 er all parkering samlet i et stort parkeringshus plassert i utkanten av planområdet. Dette alternativet innebærer altså at de fleste vil få en viss gangavstand til parkeringsplassen. Alternativ 3 baserer seg på å samle all parkering i en parkeringskjeller under bakken, som skal dekke all bebyggelse i fase 2 av Tanberghøgda. I tillegg til privatparkering vil kjelleren inneholde løsninger for delebil, mikromobilitet og gjesteparkering. De tre alternativene som skal vurderes er altså:

- > A1: Dagens løsning med en kombinasjon av privat oppstillingsplass og parkeringskulvert under bakken
- > A2: Stort parkeringshus plassert litt utenfor boligområdet, to forslag illustrert
- > A3: Felles parkeringsløsning under bakken med en kombinasjon av delebiler, elsykkel og andre mobilitetsløsninger

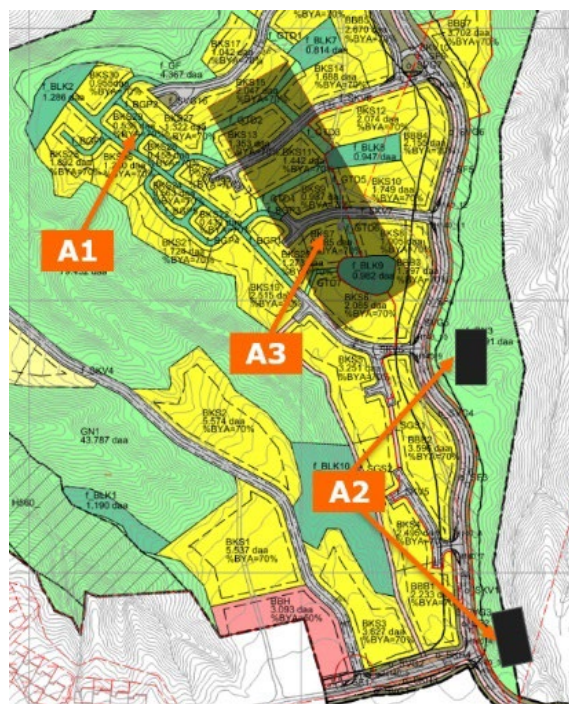


Figure 10 Oversikt over hvor de ulike parkeringsløsningene kan plasseres.

## 4.3 Vurderingskriterier og analyse

For å vurdere alternativene er det kommet frem til en rekke kriterier som skal bidra til å sammenligne løsningene og måle dem opp mot problemstillingen rundt grønn mobilitet.

### **Mulighet for gateliv og bilfrie nabolag**

I dagens alternativ (A1) vil forholdsvis mye areal være bundet opp til bilformål. Innkjørslene til parkeringskjellerne ligger i enden av gateveier og kan føre med seg en viss grad av gjennomgangstrafikk. I tillegg kan det gi en barrierevirkning for mobiliteten på området. I alternativ A2 vil tilnærmet alt av tomteareal bli tilgjengelig for utvikling, og nabolagene kan utformes helt bilfrie. Det samme gjelder i stor grad for alternativ A3, men det må settes av noe areal til inn- og utkjøring til parkeringskjelleren samt trappe- og heisopp ganger til området.

### **Reduksjon av biltrafikk og økte reiseandeler for grønne alternativer**

A1 kan beskrives som en tradisjonell parkeringsløsning som sikrer parkeringsmuligheter ved boligene. Dette er noe som øker sannsynligheten for å eie og bruke privatbilen (Christiansen, et al., 2016). I alternativ A2 vil den lange gangavstanden til parkeringsplass gjøre det mindre attraktivt å kjøre bil, i tillegg til at frigjorte arealet på overflaten vil gjøre det langt mer attraktivt å gå eller sykle. Alternativ A3 har flere av de samme fordelene til A2, men tilgangen til bil vurderes som bedre. Samtidig kan konkurransefortrinnet til grønne alternativer bedres ved at man plasserer sykkelparkering, sparkesykler og eventuelle delebiler ved trappeopp ganger, slik at man alltid passerer dette før man kommer til privatbilen.

### **Tilpasningsdyktighet og mulighet for endring over tid**

I alternativ A1 vil det være muligheter for å gjøre enkelte endringer i parkeringskjellerne, mens det er vanskelig å endre formålet til de private biloppstillingsplassene langs småhusbebyggelsen over tid. For A2 vil avstanden til parkeringshuset føre til at tilpasninger kan bli vanskelig å gjøre med tanke delemobilitetstilbud, ettersom disse burde plasseres nærme brukeren. Om det viser seg at etterspørselen etter bilkollektiv får en stor vekst i fremtiden, er det uheldig å plassere dette på et område som ligger langt unna brukeren. Her vil alternativ A3 komme mye bedre ut, hvor omdisponering av areal kan gjøres samtidig som det åpner for plassering nær bruker.

### **Klimagassutslipp**

A1 innebærer at mye av parkeringen ligger over bakken, med tilsvarende lite utgraving av masse fra bakken. Parkeringskjellerne til blokkbebyggelsen vil kreve utgraving av masser, men i forholdsvis begrenset grad. Parkeringshuset i A2 kan bygges helt eller delvis over bakken, og vil dermed ikke kreve utgraving av mye masser fra prosjektområdet. I alternativ A3 legges hele parkeringsarealet under bakken og vil dermed kreve utgraving av store masser, noe som vil være negativt for massebalansen til prosjektet.

### **Funksjonell arealbruk**

Arealbruk er delvis beskrevet i vurderingene over. Samlet sett vil alternativ A3 oppta minst areal på overflaten som kan ha en alternativ bruk. Parkeringshus over bakken i A2 vil også oppta en del areal, men ved plassering i kanten av planområdet tar det ikke like verdifullt areal som i A1 hvor mye av arealet sentralt i planområdet er avsatt til veiformål.

### Bevegelsesfrihet for grupper som trenger bil

Det er viktig å sørge for god tilgjengelighet for brukergrupper som er avhengig av bil. Dette kan være eldre, personer med funksjonsnedsettelse eller andre med særskilte behov. Alternativ A1 tilrettelegger godt for at slike grupper har tilgang til bil, og alternativ A3 vil også kunne gi tilstrekkelig tilgjengelighet, dog i mindre grad enn A1. A2 kommer dårlig ut dersom HC-parkering og lignende plasseres i parkeringshuset, med lang gangavstand for å komme seg til bilen.

### Tilgjengelighet for kommunale og andre tjenester

Renovasjon, posttjenester og hjemmesykepleie er eksempler på tjenester som må være tilgjengelige på området. Alternativ A1 legger godt til rette for at disse tjenestene kan operere på en tradisjonell måte. Egne arealer er satt av for at søppelbiler skal kunne snu inne på området. For alternativ A2 og A3 vil disse tjenestene måtte være mer sentraliserte, hvor søppeltømming for eksempel foregår i vareleveringslommen tilknyttet torget eller lignende. Hjemmetjeneste kan parkere i gjesteareal i parkeringskjeller i A3, mens for A2 vil gjesteparkering være ineffektivt dersom det plasseres et stykke unna boligene.

## 4.4 Evaluering og konklusjon

Vurderingene og analysen av kriteriene over er samlet i Tabell 1. Grønn farge indikerer positiv vurdering, gul nøytral og rød negativ.

Table 1 viser en oppsummering av de tre parkeringsløsningene A1, A2 og A3 opp mot kriteriene.

| Kriterier                                                            | A1:<br>Dagens løsning | A2:<br>Parkeringshus | A3:<br>Felles<br>parkeringskjeller |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------------------|
| Mulighet for gateliv og bilfrie nabolag                              |                       |                      |                                    |
| Reduksjon av biltrafikk og økte reiseandeler for grønne alternativer |                       |                      |                                    |
| Tilpasningsdyktighet og mulighet for endring over tid                |                       |                      |                                    |
| Klimagassutslipp                                                     |                       |                      |                                    |
| Funksjonell arealbruk                                                |                       |                      |                                    |
| Bevegelsesfrihet for grupper som trenger bil                         |                       |                      |                                    |
| Tilgjengelighet for kommunale og andre tjenester                     |                       |                      |                                    |

Matrisen over viser at de tre ulike mobilitetsalternativene alle har sine fordeler og ulemper knyttet opp mot kriteriene. Den samlede vurderingen vil avhenge mye av hvilke kriterier man tillegger mest vekt. I denne oppgaven er hovedfokus knyttet opp mot grønn mobilitet og muligheten for et bilfritt område. Dermed er det naturlig å tillegge kriteriene som svarer mest til dette størst vekt. For å konkludere kommer alternativ A3 med en felles parkeringsløsning under bakken best ut, og er det alternativet som er mest egnet for å fremme grønn mobilitet.

## 5 Miljøvennlig transport

For å sikre grønn mobilitet innad på Tanberghøgda er det essensielt å etablere tiltak som inviterer til bruk av miljøvennlig transport. Området ligger i overkommelig avstand til Hønefoss sentrum, med omtrent 2 kilometer i luftlinje. Derimot skaper høydeforskjellen fra Tanberghøgda og ned til sentrum utfordringer. Avhengig av hvor på området man setter utgangspunktet må man bestige/nedstige 70-100 meter for å komme seg til/fra Tanberghøgda (Kartverket, 2022). Resultatet blir en stor helningsgrad på potensielle traseer ned til den fremtidige brua over Storelva. Under følger en rekke tiltak gruppen mener vil legge til rette for klimavennlige transportmuligheter på og ut av området.

### 5.1 Etablere gang- og sykkeltrase fra Tanberghøgda til fremtidig bru

På området vil det være ønskelig å invitere til bruk av sykkel/elsykkel ved å etablere en gang- og sykkeltrase langs vestsiden av hovedveien. Traseen bør plasseres på vestsiden av veien for å skape en avstand fra biltrafikk til boliger, grøntområder og torg. For å knytte Tanberghøgda med brukrysningen over Storelva bør det utarbeides en sykkelvei med tilhørende gangvei som følger den tiltenkte bilveien videre mot Stølandet. Denne bilveien er prosjektert med 8% helning i Tanberghøgdas prosjektmodell i programmet Novapoint, se Figur 11 Mulig trase for sykkelvei ned fra Tanberghøgda. På den måten møter man Statens Vegvesen sine håndbøkers krav om maksimalt 8,3% helning for vei- og gateutforming (Statens vegvesen, 2021). Traseen kan deretter ta en avstikker som vist i rødt i Figur 11. Langs den røde linjen er terrenget forholdsvis flatt ned til bruovergangen.



Figure 11 Mulig trase for sykkelvei ned fra Tanberghøgda

## 5.2 Skråbaneheis fra Tanberghøgda til fremtidig bru

Den nevnte gang- og sykkeltraseen vil overskride kravet i Håndbok V129 fra Statens Vegvesen om maksimalt 5% helning for universelt utformede traseer (Statens vegvesen, 2014). Dersom Tanberghøgda skal oppfylle en fullstendig universell utforming, hvor rullestolbrukere kan bevege seg til og fra Hønefoss sentrum uten bil, bør man å etablere en skråbaneheis som går fra Tanberghøgda til den fremtidige brua. Strekningen som skråbaneheisen tilbakelegger vil avhenge av bruas endelige plassering, men være om lag 140 meter. Et forslag til trase er tegnet i Figur 13. Som leverandør av produktet har Hill Hiker Inc. utmerket seg, med 20 års erfaring med skråbaneheiser i Canada og Alaska (Hill Hiker Inc, 2020). Følgelig er produktet spesiallaget for å kunne benyttes med de forholdene vinteren i Norge byr på.



Figure 12 Forslag til plassering av skråbaneheis



Figure 13 Eksempel på skråbaneheis (Hill Hiker Inc, 2020)

## 5.3 Trapp med sykkelspor fra Tanberghøgda til fremtidig bru

Som et raskere alternativ ned til brua enn å følge gang- og sykkeltraseen foreslår gruppen å etablere en trapp, gjerne i sammenheng med skråbaneheisen Figur 14. Trappen bør:

- > være så kort som mulig, men samtidig skal det tas hensyn til at mange høydemeter bestiges over en kort distanse.
- > sitte- og oppholdsareal på trapperepos der det er naturlig i terrenget, slik at personer med nedsatt funksjonsevne kan ta trappen i flere etapper

- > kunne benyttes hele året, og bør dermed utføres i betong med innlagte varmekabler for å fjerne is og snø på vinterhalvåret.
- > utformes i henhold til Byggeteknisk Forskrift, jf. TEK17-§8-9
- > tilrettelegges for svaksynte i henhold til Blindeforbundet sine anbefalinger, se [blindeforbundet.no](http://blindeforbundet.no) (Norges Blindeforbund, 2014)
- > inkludere en rampe slik at barnevogner og sykler kan trilles opp trappen, se Figur 14

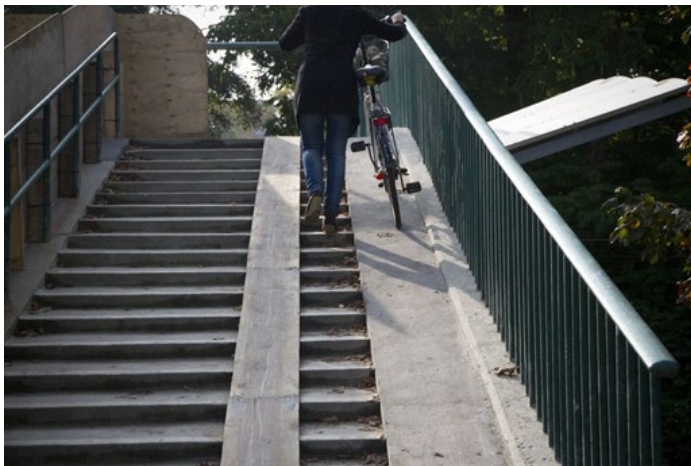


Figure 14 Helårstrapp med sykkelspor.

## 5.4 Delesykkelloordning

En delingsordning for elsykler vil gjøre et dyrt transportmiddel mer tilgjengelig. Et slikt tilbud vil være mer attraktivt enn privatbil så lenge leiepris er lav og sykkeltraseene har en god standard. Utleie bør finne sted i nærheten av torget, sentralt på Tanberghøgda. Herfra vil det være enkelt tilkomst til sykkeltraseen.

Antallet sykler som leies ut bør være skalerbart etter antall beboende og etterspørsel. Ifølge reisevaneundersøkelsen for 2021 var det kun 4% som syklet i 2021 på landsbasis (Statens Vegvesen, 2021). Som utgangspunkt ønsker vi å sette et mål om at 8% av beboende på Tanberghøgda benytter tilbudet på daglig basis. Vi antar at kundebasen vil være mellom 20 og 66 år, som i henhold til tall fra SSB tilsvarende 61% av befolkningen (Statistisk sentralbyrå, 2022). Kombinert med anslag av 1300 beboende på området basert på de 600 boligene som planlegges resulterer dette i et behov for rundt 60 leiesykler.

For å motivere til bruk av deleordningen har gruppen to forslag:

- 1 Opptjening av poeng ved bruk av sykkelen (lignende bonuspoeng hos flyselskap). Poengene kan benyttes i kafeen på torget eller på delesykkelloordningen.
- 2 Ledertavle med premiering til personene som har benyttet delesyklene mest i løpet av en gitt periode.

## 5.5 Sykkelhotell med vask og service (sykkelparkering)

I henhold til Nasjonal Transportplan 22-33 medfører trygg sykkelparkering flere syklende (Samferdselsdepartementet, 2020). Sykkelhotell med tilgang via kode/chip anses som en god løsning for Tanberghøgda, ettersom en slik løsning skjermer for vær i tillegg til å sikre trygg oppbevaring av sykkelen Figur 15 og Figur 16. Det bør tilrettelegges for vask og service av sykkelen på utsiden av sykkelhotellet. Det er ønskelig med minimum ett sykkelhotell per fase for sikre et tilbud til flest mulig beboere.



Figure 15 Sykkelhotell innvendig  
(Miljødirektoratet, 2020)



Figure 16 Sykkelhotell utvendig  
(Skeien Kommune, 2021)

## 5.6 Bru mellom fase 1 og fase 2

Mellom utbyggelsesområdet på Tanbergdansen (fase 1) og Tanberghøgda (fase 2 og 3), er det en bratt og dyp ravine. For å komme seg fra en side til den andre, må man gå en lang og bratt vei rundt. En løsning som forbedrer mobiliteten på området, er å bygge en bru mellom fase 1 og Origo i fase 2, se oransje strek Figur 18. I dette forslaget vil bruene være omtrent 90 meter lang, og 3-4 meter bred. Bruen vil utføres i betong, og har en anslått pris på 7- 10 mill NOK (Rønningen, 2022). Bruen sørger ikke bare for universell utforming på området, men vil knytte Tanberghøgda tettere sammen til å bli ett område, med god flyt og god fremkommelighet for alle.



Figure 17 Forslag til bussrute via Tanberghøgda

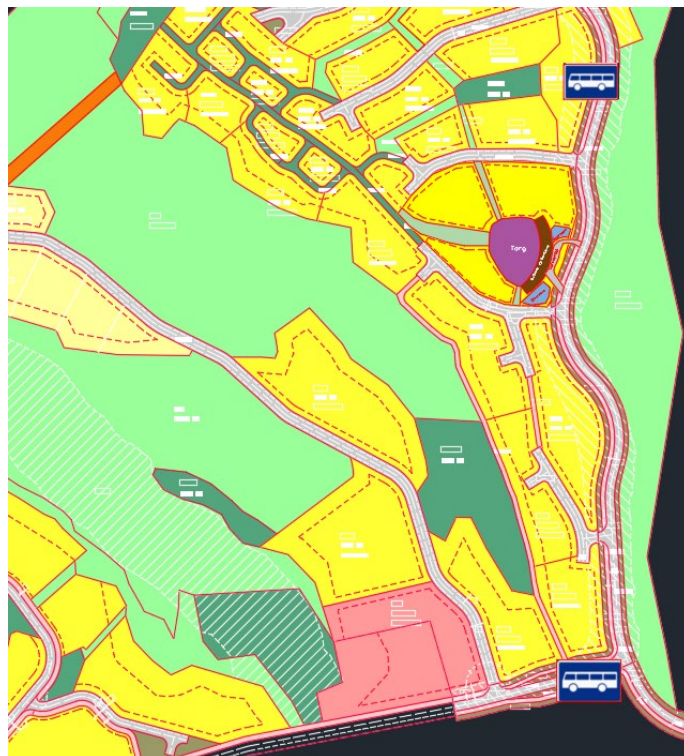


Figure 18 Illustrasjon av plassering av bru (oransje)

## 5.7 Buss

Kollektivtrafikk fra Tanberghøgda blir i form av buss. Et forslag til bussrute vil gå forbi Tanberghøgda, ned til Stølandet, opp til Hønefoss skole, bort til togstasjonen, gjennom sentrum, via sykehuset og forbi Tanberghøgda igjen Figur 17. Ruten dekker de viktigste funksjonene i Hønefoss og knytter sammen flere boligområder som også kan benytte seg av ruten. Tiden for å fullføre en hel runde er anslått til 30 – 35 minutter. En reise i gunstig retning burde derfor ikke ta mer enn 15 – 20 minutter med buss. Det bør være jevne avganger gjennom dagen, med høyere hyppighet i rushtiden. Det er tiltenkt to busstopp ved Tanberghøgda. En holdeplass ved barnehagen og en holdeplass, ca. 150 meter nord for torget. Denne plasseringen utnytter bevegelsesmulighetene på området. De fleste beboerne vil ha en gangavstand på under 200 meter, og ingen vil ha lenger enn 500 meter gange til bussholdeplassen.

## 5.8 Skilt med kart over gang- og sykkeltraseer

Ved ulike strategiske punkter, slik som Origo, trappen, heisen, torget og barnehagen, vil det settes opp kart over området. Disse kartene vil tydelig vise gang- og sykkeltraseer, samt snarveier som finnes og turstier. Det vil også tydeliggjøre interessepunkt som Origo, torget, barnehagen og lekeplasser. Kartene er ment til å informere om de raskeste veiene rundt om på området, oppmuntre til grønn mobilitet og opplyse om interessepunkt som finnes på Tanberghøgda.

## 6 Videre arbeid

For å få et bedre grunnlag til å ta gode og langsiktige avgjørelser, er det behov for videre arbeid utover denne prosjektoppgaven. Nytte-kostnadsanalyser og LCA (Life Cycle Assessment) av tiltakene vil gi bedre innsikt i verdien til hvert tiltak, og hva den økonomiske og miljømessige kostnaden blir. På den måten kan man velge tiltak som gir størst verdi i forhold til kostnadene, og dermed luke ut tiltakene der kostnadene blir større enn nytten. De ulike tiltakene vil også kunne føre med seg ulik grad av overskuddsmasse, og det må dermed gjøres en vurdering av hvordan dette påvirker massebalansen til prosjektet. For parkeringsløsningen burde det inkluderes flere vurderingskriterier, og spesielt kostnad vil være et viktig moment å vurdere. En egen utredning av hvordan løsningene påvirker CEEQUAL-vurderingen og klimagassprofilen vil være viktig for å nå målsetningene i prosjektet. Den tekniske gjennomførbarheten, og påvirkning på andre fagfelt må også utbredes og vurderes for hvert enkelt tiltak.

## 7 Oppsummering

For å svare på problemstillingen har gruppen kommet frem til tre overordnede løsninger som vil bidra til grønn mobilitet på Tanberghøgda. Det foreslås å sentralisere viktige funksjoner på et torg, å revurdere dagens parkeringsløsninger og etablere flere tiltak for å best mulig tilrettelegge for miljøvennlige transportalternativer på Tanberghøgda. De tre forslagene kan sees på i kombinasjon av hverandre, men også som enkeltstående tiltak. Et viktig prinsipp i løsningene våre er at et redusert transportbehov med kortere avstand til tjenester vil langt på vei gjøre at grønn mobilitet favoriseres over bruk av bil. Ved å videre begrense bilens prioritet på området og synliggjøre alternativene, kan store deler av Tanberghøgda gjøres bilfritt og dermed bidra til å skape et av Norges mest bærekraftige boligprosjekter.

## 8 Referanser

- Christiansen, P., Usterud Hanssen, J. & Skollerud, K., 2015. *Boligparkering i store norske byer - parkeringstilbudets effekt på bilhold og*, Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Christiansen, P., Usterud Hassen, J., Skartland, E.-G. & Fearnley, N., 2016. *Parkering – virkemidler og effekter*, Oslo: ransportøkonomisk institutt.
- Enova SF, COWI AS, Fossen Utvikling AS, 2022. *Energi- og klimakonsept for Tanberghøgda*, Hønefoss: COWI AS.
- Gehl, J., 2010. *Public Space Public Life*. 1st, Illustrated edition red. Washington: Island Press.
- Hill Hiker Inc, 2020. *outdoor-lift-all-seasons-winter*. [Internett]  
Available at: <https://hillhiker.com/outdoor-lift-all-seasons-winter/>  
[Funnet 3 August 2022].
- Insam AS, 2018. *Omstilling til grønn mobilitet i Lier kommune*, s.l.: Insam AS.
- Kartverket, 2022. *hoydedata*. [Internett]  
Available at: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn2/>  
[Funnet 3 August 2022].
- Klevjer, T., 2022. *I DETTE OMRÅDET VIL 600 BOLIGER VÆRE SELVFORSYNTE MED ENERGI*, COWI. [Internett]  
Available at: [https://cowi.b-cdn.net/-/media/cowi/fullwidth\\_gallery\\_quote\\_use-this/solpark-500-kwp-energipark-1-tanberghgda-thomas-klevjer-painting.jpg?w=1920&hash=8BC402E2E42BAF0359B25635812981039E4788E3](https://cowi.b-cdn.net/-/media/cowi/fullwidth_gallery_quote_use-this/solpark-500-kwp-energipark-1-tanberghgda-thomas-klevjer-painting.jpg?w=1920&hash=8BC402E2E42BAF0359B25635812981039E4788E3)  
[Funnet 9 August 2022].
- Miljødirektoratet, 2020. *Sykkelhotell på Tonstad*. [Internett]  
Available at: <https://miljopakken.no/prosjekter/sykkelhotell-pa-tonstad>  
[Funnet 11 August 2022].
- Norges Blindeforbund, 2014. *Guide til riktig utforming av trapper*. [Internett]  
Available at: <https://www.blindeforbundet.no/filer/guide-til-riktig-utforming-av-trapper-pdf>  
[Funnet 8 August 2022].
- Opinion AS, 2021. *Nøkkeltallsrapport 2021: Nasjonal reisevaneundersøkelse*, s.l.: Statens vegvesen RVU-gruppa.
- Ringerike kommune, 2018. *Planbeskrivelse Tanberghøgda*, Hønefoss: Ringerike kommune.
- Ringerike kommune, 2019. *Detaljregulering for Tanberghøgda*. Hønefoss: Ringerike kommune.
- Rønningen, T., 2022. *Personlig kommunikasjon*. Trondheim: s.n.
- Samferdselsdepartementet, 2020. *Nasjonal transportplan 2022–2033*, Oslo: Samferdselsdepartementet.
- Skeien Kommune, 2021. *Sykkelhotell på Landmannstorget*. [Internett]  
Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klimasats/2019/sykkelhotell-pa-landmannstorget/>  
[Funnet 11 August 2022].
- Spacescape, 2014. *Veileder for grønn mobilitet i byområder*, Oslo: Spacescape.
- Statens vegvesen, 2014. *Universell utforming Håndbok V129*, Oslo: Statens vegvesen Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen, 2021. *N100 Veg-og gateutforming*, Oslo: Statens vegvesen Vegdirektoratet.

Statens Vegvesen, 2021. *Reisevaner 2021*. [Internett]

Available at: <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/nasjonal-transportplan/den-nasjonale-reisevaneundersokelsen/reisevaner-2021/>

[Funnet 9 August 2022].

Statistisk sentralbyrå, 2022. *Familier og husholdninger*. [Internett]

Available at: <https://www.ssb.no/befolkning/barn-familier-og-husholdninger/statistikk/familier-og-husholdninger>

[Funnet 1 August 2022].

Statistisk sentralbyrå, 2022. *Folketall*. [Internett]

Available at: <https://www.ssb.no/befolkning/folketall/statistikk/befolkning>

[Funnet 9 August 2022].

Transportøkonomisk institutt, 2021. *Halvparten av oss vil fortsette med hjemmekontor når pandemien er over*. [Internett]

Available at: <https://www.toi.no/forskningsomrader/reisevaner/halvparten-av-oss-vil-fortsette-med-hjemmekontor-nar-pandemien-er-over-article37360-213.html>

[Funnet 1 August 2022].

Wifstad, K., Bull Jenssen, T., Stemland Eide, L. & A. Grunfeld Skogli, L., 2018. *Konkurranse i dagligvaremarkedet*, Oslo: Menon Economics.

AUGUST 2022

# RAPPORT

## COWI TRY 2022

### ENERGIFLEKSIBILITET OG -SAMSPILL

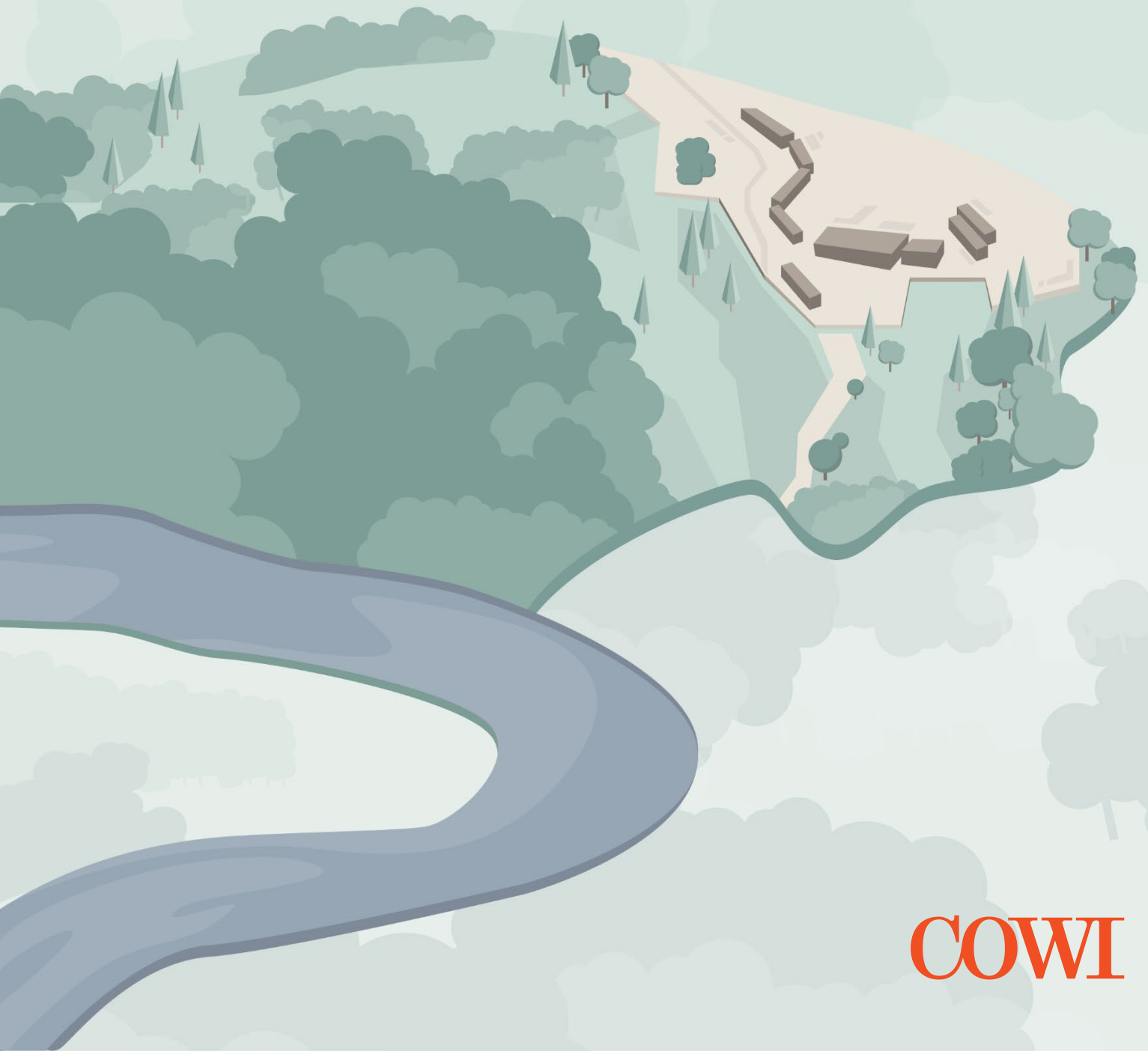
#### GRUPPE 4:

William Flesland Blytt, NTNU

Eirik Jakobsen Svortevik, Oslo Met

Ingeborg Fiskvik, NTNU

Lasse Bialik Øien, UIO



COWI

## Begrepsliste

...

**Elhub:** Nasjonal informasjonsløsning for måling og avregning i kraftmarkedet.

**Enovaavgift:** Påslag på nettariffen til Energifondet.

**kW:** kW betyr kilowatt og er enheten til effekt. I denne sammenhengen snakker man ofte om kW i forbindelse med hvor mye installert effekt et produksjonsanlegg har.

**kWp:** kWp står for kilowatt peak. Dette er den høyeste effekten solceller kan produsere ved gitte forhold. Disse forholdene kan for eksempel være innstråling og temperatur. Vi kan si at dette er den installerte effekten for solcelleanlegg.

**Gårds- og bruksnummer:** Ensbetydende med begrepet "eiendom".

**Plusskunde:** Definert i forskrift om kontroll av nettvirksomhet § 1-3 som sluttbruker med forbruk og produksjon bak tilknytningspunkt, hvor innmatet effekt i tilknytningspunktet ikke på noe tidspunkt overstiger 100 kW. En plusskunde kan ikke ha konsesjonspliktig anlegg bak eget tilknytningspunkt eller omsetning bak tilknytningspunktet som krever omsetningskonsesjon.

**Produksjon:** Produksjon av elektrisk kraft.

**Produsent:** Nettkunde som produserer kraft fra fornybar energi.

**Prosumert:** Kunde som både har forbruk og produksjon bak tilknytningspunktet.

**Virtuell deling:** Produksjonen deles med flere målepunkter gjennom et finansielt oppgjør, og er i så måte forskjellig fra en fysisk deling av elektrisitet.

...

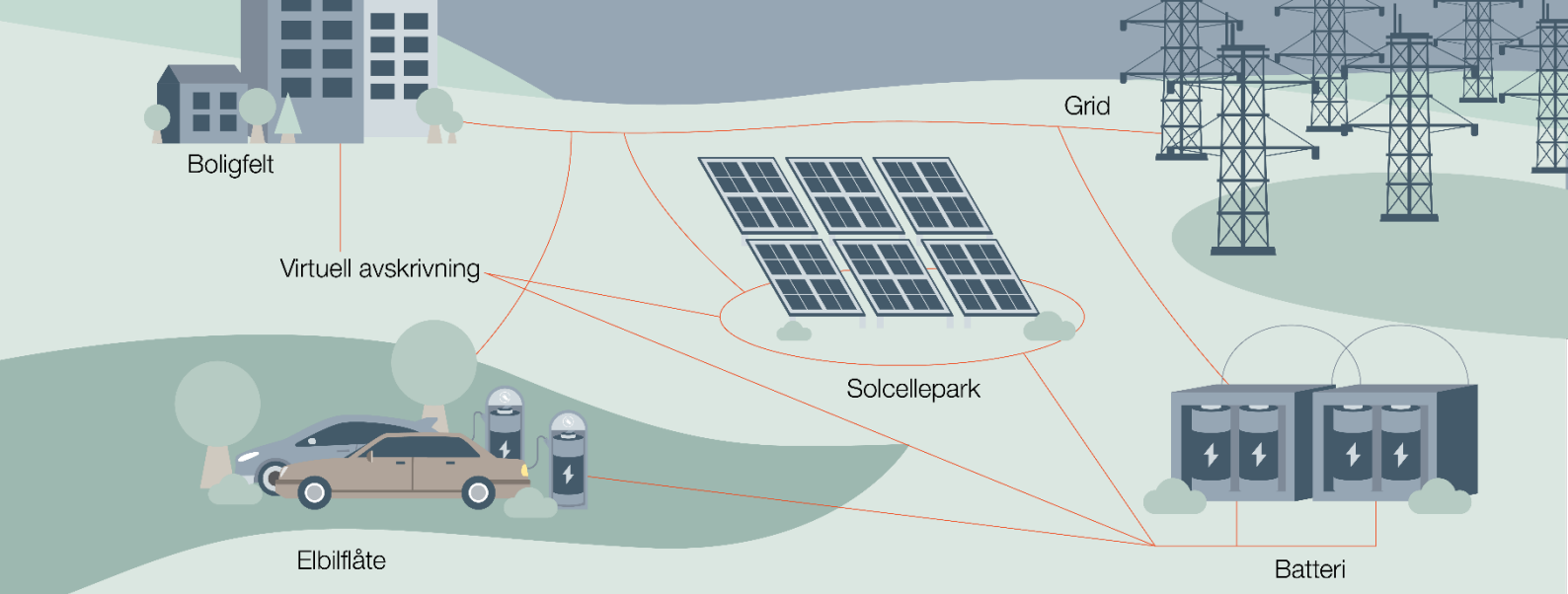
Begreper innenfor "..." er hentet direkte fra RME høringsdokument [1].

**Balanseansvarlig:** Et selskap som har en gyldig avregningsavtale med eSett, og en kontrakt for finansiell sikkerhet og balanseansvar med Statnett for et balanseområde. [2]

**SoC:** State of Charge, beskriver enten i prosent eller energi mengde hvor mye av maks energi det er på batteriet.

# INNHOOLD

|     |                                                           |     |
|-----|-----------------------------------------------------------|-----|
| 1   | Innledning                                                | 80  |
| 1.1 | Oppdragsbeskrivelse og avgrensning                        | 80  |
| 1.2 | CEEQUAL                                                   | 81  |
| 2   | Kraftmarkedet                                             | 83  |
| 2.1 | Strukturering av Fossen Kraft AS                          | 83  |
| 2.2 | Plusskundeordning                                         | 83  |
| 2.3 | Fleksibilitet                                             | 83  |
| 3   | Energifleksibilitet og samspill på Tanberghøgda           | 87  |
| 3.1 | Elbil som disponibel last                                 | 87  |
| 3.2 | Forbruk                                                   | 94  |
| 3.3 | Fordelingsstrategi                                        | 96  |
| 3.4 | Utnyttelse av kraften                                     | 96  |
| 3.5 | Fordeling av solkraft                                     | 98  |
| 3.6 | Hydrogen som lagring for Energipark II Fase 3             | 100 |
| 4   | Oppsummering                                              | 103 |
| 5   | Kildeliste                                                | 104 |
|     | Vedlegg A – Beregning energiforbruk anleggsfase           | 106 |
| 6   | Vedlegg B – Forutsetninger for beregning av energiforbruk | 108 |



# 1 Innledning

Energisystemet verden over skal elektrifiseres og krever derfor en økende andel av fornybare energikilder for å bevare klimaet. Prosjekter som gjøres i dag legger ekstra vekt på fornybar energi og grønne energiløsninger, men det kommer ikke uten en omstilling. Ved økt andel av midlertidige produksjonsenheter som sol og vind, kreves det også endring i forbruk og økonomi samt mer energilagring. For effektiv deltakelse i den "grønne" omstillingen er det økt krav til det som kalles energifleksibilitet, denne rapporten vil se på mulighetene for fleksibilitet på Tanberghøgda. Med fleksibilitet menes det å forbruke, produsere og distribuere dynamisk for å forhindre unødvendige kostnader og tap.

På Tanberghøgda er det lagt til rette for fleksibilitet med solceller, batteri og fremtidige elbil flåter. Det innovative boligprosjektet som finner sted i Ringerike kommune forsøker å bygge fremtidens boligfelt her og nå. Forfatterne av rapporten har til sin kunnskap ikke sett lignende prosjekter blitt utført i en fysisk skala, hvor et boligfelt er knyttet opp mot en solcellepark med tilhørende batteri på tomten. Ved en slik løsning er det omfattende regelverk fra spesielt NVE og RME som medfølger, og rapporten tar for seg gunstige løsninger og metoder for best mulig utnyttelse av energien som blir produsert.



Figur 1 Perspektiv bilde av Tanberghøgda

## 1.1 Oppdragsbeskrivelse og avgrensning

Oppgaveteksten gitt av kunde er som følger:

Tanberghøgda vil ta i bruk flere fornybare energiløsninger, og har allerede planlagt Energipark I med bakkemontert solcelleanlegg 500 kWp, batteri 1 MW/1,1 MWh, hurtiglader og nettstasjon på 800 kVA. Det er planlagt at «søsterselskap i konsern», Fossen Kraft AS, skal investere i energiløsningene i Tanberghøgda, og eie disse. En viktig del av inntekten på energiløsningen i Tanberghøgda er deltakelse i fleksibilitetsmarkedene (FFR, mFRR).

Gruppen kan velge å fordype seg i én av caseoppgavene under, men kan også velge å inkludere de øvrige caseoppgavene eller elementer fra dem.

Caseoppgaver:

- > *Hvordan kan vi legge til rette for mest mulig energifleksibilitet og -samspill på Tanberghøgda?*
- > *Det skal selges energi til borettslaget, eller leie ut energiløsningene som en tjeneste. NVE/RME kommer med nytt forslag til forskrift for solceller for borettslag i juni. Basert på denne, hvordan bør energiparken i Tanberghøgda organiseres/struktureres med eierskap og størrelser for å optimalisere eget forbruk og økonomi for Fossen Kraft AS?*
- > *Har dette konsekvenser for inndeling av solcelleanlegg, endret størrelse på batterier, organisering av borettslag, mm?*
- > *Hvordan kan Energipark 2 gjennomføres og videreutvikles fra Energipark I, med tanke på energiproduksjon og -lagring.*
- > *Kan energien på området gjenbrukes? I så fall, hvordan?*

Grunnet tid og omfang har forfatterne valgt å avgrense oppgaven til å fokusere hovedsakelig på case 1, men med kommentarer og ideer til de andre casene. Målet med oppgaven er å gi et innblikk i hvordan forskjellige scenarioer kan gi forskjellig fleksibilitet, samt hvordan en forretningsmodell for Fossen kraft AS kan se ut å gi en mulig gevinst samtidig som beboere kan dra nytte av energiløsningen. Tanken er å minimere kostnaden for kjøp av strøm på nettet, og følger ideen gjort i «A Three-Stage Stochastic Peer-to-Peer MarketClearing Model with Real-Time ReserveActivation» [3]. Uten å bruke stokastisk programmering, men en mer deterministisk metode.

## 1.2 CEEQUAL

En del av oppgaven omhandler også CEEQUAL, som er anleggenes svar på BREAM verktøyet, og brukes til å fremme bærekraft og kvalitet i alle typer anleggsprosjekter [4]. Med høye ambisjoner for bærekraft, er boligprosjektet på Tanberghøgda det første CEEQUAL-sertifiserte boligprosjektet i Norge. Prosjektet har også søkt om CEEQUAL-sertifisering for infrastrukturen på Tanberghøgda.

Under er relevante CEEQUAL punkter listet med en kort begrunnelse/forklaring på hvordan disse er eller vil bli implementert på Tanberghøgda.

**7.7.4:** *Energy from renewable and/or low- or zero-carbon sources has been incorporated in the scheme where appropriate. A percentage of the identified potential renewable energy generation identified in 7.7.3 has been implemented.*

**7.7.10:** *Energy from renewable and/or low- or zero-carbon resources has been considered during construction.*

- > Energipark I vil bestå av solceller med en effekt på 500 kWp som vil forsyne Tanberghøgda med fornybar energi. I tillegg vil fleksibilitet være med på å redusere effektforbruket og energiforbruket fra Nettet i Tanberghøgda.

**7.7.7:** *The Contractor has considered measures to reduce the energy consumption and associated carbon emissions of the project during construction and these have been incorporated through an energy management plan or equivalent.*

- > Anleggsfasen elektrifiseres ved bruk av elektriske anleggsmaskiner. Dette vil redusere utslippet av klimagasser sammenlignet med en anleggsfase med anleggsmaskiner med fossilt brensel.
- > Byggene skal være nZEB. I tillegg vil fleksibilitet være med på å redusere effektforbruket og energibruket fra nettet i Tanberghøgda og dermed redusere klimagassutslipp samtidig. Smarthusfunksjonalitet (ny teknologi), lokal produksjon og effektive bygg vil være sentrale for å nå disse målene.

## 2 Kraftmarkedet

Kraftmarkedet som Norge er en del av, kalles Nord Pool. Norge fikk i 1990 gjennom en energilov som resulterte i at norske forbrukere står fritt til å velge sin egen strømleverandør. Hensikten er at dette skal gi konkurranse mellom kraftleverandørene, og kundene har større fleksibilitet til å velge leverandør etter eget ønske. Strøm er en type energi som er vanskelig å lagre, så derfor er markedsprisen når det gjelder strøm på Nord Pool hovedsakelig basert på tilbud og etterspørsel, pluss noen andre variabler som for eksempel overføringsforhold. [5]

### 2.1 Strukturering av Fossen Kraft AS

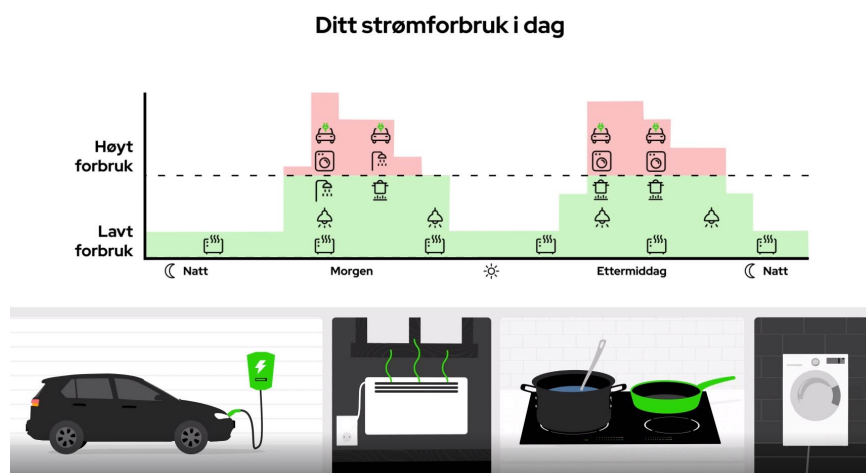
Dersom en kraftprodusent etter loven skal kunne selge elektrisitet på Nord Pool, eller foreta noe form for salg av strøm til kunder, er selskapet konsesjonspliktig. Etter ønske fra kunde i følgende prosjekt, og hva som passer best for Fossen Kraft AS, er selskapet strukturert uten konsesjon for salg av elektrisitet, og skal derfor under ingen omstendigheter selge strøm. Fossen Kraft AS med energipark I og mulighet for lagring av energi ved batteri, benyttes som nettformål, som betyr regulering av spenningsforskjeller på nettet [6].

### 2.2 Plusskundeordning

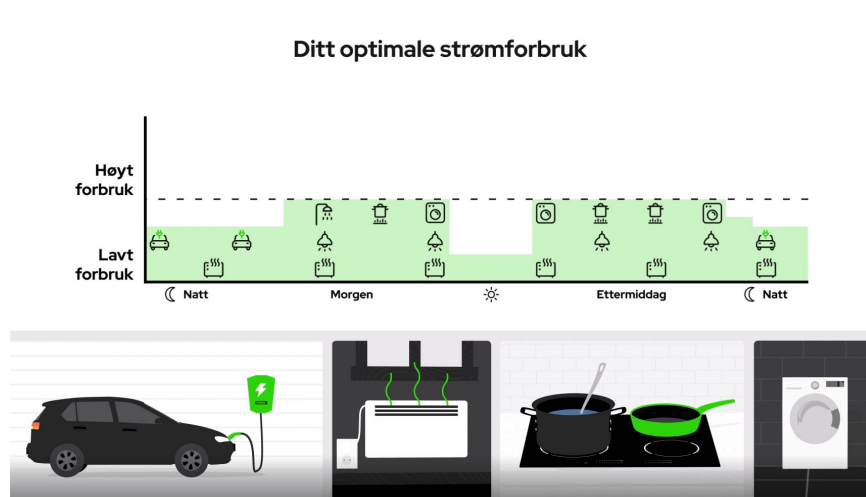
Som plusskunde produserer sluttbruker strøm til eget forbruk, og kan i perioder produsere mer strøm enn eget behov. Det medfølger enkelte subsidier for plusskunder, som at fastleddet for innmating er ekskludert. Grensen for plusskunder i henhold til NVE, er at innmatet effekt i tilknytningspunktet aldri skal overstige 100 kW [7]. Det innebærer også at plusskunden ikke i utgangspunktet kan selge kraften videre, men må selge overskuddskraften til valgt kraftleverandør. Alle beboere på Tanberghøgda er deltakere i plusskundeordningen, og Tabell 6 viser regnestykke for hvor gunstig denne ordningen kan være for hver beboer.

### 2.3 Fleksibilitet

Vanligvis har det norske strømnettet god kapasitet til å forsyne alle med strøm når de trenger den, men med voksende forbruk og større andel ikke-regulerbar fornybar kraft, vil det i enkelte perioder være ubalanse i kraftnettet. Til nå har svaret på denne utfordringen vært å forsterke og bygge ut strømnettet, noe som er svært kostbart og heller ikke bærekraftig i lengden. Det er her ny teknologi og fleksibilitet kommer inn i bildet. Ved å være mer fleksibel i forbruket av strøm, kan belastningene på nettet reduseres. Dette kan både handle om å forflytte forbruket sitt og dermed jevne ut «toppene» i strømnettet som Figur 2 illustrerer, men også om å koble ut disponible laster i visse tidspunkt. [8]



Figur 2: viser tradisjonelle forbrukstopper

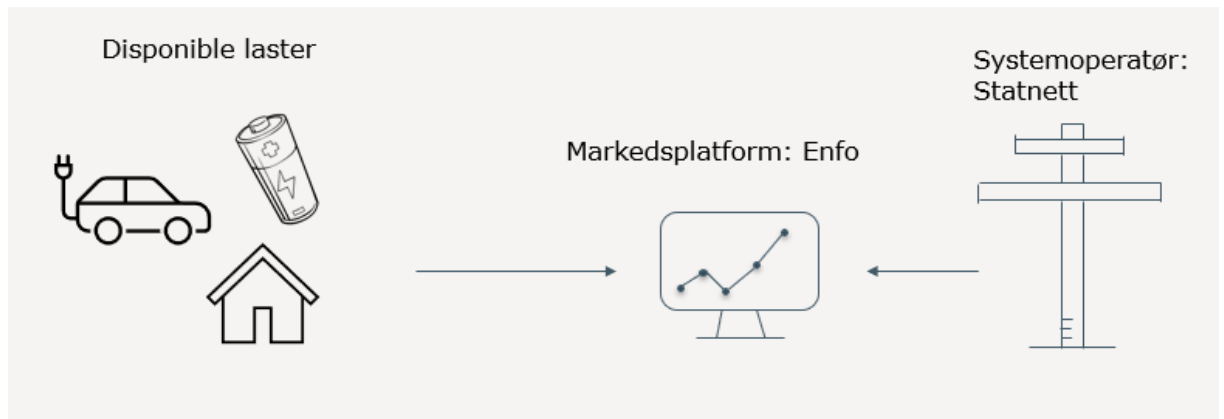


Figur 3: viser hvordan forflytting av forbruket kan jevne ut «topper» i nettet og samtidig spare penger. [9]

### 2.3.1 Fleksibilitetsmarkeder: FFR og mFRR

En del av Fossen Kraft AS forutsette inntekter er å delta i de kommende fleksibilitetsmarkedene. Dette er markeder hvor man kan tilby effekt for systemoperatør å benytte når det oppstår ubalanser i nettet. I Norge er dette ferskt, og det er kun utført et par pilotprosjekter. Til sammenligning, for å vise potensialet ved å delta i fleksibilitetsmarkedene kunne man se inntjening på opptil 4 000 000 NOK ved å ha et 1 MW batteri disponibelt for markedene i Danmark.

Samhandlingen er bygget opp slik at man tilbyr disponible laster til en markedsplattform, som f.eks. tilbys gjennom Enfo. Enfo tilbyr verktøyet Flextools, og hjelper identifisere mulighet for fleksibilitet for kunder. Enfo kan aggregere laster man stiller disponibel, og tilby som bud for systemoperatør, som er Statnett i Norge. Systemoperatør informerer når det er behov for å effekt for å balansere nettfrekvensen, og Enfo kobler ut laster man har stilt disponibel. Denne samhandlingen kan sees i figur 4.



Figur 4: Enkel oversikt for hvordan fleksibilitetsmarkeder opererer

## PRISER FOR RESERVER - ÅRSSTATISTIK 2021

Forfatter:  
EAR/EAR

### NØGLETAL FOR ÅRET 2021

Nedenstående tabel viser nøgleparametre for indkøbet af systemydelser i 2021. Søjlen længst til højre – årsbetaling – viser, hvor meget 1 MW ville have opnået i årsprovenu, hvis den havde fået tilslag i samtlige timer, som produktet har været indkøbt (~ antal timer x gennemsnitspris).

| Produkt               | Indkøbt i antal timer | Gns. mængde (MW) | Gns. pris (kr/MW/h) | Årsbetaling for 1 MW (kr) |
|-----------------------|-----------------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| mFRR (DK1) – dag      | 8760                  | 299              | 35                  | 306.979                   |
| mFRR (DK2) – dag      | 8760                  | 278              | 134                 | 1.172.313                 |
| mFRR (DK2) – måned    | 8760                  | 342              | 110                 | 964.633                   |
| aFRR (DK1)            | 8760                  | 100              | 303                 | 2.651.339                 |
| FCR (DK1)             | 8328 <sup>[1]</sup>   | 9                | 203                 | 1.693.300                 |
| FCR-N (DK2)           | 8760                  | -                | 281                 | 2.461.560                 |
| FCR-D (DK2)           | 8760                  | -                | 335                 | 2.934.600                 |
| FFR (DK2)             | 1555                  | 7                | 2.725               | 4.237.001                 |
| Spec.regulering (DK1) | 3464                  | 866              | -93                 | 322.152                   |
| Spec.regulering (DK2) | 2265                  | 189              | -66                 | 149.490                   |

<sup>1</sup> Omfatter kun perioden 19.1-31.12, hvor DK1 har været en del af det nordeuropæiske FCR-marked.

Det fremgår, at samtlige systemydelsesprodukter på nær aFRR og FCR i DK1 har været bedre betalt i 2021 sammenlignet med 2020.

Figur 5: Oversikt for inntekt for disponible reserver i Danmark [10].

FFR (Fast Frequency Reserves) er en form for fleksibilitet for transmisjonsnettet. På grunn av roterende masse i maskiner som er synkrone og tilkoblet kraftnettet, er maskinene avhengig av en frekvens på 50 Hz og helst ingen endring. Dersom frekvensen faller på nettet kan FFR aktiveres hurtig og hjelper systemet i noen sekunder, som forhindrer betydelig frekvensfall. Vannkraftverk står for store deler av den roterende massen som operer synkront. Lav produksjon kombinert med høy andel import av strøm er en situasjon som bidrar til behovet for FFR, dette kan forekomme først og fremst i sommertidene. (Statnett, 2022)

Det er to kontrakttyper når det gjelder FFR, som kalles FFR Profil og FFR Flex. FFR profil krever et minimum bud på 1 MW, og det skal leveres ved faste tidspunkter som er hele helgen og natt hverdager. Fra uke 22 til og med uke 35 er tidsrommet hvor det er mulig å inngå en avtale for FFR Profil. FFR Flex krever minimum bud-størrelse på 5MW, og leveres på bestilling. Ved FFR Flex må reserven som er inngått i avtalen stilles tilgjengelig gjennom hele perioden som er avtalt. Varigheten er uke 18 til og med uke 43. (Statnett, 2022)

mFRR (Manual frequency restoration reserve) er en tjeneste Statnett har utviklet for å balansere kraftnettet ved frekvensfall. Dette markedet er åpent hele året, men med størst behov på vinterhalvåret. I mFRR markedet kan man hovedsakelig levere to ulike produkter: Regulerkraftmarkedet (RK) og Regulerkraftopsjonsmarkedet (RKOM). I hovedsak skiller de to seg fra hverandre ved at man i RKOM får betalt en opsjonspremie for å stille lasten til rådighet, så må laster kobles ut dersom de aktiveres og dette blir da en RK-ordre. [12] I mFRR er det lenger aktiveringstider, og laster er koblet ut for lenger perioder. Til forskjell fra FFR-markedet, må balanseansvarlig involveres siden det er snakk om levering av effekt for lenger perioder og dermed energiresurser av større skala som må balanseres.

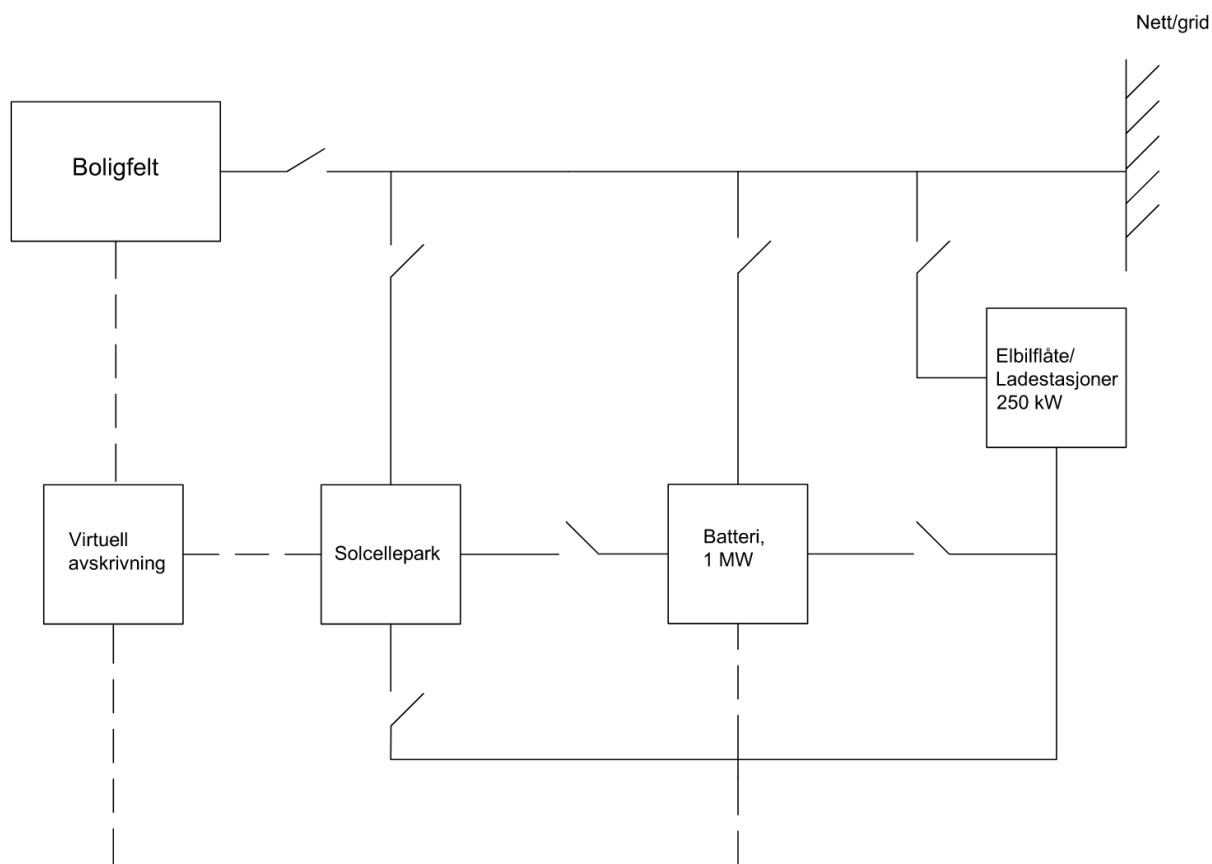
### 2.3.2 Disponible laster

For å delta i fleksibilitetsmarkedet er det nødvendig å kartlegge hvilke laster som kan kobles ut. Tidligere har det vært store laster i industrien og kraftverk som er blitt benyttet til fleksibilitet, men det er et voksende marked for at også laster fra boliger kan benyttes som disponible laster [13]. Typiske laster som er godt egnet for fleksibilitet er termiske laster, hvor brukerens komfort eller drift ikke påvirkes, som for eksempel en el-kjel [14]. Andre fleksible laster som er godt egnet er elbiler og anleggsmaskiner. Elbil som en fleksibel last kommer vi tilbake til i kapittel 3.1.

I første omgang er det antatt at Fossen Kraft AS skal delta i FFR markedet, men det er også anbefalt å nærmere undersøke mulig deltagelse i mFRR. Deltagelse i mFRR vil gi en mulighet for større disponible laster, da markedet er åpent hele året. Dermed har man mer last, spesielt termiske laster, å kunne by på vinterhalvåret hvor energibehovet er størst. Dersom Fossen Kraft AS skal delta i mFRR, må balanseansvarlig på området involveres. Konsekvens/kostnaden av dette er ikke kjent, og er derfor vanskelig å si om dette er en gunstig løsning. [14]

### 3 Energifleksibilitet og samspill på Tanberghøgda

Figur 6 gir en oversikt over strømflyten på Tanberghøgda mellom solcellepark, batteri, elbilflåte, boligfelt og kraftnettet. I tillegg er virtuell avskrivning illustrert med stiplet linje mellom boligfelt og solcellepark.



Figur 6: Kretsskjema Tanberghøgda

Videre i kapittel 3 sees det nærmere på hvordan elbil kan brukes som disponibel last i fleksibilitetsmarkedet, samt tilgjengelige reserver Tanberghøgda eventuelt kan tilby. Videre sees det nærmere på det totale forbruket på Tanberghøgda opp mot solproduksjon og ulike fordelingsstrategier av overskuddskraft fra Energipark I. Til slutt presenteres en mulig løsning for fordeling av solkraft på Tanberghøgda for å gi mest mulig fleksibilitet samt minimere kjøp av strøm fra nettet.

#### 3.1 Elbil som disponibel last

De siste årene har det vært en stor økning av elektriske personbiler i den norske veitrafikken, og i Nasjonal transportplan for 2018-2029 er det satt mål om at 100% av nye personbiler fra 2025 skal være utslippsfrie. Denne økningen vil medføre til at store batteriressurser er tilgjengelig. Gitt økningen i antall elbiler og økning i gjennomsnittlig batterikapasitet, er det forventet at batterikapasiteten til en gjennomsnittlig elbil i 2030 er på et sted mellom 80-100 kWh. [15] Ladehastighet spiller i noen tilfeller en mer sentral rolle enn batterikapasiteten, ettersom at det er

denne som bestemmer hvor mye effekt man kan tilby for fleksibilitetsmarkedet. For ladere, er denne antatt å være på et maksimum 11 kW. Dette gjelder ikke hurtigludere, der kan man forvente en enda større effekt på opptil 100 kW [16].

Med slike laster, som til mange tider av døgnet står koblet til nettet, åpnes det for store muligheter for deltakelse i fleksibilitetsmarkeder, både FFR og mFRR. Det er tenkt at elbilflåten på Tanberghøgda skal spille en sentral rolle for denne deltakelsen. I tillegg er det sett på muligheten for å utnytte anleggsmaskiner til samme formål i de tidligere fasene av prosjektet.

I fremtiden for smartlading er det nødvendig at både bil og ladestasjon kan uttrykke sine behov. For at slik kommunikasjon skal være mulig, må både ladestasjoner og elbiler følge standarden ISO 15118-20, som inneholder kommunikasjonsprotokollen for Vehicle-to-grid, heretter kalt V2G. Det er få bilprodusenter som har implementert standarden, som gjør dette til en av flaskehalsene i prosessen for et fullt funksjonelt V2G-konsept [15]. Det vil komme tydelig frem videre i rapporten, at ved mulighet for V2G vil det åpnes muligheter for mer reserver å tilby Statnett, og dermed større inntekter for Fossen Kraft AS.

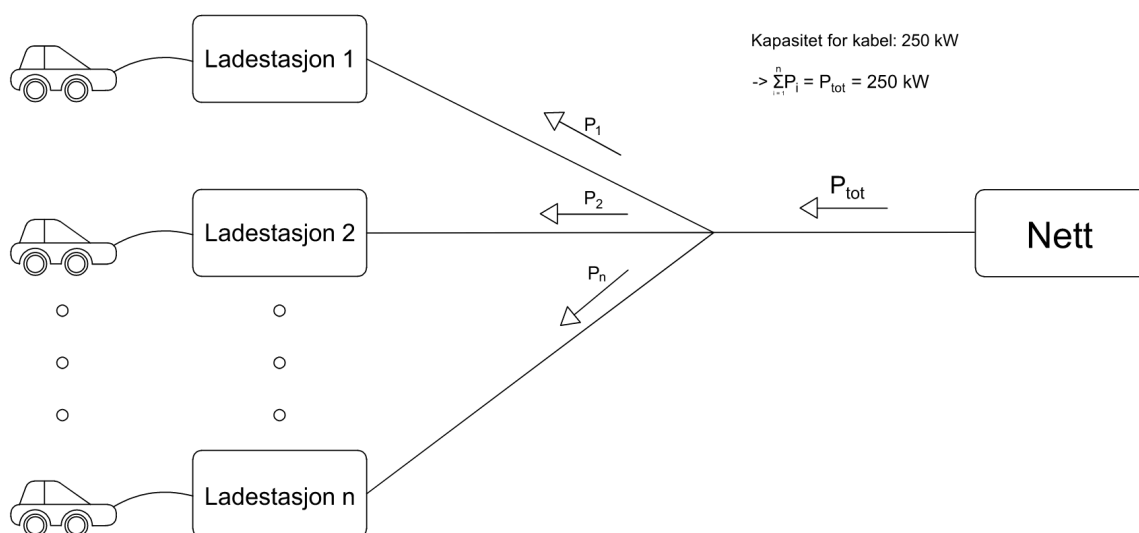
Et eksempel på løsningen med å utnytte elbiler til fleksibilitetsmarkeder kan refereres til Tibber. De deltok i piloten for FFR for Statnett som en aggregator for en portefølje elbiler [17]. Tibber målte frekvens, og sendte kommando for å stoppe ladingen for utvalgte biler i porteføljen ved tilfeller det var nødvendig. Tibber hadde en garantert leveranse på 0,250 MW, som tilsvarte ca. 80-90 biler fra Tibbers totale kundeportefølje. Hvor mange biler som trengs for å kunne levere gitt volum var avhengig av hvor mye effekt hver enkelt bil ladet på det aktuelle tidspunktet. Det er altså ikke alltid maksimale mulige ladehastighet som lades med. Sett fra nettet innebærer stans av lading en rask reduksjon av effektforbruk, som gir et tilsvarende resultat som effekthinjering [17].

Med V2G, er det en mulighet for mer reserver. Her vil ikke lading bare stoppes, men elbil har mulighet til å levere effekt til nettet i tillegg. På grunn av stor usikkerhet rundt degradasjon av batteriet ved en slik løsning, ville det være naturlig å se på en løsning for kompensasjon for bileier. Usikkerhetene rundt en slik løsning ville vært type fleksibilitetsmarked de byr på og dermed hvor lenge elbilen ville levert strøm til nettet. Som et eksempel kan det være en løsning at bileier blir kompensert med f.eks. x antall km i lading på elbil som en tjeneste, siden Fossen Kraft AS kan ikke omsette for strøm direkte. Det er tenkt en app som følger med til kunde, slik at de kan uttrykke sitt behov for lading. FFR aktiveres som kjent i kun et par sekund, så sannsynligheten er liten for at det vil påvirke SoC til bilen i stor grad. En slik løsning med kompensasjon er derfor kanskje mer relevant for deltakelse i mFRR, siden det er snakk om lenger perioder for levering av effekt, og dermed større energimengder.

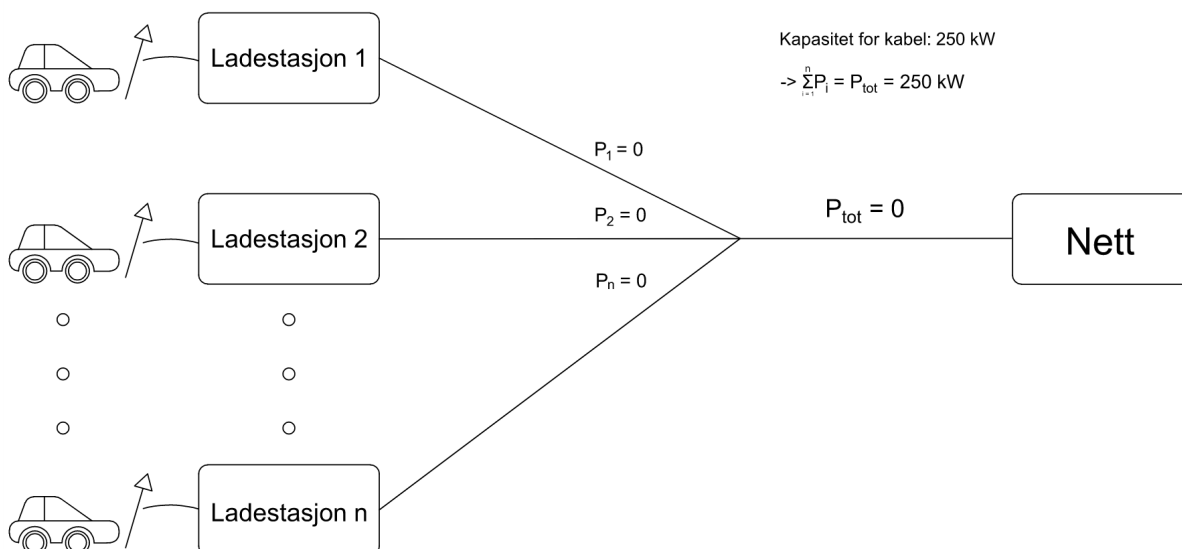
### 3.1.1 Illustrasjon av ladestasjon

Videre er to forskjellige situasjoner beskrevet, for å illustrere en mulig løsning for det nye boligfeltet på Tanberghøgda.

**Situasjon 1:** Uten V2G tilstander for FFR: Utkobling av last for rask reduksjon av effektforbruk, som gir tilsvarende resultat som en effektinjisering.



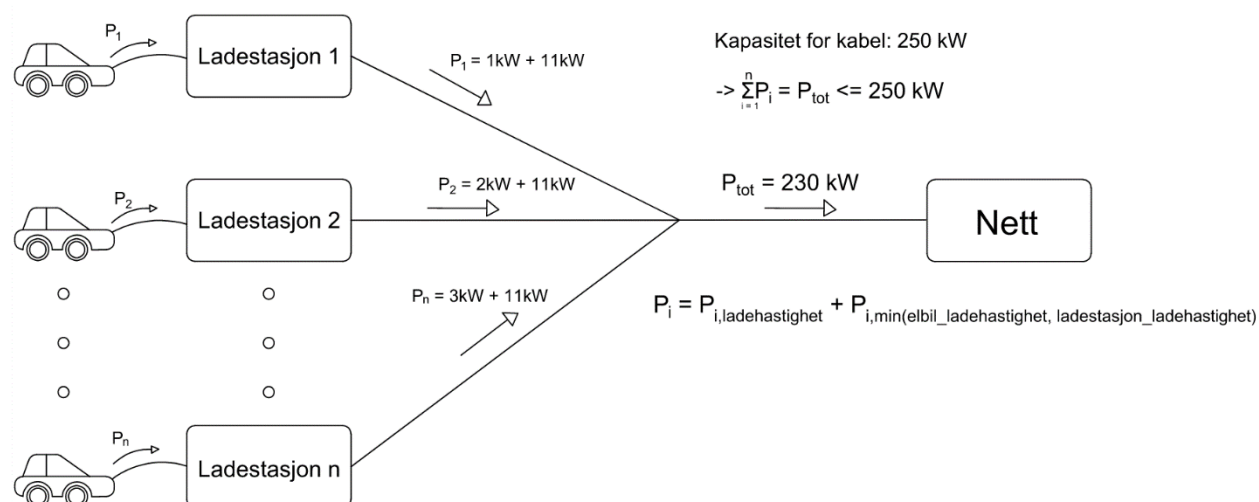
Figur 7: Elbiler lades gjennom natten med en effekt på  $P_i$  kW. Kapasitet for linje til elbiler er 250 kW. La oss si 200 kWh/h trekkes fra nettet gjennom natten, på 200 biler. Det antas samme type bil og lik ladehastighet for alle, for enkelthets skyld. Hver elbil har da en ladehastighet på 1 kWh/h.



Figur 8: FFR aktiveres, det er behov for reserver for å balansere frekvensen i nettet: Elbiler kobles ut, og lading stoppes. For nettet blir dette som en effektinjisering lik den som ble levert over linjen. Med andre ord, står man klar til å levere en effekt på 200 kWh/h til nettet. Denne effekten er en verdi som ikke kan bestemmes. Det vil være avhengig av hvor mye effekt som trekkes fra nettet i det gitte tidspunktet.

**Situasjon 2:** FFR aktiveres, men her med V2G konseptet integrert i løsningen.

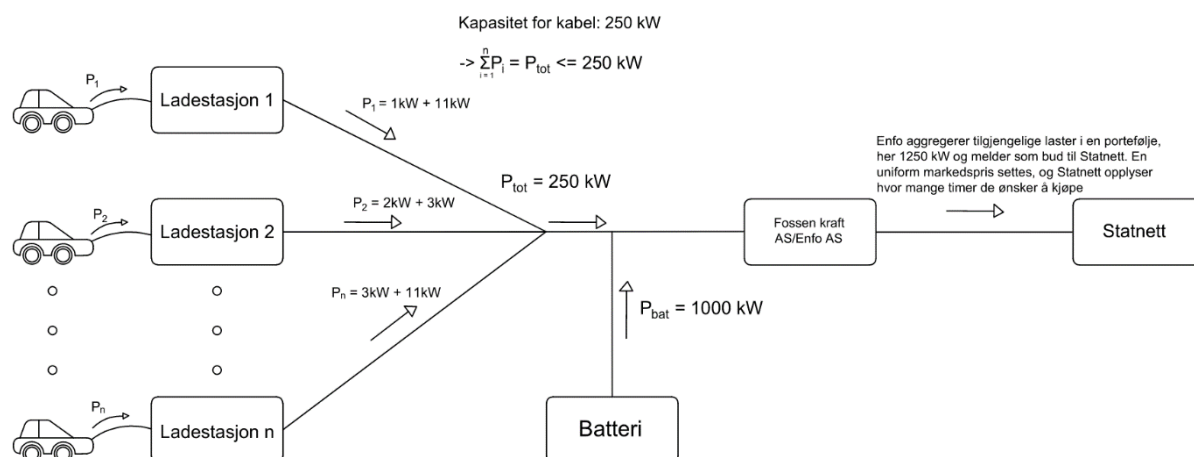
Initial-casen er samme som beskrevet i **Situasjon 1**. Med V2G, åpnes det for at batteriet i elbilene også kan levere effekt. Det betyr at elbiler som er koblet til, som ikke nødvendigvis lader (krever noe effekt fra nettet det gitte øyeblikket), også kan levere effekt. Dette medfører en større sikkerhet for at Fossen Kraft AS alltid kan levere garantert leveranse til Statnett. Det kan også tenkes at det kan tilbys mer reserver for Statnett, og dermed en høyere inntekt for Fossen Kraft AS.



Figur 9: V2G. Det er tydelig at effekten man kan tilby for fleksibilitet øker betraktelig pr. elbil, gitt V2G. Med nåværende kapasitet på linjen for elbilflåten, er det maksimum 250 kW som kan leveres. Denne er ikke lagt, så den kan økes for fremtid for bedre utnyttelse av potensiell tilgjengelig last fra elbilflåte.

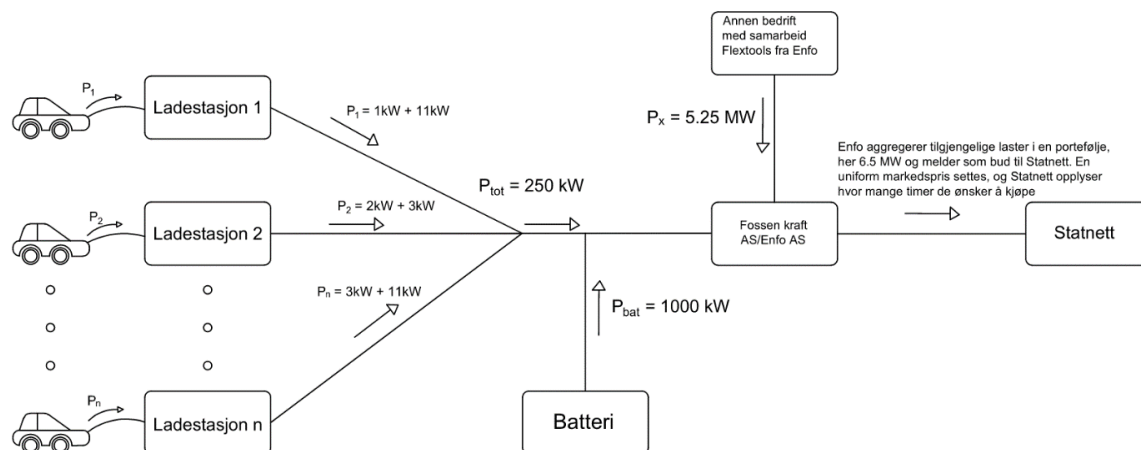
### 3.1.2 Batteri og elbilflåte som ressurs for fleksibilitetsmarkeder

Fossen Kraft AS har inngått en avtale med Enfo og har lisens på Flextools. Her kan det velges å enten inngå i Enfo sin felles portefølje, eller bruke verktøyet og være egen aggregator. Videre er dette illustrert, samspillet mellom elbilene og batteriet på Tanberghøgda og det å eventuelt delta i Enfo sin felles portefølje.



Figur 10: Deltakelse i fleksibilitetsmarkedet, og samspillet mellom elbiler, Enfo og Statnett. Viser total effekt som kan leveres ved å kombinere elbilflåte og batteri, som er 800 kW (begrensning på nettstasjon, 800 kVA). Samlet bud på denne størrelsen tillater kun deltakelse i FFR profil.

Dersom Enfo aggregerer laster fra flere enn bare Fossen Kraft AS vil Enfo kunne levere et samlet bud på mer enn 5 MW, og dermed delta i FFR Flex. Dette vil gi en større inntekt, og det er tenkt at batteriet, ettersom at det er stasjonært, vil brukes som disponibel last for FFR Flex siden det er tilgjengelig gjennom alle døgnets tider. Effekten som tilbys gjennom elbilene, er tenkt å brukes i FFR Profil, ettersom at de har en mer uforutsigbar oppførsel på dagtid.



Figur 11: Total effekt som sendes inn som bud fra Enfo til Statnett, hvor laster aggregeres fra flere forskjellige aktører.

### 3.1.3 Tilgjengelige reserver for kombinasjon av batteri og elbiler med V2G på Tanberghøgda

For å illustrere mulige inntekter gjennom elbilflåten på Tanberghøgda, vil det i denne seksjonen gjennomgå to tilfeller innenfor kontrakttyper, som er følgende:

1: 'Worst case': Eksempel på deltakelse i FFR-markedet med kontrakttype *Profil*, og ingen deltakelse i mFRR.

2: 'Best case': Eksempel på deltakelse i FFR-markedet med en kombinasjon av kontrakttypene FFR *Profil* og FFR Flex, i tillegg til deltakelse i mFRR på vinter-halvåret.

Med bakgrunn i antagelser gjort rede for tidligere og design av elbilflåte [15], er det gjort beregninger for å gi et anslag på hvor mye effekt som kan stilles disponibelt for deltakelse i fleksibilitetsmarkedet, som illustreres i Tabell 1.

Tabell 1: Antakelser og resultater for elbilflåte på Tanberghøgda gjennom fase 1, 2 og 3.

|                                                                                                                                                                                                                         | Verdi                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>Biler pr. boenhet</b>                                                                                                                                                                                                | 1.6                                                    |
| <b>Ladehastighet pr. elbil [kW]</b>                                                                                                                                                                                     | 11                                                     |
| <b>Antall elbiler, [Fase 1, Fase 2, Fase 3]</b>                                                                                                                                                                         | [71, 416, 944]                                         |
| <b>Biler koblet til ladestasjon til enhver tid,</b><br>50%: [Fase 1, Fase 2, Fase 3]<br>20%: [Fase 1, Fase 2, Fase 3]                                                                                                   | [36, 208, 472]<br>[14, 83, 189]                        |
| <b>Total ladehastighet tilgjengelig [kW],</b><br>50%: [Fase 1, Fase 2, Fase 3]<br>20%: [Fase 1, Fase 2, Fase 3]                                                                                                         | [280, 2288, 5192]<br>[112, 915, 2077]                  |
| <b>FFR Profil inntekt [NOK],</b><br>50%: [Fase 1, Fase 2, Fase 3]<br>20%: [Fase 1, Fase 2, Fase 3]<br><br><i>Her er det antatt Statnett kjøper 400 timer til en pris 150 [NOK/MW]. (Statnett, 2022)</i>                 | [16 827, 137 280, 311 520]<br>[6 731, 54 912, 124 608] |
| <b>FFR Profil inntekt [NOK], grense 250 kW</b><br>(kapasitet på kabel fra elbilflåte),<br>[Fase 1, Fase 2, Fase 3]<br><br><i>Her er det antatt Statnett kjøper 400 timer til en pris 150 [NOK/MW]. (Statnett, 2022)</i> | [15 000, 15 000, 15 000]                               |

Resultatene som presenteres er valgt på basis av minimumstilfelle, der det er antatt 20% av elbilflåten er koblet til ladestasjonen på feltet til enhver tid, og en mer moderat antakelse hvor 50% av elbilflåten er koblet til. Det er tydelig fra effektene tilgjengelig gjennom elbilflåten at det er nettstasjonen med 800 kVA som er en begrensende faktor for hvor mye effekt som kan leveres. Kapasitet på kabel fra ladestasjoner som er 250 kW, er enda ikke lagt og det antas denne kapasiteten kan forstørres. Allerede i Fase 1 er det muligheter for å nå grensen på nettstasjonen, spesielt dersom V2G inkluderes. Hver økning i effekt vil bare gi en større 'sikkerhet' for å kunne garantere leveranse. Videre er det demonstrert mulige inntekter hvor det er antatt Fossen Kraft AS kan stille tilgjengelig 800 kW, og delta på forskjellige kontrakter fra fleksibilitetsmarkedet.

Tabell 2: Data: gitt total tilgjengelig effekt 800 kW, som er en miks av effekt levert av batteriet og elbilflåte, avhengende av hva som er mest gunstig det gitte tidspunktet. Utregninger er basert på tall fra Enfo, hvor 1MW hadde en gjennomsnittlig årspris på 200 000 NOK i FFR-markedet (profil og flex), og 750 000 NOK i mFRR-markedet (RKOM). [19]

| Verdier, ref. Enfo. [19]                | FFR-Profil                         | FFR-Flex                     | mFRR (RK/RKOM)                                                                                      |
|-----------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Pris [NOK/MW]</b>                    | 150                                | 495                          | 160 / 790                                                                                           |
| <b>Antall timer kjøpt av Statnett</b>   | Varierende for type marked         |                              |                                                                                                     |
| <b>Effekt tilgjengelig, Case 1 [kW]</b> | 850                                |                              |                                                                                                     |
| <b>Effekt tilgjengelig, Case 2 [kW]</b> | 850                                |                              |                                                                                                     |
| <b>Periode</b>                          | Uke 22 – 35.<br>Kl. 22:00 – 07:00. | Uke 18 – 43.<br>Hele døgnet. | Hele året, hovedsakelig vinter. Antas deltakelse fra uke 44 – 17, for å unngå overlappende markeder |
| <b>*Ekstra*</b>                         |                                    |                              | Må tilgjengeliggjøres gjennom BRP (balanseansvarlig)                                                |

Tabell 3: Inntekt pr. år gitt total tilgjengelig effekt 800 kW.

|                             | Case 1        | Case 2        |
|-----------------------------|---------------|---------------|
| <b>Inntekt pr. år [NOK]</b> | = 170 000 NOK | = 807 500 NOK |

Ut ifra resultatene gjennomgått, er forslaget en metode for å kunne øke tilførsel på effekt fra elbilflåten og batteriet, gjennom flere eller en større nettstasjon. Her vil det likevel følge store kostnader, så det er en sak som må vurderes. Det er store inntekter å hente ved deltakelse i mFRR, men i tillegg burde det tas hensyn til konsekvensen av å involvere balanseansvarlig, samt at det er nok tilgjengelig energi på batteriet siden effekten leveres over en lenger periode.

### 3.1.4 Anbefaling for deltagelse i fleksibilitetsmarkeder, elbilflåte og batteri

Om 12-15 måneder skal det komme marked for forbrukerfleksibilitet på FCR (Primærregulering), og dette er et marked som skal være åpent hele året. Her meldes det inn tilgjengelige reserver dagen før eller to dager før, og blir man aktivert får man betalt for å stå tilgjengelig for utkobling om frekvensen skulle endre seg. Her kan det finnes interessante løsninger: her kan bileier informere gjennom en app når bil er tilgjengelig en dag eller to i forveien, som Fossen Kraft AS kan benytte til FCR-markedet. Her kan tjeneste om å 'selge/gi' km til bileier være interessant. Det åpnes altså for et mer dynamisk forhold mellom bileier og Fossen Kraft AS.

Tabell 4: Tjenester tilbudt fra Fossen Kraft AS til bileier for innmelding av elbil som fleksibel last.

| Marked                                                                                                                                                  | Tjeneste                                                               | Begrunnelse                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>FFR.</b>                                                                                                                                             | <i>Ingen. Evt. kompensasjon av noe slag for degradasjon av batteri</i> | Effektflyt for liten periode (sekund), og som inntreffer sjeldent. Lite påvirkning for bileier, minimalt med degradasjon av batteri. Ikke nødvendigvis                                          |
| <b>FCR (Primærreserve)</b><br><br><b>Marked åpent hele året. Åpner for full utnyttelse av tilgjengelig effekt. Ikke tilgjengelig i Norge pr. i dag.</b> | <i>Kompensasjon for degradasjon av batteri. x 'km' i strøm</i>         | Effektflyt lenger periode enn FFR og kortere enn mFRR.<br>Tenkes laster fra elbiler kan passe her: eier kan melde inn tilgjengelighet neste døgn, og krav om batterinivå.                       |
| <b>mFRR (Tertiærreserve)</b><br><br><b>Marked åpent hele året, mest nødvendig vinter.</b>                                                               | <i>Kompensasjon for degradasjon av batteri. x 'km' i strøm</i>         | Kun batteri er tiltenkt dette markedet. mFRR skjer på bestilling, vanskelig å forutse om all last fra elbiler er tilgjengelig.<br>Evt. minimum 20% elbiler tilkoblet. Større perioder utlading. |

## 3.2 Forbruk

Forbruket vil variere gjennom boligprosjektet, og øke med antall boliger som ferdigstilles. Det er sett på energifleksibilitet i anleggsfasen pluss fase 1, og deretter hele prosjektet med alle tre fasene. Oversikt av faser og varighet er vist i vedlegg 6.

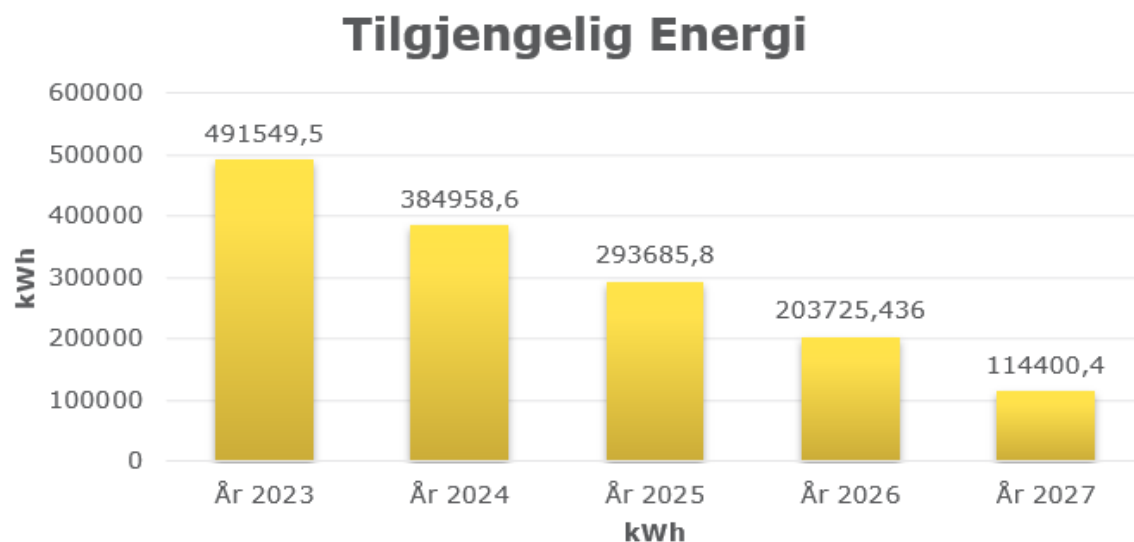
Energifleksibilitet i anleggsfasen er avhengig av hvor mye energi anleggsmaskinene og boligene i fase 1 krever. Energien fra solcelleparken som er til overs etter anleggsmaskiner og hus er forsynt, vil være tilgjengelig for fleksibilitet og eventuelt salg til strømleverandør. Tidsintervallet for energifleksibilitet i anleggsfasen er år 2023 - 2027 (anleggsfase pluss deler av fase 1).

Det er gjort antagelser på hvilke utstyr og maskiner som kreves under anleggsfasen. Tabell 5 viser en oversikt som skal forestille maskiner det antas at Tanberghøgda bruker. Teknisk informasjon er brukt i videre beregning rundt forbruk av energi, og alle er drevet på elektrisitet. Kilder til hver maskin som er antatt og brukt er vist i vedlegg 0 A.

Tabell 5: Teknisk informasjon rundt antatte maskiner.

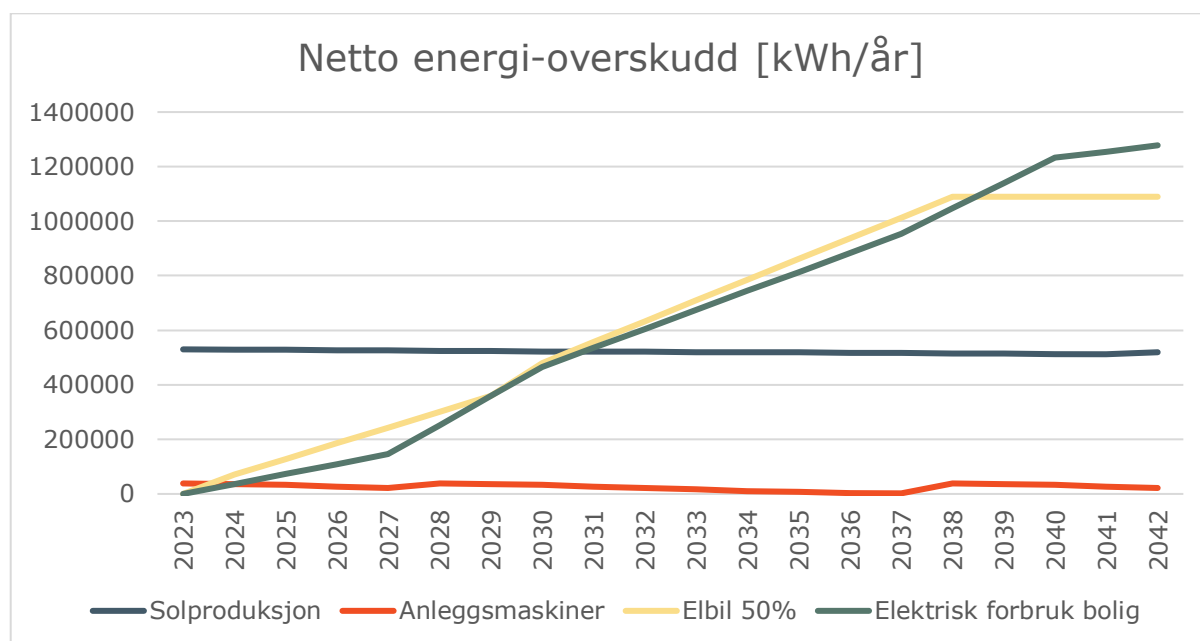
| Type maskin          | Drivstoff    | Batteristørrelse | Motoreffekt   | Spenning       |
|----------------------|--------------|------------------|---------------|----------------|
| <b>Gravemaskin</b>   | Elektrisitet | 100 kWh          | 40 kW / 54 hk | 400 VAC / 63 A |
| <b>Hjullaster</b>    | Elektrisitet | 39 kWh           | X             | 400 VAC / 32 A |
| <b>Beltdumper</b>    | Elektrisitet | 39 kWh           | X             | 400 VAC / 32 A |
| <b>Rivningsrobot</b> | Elektrisitet | 37,5 kWh         | 15 hk         | 400V           |
| <b>Lift</b>          | Elektrisitet | 4,8 kWh          | X             | 230V           |

Tilgjengelig energi er beregnet med informasjon fra Energikonseptutredning gjort av COWI-kontoret i Hønefoss [13]. Vedlegg 0 viser tabell og formel som er brukt til å regne ut energi og effekt ved Figur 12. Poenget er å vise energien som er tilgjengelig i de ulike årene ved antagelsene for anleggsfasen og dataen for fase 1. Figur 12 viser hvordan tilgjengeligheten synker med antall boliger som bygges utover i fase 2 og 3. I eksempelet brukt ved Figur 11



Figur 12: Viser tilgjengelig energi.

Figur 13 gir et overblikk for hele boligprosjektet, inkludert fase 2 og 3, som viser forbruket for anleggsmaskiner, boligfeltet og elbilene opp mot produsert solenergi fra Energipark I. Det er i denne omgang ikke tatt med produsert energi fra en eventuell Energipark II i fremtiden.



Figur 13: viser forbruket for elbilflåten, bolig og anleggsmaskiner opp mot sol produksjon frem mot 2042.

Som grafen viser, vil det frem mot 2030 være et overskudd av solkraft. Etter 2030 er det derfor anbefalt å nærmere undersøke om det skal bygges en Energipark II med solceller, eller om andre fornybare energikilder er mer gunstige.

I henhold til dagens reglement må en eventuell ny energipark med solceller bygges på et område med et annet bruksnummer. Dette ville da vært med formålet om å selge all kraft på nettet. En utbygging av Energipark II vil først forekomme om noen år, og det er vanskelig å forutse reglementet på daværende tidspunkt.

### 3.3 Fordelingsstrategi

For et borettslag som Tanberghøgda med lokal produksjon av fornybar strøm, er det ulike måter den produserte overskuddsenergien kan fordeles mellom boenhetene som deltar på delingsløsningen. Med virtuelt målepunkt, gjennom Elhub, for borettslag med felles produksjon kan energien distribueres likt eller vektet til de ulike beboernes målepunkt. Vektingen kan utføres på 3 ulike måter, men beregningene blir like. [20] Tre typiske eksempler på vekting av strømproduksjonen er:

- 1 Lik vekting  $W_i = \frac{1}{n}$ , der  $n$  er antall enheter
- 2 Volumvektet beregning basert på forbruk per husholdning for samme time som produksjonen distribueres  $W_i = \frac{Mc_i}{\sum Mc_j}$  der  $Mc_i$  er målepunktets eget forbruk.
- 3 Predefinert vekting som settes manuelt basert på for eksempel boenhetens størrelse eller finansielt bidrag til produksjonsanlegg.

Fordelingsstrategien med lik vekting kan oppfattes både rettferdig og urettferdig av beboerne. På den ene siden er det rettferdig at alle får en like stor andel for samme pengesum, andre kan mene at det er mer rettferdig å få en prosentandel av eget forbruk. Fordelen med volumvektet beregning er at man maksimerer utnyttelsesgraden av egenprodusert kraft på eiendommen. Samtidig vil denne fordelingsstrategien være en fordel for de kundene med høyere forbruk. [1]

Ulempen med fordelingsstrategi 2 og 3, er at de er arbeidskrevende for nettselskapene, i forhold til fordelingsstrategi 1 som er en enklere fordeling å administrere. [1]

I begynnelsen er det anbefalt å følge en fordelingsstrategi med lik vekting for enkelthetens skyld, men dette er definitivt noe som kan og bør utvikles eller endres underveis. Det burde uansett være en ulempe å ha et høyt energiforbruk, og det burde være et fokus og en fordel å senke og fordele sitt eget energiforbruk. [1]

### 3.4 Utnyttelse av kraften

Når alle beboere på Tanberghøgda har solcellepanel med en installert effekt på 500 kWp, gir dette mulighet til å redusere forbruket på hver enkelt sin måler. Dersom man for eksempel bruker egenprodusert energi, vil nettleie og andre avgifter på kjøpt energi ekskluderes.

Tabell 6 som er hentet fra RME høringsdokument og noe justert [7], viser forskjell i besparelse på å mate in en kWh på nettet eller redusere forbruket med en kWh. Differansen mellom kraft matet

inn på nettet og deling av produksjon er 43,99 Øre/kWh, som illustrerer gevinsten ved delingsløsningen. Som illustrasjon ved ideell løsning for beboere, ikke tiltenkt Tanberghøgda, men noe som kan vises frem som potensialet. Dette er også beskrevet videre i høringsdokumentet på følgende måte:

«Verdien av å bruke kraften til å redusere sitt eget uttak fra nettet er høyere enn å levere kraften på nettet. Bakgrunnen for dette er at energileddet i nettleien inneholder en andel av nettets faste kostander. Ved eget forbruk av kraften unngår kunden også elavgift og merverdiavgift og påslag på nettariffen til Energifondet (Enovaavgift).» [1]

Tabell 6: Verdi på reduisering av eget forbruk med en kWh, og mate en kWh inn på nettet. [7]

|                                                                   | Kraft matet inn på<br>nettet<br>[Øre/kWh] | Deling av<br>produksjon<br>[Øre/kWh] | Gevinst ved<br>delingsløsning<br>[Øre/kWh] |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Strømpris</b>                                                  | 80                                        | 80                                   | 0                                          |
| <b>Redusert tap</b>                                               | 5                                         | 5                                    | 0                                          |
| <b>Energileddet</b>                                               | 0                                         | 13,76                                | 13,76                                      |
| <b>Elavgift</b>                                                   | 0                                         | 13,79                                | 13,79                                      |
| <b>Påslag på nettariffen til<br/>energifondet (Enovaavgiften)</b> | 0                                         | 1                                    | 1                                          |
| <b>Merverdiavgift (MVA)</b>                                       | 0                                         | 15,44                                | 15,44                                      |
| <b>Total besparelse</b>                                           | 85                                        | 128,99                               | 43,99                                      |

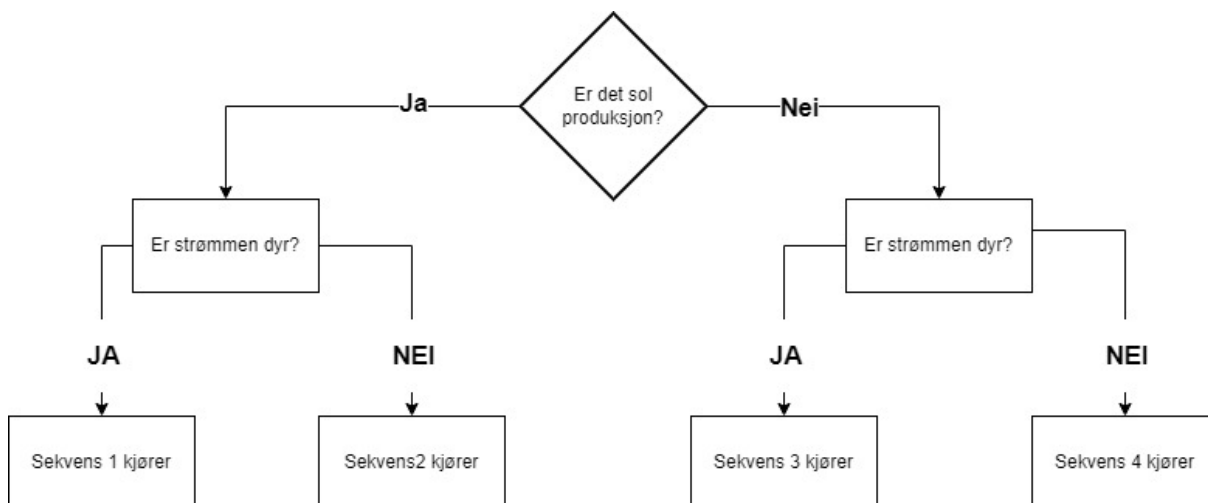
Ettersom at Tanberghøgda har installert et anlegg med maks kapasitet lovlig på 500 kWp, viser *tabell 7* hvordan gevinsten ser ut ved en slik årlig produksjon. Dette kan gi en gevinst opp mot 237 546 kr samlet for beboere, men dette er kun illustrasjon ved ideelt salg av strøm til beboere. Ikke tiltenkt at Fossen Kraft AS skal utføre dette i praksis, men et eksempel.

Tabell 7: Verdier for kraft matet inn på nettet og deling av produksjon. [7]

| Installert<br>effekt<br>[kW] | Årlig<br>produksjon<br>[kWh] | Kraft matet inn på<br>nettet<br>[NOK] | Deling av<br>produksjon<br>[NOK] | Gevinst ved<br>delingsløsning<br>[NOK] |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|
| 5                            | 5 400                        | 4 590,0                               | 6 965,5                          | 2 375,5                                |
| 500                          | 540 000                      | 459 000,0                             | 696 546,0                        | 237 546,0                              |

### 3.5 Fordeling av solkraft

For å fordele solkraften mellom beboere og gi mulighet for fleksibilitet følges den tenkte strategien i Figur 14. Strategien er å minimisere kostnader ved kjøp av strøm fra nettet. Modellen er utprøvd for Fase 1 forbruk og Fase 1+2 forbruk, ved sol til forbrukere på henholdsvis 20/40/60% av total solproduksjon.



Figur 14: Figuren viser skjematisk tenkt styring av sol fordeling

De 4 sekvensene er som følger:

**Sekvens 1:** Energiproduksjon fra sol og dyr strømpris, prioritert å forbruke lovt energi på beboere, lade batteriet på overskuddsenergi ved tilgjengelig batterikapasitet.

**Sekvens 2:** Solenergi produksjon, men ikke ønskelig forbruk. Ved tilgjengelig batterikapasitet skal denne energien bli brukt ved senere anledning, når strømmen er dyr og det ikke er energiproduksjon.

**Sekvens 3:** Høy strømpris, men ingen produksjon av sol. Hvis det er satt av energi på batteriet fra sekvens 2 skal dette benyttes, hvis ikke skal det brukes en fast prosentandel av batteriets tilgjengelige kapasitet over nedre grense til å redusere forbruket.

**Sekvens 4:** Ved lav batterikapasitet (under 30%) skal det lades til 50%. Ved batterikapasitet over 75% skal det lades til 100%. Forbrukere får ikke noe hjelp i denne sekvensen.

Modellen kan skaleres etter behov, (mer forbruk, mer produksjon, andre strømpriser og andre grenser). Algoritmen er ikke optimalisert eller tar hensyn til usikkerheter, men heller en deterministisk løsning for å illustrere gevinsten av slike fleksibilitetsløsninger.

Tabell 8: Initial verdier og grenser for modellen

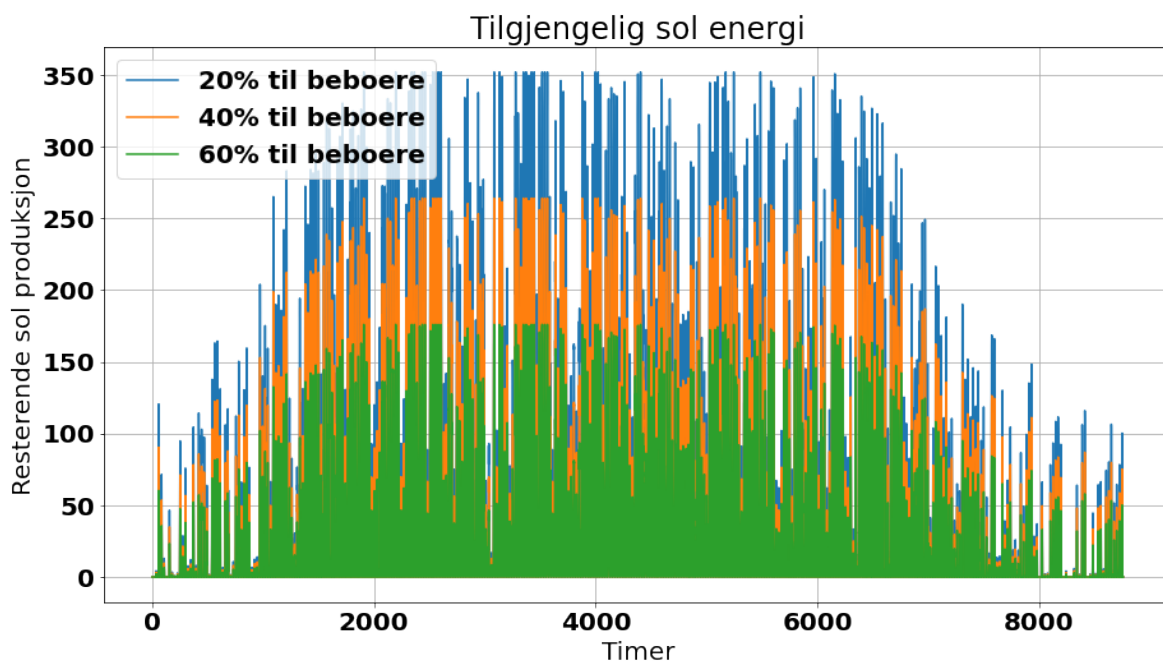
| Sol produksjon til Forbrukere/initial betingelse | 20% av total produksjon              | 40% av total produksjon | 60% av total produksjon |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Batteri SoC min /SoC max [kWh]                   | 220/1100                             |                         |                         |
| Dyr Strøm [NOK/kWh]                              | 0,45. Nord Pool 2018 pris for Oslo   |                         |                         |
| Peak shaving ved dyr strøm                       | 40% av SoC tilgjengelig over SoC_min |                         |                         |

20% er valgt som minste kapasitet for å sikre deltagelse i FFR med batteriet, ettersom FFR markedene krever leveranse i rundt 4 sekunder og batteriet har mulighet til å levere 1 MW er nødvendig energi på batteriet kalkulert følgende.

$$\frac{1h}{3600s} \cdot 4s \cdot 1 MW = 1,22 kWh$$

100% av batteriets total er valgt som maks, ettersom det er tenkt at batteriet ikke skal stå fulladet over lengre tid, men heller kjøres jevnlig.

Grensen for strømpris er satt til 0,45 NOK/kWh, dette er bestemt ut ifra snittprisen for Oslo i 2018.



Figur 15: Tilgjengelig solenergi per time etter fordeling.

Figur 15 viser resterende solenergi ved de forskjellige fordelingsprosentene til forbrukere. Den resterende solenergien har ikke bestemt bruksområde, men skaper muligheter for fleksibilitet. Dette innebærer (lade batteri, selge på nett, lade elbiler eller forbruke hvis last er høyere enn antatt).

For å illustrere potensiell gevinst, er det antatt at all resterende solenergi skal selges på nettet uavhengig av strømpris. Ved å benytte strømprisene fra 2018 for Oslo området som eksempel, ble de forskjellige fordelingene av solenergi sammenlignet opp mot antagelsen uten solenergi og scenarioet uten smartstyring. Negative verdier er det som må kjøpes fra nettet.

$$\text{Resultat} = \sum_{t=0}^T \text{Soltilgjengelig}_t \cdot \text{Strømpris}_t - ((\text{forbruk}_t - \% \text{fordeling}) + \text{batterikjøpt}_t) \cdot \text{Strømpris}_t$$

Formelen viser et samlet resultat av hva Fossen kraft kan tjene på å selge strøm minus det forbrukerne må betale. Dette er for å få et helhetlig bilde av den beste fordelingsløsningen.

Tabell 9: Resultater for forskjellig fordeling av solenergi

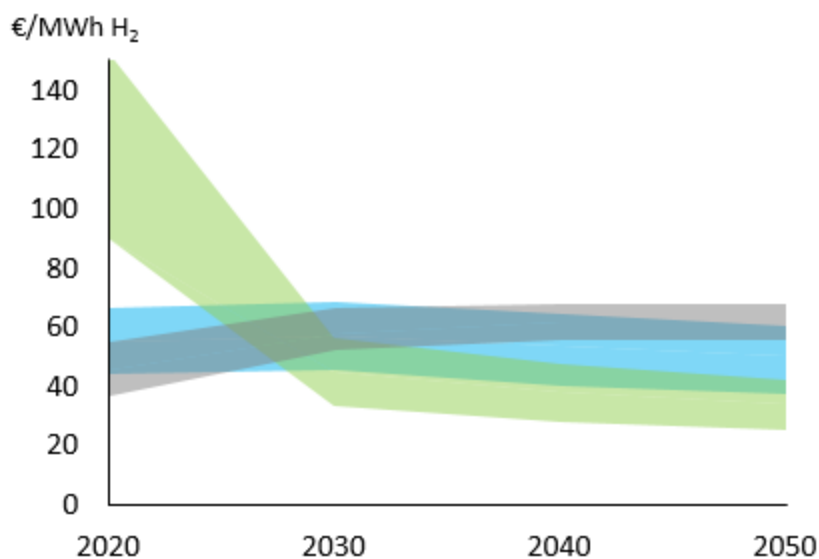
| Fordeling                                         | Fase 1 årlig<br>[NOK] | Fase 1 + 2 årlig<br>[NOK] |
|---------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| <b>20% av sol</b>                                 | 110 091,68            | -275 128,51               |
| <b>40% av sol</b>                                 | 107 641,91            | -255 443,79               |
| <b>60% av sol</b>                                 | 94 033,10             | -256 363,35               |
| <b>Uten sol (Forbruk ganget med times pris)</b>   | -155 006,75           | -520 410,68               |
| <b>Ingen smart styring forbruk-produksjon100%</b> | 100 441,00            | -264 962,22               |

I dette scenarioet hvor resterende solenergi går til å selge på nett, er det 20% fordeling som vil gi best resultat for et forbruk i fase 1. Dette kommer av at det er store mengder tilgjengelig sol som kan selges ref. Figur 15 ved et økt forbruk i Fase1+2 observeres det at smartere styring veker mer på prisen i henhold til modellen. Resultatene fra tabellen er kun for kjøp og salg av strøm ved spotpris. Resultatet viser også hvordan enkel smartstyring kan gi utslag, videre er det verdt å se på hvordan usikkerheter kan påvirke modellen.

### 3.6 Hydrogen som lagring for Energipark II Fase 3

Som beskrevet i kapittel 2.3.2 kreves det høyere frekvens over lengre tid i mFRR. I en rapport fra Irena: Green hydrogen [21], kommer det frem at hydrogen sin fremtid vil ligge i sesonglagring og tregere markeder. Hydrogen utgjør altså en stor mulighet for deltagelse i mFRR i kombinasjon med sol, da dette gir mulighet for å lagre energien gjennom sommeren og delta i vinterperioden, eller disponere lagret energi til forbrukere.

I dag er hydrogen ansett som en "dyr" teknologi, men predikasjoner fra EU, Statkraft og NVE viser til at teknologien er på vei mot økonomisk skalering. [22] (Statnett, 2021) [24]



Figur 16: Statnett predikasjon av hydrogen. (Statnett, 2021)

Siden det er tenkt at det er sol som skal produsere hydrogen for Energipark II, er det foreslått å gå for en såkalt PEM teknologi. PEM teknologi er etter dagens standarder det som viser seg best når det kommer til "ustabil" produksjonsenergi. Pem Elektrolysører gir mulighet for rask responstid samtidig som den produserer mer stabilt ved varierende strøm sammenlignet med andre teknologier på markedet. [25]

For lagring av hydrogen er per i dag gasslagring ved høyt trykk (opptil 700 bar) det mest gunstige, men forskningen ser til nye måter å lagre hydrogen på. Det som er skrekksenarioet ved gasslagring, er eksplosjonsfare. Historisk for å unngå dette har hydrogen blitt lagret i ammoniakk, men dette vill medføre ekstra tap når man skal ekstrahere hydrogen. Fremtidige løsninger ser til metallhydrider for hydrogen lagring, en oversikt og forklaring er gitt ved [26], og kan observeres i Figur 17.

**Table 5 – Hydrogen storage methods.**

| Storage method                                  | Hydrogen density/content                                                                         |                                                                                                                   | Gravimetric density (kWh/kg <sub>sys</sub> ) | Volumetric density (kWh/L <sub>sys</sub> ) | Storage temperature (°C)                | Storage pressure (bar) | Energy provided during the storage process (kWh/kg <sub>H2</sub> )                                  | Vessel type                                                                       | Substance used                                                             |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Compressed gaseous hydrogen (CGH <sub>2</sub> ) | 39.2 kg/m <sup>3</sup> at 700 bar [58]                                                           |                                                                                                                   | 1.8 at 300 bar [65]                          | 0.8 at 700 bar [65]                        | 25 (298 K)                              | Up to 700              | 1.7 (from 20 to 350 bar)<br>6.4 (from 20 to 700 bar) [66]                                           | Type I, II, III and IV [59]                                                       | –                                                                          |
| Liquid hydrogen (LH <sub>2</sub> )              | 70.9 kg/m <sup>3</sup> at 1 bar [58]                                                             |                                                                                                                   | 2.5 [67]                                     | 1.1 [67]                                   | –252.75 (20.4 K) at 1 bar [58]          | Up to 7                | 10 ÷ 13 [66] <sup>a</sup>                                                                           | Double walled tank [60]                                                           | –                                                                          |
| Cryo-compressed (CCH <sub>2</sub> )             | Up to 80 kg/m <sup>3</sup> at 300 bar, 38 K [59]                                                 |                                                                                                                   | 2.3 at 500 bar [65]                          | 1.4 at 500 bar [65]                        | –235.15 (38 K) ÷ 25 (298 K)             | Up to 500              | 2.0 [68] ÷ 8.0 [69]                                                                                 | Insulated pressurized vessel [69]                                                 | –                                                                          |
| Physical adsorption                             | Up to 5.60 wt% with Mg <sub>92</sub> Ni <sub>8</sub> -TiO <sub>2</sub> /MWCNTs <sup>b</sup> [70] |                                                                                                                   | 1.3 [65]                                     | 0.7 [65]                                   | ≈ –203 (70 K) [71] ÷ ≈ 100 (373 K) [70] | 1 [71] ÷ 100 [72]      | 6.7 (at –176 °C and 40 bar)                                                                         | Pressurized or insulated metal tank filled with porous or nanostructured material | MOF <sup>c</sup> , zeolites [73], MWCNT <sup>d</sup> , graphene [74]       |
| Chemical bond (absorption)                      | Metal hydride                                                                                    | Up to 5.60 wt% with NaAlH <sub>4</sub> ↔ Na <sub>3</sub> AlH <sub>6</sub> ↔ NaH + Al + 3/2 H <sub>2(g)</sub> [75] | 0.4 [65]                                     | 0.4 [65]                                   | 25 (298 K)                              | Low pressure           | 2.8 (for IM <sup>e</sup> at T < 80 °C, 50 bar) ÷ 11.0 (for MgH <sub>2</sub> at 300 °C, 30 bar) [76] | Pressurized metal tank filled with metal hydride                                  | Alloys composed by Mg, Na, Al, Li, B, Ti, Zr and Fe [38]                   |
|                                                 | Chemical hydride                                                                                 | Up to 12.1 wt% with methanol [77]                                                                                 | 1.5 [65]                                     | 1.3 [65]                                   | 25 (298 K)                              | P <sub>atm</sub>       | 6.3 (for ammonia at T > 425 °C) ÷ 11.2 (for MCH at 350 °C) [76]                                     | Conventional steel tank [78]                                                      | Ammonia, methanol, formic acid, LOHC: DBT, NEC [77], MCH <sup>e</sup> [79] |

<sup>a</sup> according to Ref. [80], a potential energy consumption of 5.9 kW h/kg<sub>H2</sub> for an optimized liquefaction plant with a capacity between 25 and 100 tons per day (tpd<sub>LH2</sub>) was estimated.

<sup>b</sup> MWCNT: multi-walled carbon nanotubes.

<sup>c</sup> MOF: metal-organic framework.

<sup>d</sup> IM: intermetallic hydride.

<sup>e</sup> LOHC: liquid organic hydrogen carrier; DBT: dibenzotoluene NEC: N-ethylcarbazole; MCH: methylcyclohexane.

*Figur 17: Oversikt over lagringsmuligheter hydrogen. [26]*

Når det kommer til brenselcelle teknologier er det også flere muligheter, det som er mest brukt i vei- og togtransport er PEM. Dette skyldes elektrisk effektivitet og operasjons temperatur samt responstid. De forskjellige teknologiene kan observeres i Figur 18 og er beskrevet i [27].

| Fuel cell type                     | Operating Temperature (°C) | System Output (kW) | Electrical Efficiency (%) | Combines Heat and Power (CHP) Efficiency | Applications                                                                                          | Advantages                                                                                                                                                                |
|------------------------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alkaline (AFC)                     | 90–100                     | 10–100             | 60                        | >80                                      | Military Space                                                                                        | Cathode reaction faster in alkaline electrolyte, leads to higher performance<br>Can use a variety of catalysts                                                            |
| Phosphoric Acid (PAFC)             | 150–200                    | 50–1000            | >40                       | >85                                      | Distributed generation                                                                                | Higher overall efficiency with CHP<br>Increased tolerance to impurities in hydrogen                                                                                       |
| Solid Oxide (SOFC)                 | 600–1000                   | <1–3000            | 35–43                     | <90                                      | Auxiliary power<br>Electric utility<br>Large distributed generation                                   | High efficiency<br>Fuel flexibility<br>Can use a variety of catalysts<br>Solid electrolyte reduces electrolyte management problems<br>Suitable for CHP<br>Hybrid/GT cycle |
| Molten Carbonate (MCFC)            | 600–700                    | <1–1000            | 45–47                     | >80                                      | Electric utility<br>Large distributed generation                                                      | High efficiency<br>Fuel flexibility<br>Can use a variety of catalysts<br>Suitable for CHP                                                                                 |
| Polymer Electrolyte Membrane (PEM) | 50–100                     | <1–250             | 53–58                     | 70–90                                    | Backup power<br>Portable power<br>Small distributed generation<br>Specialty vehicle<br>Transportation | Solid electrolyte reduces corrosion & electrolyte management problems<br>Low temperature<br>Quick start-up                                                                |
| Direct methanol fuel cell (DMFC)   | 60–200                     | 0.001–100          | 40                        | 80                                       | Replace batteries in mobiles; computers and other portable devices                                    | Reduced cost due to absence of fuel reformer                                                                                                                              |

*Figur 18: Brenselcelle teknologier. [27]*

Av de forskjellige typene av brenselceller som er listet er det for tenkelige bruk i Tanberghøgda ønskelig å gå videre med PEM eller Alkalisk. Dette skyldes kostnad, elektrisk effektivitet, mulighet til å kjøre med luft og gir gode muligheter for spill varme til fjernvarme systemet.

## 4 Oppsummering

Tanberghøgda har stort potensialet innenfor fleksibilitet, og solcellparken med tilhørende batteri gir mange gode muligheter. *Tabell 10* viser en oppsummering av forslag som gjenspeiler rapporten.

Tabell 10: Oppsummering av forslag

| Beskrivelse                                                                                                                                                                                        | Fordeler                                                                                                                                                                                                                 | Ulemper                                                                                                                                                                                                                   | Videre arbeid                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Fossen Kraft AS kan gi ut en andel kilometer i lading på elbiler, for en gitt leiekontigent fra brukerne. Med krav om at de stiller seg disponibel for deltakelse i fleksibilitetsmarkedet.</b> | Skaper et insentiv for brukere å tilby elbil som fleksibel last, som skaper verdi for Fossen Kraft AS og avlaster nettet. Man får også brukt solkraft direkte til forbrukerne, uten å selge på nettet.                   | Ikke nødvendigvis økonomisk gunstig for Fossen kraft AS, ettersom grense på 850 kW nås tidlig, og gjennom batteriet. Om mange ønsker å delta kan det deles ut mer strøm enn det som tjenes gjennom å selge strøm direkte. | Undersøke om det er økonomisk gunstig.                                                                 |
| <b>Anleggsmaskiner brukes til fleksibilitetsmarked. Vil nesten alltid være påkoblet nettet om natten.</b>                                                                                          | Mulighet for å delta i fleksibilitetsmarkeder før elbiler er en del av Tanberghøgda.<br><br>Kan styres til å kun lade om natten, selv om de er koblet til om ettermiddagen. For å forskyve lasten til tidspunkt for FFR. | Dersom maskinene er fulladet og ikke trekker strøm med en effekt når FFR slår til. En mulig løsning her blir smart styring av lading, for å forsikre at det er en last tilgjengelig.                                      | Undersøke nærmere hvilke maskiner som må i bruk, for å se hvor mye effekt som vil bli tilgjengelig.    |
| <b>Kan bruke infrastruktur på feltet til å avlaste nettet.</b>                                                                                                                                     | Større last å tilby til Enfo for fleksibilitet.                                                                                                                                                                          | Dersom for eksempel lys blir med i tilbudet, kan de skrus av i noen sekunder om natten.                                                                                                                                   |                                                                                                        |
| <b>Deltakelse fleksibilitetsmarkeder: Batteriet i FFR Flex, og elbiler for FFR Profil på sommer. Batteri i mFRR på vinteret, FCR.</b>                                                              | Distribuering av tilgjengelige laster over mulige markeder som gir best inntekt for Fossen Kraft AS.                                                                                                                     | Ferskt i Norge. Muligheter for brå endringer neste årene, og ikke en garanti at dette er optimal løsning.                                                                                                                 | Når FCR markedet kommer for fremtiden, få frem en dynamisk optimal løsning som gagnar Fossen Kraft AS. |
| <b>Hydrogen.</b>                                                                                                                                                                                   | Dyrt nå, billig i 2040<br><br>Sesonglagring, gir mulighet for mFRR.<br><br>Kan kombineres med varmesentralen for å avgi varme.                                                                                           | Mye teknologi valg, det som er best i dag er ikke best i morgen. Skaper usikkerhet rundt investeringen.<br><br>Pris fall i hydrogen er predikasjoner ikke fastsatt.                                                       | En mer omfattende teknoøkonomisk analyse, samt mere litteratur søk for å gå videre med en teknologi.   |
| <b>Termiske laster.</b>                                                                                                                                                                            | Brukerens komfort eller drift påvirkes ikke ved korte utkoblinger.                                                                                                                                                       | Termiske laster som ofte blir benyttet i boligfelt er el-kjel, men her finnes det andre alternativer som er billigere i drift og mer miljøvennlige.                                                                       |                                                                                                        |
| <b>Fordeling av solkraft, minimalisere kjøp fra nettet.</b>                                                                                                                                        | Økonomisk gevinst ved bruk av solkraft, slipper avgifter.<br><br>Lett å skalere modellen etter behov.<br><br>Viser til at fleksibel styring er mer lønnsomt enn å selge kraft ved høyere forbruk (Fase 1 og Fase 2).     | Tar ikke hensyn til usikkerhet, baserer seg på faste priser pr time og solinnstråling.                                                                                                                                    | Lage en stokastisk modell, som tar hensyn til usikkerhet for å få et bedre innblikk i dynamikken.      |

## 5 Kildeliste

- [1] I. G. Birkeland, B. A. Fladen, T. Kallevik, P. Roll og V. Griorian, «Forslag til endring av forskrift om kontroll av nettvirksomhet og avregningsforskriften - Innføring av modell for deling av overskuddsproduksjon,» NVE, 2022.
- [2] Elhub, «Rollebeskrivelser,» 7 Juni 2021. [Internett]. Available: <https://elhub.no/aktorer-og-markedsstruktur/aktorenes-roller/rollebeskrivelser/#balanseansvarlig>. [Funnet 2 August 2022].
- [3] S. Bjarghov, C. Ø. Naversen, K. Thorvaldsen og H. Farahmand, «arxiv.org,» 25 10 2019. [Internett]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1910.10951.pdf>. [Funnet 1 Juli 2022].
- [4] Grønn Byggallianse, [Internett]. Available: <https://byggalliansen.no/sertifisering/ceequal/#1615799230880-1f48897a-ed7>.
- [5] Regjeringen; Olje- og energidepartementet, «Regjeringen.no,» 12 Oktober 2021. [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/tema/energi/stromnettet/kraftmarkedet-og-strompris/id2076000/>. [Funnet 20 Juli 2022].
- [6] NVE, «NVE.no,» 22 Mars 2022. [Internett]. Available: <https://www.nve.no/konsesjon/konsesjonsbehandling-av-solkraft/>. [Funnet 18 Juli 2022].
- [7] I. G. Birkeland, B. A. Fladen, T. Kallevik, P. Roll og V. Grigorian, «NVE,» 1 April 2022. [Internett]. Available: [file:///C:/Users/EJSV/Downloads/rme\\_hoeringsdokument2022\\_04%20\(1\).PDF](file:///C:/Users/EJSV/Downloads/rme_hoeringsdokument2022_04%20(1).PDF). [Funnet 29 Juli 2022].
- [8] Glitre Energi, 2022. [Internett]. Available: <https://www.glitreenergi.no/strom/bedrift/norflex/>.
- [9] Elvia, 2022. [Internett]. Available: <https://www.elvia.no/nettleie/alt-om-nettleiepriser/priser-ny-nettleiemodell/>.
- [10] Energinet (Elsystemansvar), «Energinet.dk,» 5 Januar 20212021. [Internett]. Available: <file:///C:/Users/EJSV/AppData/Local/Temp/1/MicrosoftEdgeDownloads/452c23db-93e7-4201-9fa2-3fa0c8ba6bbb/Aarlig%20statistik%20for%20reserver%202020.pdf>. [Funnet 9 August 2022].
- [11] Statnett, «Statnett.no,» Statnett, 14 Mars 2022. [Internett]. Available: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/kraftmarkedet/reservemarkeder/ffr/>. [Funnet 19 Juli 2022].
- [12] Enfo, [Internett]. Available: <https://enfo.no/wp-content/uploads/2021/12/mFRR-flyer.pdf>. [Funnet 2 August 2022].
- [13] COWI, «ENERGI-OG KLIMAKONSEPT FOR TANBERGHØGDA,» COWI, Hønefoss, 2022.
- [14] Enfo, [Internett]. Available: <https://enfo.no/wp-content/uploads/2021/12/mFRR-flyer.pdf>.

- [15] K. Lyslo, «Simulering av lading og kvantifisering av fleksibilitet for en modellert elbilflåte ved boligfelt: Casestudie av Tanberghøgda i Hønefoss,» Fakultet for realfag og teknologi. NMBU - Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, 2022.
- [16] «Ladetyper og ladetid,» Fjordkraft, [Internett]. Available: <https://www.ladestasjoner.no/hurtiglading/Ladetyper-og-ladetid/>. [Funnet 25 Juli 2022].
- [17] Statnett, «Fase Frequency Reserves 2018 - Pilot for raske frekvensreserver,» Statnett, 2018.
- [18] Statnett, «Fast frequency reserves - FFR,» 14 March 2022. [Internett]. Available: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/kraftmarkedet/reservemarkeder/ffr/>. [Funnet 28 July 2022].
- [19] Enfo, «Reservemarkedene til Statnett,» [Internett]. Available: <https://enfo.no/systemydelsesmarkederne/>. [Funnet 1 August 2022].
- [20] elhub, [Internett]. Available: <https://dok.elhub.no/ediel/virtuelle-maalepunkt>.
- [21] IRENA (International Renewable Energy Agency), «IRENA.org/Publications,» 1 Januar 2020. [Internett]. Available: [file:///C:/Users/EJSV/AppData/Local/Temp/1/MicrosoftEdgeDownloads/e53e42ba-7736-4a82-80bf-5162cd14242d/IRENA\\_Green\\_hydrogen\\_policy\\_2020.pdf](file:///C:/Users/EJSV/AppData/Local/Temp/1/MicrosoftEdgeDownloads/e53e42ba-7736-4a82-80bf-5162cd14242d/IRENA_Green_hydrogen_policy_2020.pdf). [Funnet 25 Juli 2022].
- [22] European Commission, «energy.ec.europa.eu,» 1 Juli 2020. [Internett]. Available: [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen_en). [Funnet 10 Juli 2022].
- [23] Statnett, «Statnett.no,» 1 Janau 2021. [Internett]. Available: <https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/planer-og-analyser/lma/lma-update-2021.pdf>. [Funnet 19 Juli 2022].
- [24] NVE , «NVE (Norges vassdrags- og energidirektorat),» 1 Januar 2018. [Internett]. Available: [https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2019/faktaark2019\\_12.pdf](https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2019/faktaark2019_12.pdf). [Funnet 24 Juli 2022].
- [25] NEL, «nelhydrogen.com,» 1 Juli 2021. [Internett]. Available: <https://nelhydrogen.com/wp-content/uploads/2021/07/Electrolyser-technologies-PEM-vs-Alkaline-electrolysis-%E2%80%93-Single-Pages.pdf>. [Funnet 5 Juli 2022].
- [26] F. Ustolin, N. Paltrinieri og F. Berto, «Loss of integrity of hydrogen technologies: A critical review,» NTNU, Trondheim, 2020.
- [27] H. Junoh, J. Jaafar, N. A. H. M. Nordin, A. F. Ismail, M. H. D. Othman, M. A. Rahman, F. Aziz og N. Yusof, «Performance of Polymer Electrolyte Membrane for Direct Methanol Fuel Cell Application: Perspective on Morphological Structure,» NTNU, Trondheim, February, 2020.
- [28] Regjeringen, «Regjeringen.no,» [Internett].

## Vedlegg A – Beregning energiforbruk anleggsfase

$$\text{Energi fra solceller} = 1080 \frac{kWh}{kWp \cdot \text{år}} * 500 kWp$$

$$\text{Energi fra solceller} = 540\,000 \frac{kWh}{\text{år}}$$

$$* 1080 \frac{kWh}{kWp \cdot \text{år}} \text{ hentet fra energikonseptutredningen.}$$

\* 500 kWp er installert effekt.

$$\text{Tilgjengelig energi fra solceller} = \text{Energi fra solceller} - \text{Energi brukt på utstyr}$$

Energi brukt på utstyr:

|               | Batteri<br>[kWh] | Antall ganger<br>fulladet | kWh/år<br>nødvendig | 10 % sikkerhetsmargin |
|---------------|------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|
| Gravemaskin   | 100              | 150                       | 15000               |                       |
| Hjullaster    | 39               | 150                       | 5850                |                       |
| Beltdumper    | 39               | 125                       | 4875                |                       |
| Rivningsrobot | 37,5             | 100                       | 3750                |                       |
| Lift          | 4,8              | 100                       | 480                 |                       |
| Diverse       | 100              | 50                        | 5000                |                       |
| SUM           |                  |                           | 34955               | 38450,5               |

Kilde til antatt utstyr i rapporten:

| Type maskin          | Kilde                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Gravemaskin</b>   | brosjyre-zeron-ze85-a4.pdf (nasta.no)                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Hjullaster</b>    | brosjyre-zeron-ze85-a4.pdf (nasta.no)                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Beltdumper</b>    | Leie av kubota kc70vsl-4e - Rental Group                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Rivningsrobot</b> | <a href="https://rentalgroup.no/produkter/elektrisk-anleggsutstyr/brokk-100-rivningsrobot/">https://rentalgroup.no/produkter/elektrisk-anleggsutstyr/brokk-100-rivningsrobot/</a>                                                                                                                         |
| <b>Lift</b>          | <a href="https://storage.googleapis.com/rentalgroup-no.appspot.com/files/1ad341f0-6266-44d2-ab7f-abc356a040b6/00470d15-10a0-4c17-a903-095cb7cae67f.pdf">https://storage.googleapis.com/rentalgroup-no.appspot.com/files/1ad341f0-6266-44d2-ab7f-abc356a040b6/00470d15-10a0-4c17-a903-095cb7cae67f.pdf</a> |

$$\text{Tilgjengelig energi fra solceller} = 530\,000 \frac{kWh}{\text{år}} - 38\,450,5 \frac{kWh}{\text{år}} =$$

| Forbruk kWh                   |          |          |          |          |          |
|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                               | 2023     | 2024     | 2025     | 2026     | 2027     |
| Solproduksjon [kWh]           | 530000   | 528940   | 527882   | 526826   | 525773   |
| Anleggsmaskiner [kWh]         | 38450,5  | 36428,0  | 32595,8  | 27452,2  | 21676,2  |
| Elbil 50% [kWh]               | 0        | 71028,4  | 128551,4 | 186074,4 | 243597,4 |
| Elektrisk forbruk bolig [kWh] | 0        | 36525    | 73049    | 109574   | 146099   |
| Tilgjengelig                  | 491549,5 | 384958,6 | 293685,8 | 203725,4 | 114400,4 |
|                               | År 2023  | År 2024  | År 2025  | År 2026  | År 2027  |
| SUM                           | 491549,5 | 384958,6 | 293685,8 | 203725,4 | 114400,4 |

| Forbruk kWh |         |         |         |         |         |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|             | 2023    | 2024    | 2025    | 2026    | 2027    |
|             |         |         |         |         |         |
|             |         |         |         |         |         |
|             | År 2023 | År 2024 | År 2025 | År 2026 | År 2027 |
|             | 56,1    | 43,9    | 33,5    | 23,3    | 13,1    |

## 6 Vedlegg B – Forutsetninger for beregning av energiforbruk

Tabell 11 viser antagelser som ligger til grunn for forbruket på Tanberghøgda i de ulike fasene.

For anleggsfasen er det antatt at 100% av anleggsmaskinene blir brukt for hver oppstart av en ny fase med bebyggelse, for så å avta over de kommende årene. Altså antas det at det bygges for fullt i 2023 og at de første boligene står innflytningsklare med x antall kvadratmeter i 2024.

For bebyggelse av boligfeltet er data fra energiutredelsen av Tanberghøgda benyttet, med antagelsen om at bebyggelsen begynner to år senere (altså i 2024 og ikke 2022). I tillegg er det antatt at elektrisitet ikke dekker oppvarmingsbehovet, med unntak av i begynnelsen av fase 1.

For antall elbiler er det tatt utgangspunkt i tall fra masteren V2G, med en lineær økning for elbil flåte 1 og 2.

Tabell 11 viser antatt prosentandel av anleggsmaskiner i bruk, start/slutt for bebyggelse og antatt antall elbiler for de ulike fasene.

| Utbygging         | 2023 | 2024   | 2025   | 2026   | 2027   | 2028  | 2029   | 2030   | 2031   | 2032   |
|-------------------|------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Anlegg [%]        | 100  | 0,9474 | 0,8948 | 0,8422 | 0,7896 | 1     | 0,9474 | 0,8948 | 0,8422 | 0,7896 |
| Bolig Fase 1      |      | Start  |        |        |        |       |        | Slutt  |        |        |
| Bolig Fase 2      |      |        |        |        |        | Start |        |        |        |        |
| Bolig Fase 3      |      |        |        |        |        |       |        |        |        |        |
| Elbil flåte 1 [#] | 0    | 71     | 128,5  | 186    | 243,5  | 301   | 358,5  |        |        |        |
| Elbil flåte 2 [#] |      |        |        |        |        |       |        | 416    | 482    | 548    |

| Utbygging         | 2033  | 2034   | 2035   | 2036   | 2037   | 2038  | 2039   | 2040   | 2041   | 2042   |
|-------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Anlegg [%]        | 0,737 | 0,6844 | 0,6318 | 0,5792 | 0,5266 | 1     | 0,9474 | 0,8948 | 0,8422 | 0,7896 |
| Bolig Fase 1      |       |        |        |        |        |       |        | Slutt  |        |        |
| Bolig Fase 2      |       |        |        |        |        |       |        |        |        |        |
| Bolig Fase 3      |       |        |        |        |        | Start |        |        |        | Slutt  |
| Elbil flåte 1 [#] |       |        |        |        |        |       |        |        |        |        |
| Elbil flåte 2 [#] | 614   | 680    | 746    | 812    | 878    | 944   | 944    | 944    | 944    | 944    |

AUGUST 2022

# RAPPORT

## COWI TRY 2022

### ENERGISENTRALEN

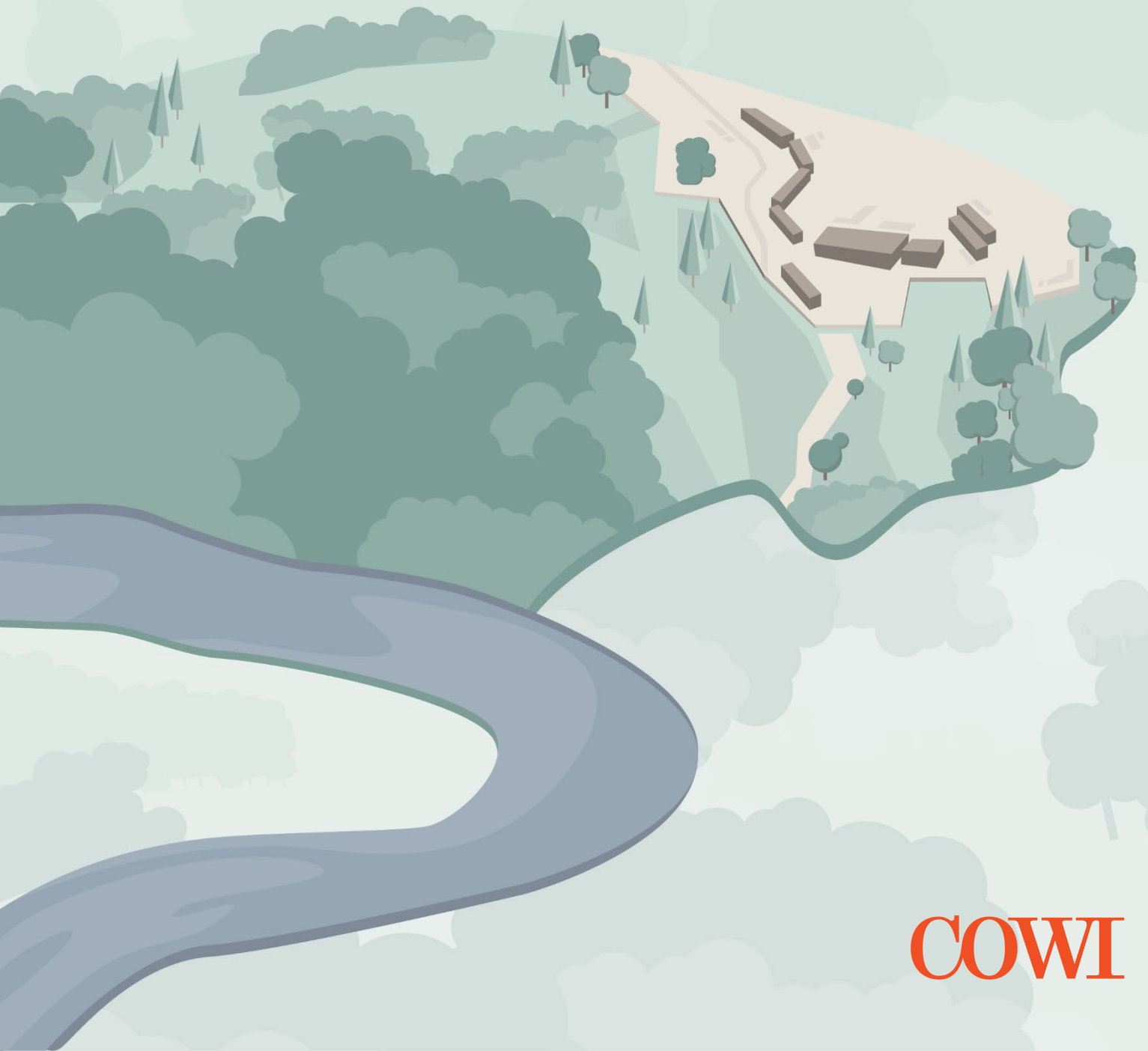
#### GRUPPE 5:

Thomas Tømte, UIA

Hallvard Hustoft, NTNU

Oliver Langfeldt Mikkelsen, NTNU

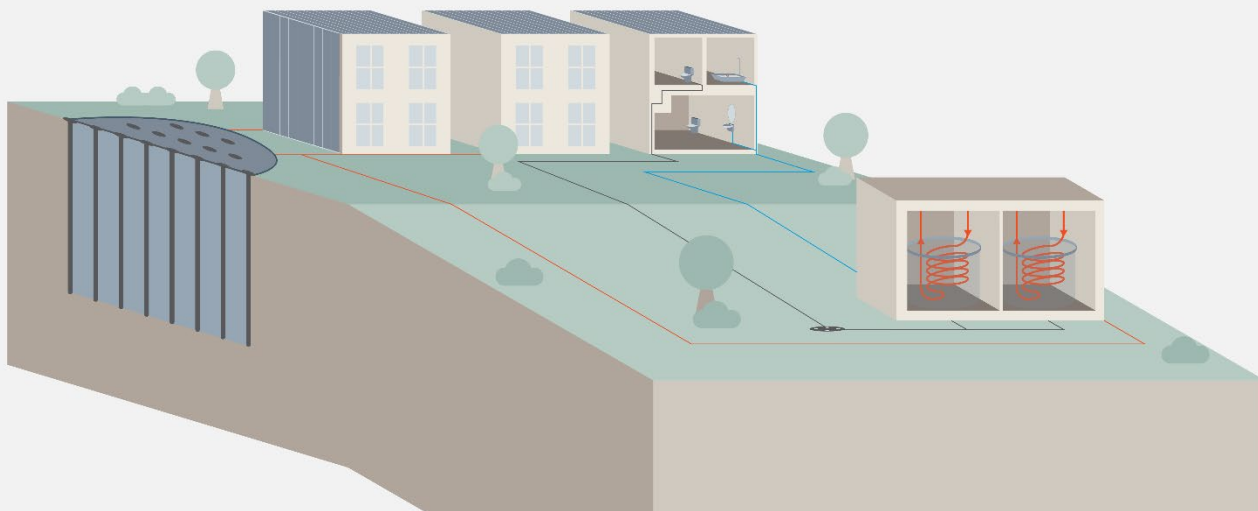
Varshan Erik Shankar, NTNU



# COWI

# INNHOOLD

|     |                                   |     |
|-----|-----------------------------------|-----|
| 1   | Innledning                        | 111 |
| 2   | Energisentralen                   | 112 |
| 3   | Forsyning til Energisentralen     | 114 |
| 3.1 | Energibrønner                     | 114 |
| 3.2 | Solfangere                        | 117 |
| 3.3 | Gråvanngjenvinning                | 119 |
| 3.4 | Legionellasikring                 | 120 |
| 4   | Sammensetting av energiløsningene | 122 |
| 5   | Kilder                            | 123 |



# 1 Innledning

Hver sommer gis COWI studenter med ulik faglig bakgrunn muligheten til å få et innblikk i hverdagen som rådgivende ingeniør. Gjennom det fem uker lange sommerjobbprogrammet COWI Try, har totalt 25 studenter fått være med på forskjellige prosjekter tilknyttet våre respektive fagfelt. Mens 70% av tiden har gått med til diverse prosjekter i ulike avdelinger, har 30% gått med til et felles innovasjonsprosjekt. Innovasjonsprosjektet, som har foregått på tvers av kontorlokasjoner, har hatt til hensikt å utvikle nyskapende løsninger sammen med andre studenter.

Med Fredrik W. Skarstein i spissen er det i år Fossen Utvikling AS som er hovedsamarbeidspartner for innovasjonsprosjektet – et klimaambisiøst og nyskapende selskap – perfekt for et innovativt studentprosjekt. Fossen Utvikling planlegger å bygge nærmere 600 boenheter på Tanberghøgda øst i Hønefoss. Boligprosjektet, som er det første CEEQUAL-sertifiserte boligprosjektet i Norge, inkluderer også en barnehage, felles gårdsplass, kjørevei, friområder, turdrag, hurtiglader og et bakkemontert solcelleanlegg.

De 25 COWI Try-deltakerene er fordelt på 6 grupper hvor hver gruppe er satt sammen av studenter med ulik studiebakgrunn. Mens noen grupper har satt søkelys på blant annet grønn mobilitet og gjenbruk av natures ressurser, har gruppe 5 fokusert på den planlagte *energisentralen* på Tanberghøgda. Arbeidet har gått ut på å undersøke hvordan den termiske energiløsningen til Tanberghøgda kan se ut, hvilke forsyningskilder som kan være aktuelle, og hvordan de kan implementeres.

## 2 Energisentralen

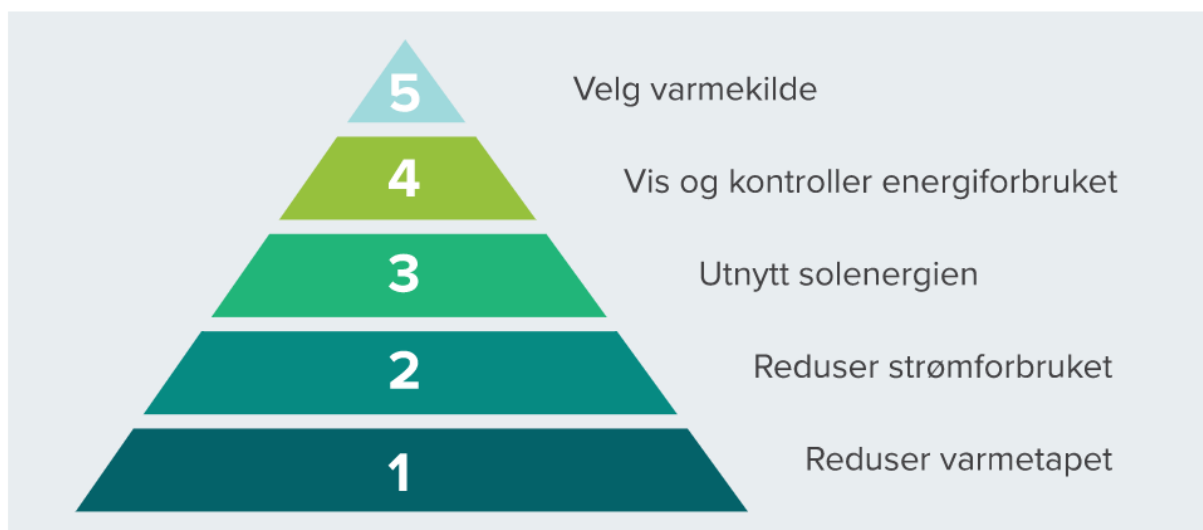
Det begynner å bli et kjent faktum at bygg står for ca. 40% av verdens klimagassutslipp. På grunn av Norges store fornybarandel fra vannkraft er tallet her lavere, men det betyr ikke at fokuset på utslipp fra bygg burde neglisjeres av den grunn. Med stadig stigende og mer volatile strømpriser vil det være gunstig å se til alternative oppvarmingsmetoder – ikke bare for å sikre forutsigbarhet i kostnader, men også for å unngå store påkjenninger i et stadig mer belastet strømnnett.

For å forsyne de nær 600 boligene med energi til romoppvarming og tappevann er det i Tandberghøgda planlagt en felles, termisk energisentral. Gjennom et lavtemperert distribusjonsnett skal det årlig leveres 2.500 MWh for å dekke boligenes energibehov. Energisentralen planlegges å ha en effekt på 1 MW (COWI, 2022). Alle boligene er planlagt med vannbåren varmedistribusjon i alle rom med unntak av soverom og ikke oppvarmede rom. Også varmtvannsberedning vil være påkoblet det vannbårne varmesystemet. Dette gir svært god fleksibilitet med tanke på valg av varmforsyningsløsning. Det er ventet at energisentralen skal kunne bygges i flere steg, i takt med de tre byggetrinnene. Disse momentene er lagt til grunn for det videre arbeidet.

I energikonseptutredningen er det beskrevet at energisentralen er tenkt forsynt fra enten fjernvarmeanlegget til Vardar Varme AS eller et lokalt nærvarmeanlegg fyrt med treflis eller trepellets. Dette valget er i utredningen basert på en rekke vektete kriterier. Å hevde at den foreslåtte løsningen ikke er den beste vil være ambisiøst, men for innovasjon-momentets del vil vi i denne rapporten utforske andre alternative løsninger som forsyningskilde til energisentralen.



(Fig1): Illustrasjon av energisentralen (Cowi).



(Fig2): Kyotopyramide (Nordisk Energikontroll AS)

Ved rehabilitering eller oppføring av bygg kan Kyoto-pyramiden gi en pekepinn på hvilke tiltak som burde treffes i hvilken rekkefølge for å sikre optimal energiutnyttelse. Pyramidens grunnmur handler om å minimere varmetapet. Dagens byggetekniske forskrifter stiller strenge krav til blant annet isolasjon og vil med det bidra til å nettopp redusere varmetapet. Isolasjon til tross, så vil det i de fleste bygg gå mengder med varme tapt gjennom for eksempel ventilasjon eller varmt gråvann – energi som med fordel kunne blitt gjenbrukt. Kyoto-pyramidens andre trinn handler om å minimere strømbehovet. Ved å gjøre som det er planlagt i Tandberghøgda, å bytte ut elektrisk oppvarming til fordel for vannbåren oppvarming, vil man kunne kutte strømbehovet betraktelig. Det tredje trinnet omhandler utnyttelse av solenergien.

I Tandberghøgda planlegges det for et bakkemontert solcelleanlegg, og i tillegg vurderes muligheten for solfangere. Disse tiltakene vil dekke det tredje punktet svært godt. Ved å tillate naturlig oppvarming fra solstrålene gjennom strategisk plasserte vindusflater vil man ytterligere kunne bidra til å utnytte solenergien. Det fjerde punktet på pyramiden handler om å vise og regulere energiforbruket. Ved å skape bevissthet rundt eget energiforbruk vil man enklere kunne regulere det og dermed senke det. Det er i energikonseptutredningen beskrevet hvordan hvert bygg vil være påkoblet distribusjonsnettet gjennom hver sin varmeveksler, og dermed forenkliggjøre muligheten for målinger og oppfølging av varmekonsumet. Den siste og øverste delen av Kyoto-pyramiden - selve selvrealiseringen i Maslows behovspyramide - tar for seg valg av varmekilde. Gjennom de neste kapitlene i denne rapporten vil vi beskrive hvordan vi ser for oss at varmeforsyningen i Tanberghøgda vil kunne se ut.

## 3 Forsyning til Energisentralen

Energisentralen vil fungere som et knutepunkt hvor man tilfører varme fra ulike forsyningselementer. Videre vil disse elementene gjennomgå i detalj og deretter beskrives hvordan de skal samhandle.

### 3.1 Energibrønner

En energibrønn er en enkel, relativt billig og stabil energikilde som benytter solvarmen som lagres i fjell, grunnvann og jord i form av termisk energi. Denne energien betegnes som lavtemperert varme og i likhet med luft-til-luft varmepumper benytter den varmen fra brønnen som blir løftet til en høyere grad vha. en varmepumpe. I brønnen ligger temperaturen rundt 5-30 °C og vil bli mer stabil jo lengre ned man borer. Energibrønner vil enten betegnes som åpen når grunnvann pumpes opp til varmepumpen, eller lukket systemer som vil være aktuell for Tanberghøgda hvor en frostvæske sirkulerer i U-rør som tilfører varmen til varmepumpen. Ved lukkede systemer benyttes etanol blandet med vann for å endre koke/fryse punktet. Energibrønner egner seg godt i Norge og lukkede systemer benyttes i størst grad til oppvarming av hus og vann i Norge. De geologiske forholdene som påvirker investeringskostnadene er; tykkelsen på løsmassen, temperatur i grunnen, Berggrunnens varmeledende egenskaper og grunnvannsnivået.

Når man borer gjennom løsmasse benyttes dyrere "Føringsrør"(ca. 550kr/m), deretter vanlig rør (150kr/m) (Drammen Eiendom KF, 2017). Temperaturen i grunnen er ca. 1-2 °C høyere enn årsmiddel lufttemperatur, noe avhengig av antall dager med snødekke. Berggrunnens varmeledningsevne varierer mellom 2 og 4,5 watt per meter Kelvin (W/m K) og er et mål på hvor godt berget leder varme inn til borehullet. Ved høy varmeledningsevne hentes varmen fra større områder og varmeuttak per boremeter er større. For kjøledrift er effektoverføringen høyere, typisk 90 Watt per meter aktivt borehull. Med aktivt borehull menes den delen av borehullet som er under grunnvannsspeilet. Grunnvannsnivået varierer med terrenget, og er i snitt 1-10 meter under terrengoverflaten, men kan lokalt være dypere som ved Tanberghøgda (>20m). Områdets grunnvannsbevegelse kan i spesielle tilfeller ha betydning for energiuttaket fra energibrønnen (Norges geologiske undersøkelse, 2021).

#### 3.1.1 Brønnparker

En brønnpark er et større anlegg av mange energibrønner som henter opp grunnvarme til større bygg. Antall brønnparker i Norge er sterkt økende. Det er registrert over 900 brønnparker i den nasjonale grunnvannsdatabasen, GRANADA.

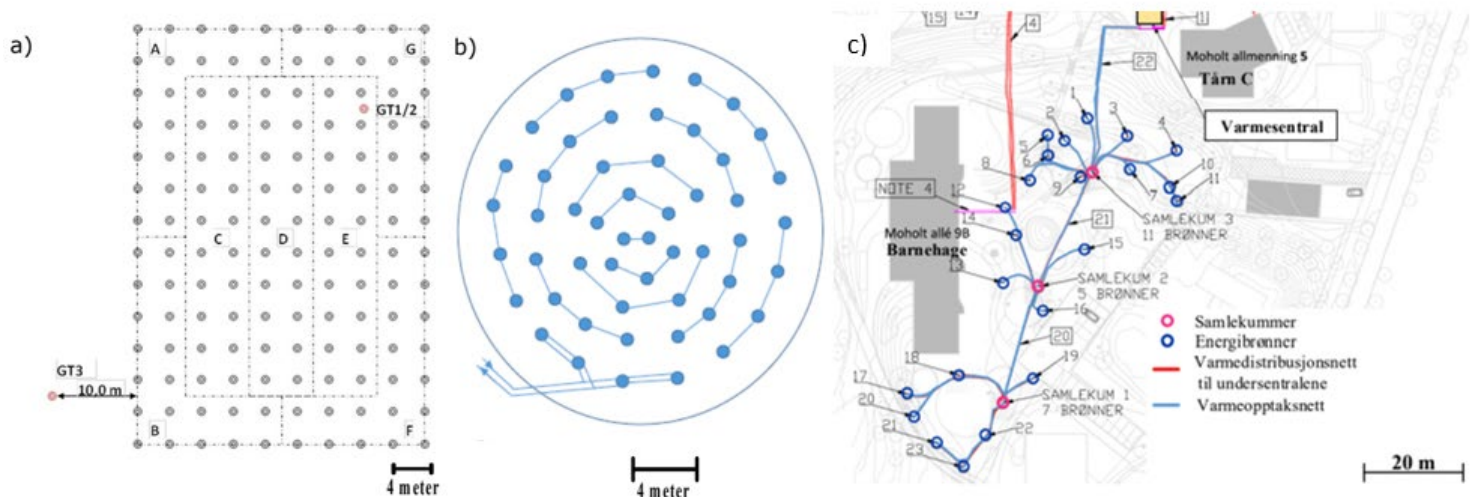
Ideen med en brønnpark er veldig enkel. Det bores flere energibrønner som vanligvis er 160-300m dype. Disse kobles sammen i et lukket system som kobles direkte på distribusjonsnett (frikjøling) eller via en varmepumpe som løfter temperaturen. Som regel bygges brønnparken i nærheten av bygningsmassen, på et jorde, under plener eller under parkeringsplasser. Ved nybygg kan energibrønnene etableres under selve bygningsmassen. I Oslo-området, hvor de fleste brønnparker er etablert, synker temperaturen i fjellet i løpet av vintersesongen fra rundt 8 grader til 2-3 grader på våren. Det vil si at temperaturen på «lageret» er på det kaldeste når det oppstår behov for kjøling. Energibrønnene kan da brukes for å kjøle ventilasjonsluften via en varmeveksler uten at det brukes energi fra en kjølemaskin. Dette kalles frikjøling. Energien fra brønnene sirkuleres i bygget, og brønnparken fungerer som varmesluk ved at de opptar varme fra bygningen.

I løpet av kjølesesongen stiger temperaturen i brønnparken. I mindre anlegg stiger også temperaturen fordi grunnvann sirkulerer inn blant brønnene. Når behovet for oppvarming melder seg om høsten, kan ofte varmekilden ligge betydelig over årsmiddeltemperaturen. For hver grad temperaturen i varmekilden øker, stiger effektfaktoren med rundt fire prosent. Effektfaktoren (COP – Coefficient Of Performance) er forholdet mellom energiutbyttet og strømforbruket. Det koster betydelig å etablere en energipark med et stort antall brønner, men slike anlegg er lønnsomme selv uten kjølebehov. Billig oppvarming og kjøling kombinert med stigende energipriser gjør at tilbakebetalingstiden sammenliknet med direkte strøm er på fem til ti år (Norges geologiske undersøkelse, 2021).

### 3.1.2 Borehullkonfigurasjon

Ved å benytte en brønnpark til termisk energilagring bør man undersøke og simulere hvilken konfigurasjon man ønsker. Fra analysen av montert anlegg Moholt 50|50 (vist i fig 3 c)) fremheves det at man bør benytte andre konfigurasjoner som rektangulære (fig 3 a)) eller sylindriske (fig 3 b)) konfigurasjoner. Ved å benytte simuleringsverktøyet Earth Energy Designer (EED) eller lignende kan man finne best mulig konfigurasjon.

Kompakte borehullkonfigurasjoner med firkantet som det termiske energilageret i Emmaboda eller sylindrisk form, som det termiske energilageret Geotermos i Drammen, vil ha en større termisk lagringseffektivitet med lavere varmetap, og vil derfor være gode termiske energilagere. Med en sekskantet eller sylindrisk konfigurasjon vil overflateareal-til-volum forhold reduseres og varmetapene til omkringliggende fjell vil minimeres, da rekkene i større grad er lukket (Skarphagen et al., 2019).



(Fig3: Borehullkonfigurasjonen til a) det termiske energilageret i Emmaboda i Sverige (redigert) (Nordell et al., 2015), b) det termiske energilageret Geotermos i prosjektet Fjell 2020 i Drammen (redigert) (Ramstad, 2017)) c) det termiske energilageret ved Moholt 50|50 (redigert) (AF Gruppen, 2015).

En mer kompakt borehullkonfigurasjon ved brønnparken for det termiske energisystemet ved Moholt 50|50 ville høyst sannsynlig gi et lavere varmetap til omkringliggende fjell og gi en høyere lagringseffektivitet.

Brønnparken for det termiske energisystemet ved Moholt 50|50 er et lavtemperatur termisk energilager med en relativt lav temperaturforskjell mellom energilageret og omkringliggende fjell (Meisler, 2020). En lav temperaturforskjell mellom omkringliggende fjell og det termiske energilageret gir et mindre varmetap fra brønnparken (Ramstad, 2017). Varmetilførsel fra omkringliggende fjell til brønnparken oppstår når temperaturen i brønnparken er lavere enn temperaturen for omkringliggende fjell.

Brønnparkkonfigurasjoner med stort volum vil ha et større termisk energilager, og resulterende lavt relativt varmetap (Stene, 2018).

### 3.1.3 Sesonglagring og Lading

Emmaboda, GeoTermos mm. fungerer som sesonglagring av energi. Dette kalles Borehole Thermal Energy Storage (BTES). Etter det er montert en BTES må man tilføre energi for å "lade opp" brønnen til en gitt ønsket temperatur. Dette kan for eksempel gjøres ved å sende varme fra solfangere, gråvannsgjenvinning eller andre varmeprodusenter. Ved GeoTermos anlegget benyttes solfangere og en CO<sub>2</sub>-Varmepumpe. Det kan ta 2-3 år å lade opp en brønn til ønsket driftstemperatur. Ved Tanberghøgda vil man kunne lade brønnen mens man opparbeider boligområdet.

Det finnes også analyser som baserer seg på simulerte store BTES i størrelsesorden GWh, der man ser en betydelig økning av COP og SCOP ved "Nightboosting" som vil si at man benytter lave energipriser om natten til å kortidslagre termisk energi til bruk i effektopptidsrommene (Schmidt, 2020). Det er ønskelig med høyest mulig SCOP/COP. Og det finnes BTES systemer som oppnår høy SCOP/COP som minker driftskostnadene betraktelig.

### 3.1.4 Elektrisk boring

En av utfordringene til energibrønner er at det krever mye energi å bore selve brønnen. Energibrønner kan betegnes som lavkarbon energiløsninger, og mye av grunnen til det ikke er nullutslipp er fordi de tradisjonelt bores med rigger som er dieseldrevet. Det kommer flere løsninger på denne utfordring hvor anleggsmaskiner har blitt elektriske og det finnes også elektriske løsninger for boring (Eriksen, 2020), men mangel på kompetanse gjør at det ikke kan sies med sikkerhet at energibrønnen på Tanberghøgda kan bores elektrisk i nær fremtid. Det anses som viktig at det settes lys på å utarbeide løsninger for elektrisk boring som gjør energibrønner til en fullverdig nullutslippenergiløsning.

## 3.2 Solfangere

Til forskjell fra solceller, som omdanner solenergien til elektrisitet, omdanner solfangere energien fra solstrålene til varme. I sin enkleste form består et solfangeranlegg av en solfanger, en pumpe og et rør fylt med et varmebærende medium, typisk vann eller en blanding av vann og glykol. Solfangeren har til hensikt å absorbere så mye av energien fra solstrålene som mulig for deretter å overføre den til det varmebærende mediet som sirkulerer i rørsystemet. For å bedre kunne utnytte solenergien, også når det ikke er sol, har de fleste solfangeranlegg en akkumulatortank. Akkumulatortanken fungerer som et batteri og lagrer varmt vann til senere bruk. Det varme vannet kan brukes enten til oppvarming av tappevann og/eller til romoppvarming i form av vannbåren gulvvarme eller radiatorer (Norsk solenergiforening, 2022). Sammenlignet med solceller har solfangere en langt høyere virkningsgrad – fra 50-70% mot de kommersielle solcellenes 15-22%. I bygg med høyt forbruk av varmt tappevann, eller i bygg med vannbårent varmesystem vil solfangere derfor kunne være en langt bedre investering. Et typisk solfangeranlegg vil kunne gi mellom 200-500 kWh/m<sup>2</sup> (Norsk solenergiforening, 2022).



(Fig 4): Bilde av solfanger på fasade (Inaventa Solar).

I likhet med solceller, kan solfangere monteres både på tak, integrert i fasaden eller i et bakkemontert anlegg. Fasadeintegrerte solfangere ser ikke bare glatte, sorte og stilrene ut, de kan også erstatte kledning, noe som er viktig å huske på i det totale regnestykket. I trykkløse solfangeranlegg er det viktig at solfangerne er montert med en viss vinkel. Dette er for at arbeidsmediet kan dreneres gjennom systemet på tiltenkt måte.

Med bakgrunn i Tanbergshøgda's store varmebehov vil det kunne være svært gunstig å ta i bruk solfangere. I kombinasjon med det bakkemonterte solcelleanlegget, vil man ved å integrere solfangere i fasaden på bygg med mye solinnstråling utnytte enda mer av solenergien. Det er tenkt at energien fra solfangerne vil kunne utnyttes på flere måter. Ett alternativ er å bruke energien lokalt i byggene til romoppvarming og tappevannsoppvarming og dermed redusere behovet fra energisentralen. Et annet alternativ vil være å bruke energien til lading av energibrønnene. Et eksempel er DLSC i Canada hvor et anlegg på 2293 m<sup>2</sup> solfangere samler inn ca. 1 200 MWh i året som enten går direkte til oppvarming av rom og varmtvann, eller blir sendt ned i en energibrønn ved overskudd for lagring. Med denne metoden har de oppnådd i 2015-2016 at hele boligfeltet ble drevet 100% av solfangerene når man henter opp energi fra brønnen på dagene uten sol. Da ble det totalt produsert 1211 MWh, hvor 740 MWh ble sendt ned i brønnen for lagring (Mesquita, 2017).

Bare et steinkast fra Tanberghøgda ligger Jevnaker hvor Inaventa Solar har fabrikk. Inaventa Solar er en norsk solenergibedrift som har spesialisert seg på produksjon av solfangere og tilbyr et grønt produkt som er enkelt å tilpasse. Ved å benytte seg av deres produkter vil man få en svært kortreist løsning som igjen bidrar ytterligere til å redusere utslipp.

Det finnes lite tilgjengelig informasjon på nøyaktig hvordan byggene i Tanberghøgda kommer til å se ut. Det er derfor vanskelig å gi et nøyaktig estimat på energiproduksjonen fra et eventuelt solfangeranlegg. Vi har likevel forsøkt å gi et grovt anslag på hvor mye energi det er mulig å hente ut ved ulike arealstørrelser. Solcelle-programvaren PVsyst 7.2 har blitt brukt til å finne spesifikke ytelse [kWh/kWp/år] ved ulike orienteringer. Disse spesifikke ytelsene har så blitt skalert med en tommelfinger-faktor på 3 for å ligne på typiske solfangere. Værdata og geografisk lokasjon for Tanberghøgda er lagt til grunn i simuleringene.

Resultatet fra simuleringene:

| Himmelretning | Vinkel | Energiproduksjon                 |
|---------------|--------|----------------------------------|
| <b>Øst</b>    | 90°    | 353.6 kWh/m <sup>2</sup> per år  |
| <b>Sør</b>    | 90°    | 509.7 kWh/m <sup>2</sup> per år  |
| <b>Vest</b>   | 90°    | 366.5 kWh/m <sup>2</sup> per år  |
| <b>Sør</b>    | 30°    | 634.4 kWh/m <sup>2</sup> per år  |
| <b>Sør</b>    | 0°     | 490.65 kWh/m <sup>2</sup> per år |

Ved hjelp av disse simuleringene og data fra boken "Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer" ble det regnet ut et estimat på hvor mye som kan produseres basert på bygningene som skal plasseres på Tanberghøgda. Grunnet høyest produksjon ved sørvendte paneler er det kun disse som har blitt tatt i bruk ved beregninger av resultatet nedenfor.

Resultatene for Tanberghøgda:

|                               | Areal m/panel       | Estimert energiproduksjon | Dekning av energibehov |
|-------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------|
| <b>Fase 1 m/0° solfangere</b> | 706 m <sup>2</sup>  | 346.4 MW/år               | 17%                    |
| <b>Fase 2 m/0° solfangere</b> | 2190 m <sup>2</sup> | 1 074.5 MW/år             | 52%                    |
| <b>Fase 3 m/0° solfangere</b> | 240 m <sup>2</sup>  | 117.8 MW/år               | 6%                     |

Total produksjon:

|                                     | Areal m/panel | Estimert produksjon |
|-------------------------------------|---------------|---------------------|
| <b>Total produksjon: m/0° panel</b> | 3000          | 1 539 MW/år         |
| <b>Total produksjon m/90° panel</b> | 3000          | 1 529 MW/år         |

Merk at arealene brukt i beregningene ovenfor kun er et estimat og vil variere veldig i realiteten. Ved beregninger av produksjon i fase 3 med 90° solfangere ble det estimert et fasadeareal på 3000m<sup>2</sup>. En annen viktig faktor som påvirker resultatene er forskjellen mellom 0° og 30° vinkel, ved å endre alle solfangere som står i 0° til 30° kan man ifølge simuleringene øke produksjon med 29%.

Basert på resultatene vil solfangere dekke det totale energibehovet. Likevel er det viktig å tenke på at det er flere faktorer som spiller inn som ikke har blitt kalkulert inn i dette resultatet. Temperaturen på vannet som kommer inn i solfangerne, skygge fra bygninger og terreng, reelle værforhold, støvforhold, reel absorberingsareal osv. vil ha større innvirkninger på effekten som kommer ut av solfangeren.

Produksjon fra solfangere i Norge vil i likhet med solceller være høyest i sommermånedene, og tilnærmet 0 i desember og januar. Ved bruk av både takmonterte og fasedemonterte solfangere vil det være mulig å dekke større deler av sesongene, da takmonterte gir høyere produksjon i sommermånedene, men fasademonterte vil absorbere den lavere solinnstrålingen på høsten og våren mer effektivt. På vinteren vil solfangere plassert på fasade unngå problemer med tildekking av snø, samtidig som den vil kunne få et ekstra energibidrag fra solstrålene reflektert i snøen.

### 3.3 Gråvannsgjenvinning

En stor fordel med gråvannsgjenvinning er at det er en forutsigbar og sikker energikilde. Det er like mye gråvann på vinteren som det er om sommeren.

For at gråvannsgjenvinning skal være en lønnsom investering bør det være et forbruk som resulterer i minst 7000-8000 l gråvann i døgnet. Forventet mengde gråvann i Tanberghøgda vil ligge godt over denne grensen, om man antar at hver person har et vannforbruk på 160 l/døgn. En masteroppgave fra OSLOMET estimerte at 69 % av vannforbruket i en boligblokk var gråvann, for Tanberghøgda vil det si 110 l/person/døgn (Øvrevik, 2018).

For å best utnytte den tilgjengelige energien i gråvannet og solvarmen, er en seriekobling der gråvannsgjenvinneren kommer først og solfangeren etterpå det beste alternativet. Det er fordi temperaturen på gråvannet vil være lavere enn temperaturen en kan oppnå i solfangeren.

Moholt 50|50 har nylig fått installert en gråvannsgjenvinner. Der er det lagt egne rør inni selve avløpsrøret og varme tas opp på denne måten. Gråvannsgjenvinneren ved Moholt leverer rundt 175 MWh årlig, fra om lag 630 boenheter og et vaskeri.

For god energiutnyttelse vil en løsning som involverer akkumulatortank være det beste alternativet. Da unngår man problemer med intervallmessig strømming av avløpsvann og gråvannet ligger i varmeoverføringssonen over en lengre tidsperiode. En akkumulatortank for gråvannet er også fordelaktig når det oppstår forsinkelser mellom behov og tilgjengeligheten på gråvann. Virkningsgraden for et slikt system ligger typisk mellom 40-60 %. Ulempen med akkumulatortank er litt ekstra vedlikehold og en høyere investeringskostnad. Den ekstra investeringskostnaden er på grunn av akkumulatortanken, sirkulasjonspumper og et styringssystem. Det trengs også ekstra rørføringer da man må skille gråvann og sortvann. Et separat rørsystem vil også legge til rette for fremtidige kombinasjonsløsninger, der for eksempel gråvannet renses og brukes til utendørs vanning. Det bør også ordnes en bypass forbi gråvannsgjenvinneren om temperaturen på mediet fra brønnparken er høyere enn avløpsvannet. Da hindrer man unødvendig tap av energi.

### Regneeksempel

Antagelser:

- > 400 boenheter
- > 3 personer per bolig
- > Gråvannsforbruk: 110 l/person/døgn
- > Temperatur kaldtvann: 7 °C
- > Temperatur gråvann: 25 °C (15-35 °C)
- > Virkningsgrad gjenvinner: 50 % (40-60 %, gjenvinner med akkumulatortank)
- > Massetetthet vann: 1000 kg/m<sup>3</sup>
- > Varmekapasitet vann: 4,2 kJ/kg · °C

Velger å se på tilgjengelig energi for et helt år, for et gråvannssystem med akkumulatortank.

$$E = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T \cdot \eta$$

$$V = (400 \cdot 3) \text{ pers} \cdot \frac{110 \frac{\text{l}}{\text{pers}}}{\text{døgn}} \cdot \frac{1}{1000} \frac{\text{m}^3}{\text{l}} \cdot 365 \frac{\text{døgn}}{\text{år}} = 48\,180 \frac{\text{m}^3}{\text{år}}$$

$$E = 48\,180 \frac{\text{m}^3}{\text{år}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (25 - 7) ^\circ\text{C} \cdot 0,50$$

$$E = 1\,821\,204\,000 \text{ kJ} = \mathbf{505\,890 \text{ kWh}}$$

Med antagelsene gjort anslås det at man vil ha rundt 500 MWh varme tilgjengelig for gjenvinning fra gråvannet.

## 3.4 Legionellasikring

En form for legionellasikring vil kunne senke nødvendig beredertemperatur, og en kan tillate seg å ha så lavt som 50 °C på vannet i berederen.

En høyere beredertemperatur har følgende fordeler og ulemper:

Fordeler:

- > Økt akkumuleringskapasitet som gjør at en kan klare seg med en mindre bereder

- > Lavere installasjonskostnader dersom man velger en mindre bereder
- > Mindre plasskrevende pga. mindre bereder
- > Økt sikkerhet mtp. legionella
- > Mulighet for hettvannskurs

Ulemper:

- > Mer varmetap (forutsatt samme berederstørrelse)
- > Krever blandeventil
- > Ekskluderer lavtempererte energikilder eller redusert besparelse dersom de brukes til forvarming av tappevann fordi mer (elektrisk) energi går til ettervarming (spisslast)
- > Redusert levetid for bereder
- > Kan ikke ha PEX-rør direkte til tank (plast)

## 4 Sammensetting av energiløsningene

Energiløsningen for oppvarming av bygg samt varmtvann Tanberghøgda består av en energisentral som forsyner samtlige bygg. Videre vil varmen fra solfangere samt gråvannsgjenvinning forsyne sentralen som fordeler det ut til boligene. Ved mangel på solvarme vil BTESen tilføre varmen som trengs for å dekke varmebehovet, mens gråvann anses som kontinuerlig bidrar i sentralen. Ved overskudd av varme fra solfangere eller gråvannsgjenvinning blir dette sendt ned i BTESen og lagret til senere bruk. Målet med sammensetningen er at det ikke trengs elkjel eller lignende til spisslast og at BTESen kan tilføre tilstrekkelig med varme gjennom hele året, samt at brønnparken forblir i balanse slik at den kan anses som evigvarende.

## 5 Kilder

AF Gruppen, 2015a. Energibrønner og rørrnett ved Moholt 50—50.

COWI. (2022, 31. Januar). *Energi- og klimakonsept for Tanberghøgda. (Internt)*

Drammen Eiendom KF. (2017, 10. Oktober) *Sluttrapport Fjell2020 konseptutredning miljøløsninger.*

Eriksen, K. (2020, 28. August). Den første batteridrevne boreriggen i verden. *Anlegg & Transport*. <https://www.at.no/anlegg/491020>

Mesquita, L., McClenahan, D., Thornton, J., Carriere, J., Wong, B. (2017). *Drake Landing Solar Community: 10 Years of Operation*. <https://www.dlsc.ca/reports/swc2017-0033-Mesquita.pdf>

Meisler, A. (2020). *Analyse av termisk energiforsyning ved Moholt 50|50* [Masteroppgave]. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Norges geologiske undersøkelse. (2021, 24. august). *Energibrønn*. <https://www.ngu.no/grunnvanninorge/bore-en-bronn/energibrønn>

Nordell, B., Andersson, O., Rydell, L., Liuzzo-scorpo, A., 2015. Long-term Performance of the HT-BTES in Emmaboda, Sweden. URL <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1005848/FULLTEXT01.pdf>.

Norsk solenergiforening. (2022). *Solfangere*. <https://www.solenergi.no/solvarme>

Ramstad, R. K., 2017. Drammen Eiendom KF, Sluttrapport Fjell2020 konseptutredning miljøløsninger. Tech. rep., Asplan Viak.

Stene, J., 2018. Varmekilder for varmepumper. TEP4260 Varmepumper for bygningsklimatisering.

Skarphagen, H., Banks, D., Frengstad, B. S., Gether, H., 4 2019. Design Considerations for Borehole Thermal Energy Storage (BTES): A Review with Emphasis on Convective Heat Transfer. *Geofluids* 2019, 1–26.)

Schmidt, F. (2020). *Large scale heat storage for district heating* [Masteroppgave]. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Øvrevik, O. S. (2018). *Fra gråvann til varmtvann* [Masteroppgave]. OSLOMET.

AUGUST 2022

# RAPPORT

## COWI TRY 2022

### GJENBRUK AV OVERSKUDDSRESSURSER PÅ TANBERGHØGDA

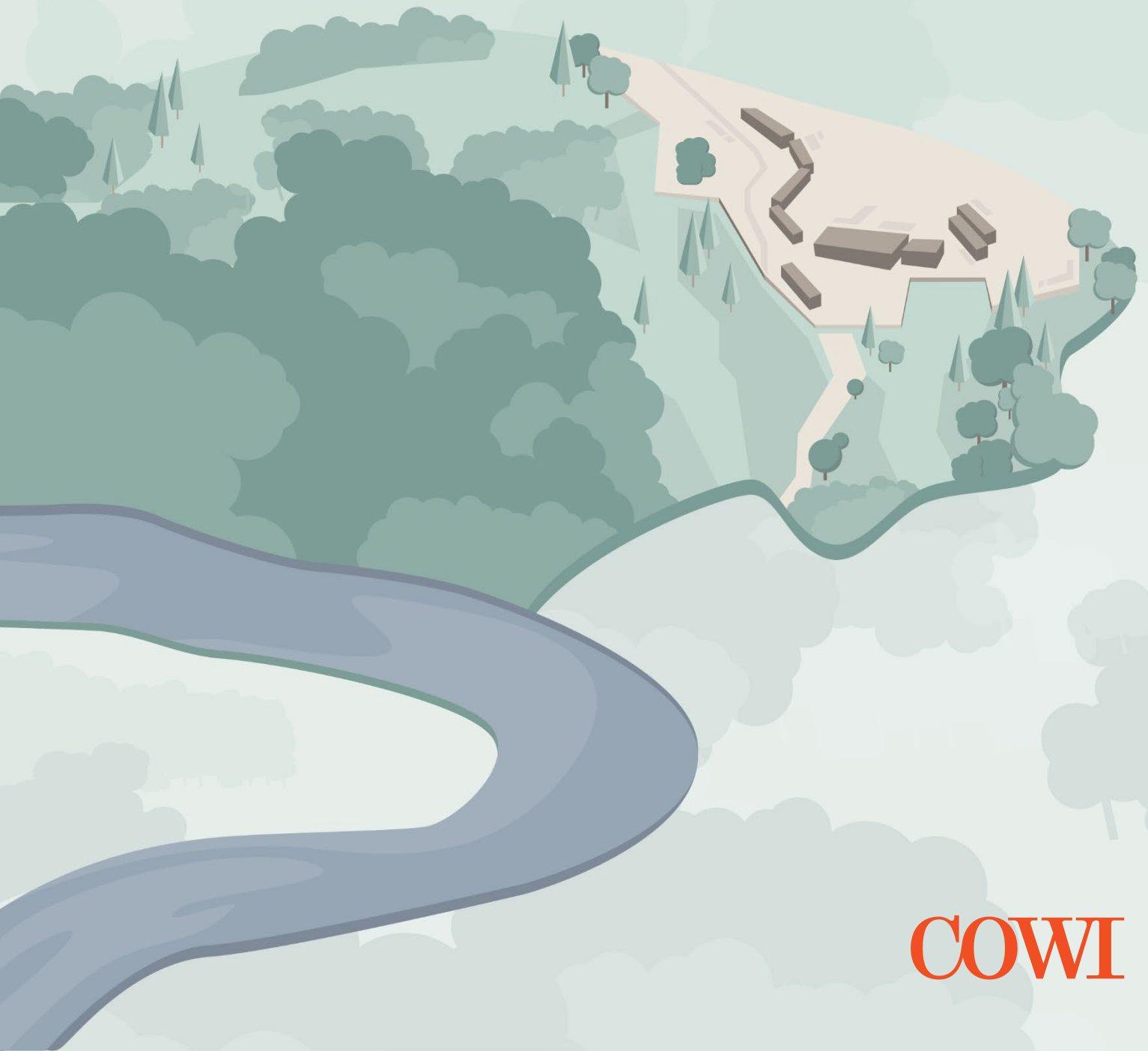
#### GRUPPE 6:

Emilie Østmo, NTNU

Ina Kjelland, NTNU

Eirik Smith Eide, Oslo Met

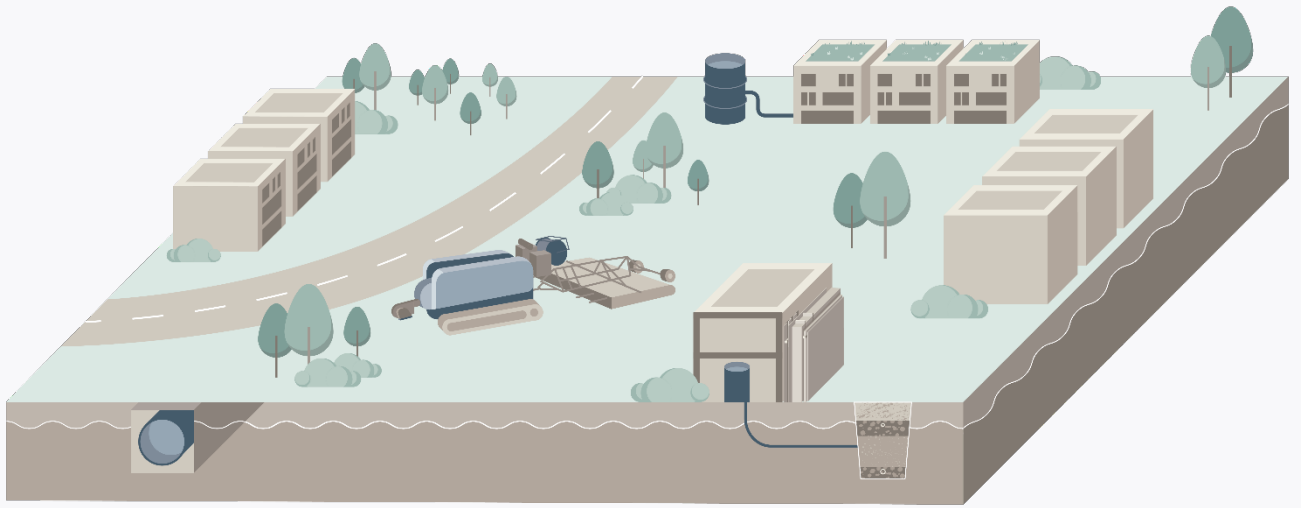
Une Skogen, Oslo Met



COWI

# INNHOOLD

|     |                                                       |     |
|-----|-------------------------------------------------------|-----|
| 1   | Innledning                                            | 126 |
| 1.1 | Bakgrunn og målsetting                                | 126 |
| 1.2 | Tanberghøgda                                          | 127 |
| 1.3 | Oppbygging av rapporten                               | 127 |
| 2   | Trær                                                  | 128 |
| 2.1 | Ide 1: Lignin som alternativ til bitumen              | 128 |
| 2.2 | Ide 2: Celluloseisolasjon                             | 129 |
| 2.3 | Ide 3: Bjørkenever                                    | 130 |
| 2.4 | Ide 4: Biokull                                        | 131 |
| 3   | Overskuddsmasser                                      | 132 |
| 3.1 | Ide 5: Ressursbank                                    | 132 |
| 3.2 | Ide 6: Tilslag og fyllmasser                          | 132 |
| 3.3 | Ide 7: Prefabrikkerte elementer av leire og halm      | 133 |
| 3.4 | Ide 8: Sandfilter for rensing av gråvann              | 134 |
| 3.5 | Ide 9: Foredle utgravd jord ved bruk av dampteknologi | 135 |
| 3.6 | Ide 10: Gjenbruk av jord til blågrønne tak            | 136 |
| 4   | Vann                                                  | 137 |
| 4.1 | Ide 11: Gjenbruk av gråvann                           | 137 |
| 4.2 | Ide 12: Kretsløpsteknologi                            | 138 |
| 5   | Konklusjon                                            | 140 |
| 6   | Referanser                                            | 141 |



# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn og målsetting

Rapporten er ment for å gi innspill og inspirasjon til å løse følgende problem:

- 1 Hvordan kan Tanberghøgda brukes som et testområde for sirkulærøkonomi og gjenbruk? Spesielt med tanke på ressursene som finnes på stedet i dag, som for eksempel jord og trær.
- 2 Hvordan kan overskuddsmassene fra Tanberghøgda som infrastrukturprosjekt upcycles og brukes som tilslag andre steder?
- 3 Hvordan kan vann (overvann, gråvann og eventuelt svartvann) brukes og gjenbrukes på en mer energi- og klimavennlig måte i samspill med biologisk mangfold, blågrønne strukturer og/eller drift av boligene?

Rapporten legger vekt på punkt 2 og 3. Tanken er at ved å løse disse punktene på en god måte, vil rapporten også svare på punkt 1. Dermed vil Tanberghøgda bli et testområde for sirkulærøkonomi og gjenbruk, selv om det ikke er laget en egen strategi for dette. Gruppen har som mål å unngå og frakte vekk overskuddsmateriale og teste ut hvordan materialer kan inngå i et kretsløp. Videre i rapporten har vi derfor kommet med forslag til hvordan ressursene kan gjenbrukes på Tanberghøgda.

Det er allerede presentert mange gode ideer, blant annet i Energikonseptutredningen som COWI har gjennomført, og i tidligere masteroppgaver. Det vil derfor i denne rapporten legges frem ideer som ikke ser ut til å være presentert i prosjektet tidligere.

Ideene kan bidra til at Tanberghøgda får en høyere score på sin CEEQUAL-sertifisering. CEEQUAL er anleggs- og infrastrukturbransjens svar på BREEAM, og brukes som et verktøy for å måle og fremme bærekraftigheten av anleggsprosjekter (Grønn Byggallianse, u.å.).

## 1.2 Tanberghøgda

Tanberghøgda skal bebygges med 600 boliger og tilhørende infrastruktur. Området skal være et attraktivt boligområde for familier i etableringsfasen, og det er planlagt å bygge ny barnehage, samt et felles uteområde for boligene som skal være tilpasset barn.

På Tanberghøgda er det ulike ressurser som gruppen ønsker å gjenbruke. På området er det mye bjørk, samt avfall i form av røtter og stammer fra Hertz-gran som allerede er kuttet ned. Løsmassekart av Tanberghøgda viser at grunnen består av områder hvor sand og grus dominerer. Flere steder er det også store forekomster av leir og silt (NGU, u.å.). Med 600 fremtidige boliger blir det også aktuelt å se på løsninger for grå- og svartvann, som kan utnyttes på en mer bærekraftig og effektiv måte enn i dag.

## 1.3 Oppbygging av rapporten

Det vil i denne rapporten presenteres ideer for tre ulike kategorier av overskuddsmaterialer som vil bli aktuelle i ulike faser av prosjektet. Disse tre kategoriene er tre, jord og vann. Ideene blir derfor presentert i tre kapitler, ett for hvert materiale. Forslagene er ment som en idebank til inspirasjon. Ved eventuell gjennomføring av ideene må det planlegges for når i byggeprosessen det blir tilgang på, og bruk for, de ulike materialene.

## 2 Trær

Det er en del trær som skal eller har blitt kuttet ned på Tanberghøgda. Ideen om å kompostere haugen med treavfall som ligger på området til matjord, har allerede blitt foreslått tidligere i prosessen. Dette er en ideell løsning når det kommer til å unngå transport og oppnå massebalanse. Det burde tas med i vurderingen at de kjemiske prosessene knyttet til kompost, hvor det er kontakt med oksygen, gjør at det slippes ut CO<sub>2</sub> og metan i atmosfæren. Det antas likevel at disse utslippene vil være lavere enn ved transport og eventuell forbrenning av treavfallet. Det vil i dette kapittelet presenteres andre ideer til bruk av trærne.

### 2.1 Ide 1: Lignin som alternativ til bitumen

På Tanberghøgda skal det bygges adkomstveier, og det trengs asfalt. I Norge er asfalt laget av 94-95% steinmaterialer og 5-6% bitumiøst bindemiddel, som i utgangspunktet er bitumen (Statens Vegvesen, u.å.). Bitumen er en gruppe hydrokarboner som hovedsakelig blir fremstilt ved raffinering av råolje, men finnes også i andre naturlige forekomster (Ruud, 2021). Bitumen er en ikke-fornybar ressurs forbundet med høye klimagassutslipp, og det er derfor forsket på muligheter for å bruke andre bindemidler i asfalten.

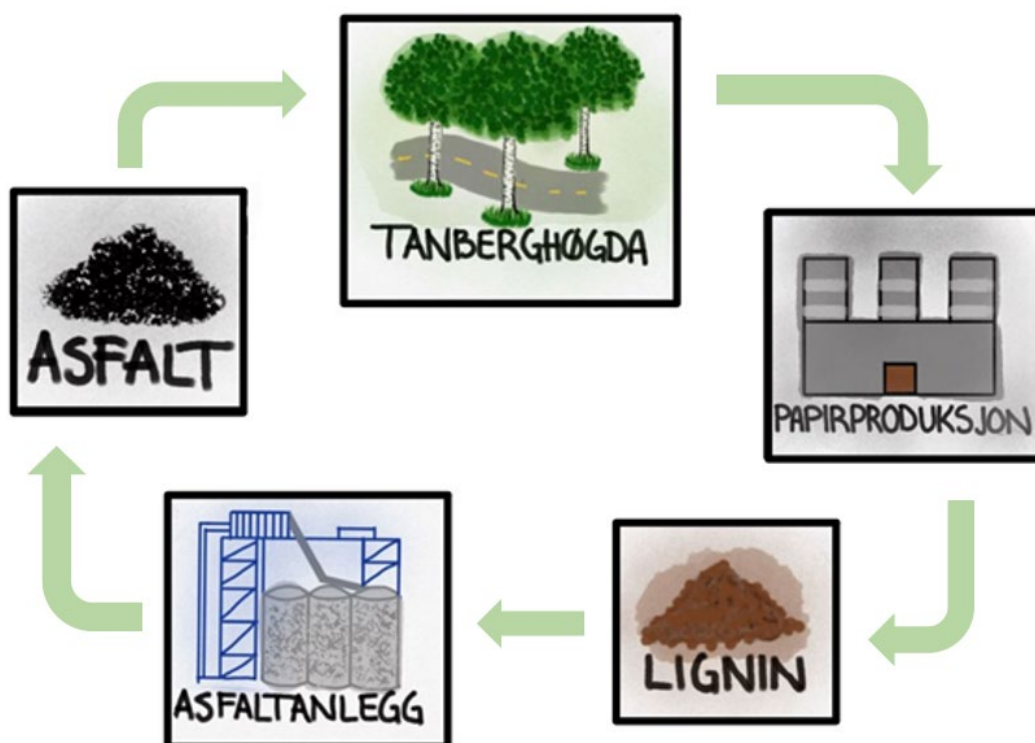
Gruppen har sett på et alternativt bindemiddel, kalt lignin, som er et reststoff fra papirproduksjon. På Tanberghøgda er det en del bjørk. Bjørk har flere ulike bruksområder, og kan blant annet brukes til papirproduksjon. Når det produseres papir dannes det ulike restprodukter, blant annet svartlut. Ut fra svartluten kan det ekstraheres lignin, som har flere av de samme egenskapene som bitumen. Fordelen med lignin er at det er en fornybar ressurs, og mer miljøvennlig enn bitumen.

Å bruke lignin istedenfor bitumen er testet ut i flere veiprosjekter, blant annet et av NCC sine. De anslo at å bruke lignin til fordel for bitumen i sitt prosjekt ga en reduksjon av CO<sub>2</sub>-utslipp på opptil 20%. Dette vil kunne redusere klimagassbudsjettet til Tanberghøgda betraktelig, da det har blitt anslått i tidlig fase-LCA at asfalt vil stå for 87% av utslippene fra veikonstruksjoner, og 63% i hele prosjektet, rundt 1270 tonn CO<sub>2</sub>-eq. Reduksjon av CO<sub>2</sub> utslipp kan også hjelpe Tanberghøgda å få poeng i CEEQUAL-punktene 7.2.1-7.2.3 dersom de i tillegg velger å lage en karbonhåndteringsmetode.

For at dette skal være et mer bærekraftig valg, er det likevel viktig at treverket ikke må transporteres for langt. I dag er det ikke papirproduksjon på Hønefoss. Frem til 2012 hadde Norsk Skog en fabrikk på Follum, men denne ble nedlagt. Follum Utvikling har ved hjelp av COWI våren 2022 sendt ut forslag til utredningsprogram angående gjenoppstart av drift på Follum. Dersom forslaget blir god tatt, kan byggestart være allerede desember 2023. Det betyr at det i fremtiden igjen kan bli treforedling på Hønefoss. Fra Tanberghøgda til Follum Treforedlingsindustri er det ca. 9 km. Når ligninen er tatt ut, kan den fraktes til asfaltenlegget på Kilemoen. Dette er en avstand på 1,6 km. Ferdig asfalt med lignin må deretter fraktes tilbake på Tanberghøgda, en avstand på 10 km. Det vil si at det er snakk om korte avstander. Med en detaljert plan for gjenbruket av bjørketrærne kan trær tas ned fortløpende som asfalten legges.

Fordelene ved å bruke lignin istedenfor bitumen er at det er en fornybar ressurs, i tillegg til at det bidrar til sirkulærøkonomi på Tanberghøgda, se figur 1. Da blir trærne brukt til noe verdifullt som skal brukes i prosjektet. Ulempen er at trærne ikke blir brukt der de er. Det hadde ført til mindre utslipp ved at det ikke hadde vært nødvendig å frakte dem ut og så tilbake igjen. Det er uklart på

grunn av planregulering, lite informasjon om tretetthet og egenskapene til lignin, om det er nok trær på Tanberghøgda til å gjennomføre denne ideen.



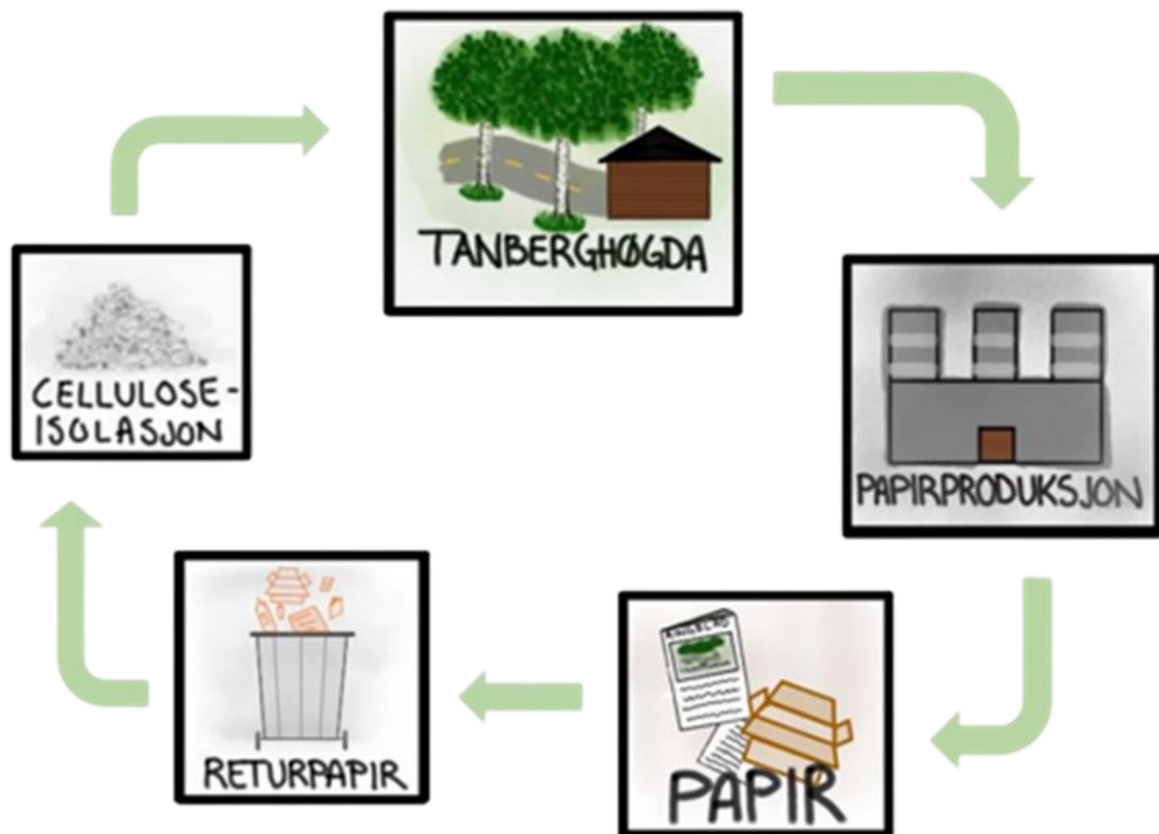
Figur 1: Sirkulærøkonomi - Bjørk fra Tanberghøgda brukes til å lage lignin som alternativ til bitumen i asfalt

## 2.2 Ide 2: Celluloseisolasjon

For å unngå å produsere papir av bjørketrærne kun for å benytte ligninet, er det ønskelig å selge eller bruke papiret. Når dette etter bruk resirkuleres, kan det behandles og brukes igjen som celluloseisolasjon for byggene som kommer i fase 2. Celluloseisolasjon lages av at returpapir går gjennom en prosess som tørker materialet og tilsetter brannhemmende tilsetningsstoff (CBI Norge, 2022). Den ideelle sirkulære situasjonen hadde vært å samle returpapir fra husene som bygges i fase 1 for å lage celluloseisolasjon av det, og deretter bruke den i byggene i fase 2. Den mer realistiske løsningen blir nok å selge papiret og deretter lage celluloseisolasjon av tilsvarende mengde returpapir.

En aktuell leverandør for celluloseisolasjon er CBI Norge. I dag har CBI Norge produksjonen sin i Tibro i Sverige, 432 km fra Hønefoss. Avstanden mellom byggeplass og produksjonssted gjør løsningen per dags dato litt mindre aktuell. Det kan allikevel tenkes at interessen for miljøvennlig isolasjon vokser med interessen for miljø generelt i Norge, og at det om kort tid finnes produksjon av celluloseisolasjon nærmere Tanberghøgda.

Celluloseisolasjon kan uansett brukes, men det bør undersøkes om bruk av norskprodusert isolasjon gir mindre klimagassutslipp. Figur 2 viser sirkulærøkonomien rundt bruk av celluloseisolasjon.



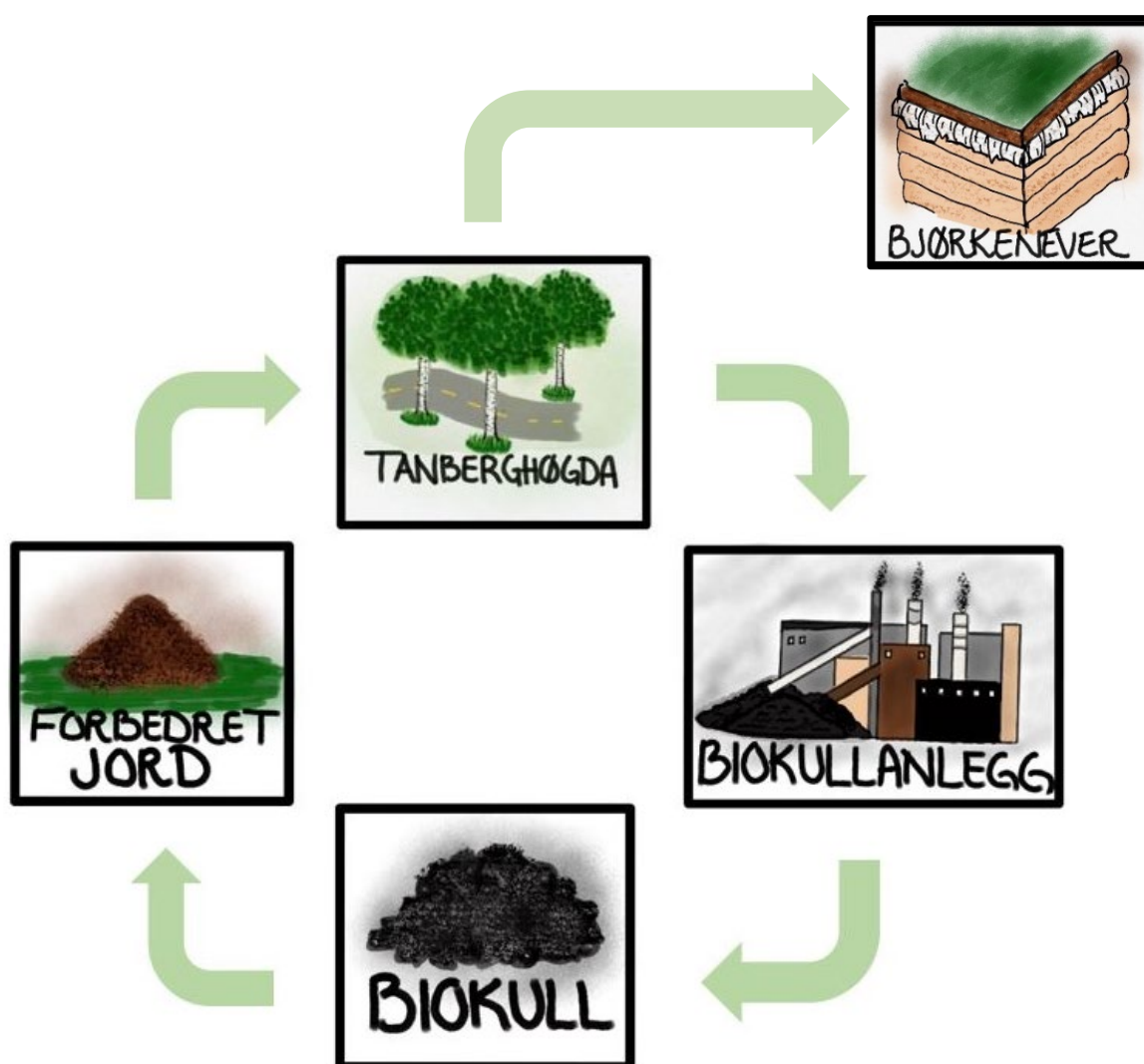
Figur 2: Sirkulærøkonomi: bjørken fra Tanberghøgda kommer tilbake som celluloseisolasjon.

## 2.3 Ide 3: Bjørkenever

Det er som nevnt en del bjørketrær på Tanberghøgda. Bjørketrær har noen unike egenskaper, blant annet har neveren mange gode egenskaper når det kommer til bruk i byggeprosjekt ved at det er vanntett og ikke råtner (Stenby, 2021). Det er ikke vanlig å bruke bjørkenever i byggeprosjekter lenger, men det er stor etterspørsel etter materialet til bruk i eldre bygninger og hytter, blant annet på folkemuseer (Stenberg, 2021). Det er derfor en ide å ta neveren av trærne som likevel skal kuttes ned, og selge det til markedet. Deretter kan midlene brukes til å kjøpe inn nye planter eller trær for å øke biomangfoldet. En annen ide er å bruke neveren som taktekke på for eksempel barnehagen, med torvtak over. Never er i tillegg et lett materiale som ikke krever tung transport, noe som er positivt i et klimaperspektiv.

## 2.4 Ide 4: Biokull

Det kan også vurderes å binde opp karbonet i treverket ved å gjøre det om til biokull. Biokull lages av treverk, ofte skogsavfall, som ved forråtnelse eller forbrenning slipper ut CO<sub>2</sub> som den har tatt opp i sin levetid. Hvis treverket gjennomgår pyrolyse, en forbrenning på over 500 °C uten tilgang på oksygen, endres treet på et molekylært nivå som gjør at karbonet ikke slippes ut på flere hundre år. Dette er fordelaktig med tanke på klimagassutslipp. Biokullet kan deretter brukes i jorda på Tanberghøgda for å forbedre den, gjennom at den kan holde på, og gi fra seg næringsstoffer og vann til planter, i tillegg til å øke pH-verdien i jorda (Jære, 2017). Det har også i de siste årene blitt forsket på å gi kyr biokull for å redusere metanutslipp. Det har i Norge i de siste årene blitt opprettet flere biokull-anlegg, blant annet i Drammen (Lindum, 2022). Anlegget ligger i nærhet av Tanberghøgda, noe som er fordelaktig når det kommer til å begrense transport. I tillegg skal treforedlingsområdet på Follum utvikles i de neste årene, her er det også aktuelt med produksjon av biokull. Dersom det skjer, vil anlegget på Follum selvfølgelig bli et naturlig valg. Figur 3 viser hvordan biokull (og bjørkenever) fører til sirkulær økonomi.



Figur 3: Sirkulærøkonomien rundt biokull og bjørkenever.

## 3 Overskuddsmasser

CEEQUAL-punkt 7.4.8 handler om å bruke en viss prosentandel av det brukbare materiale fra dekonstruksjon på stedet eller innlemmet i prosjektet. Gjennomføring av ett eller flere av punktene under vil kunne hjelpe til å få høyere score på sertifiseringen.

### 3.1 Ide 5: Ressursbank

Overskuddsmateriale er en utfordring og en ofte uutnyttet ressurs i anleggsbransjen. Overskuddsmasse blir som oftest deponert, før det blir transportert inn kostbare masser til utfylling rundt rør, fyll i grøfter og slitelag og underlag på vei osv. Logistikken rundt dette er i Norge basert på lineærøkonomien, hvor overskuddsmasser deponeres, mens nye masser kjøres inn, ofte ny pukk og grus som kommer fra sprengt fjell. Dette brukes de store ressursene på å utvinne. I takt med at tanken om sirkulærøkonomi har blitt mer vanlig i samfunnet har det også kommet et nytt marked for ombruk og gjenbruk av byggematerialer og overskuddsmasser. Et eksempel på dette er Loopfront, som samarbeider med COWI, hvor det er mulig å registrere de overskuddsmassene som eventuelt ikke blir brukt, eller hvor man kan finne nytt hvis det ikke er nok, eller riktige masser på plassen. Det har også tidligere i prosessen blitt foreslått et lignende samarbeid med Bærum Ressursbank, et mer lokalt alternativ.

### 3.2 Ide 6: Tilslag og fyllmasser

På tomte er det mye sand, silt og leire, som kommer til å måtte graves opp under anleggsarbeidet. Det er også mulig at det blir noe grus og stein etter at utgravingen til boliger og veier er i gang. Det er et uttalt mål at masser ikke skal transporteres fra området, men heller brukes på stedet. Dette er mulig fordi det ikke er funnet noen forurensing av grunnen på plassen. Det er også mulig å sortere massene på stedet, som illustrert i Figur 4. Dette vil gi en positiv, bærekraftig effekt ved at transport både til og fra plassen unngås. Man vil også unngå kostnader ved å bruke stedlige masser som tilslag, da man sparer på både innkjøp og transport.



Figur 4. Prosess for å sortere sand og grus til ulike fraksjoner

Tilslag i asfalt kommer an på hva slags type vei det er, og hvor mye trafikk det er på strekningen. Det finnes flere typer asfalt som har ulike steinmaterialer og løsmasser. Det brukes først og fremst grus eller singel, eventuelt også gammel betong i asfalten. Her kan det også bli aktuelt å bruke sand og silt, så lenge det er nok av de større fraksjonene også. Under asfalten kommer bære- og forsterkningslaget i veien. Her egner ikke sand og silt seg, da det ønskes å bruke drenerende masser som er frostsikre (Vegvesenet, 2018).

Det stilles strenge krav til hva slags masser som skal brukes i ledningsgrøfter. Det kan bli aktuelt å bruke silt og sand som fundament og bunnforsterkning under røret. Rundt og over røret er det vanlig å bruke litt større fraksjoner, som singel, pukk og grus. I gjenfyllingslaget godtar flere kommuner å bruke stedlige masser, og det kan da brukes jord, sand og silt (NVE, 2021).

I betong er tilslaget viktig for betongens egenskaper. Tilslaget består vanligvis av sand og singel, sand og knust stein, grus eller lettklinker. Lettklinker er korn av porøs, brent leire (Thue, 2019). Det betyr at mye av overskuddsmassene på Tanberghøgda kan brukes i betongen. Det finnes flere betongblandingsanlegg i Hønefoss, noe som er fordelaktig med tanke på den korte distansen som kreves for transport.

En oversikt over hvilke løsmasser som kan brukes hvor kan ses i tabell 1.

Tabell 1: Oversikt over hvor løsmasser kan brukes

|                      | Sand | Silt | Leire | Jord | Grus |
|----------------------|------|------|-------|------|------|
| <b>Betong</b>        | x    |      | x     |      | x    |
| <b>Vegoppbygning</b> |      |      |       |      | x    |
| <b>Asfalt</b>        | x    | x    |       |      | x    |
| <b>Ledningsgrøft</b> | x    | x    |       | x    | x    |

Når bygningene skal fundamenteres, er ikke bare det å bruke stedlige masser som tilslag et nyttig miljøtiltak, man burde også vurdere sementproduksjonen. Betong står for rundt 7-8 % av de globale utslippene, og av det utgjør sement rundt 90 prosent av utslippene (Kvellheim og Bramslev, 2020). Fordi mye av utslippene kommer av de kjemiske prosessene som er nødvendig for å lage sement, har karbonfangst blitt sett på som et viktig virkemiddel for å redusere utslippene (Norcem, u.å.). I 2024 skal Norcems nye sementfabrikk med karbonfangst åpnes (Nordal, 2021). I og med at byggeprosessen på Tanberghøgda er noen år frem i tid, bør det vurderes å bruke denne typen sement for å sikre at prosjektet blir så lavutslipp som mulig.

### 3.3 Ide 7: Prefabrikkerte elementer av leire og halm

I løsmassekartet fra NGI kommer det frem at det også er en del leire i grunnen. Leire er et materiale som i lang tid har blitt brukt som byggemateriale, og fortsatt brukes som det mange steder i verden. Imidlertid har det også kommet nye innovasjoner knyttet til dette materialet de siste årene. Blant annet er det blitt produsert byggemoduler laget av presset halm med jord og leire som kan brukes i vanlige bolighus for å erstatte betong og massivtre. Dette er noe som prøves ut av selskapet Lavkarbonbygg for tiden, som også planlegger å drive i Norge (Bjørheim, 2021). Om man ser på hele livssyklusen til produktet, innbefattet såing av korn og riving, har produktet et negativt utslippsregnskap (Bjørheim, 2021). I og med at betong er et ressurskrevende produkt, og halmhus delvis kan erstatte dette, ville dette ha en veldig positiv klimaeffekt for prosjektet.

Det vil trolig være mulighet for å få tak i halm etter kornproduksjon fra nærliggende åkere, og leire og jord finnes på plassen. Det hadde vært ideelt om dette kunne blitt gjort på plassen for å unngå transportkostnader- og utslipp.



Figur 5: Vegger av leire, halm og jord  
(Hanno Mackowitz, 2021)

### 3.4 Ide 8: Sandfilter for rensing av gråvann

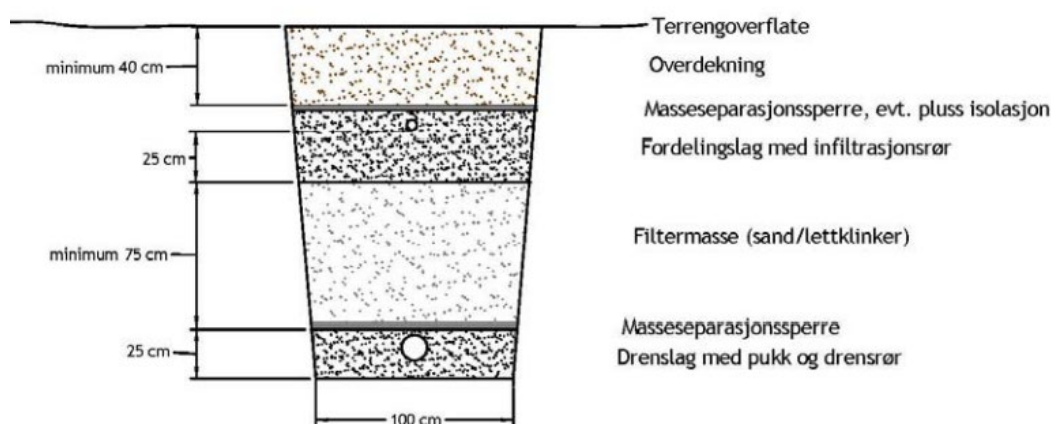
Det er ønskelig at gråvann fra boligene renses for fett og smuss på stedet, da det rensede gråvannet kan gjenbrukes som vann i WC og til hagevanning før det sendes til kommunalt renseanlegg. Dette vil redusere drikkevannsforbruket og minske belastningen på kommunalnett, samtidig som stedlige masser kan brukes til å lage filter for rensing. Sand av en viss kornstørrelse kan brukes som sandfilter for rensing av gråvann. Sandfilter bør bestå av homogen sand eller grus.

For filter som skal renses gråvann og svartvann benyttes vanligvis tilkjørt filtermasse som er fosforbindende. Det meste av fosforet i norsk avløpsvann kommer fra svartvannet. Det vil derfor sannsynligvis være mulig å bruke stedlige masser som filtermasse da det kun er gråvann som skal renses, og vannet uansett renses for fosfor når det kommer til det kommunale renseanlegget som svartvann eller overflødig gråvann. Med overflødig gråvann menes det gråvannet som ikke får plass i tanken. Dersom fosforkonsentrasjonen viser seg å være for høy til å bruke i WC kan det tilsettes kalk, jern eller aluminium for å binde opp fosforen (Jenssen, Jonasson, og Heistad, 2006).

Sandfilteranlegg krever en horisontal overflate som dimensjoneres etter behov. Minimum filterareal for en enebolig beregnet for fem personer er 4,5 m<sup>2</sup>. Filterhøyden skal være 75 cm inkludert fordelingslag og drencslag, og skal være 0,4 m under terrengoverflaten (Hensel, Köhler og Yri, 2008). Det er viktig å sørge for at filteret ligger så dypt at frost på vinterstid ikke blir et problem. Dybden må derfor tilpasses klima på Tanberghøgda.

På grunn av at sandfilterets størrelse øker med antall beboere, er dette en løsning som vil være mest gjennomførbar for eneboligene som skal bygges i fase 1.

Disse boligene er planlagt med et uteareal hvor sandfiltrene kan være. For den konsentrerte bebyggelsen i fase 1 er det også en mulighet at enhetene deler filter parvis. Sandfilter kan også vurderes for flermannsboligene, men det vil da bli store dimensjoner og mer vedlikehold. Installering av egne renseanlegg for gråvann kan derfor være aktuelt for å gjenbruke vann i flermannsboligene. Figur 6 viser oppbygningen av et sandfilter. Sandfilteranlegget bør også ha en slamavskiller før filteret for å skille ut store biter.



Figur 6. Tverrsnitt av sandfilter (Bioforsk, 2008)

### 3.5 Ide 9: Foredle utgravd jord ved bruk av dampteknologi

Det er lagt fram en jord- og matjordplan for Tanberghøgda. Totalt vil det omdisponeres 2320 m<sup>3</sup> matjord for A-sjikt, som er de første 40 cm av jorddybden. Dette er medregnet jordmasser fra den nye adkomstveien fra Hadelandsveien, som skal bygges i skogkanten av naboåkeren.

Norge ligger langt bakpå når det kommer til å gjenbruke jorden sammenlignet med andre land. I 2018 ble det estimert at 98% av ufarlig jord gravd ut i Norge ble sendt til deponering, mens det bare var 17% i Portugal (Hale et al., 2021). CEEQUAL-punkt 7.4.11 belønner også at matjord blir brukt på nytt på stedet eller et sted i nærheten. En ny metode å forbedre jorden på er å ta i bruk dampbehandlingsteknologi. Dette gjøres ved å velge ut en spesifikk jordmasse og behandle den med dampkokt vann. Dette vil føre til at plantevekster og andre organismer en ikke ønsker i jorden, dør. Man vil altså "sterilisere" jorden, og på den måten kan den flyttes og benyttes som matjord på nytt sted.

Ulike bedrifter tilbyr ulike løsninger for hvordan jorden skal behandles, men det er mulig at den beste måten vil være å få plassert ut dampteknologien på Tanberghøgda. Hvis denne maskinen i tillegg går på strøm, kan instrumentet lades opp på byggeplassen med strøm fra solcelleparken. Envir og Soilsteam er to bedrifter som opererer i Norge.

En rapport fra MENON på bestilling fra Envir, viser at det er store mengder CO<sub>2</sub>-utslipp, samt penger å spare ved å behandle og bruke om jorden på eiendommen, framfor å deponere og kjøre til ny jord (Carlsen, 2022). De opplyser selv en besparelse på 34 tonn CO<sub>2</sub> og 547 000 kr for et prosjekt på 1000 tonn masse for prosjekter i Bergensområdet hvor de er stasjonert.

SoilSteam har utarbeidet en formel for beregning av totalt klimagassutslipp med tanke på mengden utgravd jord ( $x$ , [m<sup>3</sup>]) og avstand til nærmeste depot ( $y$  [km]):

$$Tot_{GHG(kg\ CO_2e)} = x(0.27y + 2.55)$$

Med  $x = 2320\text{ m}^3$  og  $y=14\text{ km}$  (14 km = Avstanden fra Tanberghøgda til Hadeland og Ringerike Avfallsselskap), vil en dermed kunne spare 14 685 kg CO<sub>2</sub>e. (Tobias Glemming, SoilSteam Int., personlig kommunikasjon, 28.07.2022)

### 3.6 Ide 10: Gjenbruk av jord til blågrønne tak

Gruppe 1 ser på håndtering av overvann, og har tenkt å ta i bruk blå-grønne tak på alle takoverflater. Blå-grønne tak er bygd opp med et vekstlag øverst. Hva som skal vokse i vekstlaget og hva slags dybde det skal ha kommer an på hva slags type grønt tak som skal brukes. Ekstensive tak er den billigste og enkleste av taktypene, og består av vegetasjon som mose, gress og urter. Det trengs mellom 60 og 200 mm med vekstmedium til disse takene (Skjeldrum, 2016).

På Tanberghøgda er det mye jord som må graves bort for å bygge boliger og infrastruktur. Denne jorden kan brukes som vekstmedium på de blågrønne takene. Om det er ressurser til det kan det også være aktuelt å grave opp jorden sammen med gresset, slik at gresset også kan gjenbrukes på takene. Dette er avhengig av at gresset og jorden gjenbrukes kort tid etter det er gravd opp. På denne måten blir overskuddsmassene brukt samtidig som CO<sub>2</sub>-utslippene reduseres ved at innkjøring av lass med jord unngås. Gruppen har gjort et anslag på CO<sub>2</sub>-utslipp for å frakte inn jord til de blågrønne takene. Det er her tatt utgangspunkt i at alle takene skal være blågrønne. Arealene fra planbeskrivelsen er brukt med utgangspunkt i vekstmediumsdybde på 100 mm på alle tak. Det er brukt tall fra SSB (2016) for CO<sub>2</sub>-utslipp for lastebil, med utgangspunkt i 80 km/t og fri flyt. Disse tallene tar ikke hensyn til om lastebilen er lastet eller ikke, så utslippene er sannsynligvis mer når lastebilen er full.

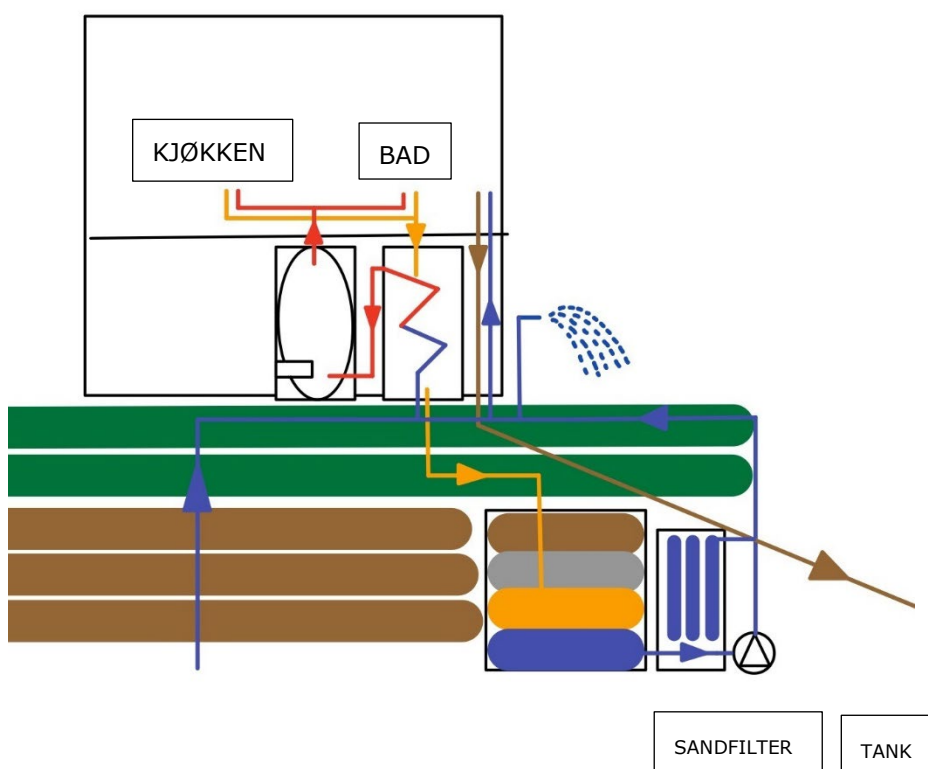
Resultatet fra beregninger viser at det totalt spares i underkant av 19 000 kg CO<sub>2</sub> ved å ikke transportere inn jordmasser, men heller bruke de som er der. I tillegg er det snakk om ca. 3,5 millioner kr å spare på det. Beregningene ligger vedlagt som vedlegg 2.

## 4 Vann

Det kommer i fremtiden til å bygges nye boliger på Tanberghøgda, hvor det vil være en del overskuddsvann. Det vil i dette kapitlet presenteres to ideer for hvordan denne ressursen kan utnyttes så effektivt så mulig.

### 4.1 Ide 11: Gjenbruk av gråvann

Store mengder varmeenergi forsvinner utnyttet ut gjennom gråvann. Oppvarming av varmt tappevann står i tillegg for 20 % av energiforbruket i en vanlig husholdning (Novema Kulde, u. å.). Det allerede oppvarmede vannet som kommer ut som gråvann ender ofte opp som en ubrukt ressurs. Det finnes flere måter å gjenvinne varmen fra gråvann på, og det kan være gunstig å tilpasse metoden etter bygningstype, da varmegjenvinningen krever en installasjon. For eneboligene og rekkehusene bør en passiv gråvannsvarmegjenvinner, i form av tank med coil gjennom, vurderes. Denne fungerer ved at det kalde vannet går i spiral gjennom en isolert tank med gråvann. Spiralen vil da opptre som en varmeveksler. Figur 7 viser en skisse av hvordan en installasjon med passiv varmegjenvinning og rensing av gråvann kan se ut for boligene som også skal ha sandfilter.



Figur 7: Skisse av opplegg sandfilter for enebolig og rekkehus.

Figuren viser hvordan rent vann kommer inn, brukes, blir til gråvann, varmen gjenvinnes og vannet renses i et sandfilter. Etter å ha blitt rensert føres det over i en isolert tank hvor det kan lagres før det pumpes opp til toalett og hagevanning. Dersom tanken er full føres overskuddsvannet til avløpet sammen med svartvannet.

Gråvannsforbruket per person ligger på ca. 175 l/d, som vil si 875 l/dag dersom vi antar en husholdning på 5 personer. En spyling i toalettet er 6 l, og vi regner derfor med at en tank på 200 l til oppsparing av vann vil holde. Dette basert på at det blir brukt litt gråvann mellom hver gang det tappes i toalettet, og fordi hagevanning skjer så sjeldent at det ikke er nødvendig å dimensjonere for. Tanken plasseres på høyde med sandfilteret og isoleres. Med denne plasseringen blir det ikke brukt pumpekraft på overskuddsgråvannet. Det er også viktig at toalettet tilkobles kaldtvannet i tilfelle det skulle skje noe galt, eller tanken er tom.

For flermannsboligene som skal bygges i fase 2 og 3 bør en kombinasjon av passive og aktive varmegjenvinning undersøkes. Da går vannet som skal varmes først gjennom en coil, som vist i figur 6, før det videre varmes av en varmepumpe dersom temperaturen ikke ble høy nok i den passive gjenvinneren.

## 4.2 Ide 12: Kretsløpsteknologi

Det er planlagt installasjon av kretsløpsteknologi i nye Cicignon Park, Fredrikstad. Her skal svartvann, gråvann og matavfall fra innbyggerne benyttes til å lage kunstgjødsel og biogass, se figur 8 (Lothe, 2021). Å installere et lignende system kan være gunstig for Tanberghøgda.

Kretsløpet starter med installering av vakuumtoalett hvor mengden rent vann reduseres fra 6 l/pers til ca. 1,5 l/pers. Deretter vil svartvannet samles opp i en stor reaktortank sammen med kvernet organisk matavfall fra husholdningene. I svartvannet finner man nitrogen, fosfor, kalium og mange mikronæringsstoffer, og i matavfallet finner man organiske karbonforbindelser. Når denne miksen får putre under riktige omstendigheter vil det etter et par døgn produseres biogass. Biogassen hentes ut og lagres, eventuelt brennes øyeblikkelig for varme-/elproduksjon. Væsken som ligger igjen filtreres for kompostering, bestråles med ultrafiolett stråling og er da til slutt blitt gjort om til en væske som er rik på gjødsel og plantenæring, spesielt nitrogen, kalium og fosfor.

I Cicignon park er det også planlagt å bygge et drivhus hvor den næringsrike væsken fra bioreaktoren brukes som gjødsel, varmeproduksjon fra biogassen skal gå til drivhuset og noe av CO<sub>2</sub>-utslippet fra forbrenningen av biogassen slippes inn i drivhuset som til slutt bindes opp i planteveksten.

Om denne totale "pakkeløsningen" er å anbefale på Tanberghøgda er vanskelig å svare på gitt informasjon om planene hittil, men individuelle deler av den er svært interessant.

- > Å installere vakuumtoalett for å få ned ferskvannforbruket er noe som sterkt bør vurderes.
- > Istedenfor å bygge drivhus, kan en heller velge å bare installere bioreaktor-systemet og lagre biogassen, og gjødselslammet kan selges til nærliggende jordbruk.
- > I Energikonseptutredningen legges det fram forslag om bruk av biogass som grunnlast eller spisslast i en eventuell lokal varmesentral på stedet. Biogass som spisslast og "backup" er blitt gitt en høy "poengsum" i energivurderings-matrisen, se s. 43 i COWI, 2022. Det er tenkelig at med en ekstra produksjon og vinterlagring av biogass fra bioreaktoren på stedet vil det være naturlig at denne løsningen vil få enda flere poeng. Dette avhenger av installasjon-/vedlikeholds-kostnader samt mengde biogass det er mulig å hente ut av systemet.

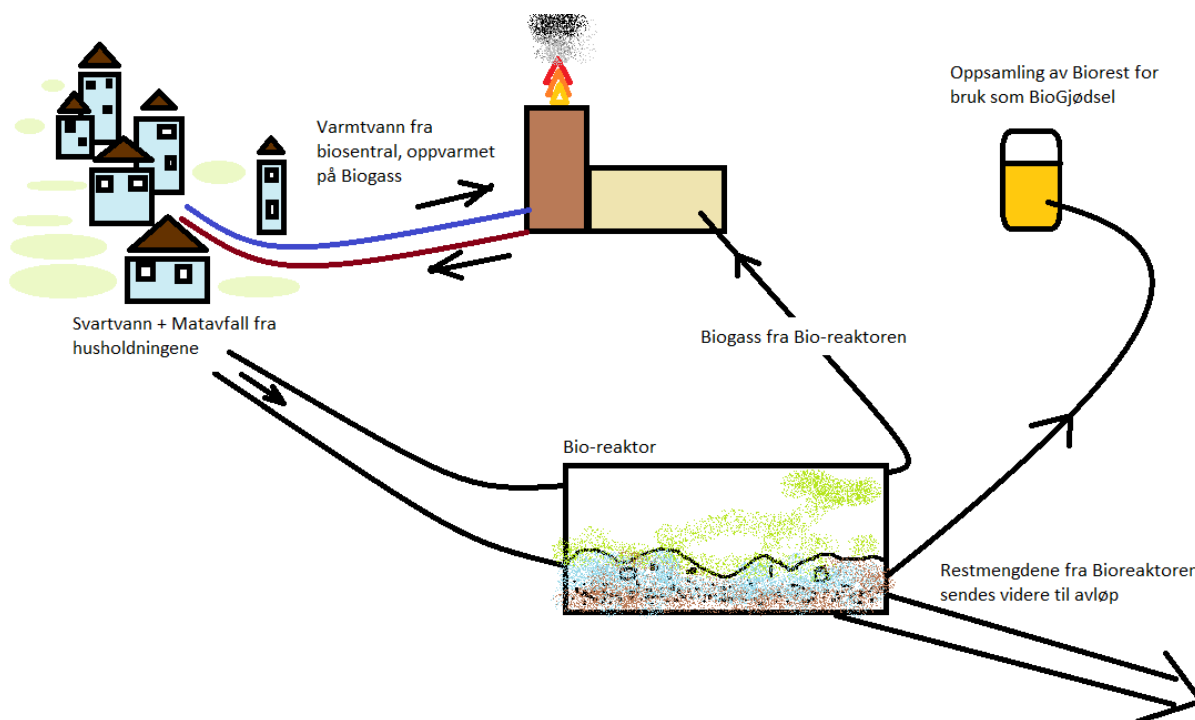
- > Hvis det er snakk om mindre mengder biogass kan det være en ide at biogassen brukes som drivstoff for "Ruslebusen" som det er vurdert å sette opp for Tanberghøgda (COWI, 2022, s. 75).
- > Biogassen kan selges videre til lokale produsenter. Dette kan være Hadeland og Ringerike Avfallsselskap som har anlegg ved Trollmyra i Jevnaker.

Hvor mye biogass er det mulig å hente ut totalt i året?

Det er gjort beregninger med antagelser for å kunne gi et estimert svar. En detaljert beskrivelse av antagelsene, med referanser, og beregningene er oppgitt i Vedlegg 1. Tallene som oppgis under er med utgangspunkt i maksimal kapasitet og potensial.

Foreløpig er det planlagt ca. 600 boliger på Tanberghøgda, som er tenkt som et sted for barnefamilier. Det er derfor rimelig å tenke at boligene gjennomsnittlig vil bestå av nærmere 5 personer. Dette tilsvarer en årlig produksjon av matavfall og svartvann på 121 800 kg/år og 4 544 250 kg/år [Vedlegg 1]. Med en forbrenningsgrad på 0,7 (Carbon limits, 2019) tilsvarer dette et maksimalt biogasspotensial på til sammen 660 MWh/år, noe som er litt under 30% av 2100 MWh/år, som er det totale varmeenergibehovet i året en ser for seg på Tanberghøgda (COWI, 2022).

Det er gjort beregninger for mengden biorest tilgjengelig per år fra systemet, hvor maksimalt utbytte er blitt beregnet til 50,95 tonn biorest/år [Vedlegg 1]. Dette tallet er også et maksimalt beste potensial for systemet, så hvis vi i stedet antar et mer realistisk anslag; 30 tonn gjødsel/år, og en pris på 10 kr/kg tilsvarer dette 300 000 kr i året i potensielle inntekter.



Figur 8. Skisse for en av løsningene ved bruk av kretsløpsteknologi

## 5 Konklusjon

I denne rapporten er det fremstilt flere måter å utnytte overskuddsmaterialer og avløpsvann som ressurser. Forslagene handler i stor grad om å få prosessene så sirkulærøkonomiske som mulig ved å gjøre tiltak som gjør at materialene som har blitt transportert vekk fra Tanberghøgda kommer tilbake igjen.

Forslagene er:

- > Bruke sand, grus og singel som tilslag i betong
- > Rense gråvannet gjennom stedlige masser før det gjenbrukes i WC
- > Lage papir og utvinne lignin fra bjørketrær
- > Bruke celluloseisolasjon laget av returpapir
- > Bruke biokull i jorda for å øke biomangfold og binde opp CO<sub>2</sub>
- > Bruke bjørkenever til taktekking
- > Bruke overskuddsjord til blågrønne tak og dermed forhindre deponering
- > Bruke dampteknologi for å rense jord og dermed forhindre deponering
- > Benytte kretsløpsteknologi og gjøre om matavfall og svartvann til biogass og biogjødsel

## 6 Referanser

- Bioforsk (2014). Ola, S.H. Petter, D.J. *Lokal behandling og bruk av kildeseparert svartvann -En mulighetsstudie for Sørli skole i Nittedal*. Bioforsk Report Vol. 9 Nr. 120 2014. [BIOFORSK RAPPORT nr \(unit.no\)](#)
- Bjørheim, K. (2021, 27. mai). *Byggematerialer av halv, jord og leire tar opp kampen med massivtre og betong*. Teknisk Ukeblad. <https://www.tu.no/artikler/byggematerialer-av-halm-jord-og-leire-tar-opp-kampen-med-massivtre-og-betong/510397>
- Bøhmer, E. (2022, 17. februar). *Papir*. Store norske leksikon. <https://snl.no/papir>
- Carbon limits, (2019). *Ressursgrunnlaget for produksjon av biogass i Norge i 2030*. [Rapport-biogasspotensial.pdf \(carbonlimits.no\)](#)
- Carlsen, T. (2022, 01. juli) *Menon-rapport: Envirs jorddamping spare klimagass, penger og naturen*. Envir. [Menon-rapport: Envirs jorddamping spare klimagass, penger og naturen](#)
- CBI Norge. (u.å.). *Hvorfor isocell?*. <https://www.cbinorge.no/celluloseisolasjon/hva-er-celluloseisolasjon->
- COWI (2022). *Energi- og klimakonsept for Tanberghøgda*. [Rapport]
- Grønn Byggallianse (u.å.) *Om CEEQUAL*. [Om CEEQUAL – Grønn byggallianse \(byggalliansen.no\)](#)
- Gudny Øyre Flatabø (2018). *Energi og-Miljøsats, AURLAND BIOGASS 14.09.2018*. Miljødirektoratet. [Forprosjekt - Aurland Biogass - Miljødirektoratet \(miljodirektoratet.no\)](#) Sist oppdatert 04.12.2019. (Konsulentrapporten er tilgjengelig nederst på nettsiden)
- Hale, S. E., Roque, A. J., Okkenhaug, G., Sørmo, E., Lenoir, T., Carlsson, C., Kupryianchyk, D., et al. (2021). The Reuse of Excavated Soils from Construction and Demolition Projects: Limitations and Possibilities. Sustainability, 13(11), 6083. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su13116083>
- Hensel, G, Køhler, J.C og Yri, A. (2008). Sandfilteranlegg for rensing av avløpsvann fra bolig eller hytte (Vol. 2 Nr. 28). Bioforsk. <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmloi/bitstream/handle/11250/2465793/Bioforsk-TEMA-2007-02-28.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Homleid, Å. (2020, 9. desember). *NCC tester lignin som bindemiddel i asfalt*. Byggeindustrien. <https://www.bygg.no/ncc-tester-lignin-som-bindemiddel-i-asfalt/1452601/>
- Jenssen, P.D, Jonasson, S.A og Heistad, A. (2006). *Naturbasert rensing av avløpsvann* (VA\_forsk rapport Nr 2006-20). Svensk Vatten AB. [http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk\\_2006-20.pdf](http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk_2006-20.pdf)
- Jære, L. (2017, 7. september). *Denne geniale metoden binder CO<sub>2</sub> og forbedrer jorda samtidig*. Sintef. <https://www.sintef.no/siste-nytt/2017/denne-geniale-metoden-binder-co2-og-forbedrer-jorda-samtidig/>
- Kvellheim, A.K og Bramslev, K. (2020, 14. april). *Betong er en del av klimaløsningen*. Sintef. <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/-betong-er-en-del-av-klimalosningen/>

Lindum. (2022, 20. mai). *Klimakinderegget biokull er "hot news" for sirkulærøkonomien*. <https://lindum.no/nyheter/lindum-nytt/klimakinderegget-biokull-er-hot-news-for-sirkulaerokonomien/>

Lothe, R. (2021, 20. juli). *Boligblokka hvor ressursene går i kretsløp*. NMBU. [Boligblokka hvor ressursene går i kretsløp | NMBU](#)

Manum, S. B. (2018, 23. april). *Lignin*. Store norske leksikon. <https://snl.no/lignin>

Morken, J., Briseid, T., Hovland, J., Lyng, K.A. og Kvande (2017). I. *Veileder for biogassanlegg - mulighetsstudie, planlegging og drift* - REALTEK Rapport versjon 091017, [Rapport] NMBU. [Veileder for biogassanlegg - mulighetsstudie, planlegging og drift - NMBU REALTEK Rapport 56 2017.pdf \(landbruksdirektoratet.no\)](#)

NemiTek (2018, 10. desember). *Passiv gråvannsvarmegjenvinning*. [Passiv gråvannsvarmegjenvinning \(nemitek.no\)](#)

NGU (u.å.) Løsmasser – Nasjonal løsmassedatabase [Kart]. [Løsmasser \(ngu.no\)](#)

Norcem. (u.å.). *Sementproduksjon og CO<sub>2</sub>*. <https://www.norcem.no/no/sementproduksjon-co2>

Nordal, A.G. (2021, 14. januar). *Full fart for karbonfangst i Brevik*. Tekna. <https://www.tekna.no/magasinet/full-fart-for-karbonfangst-i-brevik/>

Novema Kulde (u. å.) *Tanker*. [\(Microsoft Word - dot20\\_138.dotx \(novemakulde.no\)\)](#)

NVE (2021, 8. april) *Modul F3.306: Kulvert – Utførelse*. <https://www.nve.no/moduler/modul-f3-306-kulvert-utforelse/>

Regjeringen (2020). *Hovedrapport 2020: Bransjeavtalen om reduksjon av matsvinn*. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/bransjeavtalen-om-reduksjon-av-matsvinn-hovedrapport-2020/id2891243/>

Ruud, O. E. (2021, 7. november). *Bitumen*. Store norske leksikon. <https://snl.no/bitumen>

Skjeldrum, P.M. (2016) *Ombygging til Blågrønne Tak* [Masteroppgave, NTNU] NTNU Open. [https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2401844/14976\\_FULLTEXT.pdf?sequence=1](https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2401844/14976_FULLTEXT.pdf?sequence=1)

SSB (2016) *Drivstofforbruk og utslipp per kjørte kilometer for et utvalg av trafikksituasjoner og kjøretøygrupper*. [Tabell]. <https://www.ssb.no/318322/drivstofforbruk-og-utslipp-per-kjorte-kilometer-for-et-utvalg-av-trafikksituasjoner-og-kjoretoygrupper.2016.g-km>

Statens vegvesen. (u.å.). *Asfalt*. Statens vegvesen. <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/vegteknologi/vegbyggingsmaterialer/asfalt/>

Stenberg, M.A.J. (2021, 16. juli). *Bestefar sin gamle kunnskap har blitt ein lønsam sommarjobb*. NRK. <https://www.nrk.no/mr/bestefar-sin-gamle-kunnskap-har-blitt-ein-lonsam-sommarjobb-1.15573839>

Stenby, O.C. (2021, 20. juni). *Slik henter du never fra skogen*. Bygg og bevar. <https://www.byggogbevar.no/pusse-opp/tre/artikler/slik-henter-du-never-fra-skogen>

Thue, J. V. (2019), *Betong*. SNL. <https://snl.no/betong>.

Vegvesenet (2018, juli) *Vegbygging: Håndbok N200*. <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-n200-vegbygging-juli-2018.pdf>

Bilder:

Figur 3: Bioforsk (2008). Prinsippskisse av tverrsnitt gjennom en sandfiltergrøft[illustrasjon].Bioforsk. [https://myrvang.no/wp-content/uploads/2017/03/bioforsk\\_tema\\_28\\_2007\\_sandfilteranlegg.pdf](https://myrvang.no/wp-content/uploads/2017/03/bioforsk_tema_28_2007_sandfilteranlegg.pdf)

Hanno Mackowitz (2021). <https://www.tu.no/artikler/byggematerialer-av-halm-jord-og-leire-tar-opp-kampen-med-massivtre-og-betong/510397>

Fredheim Maskin As (u. å.) <https://www.fredheim-maskin.no/sand-og-grus-3/>

## Vedlegg:

### [Vedlegg 1]

## Estimering for biogasspotensialt fra innbyggerne på Tanberghøgda.

### Biogasspotensialet for Matavfall

Mengde Matavfall produsert per innbygger fra norske husholdninger for året 2020: **40,6kg** (Regjeringen, 2020)

Mengden tørrstoff (TS) Matavfallet består av: **22%(Nedre grense) - 37%(Øvre grense)** (Carbon limits, 2019)

Mengden Normal-kubikkmeter Biogass per tonn TS: **550 - 810 Nm<sup>3</sup> /tonn TS** (Carbon limits, 2019)

Prosentandel Metangass i Matavfall Biogass: **63%** (NMBU, 2017)

Energimengden per Normal-kubikkmeter Metangass: **10 kWh/Nm<sup>3</sup>** (NMBU, 2017)

Vi antar antall personer per Bolig: **5**.

Antall boliger: **600** (Energikonseptutredningen)

Potensiell Forbrenningsgrad for Metangass gitt dagens teknologi: **0.7** (Carbon limits, 2019)

Mengden matavfall per år for 600 boliger: **40,6kg/(pers år) x 5 pers/bolig x 600 boliger = 121800kg/år.**

Omregnet til TS: **26 796(nedre grense) – 45066 (øvre grense) kg/år**

Mengden Normal-kubikkmeter Biogass:

Nedre grense: **550 Nm<sup>3</sup>/tonn TS x 26,796 tonn/år = 14738 Nm<sup>3</sup>**

Øvre grense: **810 Nm<sup>3</sup>/tonn TS x 45,066 tonn/år = 36503 Nm<sup>3</sup>**

Omregnet til ren Metangass tilsvarer dette: **9285 – 22997 Nm<sup>3</sup> Metangass**

Dette tilsvarer en årlig potensiell Energimengde fra Matavfall på mellom **(92 850 – 229 970) kWh/år = (92,850 - 229,970) MWh/år**

### Biogasspotensialet for Svartvann

Mengden tørrstoff i svartvann fra Vakumtoalett: **0,8%** (Bioforsk, 2014)

Energiinnholdet i Metangass: **15,47 kWh/kg Metan** (Aurland, 2018)

Mengden svartvann per pers og dag: **4,15 l/pers dag** (Bioforsk, 2014).

Mengden Svartvann for et helt år fra innbyggerne på Tanberghøgda, gitt 5 personer per bolig og 600 boliger: **4,15 l/pers dag x 5 pers/bolig x 400 boliger x 365 dager/år = 4544250 l/år**

Antar at svartvann har en tetthet lik vann. Omregnet til kg/år: **4544250l/år x 1m<sup>3</sup>/1000l x 1000kg/m<sup>3</sup> = 4544250 kg/år.** Omregnet til tørrstoff tilsvarer dette: **4544250kg x 0,08 = 363540kgTS/år = 363,540 Tonn TS svartvann/år.**

I Energiutredning for biogassanlegg for Aurland er det oppgitt at et Cruisskip har TS-verdien for Svartvannet på 0.8%, noe som er samme verdi en finner for Vakumtoalett beskrevet lenger. Dette gir mening ettersom at mange Cruiseskip nettopp bruker Vakumtoalett. Derfor er det tatt utgangspunkt i tallene herfra for å finne forholdet mellom mengden Metangass per tonn TS svartvann.

Tabellen fra energiutredningen oppgir at Biogasspotensialet (Ren Metangass) er på **8070Kg** for **68,8 Tonn TS**. Forholdet er altså:  **$8070/68,8 = 117,3\text{kg(Metangass)}/\text{Tonn TS svartvann}$** . Mengde Metangass i kg per år fra svartvannet på Tanberghøgda: **363,540 Tonn TS svartvann/år x 117,3kg(Metangass)/Tonn TS svartvann = 42643,2kg Metangass/ per år**. Dette tilsvarer en årlig potensiell Energimengde fra Svartvannet på:  **$42643,2\text{kg Metangass/år} \times 15,47 \text{ kWh/kg Metangass} = 659\,691 \text{ kWh/år} = 660 \text{ MWh/år}$** .

I Energikonseptutredningen er det beregnet et årlig Energibehov på 2100 MWh/år. Det absolutt høyeste tallet for Energi fra Biogass ligger på 889 MWh/år. Med en forbrenningssgrad på 0,7 tilsvarer dette **622MWh/år**. Noe som står for;  $662/2100 \times 100\% = 29,7\%$  av årlig energibehov til oppvarming.

### Beregning av mengden Biorest til biogjødsling

#### For Matavfall:

Det er tatt utgangspunkt i den øvre grenseverdien for tørrstoffet i matavfall.

Mengden Biogass fra matavfall: 36 503 Nm<sup>3</sup>/år. Antar Biogassen inneholder 63% Metan og 27% CO<sub>2</sub>.

Mengden Metangass:  **$36\,503 \text{ Nm}^3/\text{år} \times 0.63 = 22\,997 \text{ Nm}^3/\text{år}$**

Mengden CO<sub>2</sub>-gass:  **$36\,503 \text{ Nm}^3/\text{år} \times 0.27 = 13\,506 \text{ Nm}^3/\text{år}$**

Gjør om fra Volum til masse:

Kg Metangass:  **$22\,997 \text{ Nm}^3/\text{år} \times 0.554\text{kg}/\text{Nm}^3 = 12740 \text{ kg/år}$**

Kg CO<sub>2</sub>-gass:  **$13\,506 \text{ Nm}^3/\text{år} \times 1.977 \text{ kg}/\text{Nm}^3 = 26701 \text{ kg/år}$**

Sum masse biogass per år:  **$12740 + 26701 = 39441 \text{ kg Biogass/år}$**

Bioresten vil være:  **$45\,060 \text{ TS kg/år} - 39441 \text{ kg biogass/år} = 5619 \text{ Kg} = 5,62 \text{ Tonn Biorest/år}$** .

#### For Svartvannet:

Det er ikke oppgitt noen verdi for forholdet CO<sub>2</sub>/Biogass som har sin kilde i svartvannet, derfor antas det samme forhold som for Matavfallet, altså 63% Metangass og 27% CO<sub>2</sub>. Det antas også at forholdet mellom masse biogass og masse TS for matavfallet er den samme som for svartvannet, altså at forholdet mellom Biorest i kg for matavfall og TS mat: **5619 Kg**

**Biorest/45060 Kg TS = 0,1247**

Mengden tørrstoff fra Svartvannet: **363540kgTS/år**

Bruker forholdet over og beregner den totale mengden Biorest:  **$363\,540\text{kgTS/år} \times 0,1247 = 45\,333,4 \text{ Kg biorest/år} = 45,33 \text{ Tonn Biorest/år}$** .

Sum Biorest fra Mat og Svartann per år:  **$5,62 + 45,33 = 50,95 \text{ Tonn Biorest/år}$**

## [Vedlegg 2]

## Utrekninger blågrønne tak

|                                | Areal(daa)             | Areal(m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| Frittliggende småhusbebyggelse | 11,1                   | 11100                  |
| Konsentrert småhusbebyggelse   | 56,7                   | 56700                  |
| Boligbebyggelse blokk          | 25,7                   | 25700                  |
| Totalt areal                   | 93,5                   | 93500                  |
|                                |                        |                        |
|                                | Dybde (m)              |                        |
| Vekstmedium                    | 0,1                    |                        |
|                                | Volum(m <sup>3</sup> ) | Volum(tonn)            |
| Total jordmasse                | 9350                   | 11688                  |
|                                | Volum(tonn)            |                        |
| Volum per lastebil             | 13                     |                        |
|                                |                        |                        |
| Turer totalt:                  | 899                    |                        |
|                                | En vei(km)             | Tur-retur(km)          |
| Avstand                        | 13                     | 26                     |
|                                | CO <sub>2</sub> (g/km) |                        |
| 80 km/t, fri flyt              | 803                    |                        |
|                                | CO <sub>2</sub> (g)    | CO <sub>2</sub> (kg)   |
| Utslipp en tur                 | 20867                  | 21                     |
|                                | CO <sub>2</sub> (g)    | CO <sub>2</sub> (kg)   |
| Totalt utslipp for alle tak    | 18760307,5             | 18760,3                |
|                                |                        |                        |
|                                | Pris(kr/tonn)          | Pris totalt(kr)        |
| Kostnad plenjord               | 240                    | 2805000                |
|                                | Pris transport(kr/tur) | Pris totalt(kr)        |
| Kostnad transport              | 800                    | 719231                 |
|                                |                        |                        |
| Total kostnad                  | 3524231                |                        |

|                                | Areal(daa)             | Areal(m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| Frittliggende småhusbebyggelse | 11,1                   | =C5*1000               |
| Konsentrert småhusbebyggelse   | 56,7                   | =C6*1000               |
| Boligbebyggelse blokk          | 25,7                   | =C7*1000               |
| Totalt areal                   | =C5+C6+C7              | =D5+D6+D7              |
|                                |                        |                        |
|                                | Dybde (m)              |                        |
| Vekstmedium                    | 0,1                    |                        |
|                                | Volum(m <sup>3</sup> ) | Volum(tonn)            |
| Total jordmasse                | =C11*D8                | =C13*1,25              |
|                                | Volum(tonn)            |                        |
| Volum per lastebil             | 13                     |                        |
|                                |                        |                        |
| Turer totalt:                  | =D13/C15               |                        |
|                                | En vei(km)             | Tur-retur(km)          |
| Avstand                        | 13                     | 26                     |
|                                | CO <sub>2</sub> (g/km) |                        |
| 80 km/t, fri flyt              | 802,58                 |                        |
|                                | CO <sub>2</sub> (g)    | CO <sub>2</sub> (kg)   |
| Utslipp en tur                 | =C21*D19               | =C23/1000              |
|                                | CO <sub>2</sub> (g)    | CO <sub>2</sub> (kg)   |
| Totalt utslipp for alle tak    | =C23*C17               | =C25/1000              |
|                                |                        |                        |
|                                | Pris(kr/tonn)          | Pris totalt(kr)        |
| Kostnad plenjord               | 240                    | =C28*D13               |
|                                | Pris transport(kr/tur) | Pris totalt(kr)        |
| Kostnad transport              | 800                    | =C30*C17               |
|                                |                        |                        |
| Total kostnad                  | =D28+D30               |                        |



## **LURER DU PÅ NOE?**

Ta kontakt med:

May Kristin Haugen, [MKHA@cowi.com](mailto:MKHA@cowi.com)

Emely Sjøråsén, [EMSN@cowi.com](mailto:EMSN@cowi.com)