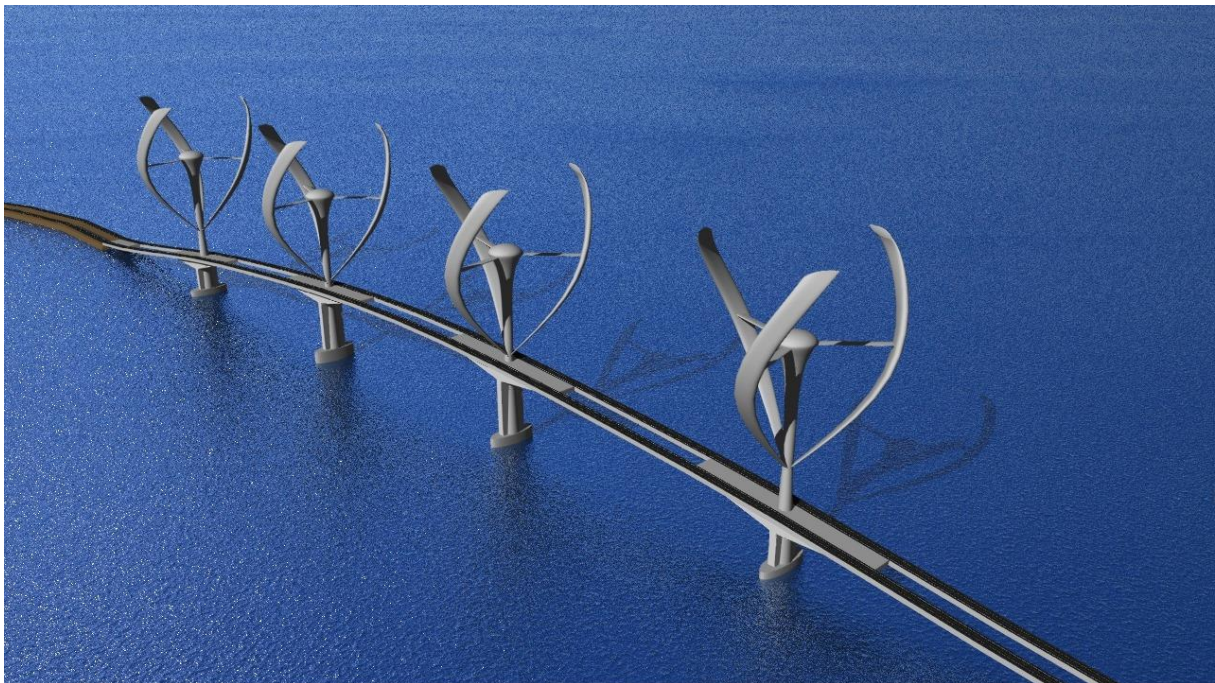




Mulighetsstudie av energiproduserende flytebro over Trondheimsfjorden



Gruppe 22

Brynjar Fagerli Strøm

Egil André Marthinussen

Eirik Brandsnes Næverrøsten

Marie Styrvold

Fakultet for bygg og miljø

Norges teknisk – naturvitenskapelige universitet, NTNU, våren 2017



Forord

Bakgrunnen for denne oppgaven var et prosjekt gitt fra faget Ingeniørfaglig systemtenkning, som skulle utføres i løpet av vårsemestret 2017. Prosjektet omhandlet alle de omtrent hundre studentene på Institutt for bygg- og miljøteknikk ved NTNU. Disse var inndelt grupper på fire til fem personer som ble plassert under tre hovedtemaer. I dette prosjektet fikk hver gruppe utdelt sin egen lille setning om hva deres oppgave skulle handle om. Vi fikk i dette tilfelle utdelt «Bølger- og vindforskning i marinbyen i Trondheimsfjorden». Det var også seks andre grupper som så på sine egne prosjekt i marinbyen i Trondheimsfjorden, som det var planlagt at vi skulle ha et samarbeid med.

Hensikten med dette prosjektet var at vi skulle finne ut en innovativ løsning på oppgaven og ha et godt samarbeid med andre på gruppen, og mellom de andre gruppene. Ingen på vår gruppe hadde noen spesiell erfaring med dette temaet fra før så det meste var nytt for oss.

Denne oppgaven er i samarbeid med NTNU og satt sammen av studieveileder Jomar Tørset.

Vi vil takke Meteorologisk institutt som har vært snille og hjulpet oss med å finne fram resultater om bølge- og vind forskning i Trondheimsfjorden

Trondheim 03.02.17

Brynjar Fagerli Strøm
Husbyggingsteknikk

Eirik Brandsnes Næverrøsten
Konstruksjonsteknikk

Marie Styrvold
Husbyggingsteknikk

Egil André Marthinussen
Konstruksjonsteknikk



Sammendrag

Denne rapporten inneholder en mulighetsstudie for å integrere teknologier vedrørende vind-, bølge- og tidevannskraft på en flytebro. Det har blitt sett på forskjellige løsninger og teknologier i forhold til integreringen. Valget av å gjøre en mulighetsstudie ble tatt da temaet ble for omfattende og prosjektgruppen bestemte seg for å konkretisere oppgaven.

Det har blitt gjort en litteraturstudie for å danne et grunnlag om hvilke forhold og muligheter som finnes for å kunne gjennomføre prosjektering av en nullenergibro fra Flakk til Rørvik. Meteorologisk institutt har bidratt med å sende informasjon om bølge- og vindforhold i Trondheimsfjorden. Til inspirasjon har Statens Vegvesens rapport «Nr 112, Technology survey for renewable energy Integrated to bridge constructions Wind, solar, wave and tidal» og prosjektet «Ferjefri E39» blitt brukt. Det har blitt hentet idéer og informasjon om hvordan teknologien fungerer fra disse. I tillegg til å se på muligheten for å utnytte den fornybare energien i Trondheimsfjorden i sammenheng med flytebroen, har det blitt sett på muligheten for å bygge kontorbygg i en fiktiv Marineby. Kontorbyggene er tiltenkt dem som skal jobbe med teknologien på flytebroen. Teknologien på vind-, bølge-, og tidevannsforskning er ikke kommet så langt når det gjelder plassering på sjøen, og det er vanskelig å komme med en god løsning på dette. Rapporten gir innsyn i potensielle muligheter for integrering av fornybar energi i en flytebro.



Innholdsfortegnelse

Forord	2
Sammendrag	3
1.Introduksjon	6
2. Bakgrunn for valg av konsept	7
3.Teoridel om temaet.....	9
3.1 Flytebru fra Trondheim til Fosen	9
3.2 Energiproduserende bru/ Power Road.....	10
3.3 Ferjefritt E39	11
3.4 Delprosjekt Energi.....	11
4. Energiresusser og potensialer i Trondheimsfjorden.....	13
4.1 Informasjon om Trondheimsfjorden	13
4.1 Vindforholdene.....	14
4.2 Bølgeforholdene	15
4.3 Strøm og tidevannsforholdene	16
4.2 Grunnforhold.....	17
5. Vindkraft	18
5.1 Generelt	18
5.2 Etablering i Trondheimsfjorden	19
5.3 Oppsummering	20
6. Bølgeenergi integrert i flytebro	21
6.1 Generelt	21
6.2 Forhold i Trondheimsfjorden	21
6.3 Teknologi og løsninger.....	22
6.4 Integrering av bølgekraftsteknologi på flytebro	23
6.5 Oppsummering bølgekraft.....	24
7.Tidevannsenergi integrert i flytebro	25
7.1 Generelt	25
7.2 Energiresurs i tidevannsenergi.....	25
7.3 Teknologien bak tidevannskraftverk	26
7.4 Integrering av tidevannsteknologi på flytebro	27
7.5 Integreringsalternativer	28



7.6 Sammendrag	30
8. Kontorbygg.....	31
8.1 Generelt	31
8.2 Utforming	31
8.3 Sammenkobling med marinbyen.....	32
8.4 Ulike bransjer	32
8.5 Konklusjon	33
9 Konklusjon og videreføring	33
10 Referanser.....	34
Vedlegg 1 Vindkart over Trondheimsområdet.....	35
Vedlegg 2 Nivåskisse over havnivåer i Trondheim	36
Vedlegg 3 Fremdriftsplan.....	37
Vedlegg 4 Grensesnittregister	38
Vedlegg 5 KTR – skjemaer	38



1. Introduksjon

Våren 2017 ble 3. klassingene på byggingeniør studiet på NTNU delt inn i 3 temaer, og inn i mindre grupper innad i dette temaet. Det er meningen at alle gruppene innenfor hvert tema skal samarbeide om en god felles og helhetlig løsning. Gruppe 22 som består av Eirik, Egil, Brynjar og Marie, fikk tildelt oppgaven «På sjøen – marinbyen midt i Trondheimsfjorden – bølger og vindforskning».

I denne oppgaven skal det i hovedsak være fokus på bølge og vindforskning inne i Trondheimsfjorden. Dette er to forskningsfelt som mangler mye forskning og per dags dato har for dårlig teknologi til å være en reelt alternativ for effektiv strømproduksjon. Det trengs derfor mer forskning på dette feltet, og i Trondheim hvor både NTNU og Sintef holder til, er dette dermed ett bra sted for å opprette ett eventuelt forskningsanlegg på sjøen. Dette har imidlertid vært oppe til vurdering flere ganger, og har enda ikke blitt sett på som aktuelt. Fordi det å bygge ett forskningscenter nede ved sjøen vil bli veldig dyrt.

Derfor har gruppen bestemt at de skal se på muligheten for å lage den fiktivt planlagte brua fra Flakk til Rørvik, som en annen gruppe i teamet på sjøen er ansvarlig for, til en energiproduserende bru. Dette er noe som flere aktører, blant annet Statens Vegvesen ser og forsker på i forbindelse med fergefri E39. For at fergefri E39 skal være et bærekraftig, klimanøytralt og ikke minst gjennomførbart prosjekt er utbyggerne avhengig av bedre løsninger enn hva som brukes i dag.

Vår problemstilling er i denne anledning «Se på muligheten for å opprette en energiproduserende bru fra Flakk til Rørvik, og hvilke utfordringer - og muligheter en slik løsning vil gi for samfunnet og miljøet.» I tillegg skal det opprettes arbeidsplasser i sammenheng med denne brua, dermed er det i dette prosjektet også laget en biproblemstilling, «Se på muligheten til å opprette arbeidsplasser og kontorer, for forskere og interesserte investorer og entreprenører, for bygging og testing av den energiproduserende brua».

2. Bakgrunn for valg av konsept

I uke 3 utarbeidet gruppen to tankekart for å kartlegge behov og løsningselementer, det første tankekartet var lite spesifikt og det ble derfor laget et nytt etter samtale med veileder. Det siste tankekartet kan sees i *figur 1*.



Figur 1: Tankekart med oversikt over hva gruppen så for seg som behovs- og løsningselementer i uke 3.

Med utgangspunkt i dette tankekartet snevret gruppen i uke 4 inn temaet, og laget problemstillingen om energibru/power roads. Dette ble gjort fordi gruppen syntes at temaet var for bredt og lite konsist slik det blir presentert i *figur 1*. Grunnen til at dette temaet ble valgt var fordi da kunne gruppen se på noe som allerede var «under prosjektering», og samtidig dra inn forskning og teknologi, og ha sammenknytning med resten av «På sjøen» prosjektet på grunn av Fosensbrua og marinbyen. Ideen om en energiproduserende bru fikk gruppen fra veileder, fra en av linkene han la ut i starten av prosjektet.

Gruppen brukte ganske lang tid på å komme i gang med arbeidet, da det var vanskelig å finne god informasjon om vind, bølge – og tidevannsforholdene i Trondheimsfjorden. I tillegg var det også vanskelig å finne god informasjon om generell forskning på vind og bølger, og de få referanseprosjektene som var å finne hadde alle en konklusjon om at det enten ikke var god nok teknologi, at det måtte forskes mer, eller at det ikke var lønnsomt. Dette gjorde gruppen



veldig frustrert og det var vanskelig å jobbe videre med ett tema som på alle nettsider allerede var «dømt nedenom og under».

Det å flytte ned NTNUs forskningsområder innen havrom og flere bedrifter med interesse for denne typen forskning til Marinbyen var også ett tema som var mye diskutert. Å etablere et stort forskningssenter i sammenknytning til marinebyen, et såkalt Ocean Space Center, var et konsept gruppen jobbet lenge med. Etter hvert som gruppen hadde satt seg inn i informasjon rundt dette konseptet ble det kjent at et flytende Ocean Space Senter ikke var noen realistisk løsning. Et slikt konsept har vært utredet før, der man hadde funnet ut at et flytende forskningsanlegg ville gjøre det vanskelig å få nøyaktige målinger innen forskning og utvikling, det vil være vanskelig å kontrollere og isolere fysiske effekter og generelt vil et flytende forskningssenter gi unødvendig store merkostnader.

Derfor valgte gruppen å se bort ifra generell forskning, og flytting av NTNU, og heller å «forske på» energiproduserende bruer. Da dette pr. dags dato er ett veldig nytt konsept, og er veldig relevant med tanke på en eventuell utbygging av Ferjefri E39. Dette er også noe som blant annet Sintef, Statens Vegvesen, Nye veier og NTNU ser på som veldig spennende forskningsområder og et område hvor forskerne enda ikke har funnet ut om det er verken mulig eller lønnsomt enda.

Gruppen valgte derfor å se videre på dette temaet, og det er derfor viktig å sette seg inn i hva som finnes av referanseprosjekter, og hva blant annet Statens Vegvesen og Sintef jobber med innenfor temaet. Hver av gruppemedlemmene vil sette seg inn i hvordan vind, bølge og tidevannskraftverk kan opprettes på gruppe 23 sin flytebru, og hvordan denne teknologien fungerer.

I tillegg skal gruppen fortsette å arbeide med og finne informasjon om vind, bølger – og tidevannsforholdene i Trondheimsfjorden. Det skal også prosjekteres et kontorbygg som skal plasseres på marinbyen, her skal det være arbeidsplasser som skal legges til rette for forskning av ikke bare energiproduserende bruer, men også annen generell forskning på blant annet vind og bølger, subsea forskning og offshore forskning.



3. Teoridel om temaet

3.1 Flytebru fra Trondheim til Fosen

Teknologien som blir presentert i denne oppgaven skal prosjekteres på en flytebru som prosjekteres av en annen gruppe. Denne brua skal gå fra Flakk og over til Rørvik, dvs den skal knytte sammen Trondheim og Fosen uten å bruke ferge. Flytebrua skal bygges på separate pongtonger og understøttes av fagverksbjelker mellom pongtongene. Brua er bare forankret til land i endene og er formet som en bue i horisontalplanet. Det vil si at sidelaster fra bølger, vind og strøm føres som aksialkrefter i buen mot landfestene. Denne flytebrutypen er derfor uavhengig av fjorddybde under flytedelen. Det finnes kun to slike bruer som er bygget fra før i Norge for vegtrafikk. (1) Denne brua skal også lages med en passasje for båter og lasteskip, dette er tenkt å lages som en rørbru og prosjekteres av en annen gruppe.



Figur 2: Illustrasjon av hvordan en eventuell flytebru med rørbru for fergepassasje kan se ut. Løsning laget av Reinersten, Dr. Techn. Olav Olsen og Snøhetta.



Figur 3: Illustrasjon av mulig overgang fra flytebru til rørbru som også gjøres til en turistattraksjon. Løsning laget av Reinertsen, Dr.Techn. Olav Olsen og Snøhetta

3.2 Energiproduserende bru/ Power Road

«Vi har hørt om Power House – bygg med et positivt energiforbruk når hele levetiden tas i betraktning. Nå lanseres Power Road: Gjennom hele livsløpet – fra veier og bruer bygges og til de rives – bør konstruksjonene produsere mer energi enn de «forbruker»». (2)



Figur 4: Bilde fra NorNet.no, eksempel på energiproduserende bru. Vind, bølger og havstrømmer

Energibruken og kostnaden ved produksjon av bruer er i dag for høy, slik at om brobygging i fremtiden skal være bærekraftig må energibruken og kostnaden ned. Tanken er at det kan

monteres solceller og vindmøller som kan bli integrert i brukonstruksjonen, og at det kan tas energi fra bølger og tidevannsstrømninger under brua. For å få regnskapet til å gå i null uten at innbyggerne og bilistene må betale mer i skatt og bompenger, ønsker forskerne at bruene eksempelvis skal produsere strøm slik at regnskapet går i null. Dette er konsepter som det framover i tid vil bli mer og mer forskning på, og i dag er det omtrent 40 doktorgrader som blir skrevet om temaet på NTNU.

3.3 Ferjefritt E39

Det ble i den Nasjonale transportplanen (NTP) for 2014 – 2023 ble det lagt fram en visjon fra Stortinget om et ønske om at ferjefri E39 skal realiseres innen 20 år. Strekningen det er snakk om går fra Trondheim til Kristiansand og er omtrent 1100 km lang.

Det er i utbyggingen beregnet at nødvendige investeringer for utbygging og nybygging vil komme på omtrent 340 milliarder. E39 går gjennom seks fylker, flere store og mindre byer. Reisetiden pr. dags dator fra Trondheim til Kristiansand er omtrent 21 timer og trafikantene er nødt til å benytte seg av totalt 7 ferjer.

Målet er å skape en bedre og raskere reisevei, og ved å bygge ferjefri E39 vil reisetiden bli redusert til omtrent 11 timer og strekningen vil bli omtrent 50 km kortere. Etter at ferjefri E39 ble tatt med i NTP ble det opprettet et eget prosjekt i Statens Vegvesen for å se på muligheten for gjennomføring av prosjektet. Målet for dette prosjektet er å se hva en slik type utbedring av E39 vil innebære for næringslivet og tilhørende bo – og arbeidsregioner.

3.4 Delprosjekt Energi

I forbindelse med planleggingen av utbyggingen av E39 har Statens Vegvesen engasjert tre ulike konsulentfirmaer til å lage en mulighetsstudie for brukryssningene. I tillegg har det blitt opprettet en undergruppe til ferjefri E39 prosjektet som heter «Delprosjekt energi». Denne gruppa har «vurdert potensialet for energiproduksjon fra de fornybare energikildene vind, sol, bølger og tidevannsstrøm i tilknytning til brukonstruksjonene langs E39.» (3) Konklusjonen til Statens vegvesen etter at endelig rapport kom ut fra Delprosjekt energi var at det største



Figur 5: Illustrasjon over tenkt nye E39. Bilde fra Statens Vegvesen



potensialet lå i bølge – og tidevannskraftverk og at mangelen på miljødata gjør det vanskelig for å anslå forventede energiproduksjoner.

4. Energiresusser og potensialer i Trondheimsfjorden

4.1 Informasjon om Trondheimsfjorden

Trondheimsfjorden er regnet fra Agdenes til Steinkjer, omtrent 70 nautiske mil (130 km) lang, og med størst dybde på 578 m. Den sender to armer, Orkdalsfjorden og Gaulosen, mot sørvest og sørøst, mens selve hovedfjorden bøyer mot nordøst. Indre delen av fjorden sender flere armer mot øst og nordøst. (4)

Rundt fjorden er landskapet varierende, den er omkranset av mange heier med åser med høyder mellom 400 – 600 moh. Disse områdene er som oftest skogkledd, men tykkelsen på skogen varierer, og enkelte steder over tregrensa kan det minne om en type «fjellandskap».

Det er mye dyrket mark i områdene rundt Trondheimsfjorden, da disse strøkene er noen av de mest fruktbare i landet.



Figur 6: Kart over Trondheimsfjorden



4.1 Vindforholdene

På vindkartet i *Vedlegg 1* kan det leses ut fra vindkartet at vindforholdene i

Trondheimsfjorden i hovedsak har et årsmiddel vindhastighet på 6,0 – 6,5 m/s på det høyeste, enkelte steder lenger inn i fjorden er den også lavere. Det finnes ingen målestasjoner for vind ved Flakk eller Rørvik, de nærmeste målestasjonene ligger på Voll og Orkanger. Det er vanskelig å si hvor godt disse to kan representere forholdene, men det er disse målingene det vil bli tatt utgangspunkt i videre i prosjektet. Fra *figurene 8 og 9* kan man lese ut at vinden rundt Trondheimsfjorden 45 % av tiden kommer fra SV, ved Thamshamn i Orkanger er også 20% av denne vinden i styrken mellom 5,3 – 10,2 m/s. Ut fra *vedlegg 1* kan man lese at vindstyrken i Orkanger er lavere enn området mellom Flakk og Rørvik, dermed gjøres det en antakelse om at det er en større prosentandel av vind som er i området mellom 5,3 – 10,2 m/s mellom Flakk og Rørvik, enn hva det er i Thamshamn.

Vindrose, frekvensfordeling av vind

Vindretning deles i sektorer på 30°

Frekvensfordeling av vindhastighet i prosent %

Vindhastighet (m/s)

- >20.2
- 15.3-20.2
- 10.3-15.2
- 5.3-10.2
- 0.3-5.2

Stille (%)

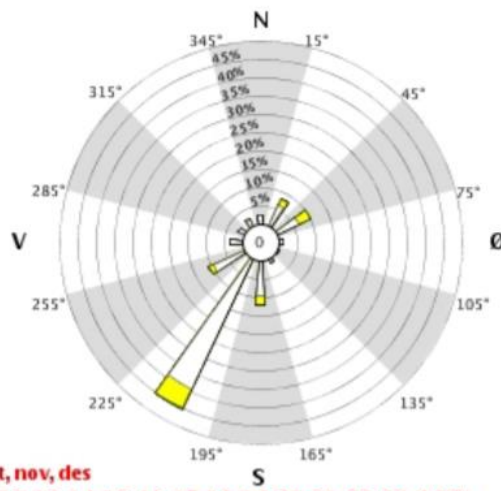


År: 2006 - 2015

jan, feb, mar, apr, mai, jun, jul, aug, sep, okt, nov, des

Tidspunkt: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 (NMT)

66150 ORKDAL - THAMSHAMN



Figur 7: Vindrose fra målestasjon på Voll, Trondheim (Ill: Metrologisk institutt)

Vindrose, frekvensfordeling av vind

Vindretning deles i sektorer på 30°

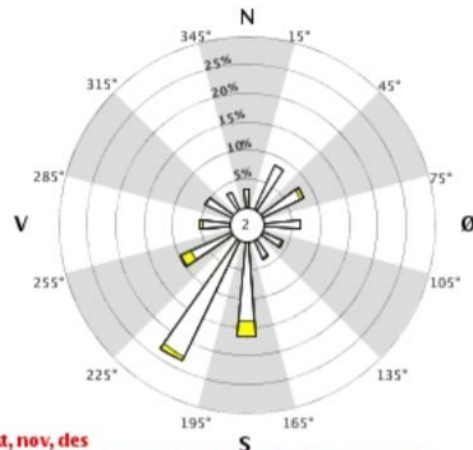
Frekvensfordeling av vindhastighet i prosent %

Vindhastighet (m/s)

- >20.2
- 15.3-20.2
- 10.3-15.2
- 5.3-10.2
- 0.3-5.2

Stille (%)

(2)


År: 2006 - 2015
jan, feb, mar, apr, mai, jun, jul, aug, sep, okt, nov, des
Tidspunkt: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 (NMT)
68860 TRONDHEIM - VOLL


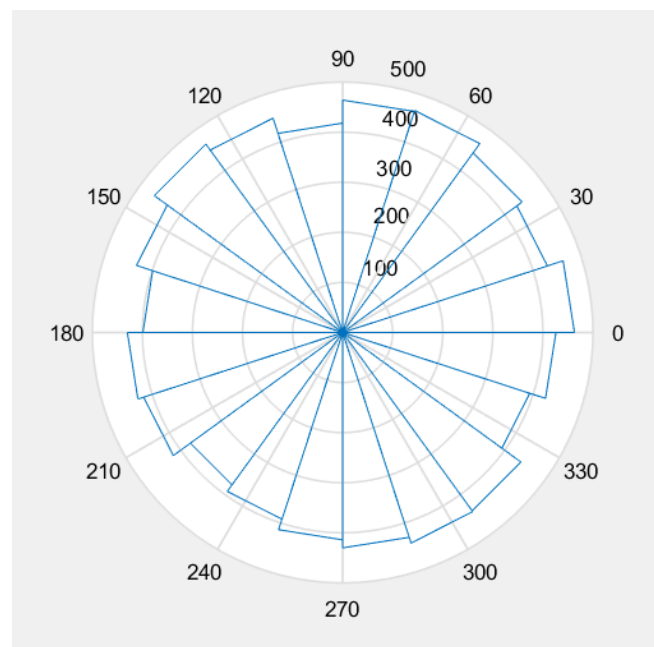
Figur 8: Vindrose fra målestasjon i Orkdal (Ill: Meteorologisk institutt)

Dette gir ganske gode signaler på hvilken retning vinden i Trondheimsfjorden kommer fra og hvor stor styrke vinden har. Det er dermed mulig å vurdere hvilken størrelse eventuelle vindmøller på den planlagte flytebrua må ha og i hvilken retning turbinene burde monteres.

4.2 Bølgeforldene

Det finnes ingen konkrete data for bølgemålinger og strømforhold. Dette er noe som det ikke har vært noe særlig undersøkelser eller forskning på inne i fjordene langs norskekysten. Det er kun ute på kysten og på åpen sjø at dette overvåkes.

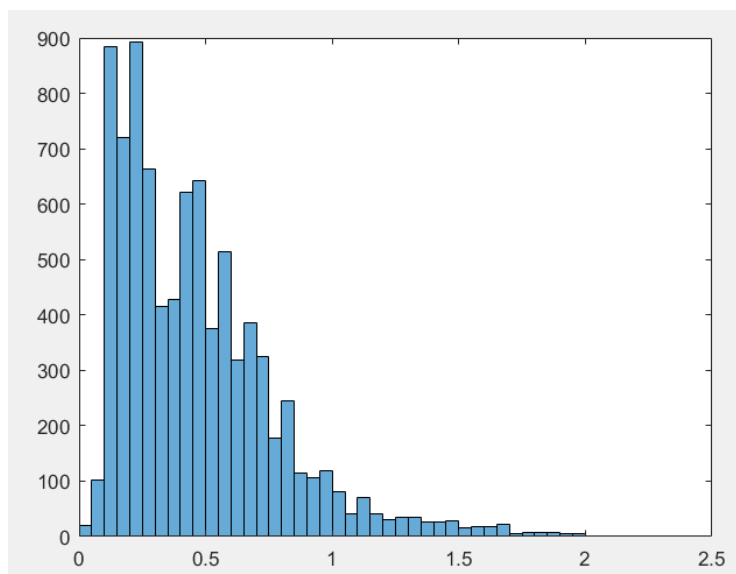
Gruppen har imidlertid fått kontakt med meteorologisk institutt som har hatt en bølgemodell gående for varsling i Trondheimsfjorden. Herfra har gruppen fått tilsendt data fra målinger for en tidsserie på et år på et utvalgt punkt på strekningen Flakk – Rørvik.



Figur 9: Bølgerose over bølgeretningene på strekningen Flakk - Rørvik i løpet av et år

Disse dataene fikk gruppen tilsendt som en matlab fil, dermed måtte gruppen laste ned og lære seg matlab. Filen bestod av omtrent 24 målinger hver dag i ett år, det vil si totalt 8569 målinger å analysere. Det ble laget en bølgerose, se figur 9 og et histogram, se figur 10, ut fra disse dataene.

Fra figur 9 kan man lese at bølgeretningen på strekningen Flakk – Rørvik, kommer omtrent like hyppig fra alle kanter i løpet av ett år. Det er ingen retning som utpreger seg som en hovedretning for bølger. Fra figur 10 kan man lese at bølgehøyden i løpet av et år i hovedsak ligger mellom 0 – 0,5 m, det er sjeldent at bølgehøyden kommer over 1,5 m på strekningen mellom Flakk og Rørvik.



Figur 10: Histogram med oversikt over maks bølgehøyde på strekningen Flakk - Rørvik over ett år. X-aksen representerer bølgehøyden, og Y-aksen representerer antall ganger den høyden har oppstått

4.3 Strøm og tidevannsforholdene

Tidevannsstrømmen følger stort sett fjordens retning, men utgående strøm har i den ytre delen av fjorden tendens til å dreie noe mot østre land og inngående mot vestre. Midtfjords ved Agdenes begynner inngående strøm ca. 4 timer før høyvann i Trondheim og utgående strøm ca. 1 time etter høyvann. Ved Agdenes og vest for Tutra blir strømmens fart ca. 1 knop, ellers i fjorden blir ikke farten over 0,5 knop. Midlere forskjell mellom lavvann og høyvann i Trondheimsfjorden er 244 cm, og disse to opptrer omtrent samtidig.(4)

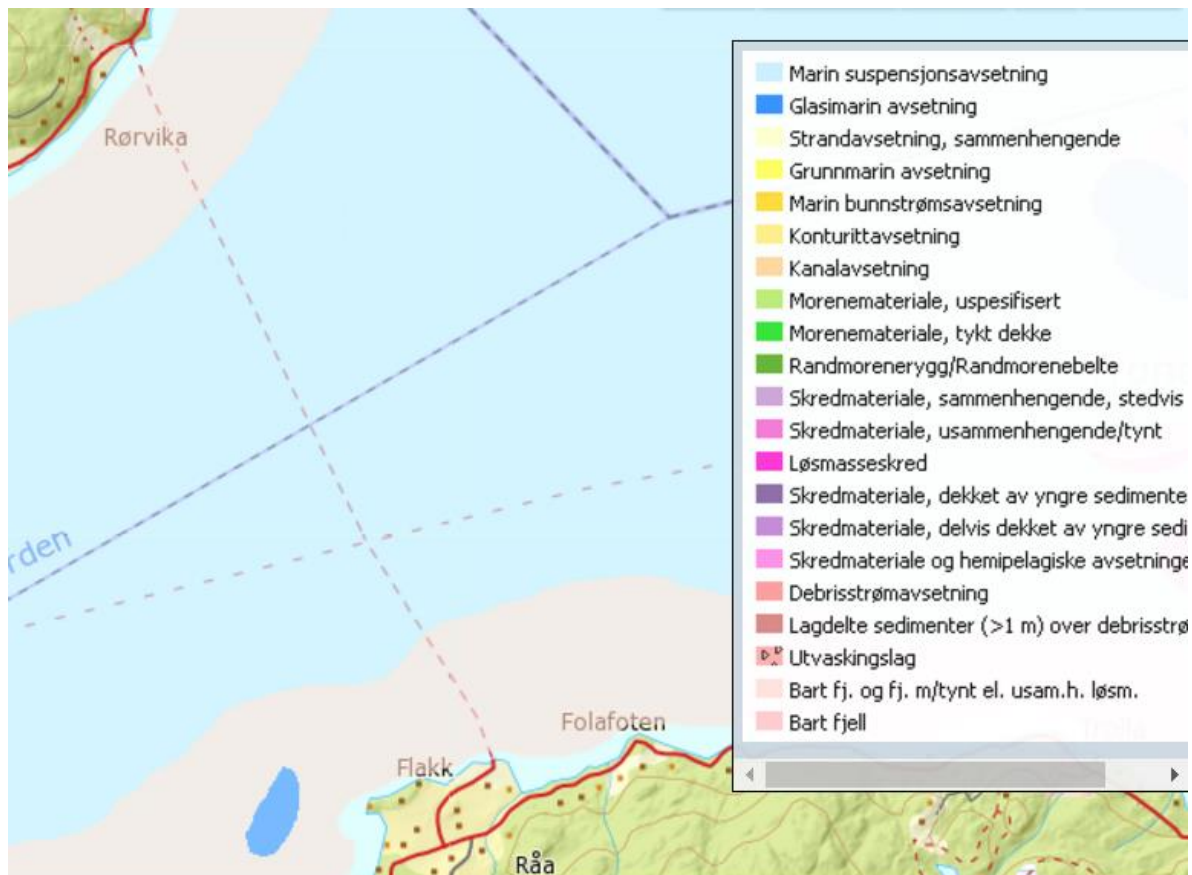
Tabell 1: Oversikt over karakteristiske trekk ved vannstandsvariasjonene ved Sjøkartverkets faste målestasjoner mellom Stad og Rørvik (III: Tidevanntabeller fra den Norske kyst samt Svalbard)

Havn	Posisjon	Z ₀	Laveste obs. rel. sjøkartnull	Høyeste obs. rel. sjøkartnull	Midlere tidev.forskjell ved spring	Midlere tidev.forskjell ved nipp	Midlere havnetid
Ålesund	62°28'N 06°09'E	120 cm	-37 cm	303 cm	166 cm	81 cm	10t 28min
Kristiansund	63°07'N 07°45'E	127 cm	-37 cm	324 cm	182 cm	89 cm	10t 42min
Heimsjø	63°26'N 09°07'E	143 cm	-43 cm	357 cm	209 cm	102 cm	10t 59min
Trondheim	63°26'N 10°26'E	162 cm	-37 cm	419 cm	249 cm	120 cm	11t 16min
Rørvik	64°52'N 11°15'E	149 cm	-33 cm	424 cm	212 cm	103 cm	11t 27min

I vedlegg 2 ligger det en «nivåskisse med de viktigste vannstands nivåene og ekstremverdiene» for Trondheim, denne er laget av Sjøkartverket. Denne kan man se at samsvarer med tabellen over.

4.2 Grunnforhold

Fra kartet under som er hentet fra Norges Geologiske Undersøkelse (NGU), marine kart kan man se at grunnforholdene i Trondheimsfjorden er ganske fine. Midt i fjorden er bunnen preget av marin suspensjonsavsetning, som vil si finkornete (leire, silt) sedimenter transportert og avsatt fra suspensjon. Draperer vanligvis underliggende sedimenter eller fjell og er oftest lagdelt. (5) Inn mot land ser man fra kartutsnittet at bunnen er preget av bart fjell og fjell med et tynt løsmasselag over. Dette kartutsnittet viser bunnsedimenter (dannelse) og er et kart som gjenspeiler prosesser som har pågått i tusenvis av år, helt siden slutten av siste istid. Inndelingen i klasser er gjort ut fra landformer, kornstørrelse, fotografier og videoopptak av bunnen, bunnprøver tatt med grabb, bokscorer, slede og multicorer, samt seismiske data. (6)



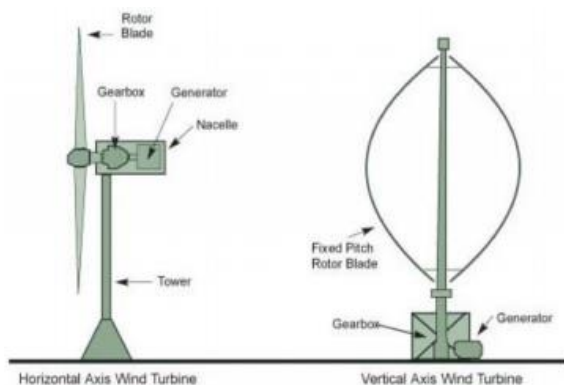
Figur 11: Kartutsnitt fra NGU med oversikt over bunnsedimenter (Ill: NGU)

5. Vindkraft

5.1 Generelt

Norge er et land med gode vindressurser i form av høye vindhastigheter, og har derfor et stort potensiale for utnyttelse av vindenergi. Med en bru på over 7000 meter over en åpen fjord kan man da prøve å utnytte disse ressursene for å dekke kostnadene ved å bygge broen. Det vil også kunne gi en positiv innvirkning på klimaregnskapet for et slikt byggeprosjekt.

Vindturbiner kan hovedsakelig deles inn i to hovedgrupper, *horizontal axis wind turbine* (HAWT) og *vertical axis wind turbine* (VAWT). HAWT er den typen som dominerer markedet i dag og er derfor lett tilgjengelig. Disse kan bygges veldig store med rotorere som dekker store arealer og produserer mye strøm. Siden produksjon av slike turbiner er veletablert med stor etterspørsel er det vanskelig å få slike spesialdesignet. VAWT har et enkelt mekanisk design som gir lavere kostnader, den bråker lite og slipper å måtte roteres etter vindretning. Ulemper med denne typen er at de er mindre effektiv og kan ikke bygges like store som horisontalaxet vindturbiner. Denne typen turbiner er ikke så ofte brukt og det har vært liten forskning og utvikling av disse i forhold til HAWT. (7)



Figur 12: Hovedtyper vindturbiner

Med tanke på at vindturbinene vil bli oppført i nærhet til trafikanter, både kjøretøy og gående, er det naturlig at det settes opp kjente turbinmodeller i stedet for at strekningen kan brukes som forskningsområde for nye typer vindturbiner da disse ofte kan ha høyere usikkerhet. Det antas at det er størst mulighet for å etablere noen store horisontalaxet turbiner eller flere mindre vertikalaxet turbiner. En type vindturbin som kan være aktuell er en såkalt *Diffuser*



augmented wind turbine (DAWT). Dette er en type vindturbin som er konstruert slik at konstruksjonen øker vindhastigheten gjennom rotorbladene. På grunn av konstruksjonens form er det også mindre fare for fallende gjenstander fra vindturbinene.



Figur 13: DAWT Vindturbin

5.2 Etablering i Trondheimsfjorden

Ved den aktuelle strekningen i Trondheimsfjorden ligger gjennomsnittlig vindhastighet på rundt 6,0 – 6,5 m/s ved 50 meters høyde (vedlegg 1). Siden det skal bygges en flytebru vil aktuell vindstyrke være på rundt 20 meters høyde. Her er vindens hastighet ca. 85% av vindhastigheten ved 50 meters høyde (8). Spesifikke data om vindretninger er ikke funnet for dette området, men det har stor betydning for hvilke turbiner som kan brukes og hvor tett de kan stå uten at de hindrer hverandres vindtilførsel.

For de fleste vindturbiner som brukes i dag er optimal vindhastighet rundt 8-10 m/s (9). Det vil si at vindforholdene i Trondheimsfjorden er litt svake for at det skal være mulig med å produsere strøm med dagens vindturbiner. For at det da skal være vindturbiner på denne bru kan det undersøkes og testes om det er mulig å øke effektiviteten i rotorbladene eller øke vindhastigheten gjennom rotorbladene.

Ved å installere vindturbiner på bru vil det oppstå ekstra påkjenninger som må regnes med ved dimensjonering av bru. En vindturbin vil øke egenlasten på bru og på grunn av ytre påkjenninger på turbinen vil det også kunne oppstå momenter, skjærkrefter og vibrasjoner. Når vindturbinene blir plassert på en slik bru vil de bli utsatt for fuktig luft, saltvann fra havet og støv fra trafikken. Dette kan føre til skader på turbinene, og man vil kunne få økte kostnader på grunn av mye vedlikehold og kortere levetid. I et så fuktig og kaldt klima som



det er over Trondheimsfjorden kan det oppstå ising i rotorblader og andre deler som kan føre til redusert effektivitet. Dette kan også være et større problem ved at is faller ned fra vindturbinene på forbipasserende trafikanter. Med dette i tankene kan det se ut til at en vindturbin av typen DAWT kan være den beste løsningen for bruene.

Hvis man kan plassere vindturbiner på broen er det mulig å redusere fundamenteringskostnader ved å integrere supporten til turbinene med flytebruens pongtonger. Integrering av vindturbiner på bruene kan gi reduserte kostnader på grunn av enklere føring av kabler langs broen, og det kan være enklere med tanke på montering, logistikk og vedlikehold. Brukonstruksjonen og spesielt pongtongene må forsterkes for å tåle de opptredende lastene, og det vil kunne oppstå ekstra kostnader på grunn av dette.

5.3 Oppsummering

Med alle utfordringene som oppstår kan det se ut til at vindkraft ikke vil være en god løsning for denne strekningen, men flere undersøkelser må gjøres før man kan trekke noen konklusjoner. Hvis det skal opprettes et vindkraftanlegg ser det ut til at en form for DAWT-turbiner kan være den beste løsningen.

For at det skal være mulig å integrere vindturbiner i brukonstruksjonen er det nødvendig å gjennomføre flere dypere analyser. Det må blant annet gjøres mer nøyaktige vindmålinger for den aktuelle strekningen, før man kan avgjøre om det er potensiale for vindturbiner på bruene. Man må finne ut hvordan vindturbiner skal kunne integreres i bruene og hvilke konsekvenser, med tanke på ekstra laster som økt egenlast og vindlast, dette vil gi for brukonstruksjonen. Til slutt på det gjennomføres økonomiske kalkulasjoner for å se om det er økonomisk gjennomførbart å sette opp vindturbiner på en bru kontra å sette de opp på land eller på havet.



6. Bølgeenergi integrert i flytebro

6.1 Generelt

Bølgekraft er en fornybar energikilde som har potensiale til å kunne levere energi til store deler av verden. Havbølger kommer av vindenergi som blåser over havflaten. Mange har sett det store potensialet til bølgekraften, og det har blitt forsket en del på i nyere tid. Likevel har bølgeenergiutvinning enda ikke satt sitt spor som energikilde da det er vanskelig å skaffe økonomiske ressurser for videre forskning. En av grunnene til at det koster mye å forske på dette er at kreftene ute i havet er så store at prototypene må være fullskala for å tåle påkjenningen.

Et av problemene med bølgeenergi er at den er veldig uforutsigbar og den endres hele tiden. Det gjør at det oppstår en utfordring i form av å ha nok kapasitet til enhver tid. For Norge sin del kan man snu det til det positive i forhold til at bølgeenergien er høyere om vinteren enn om sommeren. Man vil da kunne utvinne mer energi når forbruket er størst. Norskekysten passer også utmerket for bølgekraftutvinning da energitettheten ligger mellom 30-40 kW per meter bølgefront, og det er størst potensiale for energiutvinning mellom 40. og 65. breddegrad (10)

6.2 Forhold i Trondheimsfjorden

Skal man se mer spesifikt på forholdene i Trondheimsfjorden sier det seg nærmest selv at man ikke vil kunne utnytte like mye energi der som ute ved kysten. Bølgene vil bli hindret av øyer og fastland som ligger fra kysten og inn, samtidig som det oppstår friksjon mot bunn i grunnere farvann (11). Skal man da se på den store sammenhengen i de felles prosjektene som pågår nå, vil kanskje ikke dette bli et så stort problem. I det tenkte tilfellet skal dette prosjektet kunne levere strøm til marinbyen ute i Trondheimsfjorden. Der skal det prosjekteres for 2000 boliger, så det vil være mulig å kunne levere energi fra bølge- samt vindenergiutvinning.

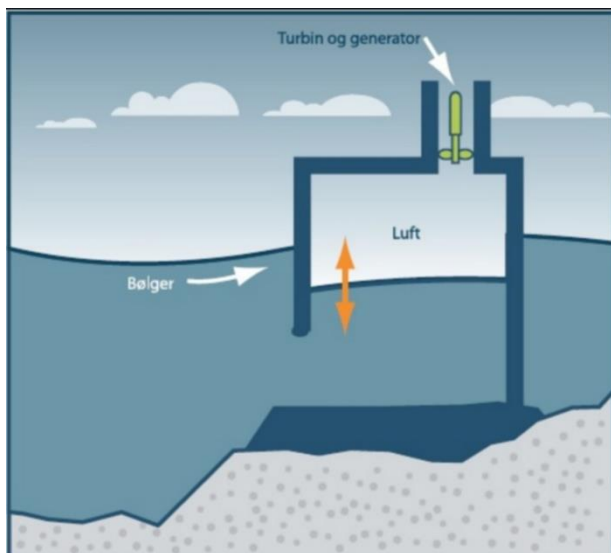
Andre fordeler med å få til en slik løsning i Trondheimsfjorden er at man får jobbet med forskning i sammenheng med et annet prosjekt, Fosenbrua. Dette vil gjøre det mer økonomisk gjennomførbart. Samtidig trenger ikke prototypene å tåle i nærheten av like stor påkjenning som de ville ha måttet gjort ute på kysten. Da dette har vært et av hovedproblemene i forhold til tidligere forskning, vil det utspille en viktig og positiv faktor for prosjektets gjennomførbarhet. Det er også veldig positivt at det vil bli enklere med vedlikehold av prototypene.

6.3 Teknologi og løsninger

For å utvinne bølgeenergi må man bruke et svingesystem som virker vekselvis med bølgene. Energien i svingesystemet må deretter overføres til mekanisk energi ved bruk av turbiner eller andre hydrauliske motorer. Man kan da skape elektrisk energi gjennom en generator (10). Så langt i forskningen er det 4 forskjellige varianter som utpeker seg som de beste og mest gjennomførbare. Disse er:

- Svingende vannsøyle
- Linjeabsorbator
- Bølgepumpe
- Overskylningsanlegg

En svingende vannsøyle vil være større enn noen av de andre løsningene.

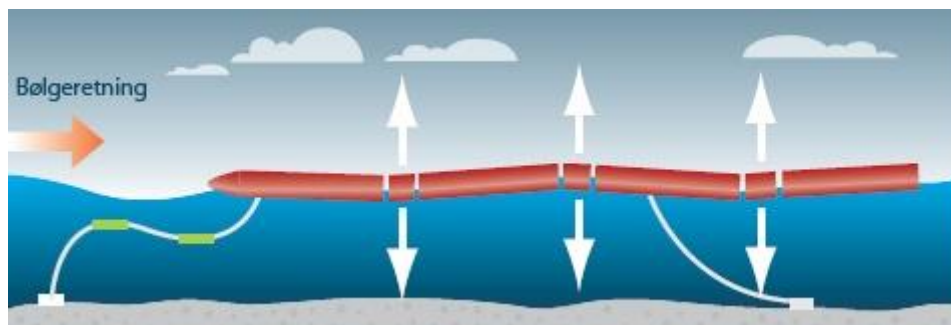


Figur 14 Eksempel svingende vannsøyle

I bildet vises en illustrasjon av hvordan en svingende vannsøyle kan fungere. Dette konseptet har blant annet blitt brukt av det britiske selskapet Wawegen Ltd. Konseptet går ut på at innkommende bølger går inn i en betongsjakt som inneholder en luftlomme i toppen. Grunnen til det er at vannhøyden vil variere med bølgene slik at det dannes et lufttrykk inne i sjakten. Her er Wellsturbiner godt egnet for bruk da de dreier i samme retning uavhengig av hvordan retningen på luftstrømmen er (10).

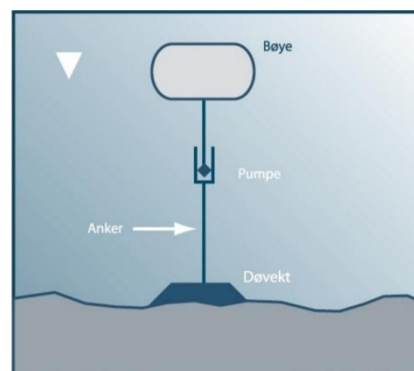
En linjeabsorbator ligger og flyter på havoverflaten og er gjerne satt sammen av flere lange elementer. Tanken bak er at elementene beveger seg i forhold til bølgene slik at energien fra bølgene kan omgjøres til elektronisk energi. Skal man bruke en linjeabsorbator for utnyttelse

av bølgekraft kan det være en idé å lage et anlegg til havs der det ikke er så mye skipstrafikk, slik at flere linjeabsorbatorer kan ligge sammen med hverandre.



Figur 15 Eksempel linjeabsorbator

Skal man bruke bølgepumper kan man gjøre det på to måter. De kan plasseres på havbunnen eller ligge og flyte på havoverflaten. Dette velges etter hva som er mest gunstig for det tiltenkte området. Teknologien med bølgepumper vises i bildet under. Poenget er at det skal festes en pumpe mellom bøyen og dødvekten slik at den kan bevege seg i forhold til bølgene og ta opp energi på samme måte som linjeabsorbatoren.



Figur 16 Eksempel bølgepumpe

I et overskylningsanlegg skylles bølgene ned i en beholder som ligger høyere enn havoverflaten. Vannet blir transportert til en høytrykkstank eller et høydebasseng på land ved bruk av pumper. Deretter sendes vannet tilbake til sjøen gjennom turbiner slik at det genereres strøm (10).

Det har blitt forsket på alle disse forskjellige løsningene, og det er fortsatt vanskelig å komme med en konklusjon på hvilken løsning som fungerer best. Det må selvfølgelig tas i betraktning hvilke forhold løsningen skal utsettes for og hvilken hensikt som skal oppfylles.

6.4 Integrering av bølgekraftsteknologi på flytebro

Da dette prosjektet skal gjennomføres i samarbeid med Fosenbrua vil linjeabsorbator eller bølgepumpe være den beste løsningen. Disse løsningene kan kobles direkte på brua uten at det tar mye synlig plass.

Gruppen ser for seg en løsning med bølgepumper langs brua. Bølgepumper blir valgt isteden for linjeabsorbatorer da gruppen ser for seg at det blir estetisk penere med bølgepumper.



Figur 17 Et tenkt eksempel på bølgekraftutvinning fra Statens Vegvesen i forhold til prosjektet "Ferjefri E39"

Denne løsningen som er hentet fra Statens Vegvesens prosjekt «Ferjefri E39» passer veldig fint inn i vårt prosjekt. Gruppe 23 som er ansvarlige for Fosenbrua har planlagt å lage en flytebru med pongtonger. Bølgepumpene kan da kobles direkte på pongtongene samtidig som teknisk utstyr og hydraulikk plasseres i pongtongene. En slik løsning vil være økonomisk gunstig da pongtongene uansett må bygges i forhold til brua.

6.5 Oppsummering bølgekraft

Forskning innenfor temaet bølgekraft er ikke kommet så alt for langt per dags dato, men det vil kunne være en av de viktigste fornybare ressursene vi har i fremtiden. Derfor er det viktig å fortsette å forske på dette slik at man kan finne en optimal løsning på de problemene som er til stede i dag.

Gruppen føler at vår løsning kommer med mange fordeler og positive faktorer i forhold til de største problemene med utvinning av bølgekraft. Forskningsanlegget blir liggende inne i Trondheimsfjorden som da skjerner anlegget for de sterke kreftene som oppstår til havs og ute ved kysten. Man vil ikke kunne hente like mye energi i fjorden som ved kysten, noe som gjør at det blir vanskelig å gjennomføre prosjektet med økonomisk vinning. Det må hentes flere data for den tenkte brustrekningen slik at det kan vurderes hvor lønnsomt et slikt prosjekt vil bli. Likevel er konseptet bra, og det at anlegget bygges integrert i Fosenbrua kan hjelpe på den økonomiske situasjonen samtidig som prosjektet blir mer attraktivt. Prosjektet har som formål å kunne levere strøm til marinbyen samtidig som det forskes videre på bølgekraft i fjorden.



7. Tidevannsenergi integrert i flytebro

7.1 Generelt

Tidevannsenergiteknologien er i en tidlig utviklingsfase, og teknologien er i dag ikke ferdig utviklet. Det er flere steder rundt om i verden opprettet testanlegg, men det mangler fortsatt mye på dette området innen forskning. Dette er forskning som det jobbes med av mange og om noen få år vil dette kanskje være det nye inne energiproduksjon. Det er mange forskjellige teknologier som er under testing og det er dermed vanskelig å si hvilken teknologi som er den beste å bruke for integrering på flytebroer.

På tross av store variasjoner i teknologien er det omtrent de samme utfordringene som går igjen i marin energiteknologi. Hovedutfordringen er å bygge noe som tåler det harde været på sjøen, som kan stå mot både bølger, vind og sterke strømminger. For å kunne bygge noe som tåler ekstremvær, er man nødt til å dimensjonere elementene til å bli større enn de gjennomsnittlige påkjenningene. Dette er et av hovedproblemene for integrert teknologi i bru, ettersom at teknologien ofte kan utgjøre en så stor vekt at dette kan gå utover flytebruens flyteevner.

Andre problemer med marinekonstruksjoner er hvordan installasjon, vedlikehold og overvåkning skal gjennomføres, og samtidig også hvordan eventuell produsert strøm skal overføres til land og strømmettet uten store tap.

Det er i dag ingen gode teknologiske muligheter for å integrere tidevannskraftverk i brukonstruksjoner. I tillegg er det enda vanskeligere å få til integrering i en flytebro når Trondheimsfjorden er så dyp som den er. Det som også er et minus med tanke på konseptet energiproduserende bruer er at bruer oftest bygges på områder med minst mulig ytre påkjenninger, og dermed på områder som er mindre egnet for energiproduksjon enn andre steder bare et lite stykke unna. Det er funnet i en mulighetsstudie bestilt av Statens Vegvesen, og gjennomført av Rambøll, at det kan være noe teknologi som har en verdi å forske videre på med tanke på integrering i flytebru.

7.2 Energiressurs i tidevannsenergi

Tidevann er en av de mest forutsigbare fornybare ressursene på jorda, ettersom at vannmassene er i konstant bevegelse på grunn av gravitasjonskreftene. Denne forandringen i vannstanden, som vi kjenner som flo – og fjære, oppstår på grunn av store mengder energi



som vi kan benytte oss av. Forutsigbarheten i denne energiressursen er en stor fordel med tanke på produksjon – og forbruk av strøm.

For utbygging og produksjon av strøm fra tidevann er de viktigste kriteriene strømningshastighet og tverrsnitt på strømmene. 3 knop sees på som et minimum for hva som er lønnsomt for horisontale fristrøms turbiner da energien får i tredje potens av hastigheten.(12) Det omtalte potensialet i neste avsnitt er regnet ut med utgangspunkt i disse kriteriene, det er kun områder nord for Bodø som er medregnet, sør for Bodø er det svært begrenset tidevannspotensiale.

Det er ikke kalkulert noe globalt potensial for tidevanns energiproduksjon, men det har blitt estimert til å være 1000 TWh/år.(13) Sweco har gjort et potensialstudie for Enova og kartlagt havpotensialet i Norge, etter beregninger estimerer de et totalt teknisk potensial på noe over 1 TWh/år for tidevannskraftverk i de kartlagte og aktuelle områdene. Det aktuelle utbyggbare tidevannspotensialet i Norge estimeres dermed til godt under 1 TWh/år. (12)

7.3 Teknologien bak tidevannskraftverk

Hovedprinsippet for teknologien som blir brukt i et tidevannskraftverk er at kinetisk tidevannsenergien konverteres og gjøres om til strøm. I Norge gjøres dette som regel ved å utnytte vannhastigheten mellom vannet som strømmer fra høyvann til lavvann eller omvendt. (14). Denne teknologien blir i engelsk litteratur referert til som TISEC – Tidal in Stream Energy Conversion. Optimal hastighet for den tradisjonelle teknologien er 1.5 – 3,5 m/s men flere typer har i senere tid blitt utviklet for produksjon ned til 0,5 m/s.

Teknologien i tidevannskraftverk er mye lik den som brukes i vindmøller, design og prinsipp baserer seg mye på det samme. De vanligste typene er:

- Tidevannsdemning
- Tidevannsturbin med vannrett akse
- Tidevannsturbin med vertikal akse
- Pendlende vinge eller oscillerende hydrofoil
- Tidevannsdrage

De tidevannskraftverkene som brukes mest i dag er tidevannsturbiner, dette fordi at disse er de billigste og mest miljøvennlige. Det gjenstår fortsatt å finne den beste modellen for å



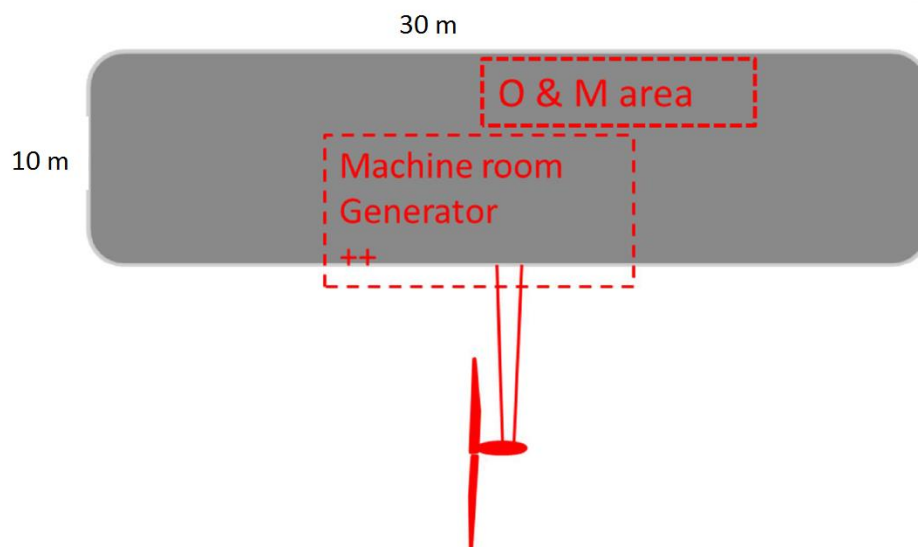
utnytte tidevannsenergi, dette ligger inn i fremtidens forskning å finne ut av, men det som fungerer best i dag er turbiner med horisontal akse.

7.4 Integrering av tidevannsteknologi på flytebro

Det største problemet med integrering av teknologien på flytebru er uten tvil den totale vekta som vil oppstå etter at teknologien har blitt montert. Store flytebruer blir i stor grad påvirket av naturkrefter. Derfor må den strukturelle dødvekten være så liten som mulig, dette inkluderer også trafikklaster, og balanseringen av pongtongene. (15)

Pongtongene må derfor bygges på en slik måte at horisontal last fra bølger og vind blir tatt opp av konstruksjonen og transportert inn til land. For å få til dette, og få en bru som tåler vind opp mot 40-50 m/s er det nødvendig å bygge store pongtonger. Dermed er det rimelig å anta at disse vil få et stort tverrsnitt og dermed også en ganske stor vekt, og at derfor vil ikke et tidevannsanlegg sin vekt være i stand til å påvirke den allerede tunge konstruksjonen. I utgangspunktet er det viktig at tverrsnittet er så lite som overhode mulig, da stor vekt vil gjøre at pongtongene ligger lavere i sjøen og blir dermed påvirket av større krefter.

For at tidevannsanlegg skal bli økonomisk gunstig er det et mål å redusere kostnader i sammenheng med å klargjøre havbunnen. Dersom tidevannsanlegget installeres i pongtongen vil denne kostnaden elimineres og dermed kan tidevannsanlegg kostnaden reduseres kraftig, og teknologien kan bli mer aktuell å bruke. Denne integreringen kan også være verdifull for tidevannsanlegg på andre områder, blant annet ved å redusere installasjons – og vedlikeholdskostnader.

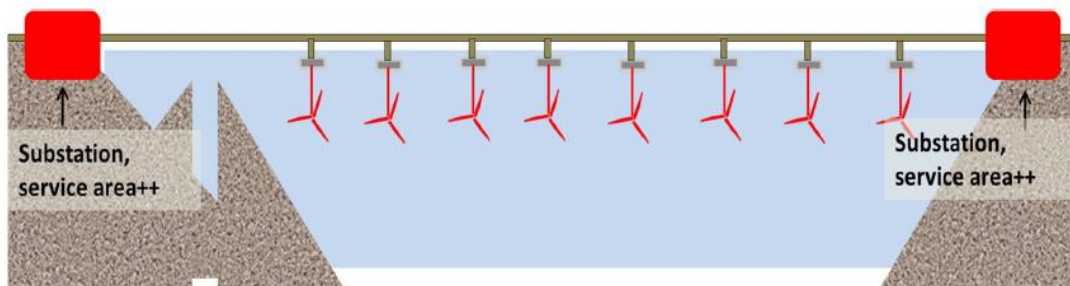


Figur 18: Tenkt integrering av turbin i pongtong (Ill: Rambøll)

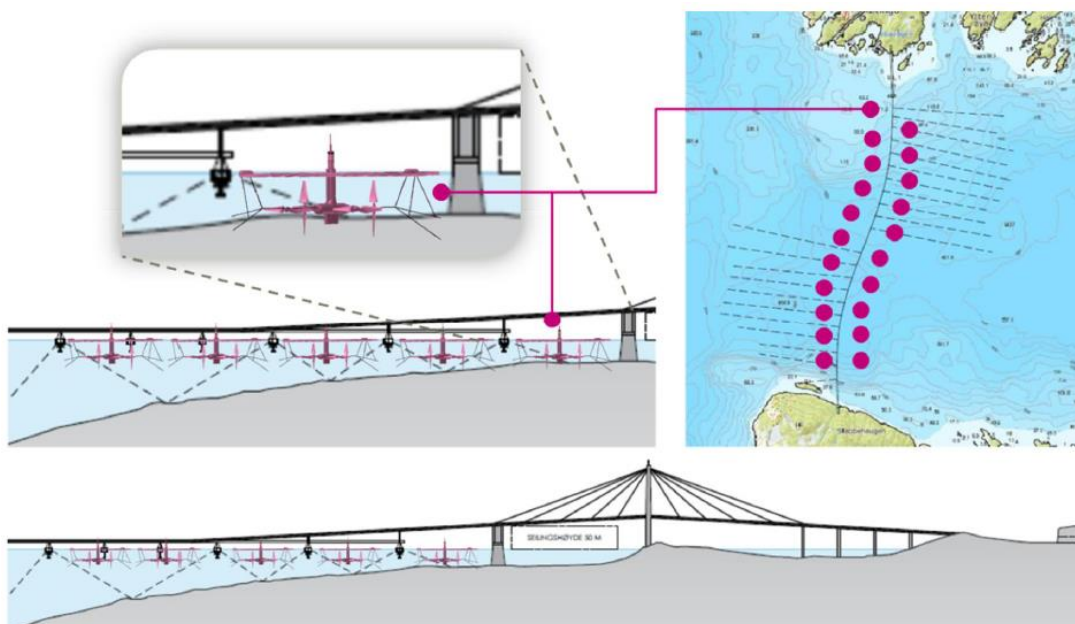
Ved å integrere tidevannsanlegget i pongtongen kan man slippe å bruke lange og store undervannskabler, da kablene heller kan legges inne i brokonstruksjonen og de kan erstattes av et vanlig system som brukes på land. I tillegg vil pongtongen ha mulighet til å huse generatoren og andre elektriske systemer som tradisjonelt ville ligget under vann. Det at disse komponentene kan bygges inn i den «tørre» pongtongen kan også gi en økt verdi til tidevannsanleggene. Flytebru over Trondheimsfjorden vil uten problem ha store nok pongtonger til at fysisk vedlikeholdsarbeid kan utføres inne i pongtongen. En annen teknologi som burde undersøkes er muligheten for å kunne løfte anlegget opp av vannet, blant annet under storm eller vedlikehold.

7.5 Integreringsalternativer

Forslag for integrering utarbeidet av Rambøll (15):

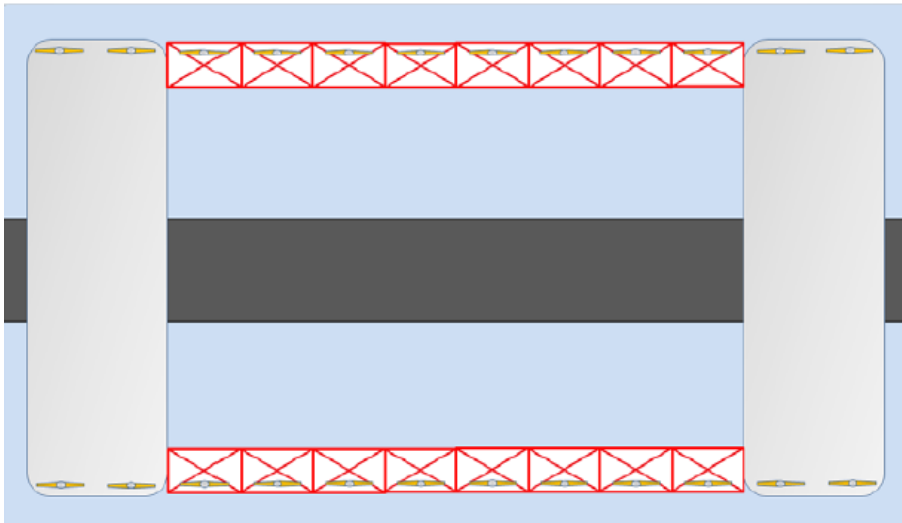


Figur 19: Tidevannsturbiner integrert på flytebru



Figur 20: Tidevannsturbiner på flytebru

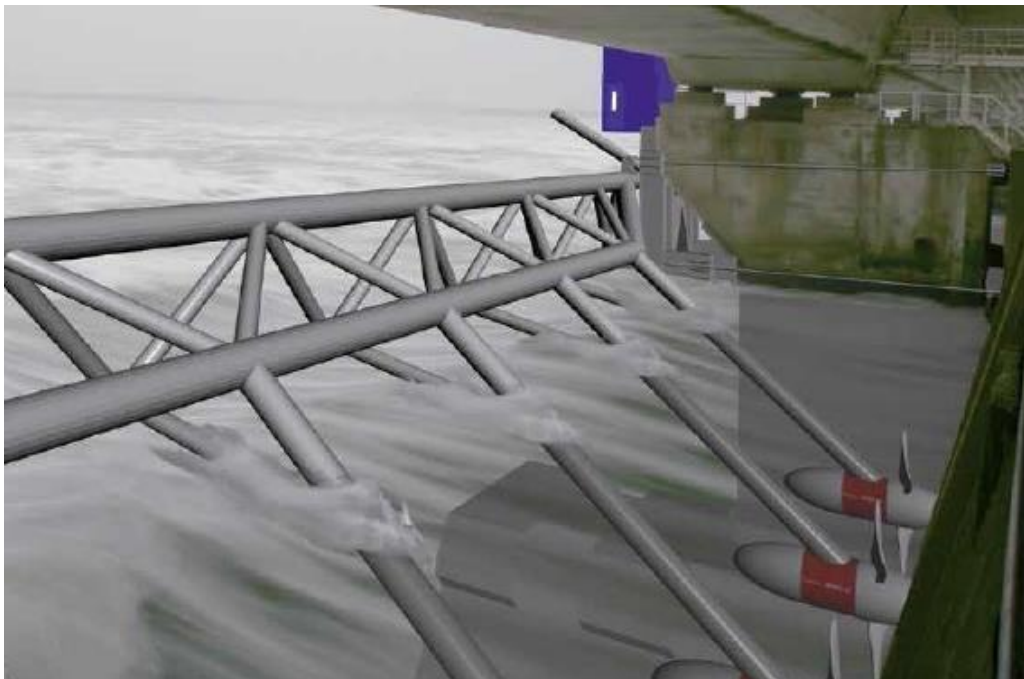
Forslag for integrering utarbeidet av D. Vanetti, SP (16):



Figur 21: Konsept for å bruke pongtonger for å montere rader med tidevannsturbiner på flytebru



Figur 22: Konsept for å integrere tidevannsturbiner på flytebru



Figur 23: Eksempel på hvordan tidevannsturbiner kan festes direkte på flytebru mellom pongtongene, eksempel laget av Tocardo International BV



7.6 Sammendrag

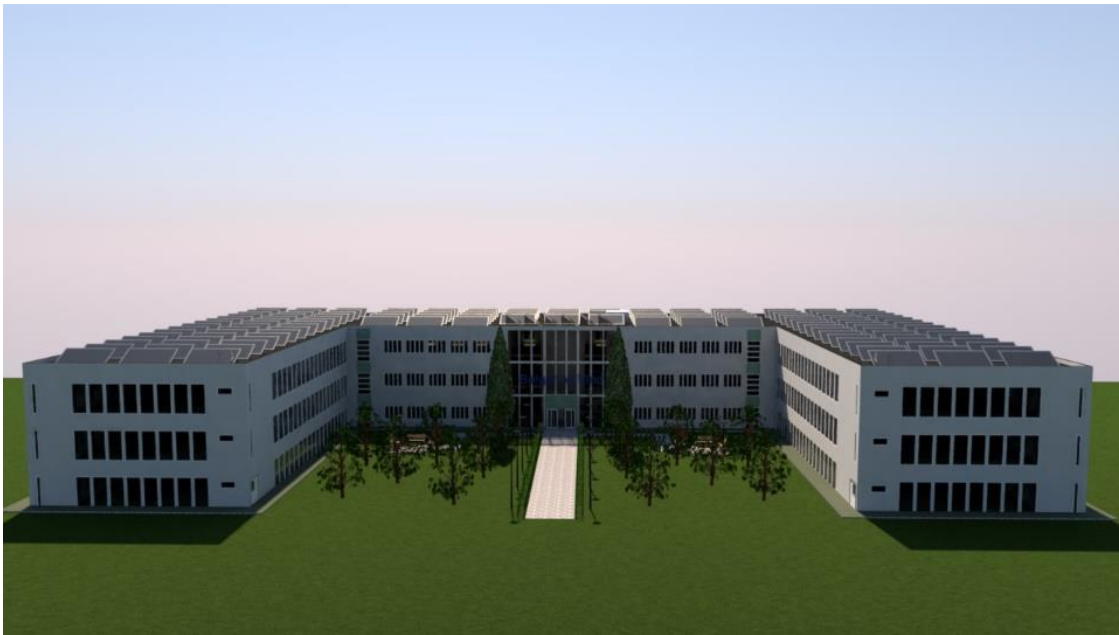
Det vil være flere fordeler med å integrere tidevannsteknologi i en flytebro. Dette først og fremst fordi teknologien kan installeres tørt og trygt inne i pongtongen, dette gir en beskyttelse mot hardt vær og i tillegg blir det enklere med tanke på drift, vedlikehold og montering. I tillegg vil også strømkablene kunne ligge inne i brukonstruksjonen, noe som gir mindre belastning på disse.

Det antas at dette kan få kostnadene ved et tidevannsanlegg til å gå ned, ettersom at det integreres med pongtongene som uansett skal bygges. Det er som er den store negative siden ved å integrere tidevannsteknologi i en flytebru er at bruer som regel bygges der det er minst værpåkjening, mens et tidevannsanlegg skulle optimalt sett hatt verst mulig vær og klimapåkjenninger, dette gir dermed en lavere energiproduksjon og dårligere utnytting av teknologien.

8. Kontorbygg

8.1 Generelt

Det vil bli planlagt et kontorbygg for arbeidsplasser i marinbyen. Dette kontorbygget vil ha en kapasitet på rundt 500 arbeidsplasser, med størst fokus på arbeidsgrupper innen bølge- og vindforskning.



Forslag til arkitektonisk utforming av kontorbygg

8.2 Utforming

Denne vil bli utformet med både åpne og lukkede arbeidsplasser, noe som innebærer større spennvidder på etasjeskillerelementene, for gode åpne kontorlandskap. Det vil i tillegg være kantine og fine, grønne uteplasser.

Bygget skal prosjekteres slik at det er universell utformet, som vil si at hver enkelt med funksjonshemninger skal kunne ha gleden av bygget. Det vil prosjekteres slik at det vil bli et passivhus, for å kunne få energimerkingen av bygget opp og at det ikke vil brukes så mye energi for at bygges skal kunne driftes. Dette vil kunne få ned kostnadene over tid.



Inngangsparti kontorbygg

8.3 Sammenkobling med marinbyen

Dette kontorbygget vil bli koblet på resten av byen med samme type flytemoduler som de andre delene av byen. Kontorbygget vil da ligge mellom boplassene og det andre forskningsanlegget.

Siden det ikke skal være noen form for parkering ved dette bygget vil det heller planlegges et lite parkareal ved bygget, for å få det finere og grønnere rundt bygget. Det vil da også være fokus på miljø.

8.4 Ulike bransjer

Det finnes enkelte bransjer som kan være interessert i kontorer i dette bygget midt i marinbyen. SINTEF, NTNU og institutt for energiteknikk kan være interessert i et slik bygg, både for nye lokaler og for å komme nærmere havet.

Bygget kan da også brukes som stasjon for kontroll av energien fra energibroen som skal bygges med tilknytning til marinbyen. Med dette vil dette bli et viktig bygg i marinbyen som kontrollerer mengder energi som produseres og at man kan bruke disse dataene til videre forskning. Dette bygget vil da også bli en viktig del når man ser på at det er veldig mange arbeidsplasser som blir åpne.



8.5 Konklusjon

Dette kontorbygget kan være et bra initiativ til denne marinyen, der det skapes mange arbeidsplasser. Siden disse arbeidsplassene vil være relatert til de nære områdene rundt vil dette være attraktivt for de som skal jobbe der.

9 Konklusjon og videreføring

Ved å etablere en energiproduserende bru vil man kunne gjøre bruprojektet mer økonomisk gjennomførbart. Siden de energiproduserende enhetene kan monteres til pongtongene i brukonstruksjonen er det mulig at merkostnadene ved å sette opp disse ikke blir så store.

Per i dag finnes det ikke mange energiproduserende bruer, så et forskningsprosjekt på dette området kan åpne opp for mange muligheter videre. Det største potensiale til energiproduksjon ser ut til å være fra bølge- eller tidevannsenergi. Dette er teknologier som er lite brukt og trenger mer forskning og utvikling. Med en plassering i Trondheimsfjorden like utenfor Trondheim vil dette anlegget ligge i nærhet til gode forskningsmiljø ved NTNU og Sintef, og mange gode bedrifter som kan ha interesse for dette prosjektet. Med en ny marineby vil det også være mulig å etablere et næringsbygg rett ved bruen hvor forskere og aktuelle bedrifter kan jobbe med innenfor dette prosjektet.

Mangel på data om nøyaktige vind- og bølgeforhold gjør det vanskelig å anslå om det er mulig å etablere energiproduksjon, og før man går videre med prosjektet bør det gjøres mer eksakte målinger om vind og bølger på den aktuelle strekningen. Det må avgjøres hvilke teknologier som kan brukes og hvordan dette kan kobles til bruen uten at de ekstra lastene på brukonstruksjonen blir for store.

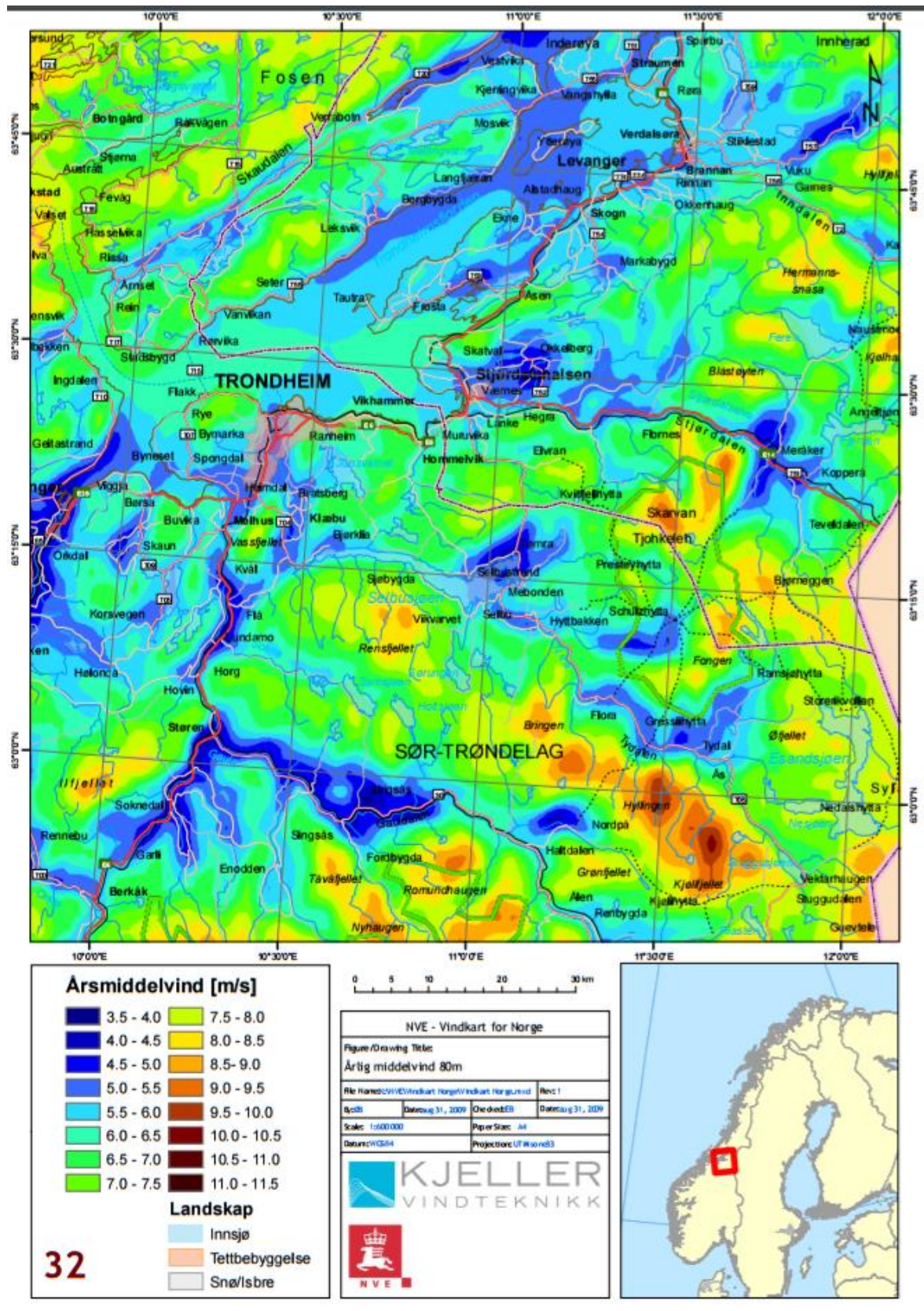
Siden vind- og bølgeforholdene har mindre potensiale inne i fjorden enn ute i havgapet kan det også være mulighet å etablere egne anlegg for vindkraft eller bølgekraft på havet eller ved kysten. Her som sagt værforholdene bedre, men lokaliseringen er ikke like lett tilgjengelig.



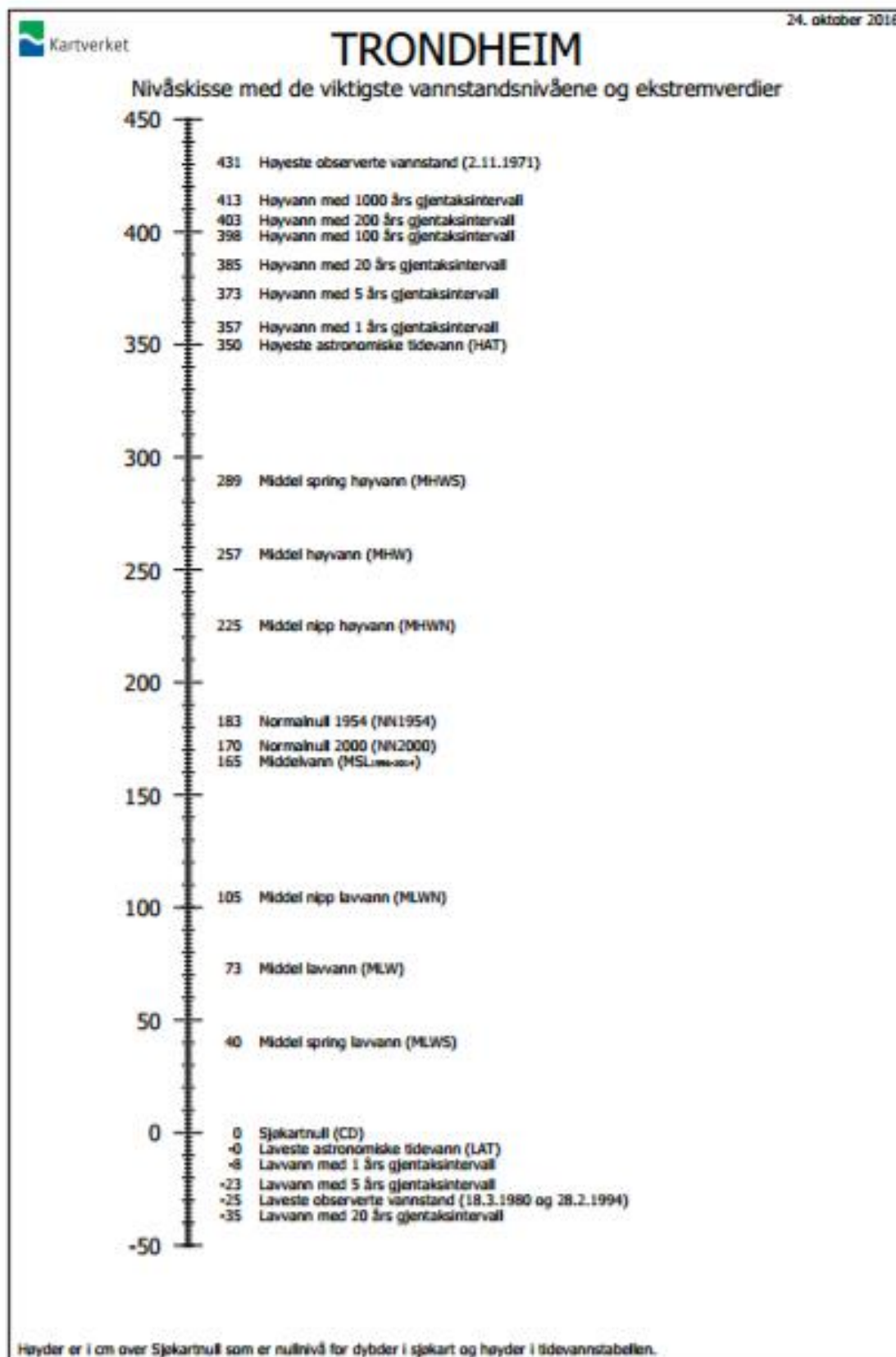
10 Referanser

1. Vegvesen S. Delprosjekt Fjordkryssing 2012.
2. Laanke B. Nå kommer Power Roads! Sintef.no/siste nytt/nå kommer power roads!: Sintef; 2015
3. Vegvesen S. Ferjefri E39. 2012.
4. Den norske Los 4, Farvannsbeskrivelse Stad - Rørvik [Internet]. 2008.
5. http://www.ngu.no/filearchive/221/Jordart_losmassekode.pdf 06.02.2017 12:40 [
6. <https://www.ngu.no/emne/dannelse-av-bunnsedimenter>. 06.02.17 12:45.
7. E. Sæta SOS, J. Solli, T.K. Sandaker, E.B. Thorsen, Norconsult. Technology survey for renewable energy integrated to bridge constructions. Wind and solar energy. 2012.
8. https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_gradient 20.02.2017
9. Lars Åkesson S. Technology survey for renewable energy integrated to bridge constructions. Wind energy. 2012.
10. <http://www.fornybar.no/nye-teknologier/bolgekraft/bolgekraft>. 10.02.2017 kl. 14:00
11. <https://no.wikipedia.org/wiki/B%C3%B8lgekraft>. 10.02.2017 kl. 12:00
12. Jonas Sandgren LEH, Wilfred Pimenta de Miranda, Gry Hamarsland, Karin Ibenholdt. Potensialstudie av havenergi i Norge. 2007.
13. Vegvesen S. Ferjefri E39 Subproject ENERGY. 2012.
14. <http://ungenergi.no/energikilder/hav-og-vannkraft/tidevannsennergi/> 08.02.17 11:57
15. Espen Borgir Christophersen R. Technology survey for renewable energy Integrated to bridge constructions April 2012.
16. Daniel Vennetti S. Technology survey for renewable energy Integrated to bridge constructions. SP Tegnical Reasearch Institute of Sweden 2012.

Vedlegg 1 Vindkart over Trondheimsområdet



Vedlegg 2 Nivåskisse over havnivåer i Trondheim



Vedlegg 3 Fremdriftsplan

ID	Aktivitet	Aktivitetsnavn	Varighet	Start	Slutt	Milepæl	Tekst 1	06. feb. 17				13. feb. 17				20. feb. 17				27. feb. 17																			
								s	m	t	o	t	f	i	s	s	m	t	o	t	f	i	s	s	m	t	o	t	f	i	s	s	m	t	o	t	f	i	s
1	★	Utredning av teknologier og integrering av disse på flytebru	15 dager	ma 06.02.17	fr 24.02.17	Nei	Skrive inn i teknisk rapport, ferdig skrevet for alle 17.02. Kilder og bilder skal også være ferdig	[Task bar from 06.02.17 to 17.02.17]																															
2	★	Eirik: Utredning av vindkraft teknologi og hvordan disse kan integreres på flytebru	15 dager	ma 06.02.17	fr 24.02.17	Nei		[Task bar from 06.02.17 to 17.02.17]																															
3	★	Egil: Utredning av bølgekraft teknologi og hvordan disse kan integreres på flytebru	15 dager	ma 06.02.17	fr 24.02.17	Nei		[Task bar from 06.02.17 to 17.02.17]																															
4	★	Marie: Utredning av tidevannskraft teknologi og hvordan disse kan integreres på flytebru	15 dager	ma 06.02.17	fr 24.02.17	Nei		[Task bar from 06.02.17 to 17.02.17]																															
5	★	Tegning og prosjektering av kontorbygg	20 dager	ma 06.02.17	fr 03.03.17	Nei	Hovedansvar Brynjar	[Task bar from 06.02.17 to 03.03.17]																															
6	★	Brynjar: Tegne ferdig kontorbygget og området rundt	10 dager	ma 06.02.17	fr 17.02.17	Nei		[Task bar from 06.02.17 to 17.02.17]																															
7	★	Brynjar: KTR for bygget skal lages	6 dager	fr 10.02.17	fr 17.02.17	Nei		[Task bar from 10.02.17 to 17.02.17]																															
8	★	Brynjar: Bygget skal inn i teknisk rapport	6 dager	fr 17.02.17	fr 24.02.17	Nei	Skrive om bygget, hva som er tanken med kontorbygget, hvem skal jobbe her og hva skal de jobbe med.	[Task bar from 17.02.17 to 24.02.17]																															
9	★	Fremdriftsplan ferdig	3 dager	on 08.02.17	fr 10.02.17	Ja		◆ 10.02																															
10	★	Grensenitt	1 dag	fr 17.02.17	fr 17.02.17	Ja	Lage ferdig grensesnit	◆ 17.02																															
11	★	Evaluerer av teknologier og analyse av videre arbeid	1 dag	ma 20.02.17	ma 20.02.17	Nei	Fundament, detaljer, support, bygging, videre arbeid, neste års oppgaver	[Task bar from 20.02.17 to 20.02.17]																															
12	★	Lage KTR	5 dager	ti 21.02.17	ma 27.02.17	Nei	Alle lager KTR for sitt tema, må evalueres på møtet 20.02 om det er noen av teknologiene det skal sees nøyer på enn andre	[Task bar from 21.02.17 to 27.02.17]																															
13	★	Oppsummering SPGR	1 dag?	fr 24.02.17	fr 24.02.17	Ja		◆ 24.02																															
14	★	Skrive ferdig prosessrapporten	3 dager	fr 24.02.17	ti 28.02.17	Nei	Ansvar fordeles senere	[Task bar from 24.02.17 to 28.02.17]																															
15	★	Skrive ferdig teknisk rapport	3 dager	fr 24.02.17	ti 28.02.17	Nei	Ansvar fordeles senere	[Task bar from 24.02.17 to 28.02.17]																															
16	★	Lage artikkel	3 dager	fr 24.02.17	ti 28.02.17	Nei	Ansvar fordeles senere	[Task bar from 24.02.17 to 28.02.17]																															
17	★	Lage ferdig presentasjon, pp, plakat	4 dager	ti 28.02.17	fr 03.03.17	Nei	Ansvar fordeles senere	[Task bar from 28.02.17 to 03.03.17]																															
18	★	Framføring av prosjekt			fr 03.03.17	Ja		◆ 03.																															



Vedlegg 4 Grensesnittregister

Grensesnitt				
Nr	Oppgave	Ansvarlig	Kommentar	Status
1	Marinbyen	Gruppe 19	Sammenkobling av flyteelement med kontorbygg sammen med resten av marinbyen	B
2	Flytebru	Gruppe 23	Koble support for teknologi i pongtongen på flytebru	A

Vedlegg 5 KTR – skjemaer

Bedrift: Gruppe 22	Oppdragsnavn: Bølge- og vind forskning			Oppdragsnr.: A1000	
Aktivitetsnr.: A-01	Versjon: 01	Dato: 14.02.17	Utført: BFS	Kontrollert MS	Godkjent MS

Aktivitetsnavn: Kontorbygg i marinbyen i Trondheimsfjorden.
Formål: Bygge nytt kontorbygg i marinbyen.
Omfang: Prosjektering av kontorbygget i marinbyen i Trondheimsfjorden, være tilpasset til universell utforming, og være prosjektert som passivhus. <ul style="list-style-type: none"> • Planlegging av størrelse og bruk av kontorbygg • Bygging på flyteelement • Bygging av passivhus og tilpasset universell utforming
Basis/forutsetninger og grensesnitt: Samarbeid med grupper fra «på sjøen»
Grensesnitt – interne og eksterne: Plassering i forhold til marinbyen. Tilknytning til flyteelementer som resten av byen er bygd på.
Kundens ytelse til denne aktiviteten: Kunne si noe om hvor mange arbeidsplasser som trengs og utforming av bygget.
Start – og sluttidspunkt: 01.01.18 – 01.01.22
Ansvarlig for aktiviteten: Brynjar Fagerli Strøm



Bedrift: Gruppe 22	Oppdragsnavn: Bølge- og vind forskning			Oppdragsnr.: A1000	
Aktivitetsnr.: A-02	Versjon: 01	Dato: 14.02.17	Utført: BFS	Kontrollert EAM	Godkjent EAM

Aktivitetsnavn: Planlegging av størrelse, bruk og arkitektur av kontorbygg
Formål: Å ha en viss anelse om hvor mange som skal bruke bygget og hvor stort bygget trenger å være.
Omfang: Ved planlegging av hvilke arbeidsgrupper som skal kunne bruke kontorbygget er det visse arbeidsområder som vil kunne bruke bygget. <ul style="list-style-type: none">• Bølgeforskning• Vindforskning Størrelsen av bygget vil prosjekteres til rundt 500 personer. Det må da produseres tegninger for at det skal vises hvordan det tenkes at dette bygget vil bli seende ut.
Basis/forutsetninger og grensesnitt: Finne lokale firmaer som jobber innenfor disse fagområdene.
Grensesnitt – interne og eksterne: Enighet om utforming mellom bedrifter om det blir flere enn en bedrift.
Kundens ytelse til denne aktiviteten: Samhandling mellom bedrifter.
Start – og sluttidspunkt: 01.01.18 – 01.01.19
Ansvarlig for aktiviteten: Brynjar Fagerli Strøm



Bedrift: Gruppe 22	Oppdragsnavn: Bølge- og vind forskning			Oppdragsnr.: A1000	
Aktivitetsnr.: A-03	Versjon: 01	Dato: 14.02.17	Utført: BFS	Kontrollert EBN	Godkjent EBN

Aktivitetsnavn: Bygging på flyteelement
Formål: Å bygge kontorbygget på samme flyteelement som resten av marinbyen
Omfang: Det må prosjekteres slik at kontorbygget blir bygd på samme flyteelement som resten av byen slik at det kan enkelt kobles sammen og holde byen sammen. Det blir da et best resultat hvis det brukes samme type teknologi for at det ikke skal bli noen komplikasjoner i skjøtene med disse elementene.
Basis/forutsetninger og grensesnitt: At alle gruppene bruker samme teknologi.
Grensesnitt – interne og eksterne: Det er da viktig å ha god dialog med de andre gruppene slik at det ikke blir noen forskjell på elementene. Tilknytning til flytelementer som resten av byen er bygd på.
Kundens ytelse til denne aktiviteten:
Start – og sluttidspunkt: 01.01.19 – 01.01.21
Ansvarlig for aktiviteten: Brynjar Fagerli Strøm



Bedrift: Gruppe 22	Oppdragsnavn: Bølge- og vind forskning			Oppdragsnr.: A1000	
Aktivitetsnr.: A-04	Versjon: 01	Dato: 14.02.17	Utført: BFS	Kontrollert MS	Godkjent MS

Aktivitetsnavn: Bygging av passivhus og tilpasset universell utforming
Formål: Å skape et grønt bygg med lav bruk av energi. At alle personer med funksjonshemninger skal kunne bruke bygget.
Omfang: Bygget skal bygges etter passivhus standarden for en mer energieffektivt bygg med tanke på at det skal være en grønn by. Bygget må prosjekteres slik at det er muligheter for alle med funksjonshemninger skal kunne bruke bygget. <ul style="list-style-type: none">• Teleslynger med tanke på de med nedsatt hørsel• Godt markerte veier for de med nedsatt syn• Trinnfri inngang for de som kommer i rullestol eller har andre plager tilknyttet dette• Heis mellom alle etasjer• Store nok døråpninger• Handicap toalett
Basis/forutsetninger og grensesnitt: Samarbeid mellom de ulike aktørene for et godt resultat.
Grensesnitt – interne og eksterne: At det legges opp slik at det ikke blir innviklinger mellom fagene. Følge Rapport 42 ved oppføring av bygg med passivhus standard. Følge TEK 10 ved universell utforming.
Kundens ytelse til denne aktiviteten:
Start – og sluttidspunkt: 01.01.19 – 01.01.22
Ansvarlig for aktiviteten: Brynjar Fagerli Strøm



Bedrift: Gruppe 22	Oppdragsnavn: Energiproduserende bru over Trondheimsfjorden			Oppdragsnr.: A1000	
Aktivitetsnr.: A-05	Versjon: 01	Dato: 14.02.17	Utført: MS	Kontrollert: BFS	Godkjent: BFS
Aktivitetsnavn: Utredning av ressursgrunnlaget i Trondheimsfjorden					
Formål: Danne grunnlag for videre arbeid og vite om forholdene ligger til rette for en energiproduserende bru fra Flakk til Rørvik					
Omfang: Finne ut hvordan forholdene er i Trondheimsfjorden slik at det kan vurderes om det er nyttig å gjøre den prosjekterte brua fra Flakk til Rørvik om til en energiproduserende bro. Trenger derfor informasjon om <ul style="list-style-type: none">• Vindforholdene, retning og styrke• Bølgeførholdene, retning og høyde• Tidevannsførholdene, forskjell i vannstand og strømninger• Grunnforhold• Hvor sterke må disse være for at de kan utnyttes					
Basis/forutsetninger og grensesnitt: Gjennomføre undersøkelser i Trondheimsfjorden for å finne miljødata om vind, tidevann og bølger					
Grensesnitt – interne og eksterne: Kun området mellom Flakk – Rørvik det er aktuelt å se på i denne oppgaven.					
Kundens ytelse til denne aktiviteten: Alle aktiviteter tilhører overnevnte formål					
Start – og sluttidspunkt: 10.01.2018-03.03.2018					
Ansvarlig for aktiviteten: Marie Styrvold					



Bedrift: Gruppe 22	Oppdragsnavn: Energiproduserende bru over Trondheimsfjorden			Oppdragsnr.: A1000	
Aktivitetsnr.: A-06	Versjon: 01	Dato: 14.02.17	Utført: EBN	Kontrollert: BFS	Godkjent: BFS
Aktivitetsnavn: Vindkraft integrert i brukonstruksjon.					
Formål: Utrede muligheter for vindkraft. Finne mulige løsninger til integrering i brukonstruksjon.					
Omfang: Området som broen strekker seg over undersøkes for om det er potensiale for å utnytte vindenergi. Det må eventuelt bestemmes hvilken teknologi som er den beste løsningen for denne situasjonen og hvordan det skal integreres i brukonstruksjonen. Integrering av vindturbiner i brukonstruksjonen vil kunne gi betraktelige merkostnader og det må derfor berignes om prosjektet er økonomisk lønnsomt. Andre viktige elementer: <ul style="list-style-type: none">- Tilkobling til strømmnett- Utredning av sikkerhet for trafikanter- Estetisk utforming					
Basis/forutsetninger og grensesnitt:					
Grensesnitt – interne og eksterne: Eventuell bygging av vindturbiner må koordineres med de som bygger broen.					
Kundens ytelse til denne aktiviteten:					
Start – og sluttidspunkt:					
Ansvarlig for aktiviteten: Eirik Brandsnes Næverrøsten					



Bedrift: Gruppe 22	Oppdragsnavn: Energiproduserende bru over Trondheimsfjorden	Oppdragsnr.: A1000			
Aktivitetsnr.: A-07	Versjon: 01	Dato: 15.02.17	Utført: EAM	Kontrollert: BFS	Godkjent: BFS

Aktivitetsnavn: Utredning av bølgekraftteknologi og integrering av denne på flytebro.
Formål: Danne et grunnlag for videre arbeid/forskning samt komme med et forslag på en eventuell løsning.
Omfang: Det har blitt gjort et litteratursøk på forskning og teknologi innen bølgekraft. Forskjellige løsninger for integrering i flytebro har blitt vurdert, og det er kommet med et forslag på en løsning. Til videre arbeid må disse faktorene tas i betraktning: <ul style="list-style-type: none">• Økonomi – utgifter og inntekter• Påkobling av strømkabler og overføring til Marinbyen• Utføring av vedlikehold• Videre forskning på teknologi, er det mulig å gjennomføre?• Hvor mye energi kan utvinnes?• Finnes det bedre teknologiske løsninger?
Basis/forutsetninger og grensesnitt: Gjennomføre litteraturstudie av teknologiske løsninger og beregninger vedrørende oppgaven.
Grensesnitt – interne og eksterne: Fundamentering mot flytebro.
Kundens ytelse til denne aktiviteten: Alle aktiviteter tilhørende overnevnte formål.
Start – og sluttidspunkt: 10.01.2018 – 05.03.2018
Ansvarlig for aktiviteten: Egil André Marthinussen



Bedrift: Gruppe 22	Oppdragsnavn: Energiproduserende bru over Trondheimsfjorden	Oppdragsnr.: A1000			
Aktivitetsnr.: A-09	Versjon: 01	Dato: 14.02.17	Utført: MS	Kontrollert: BFS	Godkjent: BFS

Aktivetsnavn: Utredning av tidevannsteknologi og integrering av denne på flytebru
Formål: Danne grunnlag for videre arbeid og finne ut hva som finnes av teknologi
Omfang: Gjøre litteratursøk og finne ut hva som finnes av eksisterende teknologi, hvordan denne fungerer og hva som er styrker/svakheter, og hvordan dette kan integreres i en flytebru. Vurderinger som må tas med videre: <ul style="list-style-type: none">• Er ressursene i Trondheimsfjorden gode nok?• Hvilken teknologi finnes• Hvordan kan denne integreres på flytebru på en positiv måte• Drift og vedlikehold av teknologien• Kostand• Produksjon av strøm• Overføring av produsert strøm til strømmettet på land• Hvordan fundamentering og support skal benyttes• Hvilken teknologi er best å velge
Basis/forutsetninger og grensesnitt: Gjennomføre litteraturstudie og undersøke teknologier og løsninger
Grensesnitt – interne og eksterne: Fundamentering mot flytebru
Kundens ytelse til denne aktiviteten: Som overnevnte formål
Start – og sluttidspunkt: 10.01.2018 – 03.03.2018
Ansvarlig for aktiviteten: Marie Styrvold