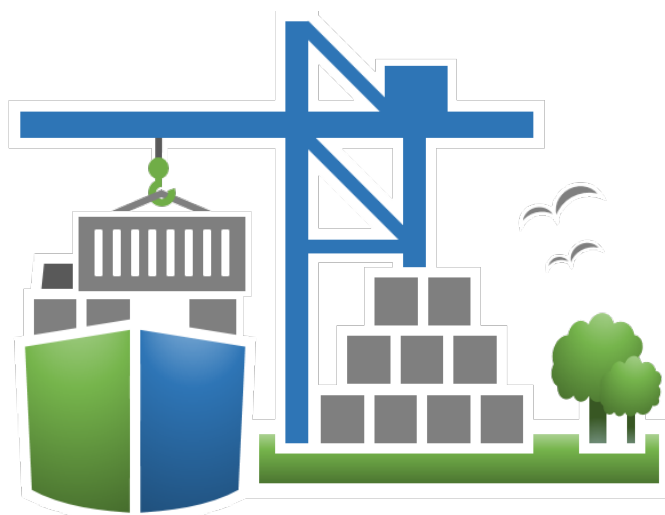




SINTEF



TRAZEPO

Rapport

På vei mot nullutslippshavner?

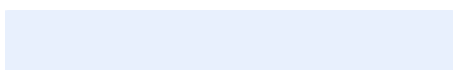
Forfattere

Markus Steen, Sigrid Damman, Lillian Hansen, Hanne Seter, Truls Flatberg, Adrian Werner

Rapportnr:

2022: 00188

Oppdragsgiver: Forskningsrådet



Rapport

På vei mot nullutslippshavner?

EMNEORD:Havn, transport, bærekraft,
omstilling, nullutslipp**VERSJON**

v.0.1

DATO

2022-05-24

FORFATTER(E)

[Forfatter]

Markus Steen, Sigrid Damman, Lillian Hansen, Hanne Seter, Truls Flatberg, Adrian Werner

OPPDRA GSGIVER

Forskningsrådet

OPPDRA GSGIVERS REFERANSE

281002

PROSJEKTNUMMER

102017733

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

40+ Bilag/vedlegg

SAMMENDRAG

Rapporten presenterer funn fra forskningsprosjektet TRAZEPO (Transition towards zero emission ports), som SINTEF Digital, SINTEF Community og SINTEF Industri har gjennomført i perioden 2018-2022 i samarbeid med NTNU Institutt for tverrfaglige kulturstudier samt brukerpartnerne Kystverket, Norske Havner, Oslo Havn, Kristiansand Havn og Narvik Havn. Prosjektet er finansiert av brukerpartnerne og Norges forskningsråd over ENERGIX-programmet (kompetanseprosjekt).

Første del av rapporten er et utvidet sammendrag med oversikt over de mest sentrale funn og anbefalinger.

UTARBEIDET AV

Markus Steen

SIGNATUR

Markus Steen (May 30, 2022 15:34 GMT+2)

KONTROLLERT AV

Tuukka Mäkitie

SIGNATUR

Tuukka Mäkitie (May 30, 2022 15:43 GMT+2)

GODKJENT AV

Lone Sletbakk Ramstad

SIGNATUR

Lone Sletbakk Ramstad (May 30, 2022 16:24 GMT+2)

RAPPORTNUMMER

2022: 00188

ISBN

978-82-14-07552-6

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Historikk

VERSJON	DATO	Versjonsbeskrivelse
[version]	[date]	[Tekst]

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	3
1 Introduksjon	5
1.1 Hva menes med havn i TRAZEPO?	5
1.2 Faglig perspektiv på bærekraftig omstilling.....	6
2 Utfordringen: redusere klimagassutslipp	7
2.1 Framtidsscenarier	9
2.2 Status på bærekraftig omstilling i havner og skipsfart	12
3 Hva gjør norske havner?	13
3.1 Implementering av tiltak.....	14
3.2 Drivere og barrierer for omstilling til lavutslipp i norske havner.....	16
3.3 Tiltaksspesifikke barrierer og drivere knyttet til landstrøm og alternative drivstoff.....	17
3.4 Hva karakteriserer havner som innfører flere tiltak?	19
3.5 Havnerollene	20
3.6 Lokalisering og samspill.....	22
3.7 Implementering av lav- og nullutslipps energiløsninger – status og forventninger	23
4 Omstilling til nullutslipps 'energihubs'	27
4.1 Utforskning av ulike konsepter	28
4.2 Vurdering og valg av tekniske løsninger	29
4.3 Nye samarbeidsmodeller	31
4.4 Sosio -tekniske og tekno-økonomiske vurderinger kan komplementere hverandre	32
5 Oppsummering og anbefalinger	34
5.1 Anbefalinger til havner og havnesektoren.....	35
5.2 Anbefalinger til myndighetene	35
6 Referanser	37
7 Vedlegg.....	39

BILAG/VEDLEGG

Surveyresultater

Sammendrag

Denne rapporten sammenfatter sentrale funn fra forskningsprosjektet TRAZEPO (Transition towards zero emission ports). Kjernen i prosjektet har vært å avdekke drivere og barrierer for bærekraftig omstilling i norsk havnesektor, med havnene i Kristiansand, Oslo og Narvik som case. Bærekraftig omstilling handler også om energieffektivisering, men viser her i hovedsak til reduksjon i klimagassutslipp fra bruk av fossile drivstoff -med andre ord et teknologiskifte til lav- og nullutslipps energiløsninger.

Prosjektet har primært vært samfunnsvitenskapelig, og i analyser av omstillingsprosesser både i enkelthavner og for havnesektoren som helhet har vi anvendt faglige perspektiv fra litteraturen om bærekraftig omstilling (engelsk: *sustainability transitions*). Til grunn for dette fagområdet ligger en forståelse av at radikale teknologiske endringsprosesser beror på samspill mellom teknologi, regelverk, standarder, politikk, praksis og markeder. I 'infrastruktursektorer' er omstillingsprosesser som oftest ressurs- og tidkrevende – og ofte konfliktfylte. Forut for TRAZEPO er dette faglige perspektivet kun benyttet i noen få studier i havnesektoren, og da med fokus på enkelthavner.

Rapporten er basert på 40 dybdeintervjuer, arbeidsmøter i prosjektgruppen, en omfattende spørreundersøkelse blant norske havner (både private og offentlige), samt dokumentstudier. I tillegg er det i prosjektet utviklet en optimeringsmodell for valg av nye energiløsninger i norske havner som også presenteres kort.

Transportsektoren står for om lag 60% av Norges utslipp i ikke-kvotepliktig sektor. Ambisjonen er at disse skal kuttes med 50% innen 2030 (sammenlignet med 2005-utslipp), og at transportsektoren skal være klimanøytral innen 2050. Over halvparten av reduksjonen i klimagassutslipp fra ikke-kvotepliktig sektor skal skje innen transport, hvorav sjøfart og fiske skal redusere sine samlede utslipp med 12%. Tiltak som forventes å gi størst utslippsreduksjoner omfatter avansert biodrivstoff til skipsfart, landstrøm, tiltak på offshorefartøy og innen havbruk, samt tiltak på ferger og hurtigbåter. Disse tiltakene handler alle om å erstatte fossil energi med nye drivstoff og energibærere.

Utgangspunktet for prosjektet har vært at havner kan spille en viktig rolle i det grønne skiftet ettersom de er knutepunkter i transport- og logistikksystemer, hvor transportsektoren også møter energisektoren. Omstillingsprosesser som gjør havner til nullutslipps 'energi hubs' kan gjøre havner i stand til å tilby ulike lav- og nullutslipps drivstoff og energibærere, f.eks. gjennom energiproduksjon og/eller -konvertering i havna.

Sentrale funn som rapporten dekker:

- Forutsetningene for bærekraftig omstilling varierer betydelig fra havn til havn og beror på ulike faktorer, som beliggenhet, trafikk, eierskap og kompetanse/ressurser i havneorganisasjonene.
- Utbygging av landstrøm og energieffektivisering er de tiltakene som så langt er mest brukt av norske havner.
- Andre tiltak som mange havner har innført er å øke kompetansen om miljø- og bærekraftsarbeid, miljø- og utslippskrav i kontrakter, samt bruk av havneavgifter til å premiere skip med lave utslipp.
- Sentrale drivere for bærekraftig omstilling i norske havner er støtte og krav fra eiere og øvrige aktører i og rundt havna, samt politisk styring.
- De havnene som implementerer flest energi- og klimarelaterte tiltak opplever betydelig press fra eier, og har god oversikt over energiforbruk og utslipp i havna.
- Offentlige havner opplever i større grad press fra eiere og andre for å drive omstillingsarbeid. De samarbeider også mer med aktører i sitt omstillingsarbeid enn de private havnene.



- Offentlige havner forventer å tilby alternative energiløsninger nærmere fram i tid enn private havner.
- Havneorganisasjoner har ulike roller (*landlord, regulator, operator og community manager*) som alle benyttes i omstillingsarbeid.
- Rollen som 'community manager' innebærer at havna tar på seg ansvar og oppgaver utover egen kjernevirksomhet.
- Utøvelse av denne rollen – som en slags mellomromsaktør – har sammenheng med mer strategisk innrettet arbeid med å bli nullutslippshavn.
- Havner som skårer høyt på community manager-/mellomromsaktørrollen implementer flere lavutslippsteknologier eller utslippsreducerende tiltak generelt.
- Bærekraftig omstilling innebærer behov for ny kompetanse, blant annet når det gjelder elkraft og miljøledelse.
- Bærekraftig omstilling krever langsiktig og strategisk samarbeid på tvers av organisasjoner (f.eks havneorganisasjoner, rederier, energiselskap, kommuner).
- Integreerte energiløsninger gir behov for nye samarbeidsmodeller. I denne sammenheng er det etablert flere nye aktører som utvikler og drifter infrastruktur for nye energiløsninger i havner.
- Deltakelse i nettverk (f.eks Grønt Skipsfartsprogram) er viktig for læring og erfaringsoverføring.
- Utslippsreduksjoner i skipsfart (og tungtransport) krever store investeringer i infrastruktur, særlig der helt nye energiverdikjeder må etableres (f.eks hydrogen). Her er det viktig med finansiell støtte og koordinering fra myndighetenes side.

1 Introduksjon

Denne rapporten oppsummerer hovedfunn fra Kompetanseprosjekt for næringslivet (KPN) -prosjektet **Transition towards zero-emission ports (TRAZEPO)** som SINTEF har gjennomført i samarbeid med Institutt for tverrfaglig kulturstudier (KULT) ved NTNU, Kystverket, Norske Havner, Narvik Havn, Kristiansand Havn og Oslo Havn (2018-2022). Prosjektet er støttet av Norges forskningsråd over EnergiX-programmet. Vårt hovedfokus har vært på havners arbeid med å redusere klimagassutslipp både fra egne aktiviteter og fra kunder og brukere.

I dette dokumentet bruker vi funn fra prosjektet, supplert med data og innsikt fra andre kilder, til å løfte blikket og diskutere hvordan omstilling mot nullutslippshavner kan arte seg i årene framover.¹ Vi ser på overordnede energiscenarier, trender når det gjelder teknologi-utvikling og alternative drivstoff, samt politikk og regelverk som påvirker havnenes rolle. Hvilket omstillingsarbeid havnene selv er i gang med og hvilke perspektiv de har på ulike løsninger og tiltak er likevel hovedtema. Ettersom hver havn har ulike forutsetninger, er det her mye av nøkkelen ligger. Hvilke muligheter ser havnene? Hva kreves av ny kunnskap, kompetanse og organisering? Hvordan kan myndighetene ikke bare tilrettelegge for energiomstilling i havner, men også understøtte havnenes muligheter til å tilrettelegge for at deres kunder og brukere velger alternative energiløsninger?

1.1 Hva menes med havn i TRAZEPO?

Havner er først og fremst steder hvor varer og mennesker passerer gjennom – de er noder eller knutepunkt i logistikk- og transportsystemer. I TRAZEPO har vi imidlertid lagt en bredere forståelse av havner til grunn. I tillegg til å være knutepunkt er havna også et geografisk sted eller lokasjon hvor ulike aktiviteter skjer, særlig knyttet til industri og næringsliv. Havna kan også forstås som aktør – altså havneorganisasjon. En fjerde forståelse er at havna består av nettverk av aktører.

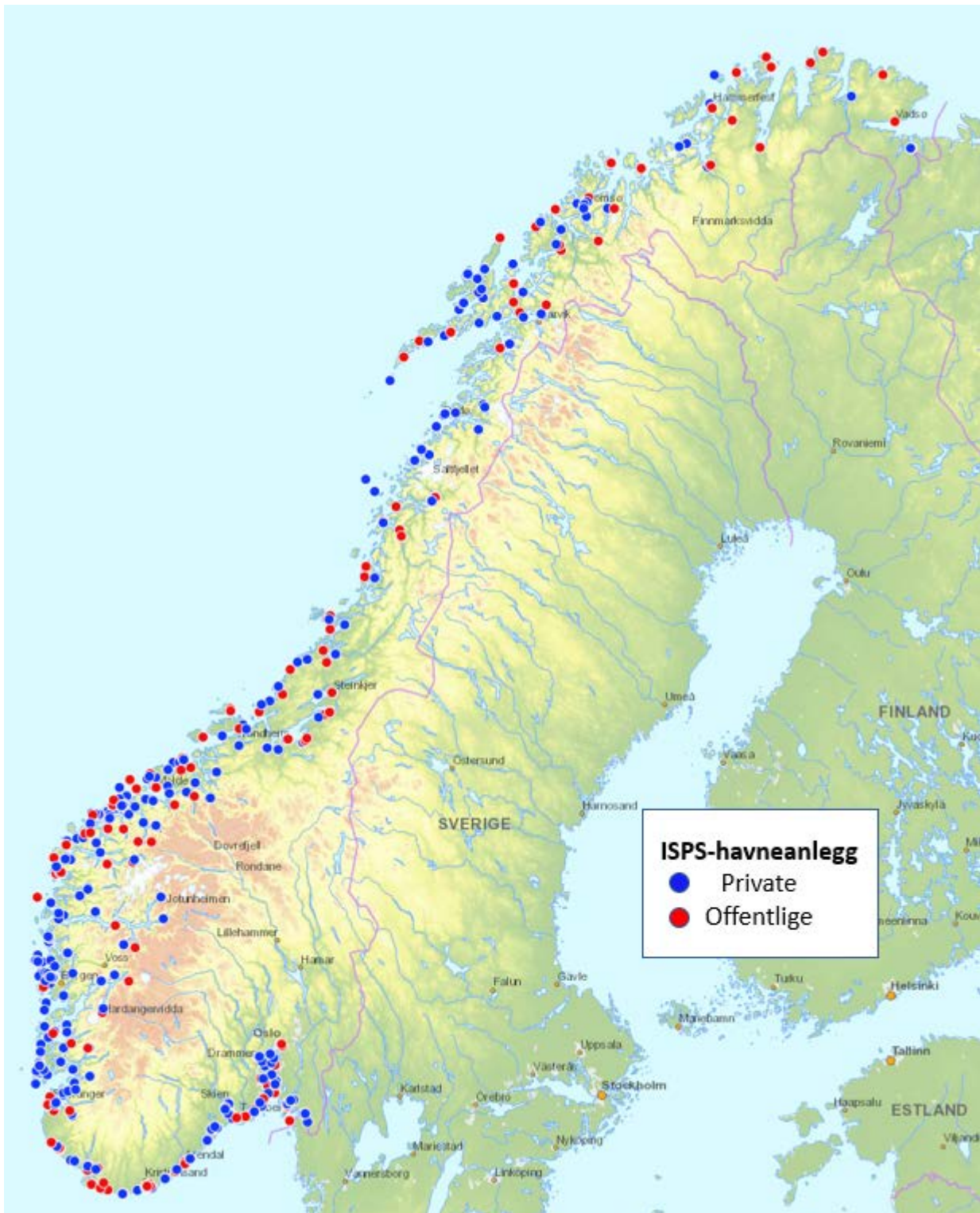
Alle disse forståelsene er relevante for å forstå drivere og barrierer for bærekraftig omstilling i og rundt havnene. Typen trafikk som havna betjener er åpenbart en sentral faktor, fordi ulike brukere av havna i ulik grad er i gang med å implementere nye energiløsninger – eller har ulike utfordringer for å kunne gjøre det (Bergek et al., 2021). Også beliggenhet betyr mye: havner i sentrale byområder er under sterkt press til å redusere luftforurensing fra skip og tungtransport. Ambisiøse klimaplaner i kommuner og fylkeskommuner kan også ha stor påvirkning på havnenes klimaarbeid, spesielt de offentlig eide havnene.

“Har du sett en havn, så har du sett én havn”

Hvorvidt havneorganisasjonen er proaktiv og har tilstrekkelige ressurser og kompetanse til å iverksette og gjennomføre tiltak varierer betydelig. Havneorganisasjonen opererer dessuten ikke alene, men i et samspill gjennom så vel konkurranse som samarbeid med andre aktører (kunder, speditører, myndigheter mm.) som både kan fremme og hemme omstillingsprosesser.

Som vist i Figur 1 har Norge mange havner, offentlige så vel som private. I tillegg finnes et større antall mindre havner, eksempelvis fiskerihavner. I TRAZEPO har vi primært hatt fokus på de offentlig eide havnene i Kristiansand, Oslo og Narvik. Imidlertid har vi dekket havnesektoren i bredere forstand, både gjennom intervjuer, en omfattende spørreundersøkelse, og dokumentstudier.

¹ Casestudier av Oslo, Kristiansand og Narvik havn er nærmere beskrevet i Damman et al. (2019).



Figur 1 Oversikt over ISPS-havneanlegg i Norge. Kilde: Kystinfo.

1.2 Faglig perspektiv på bærekraftig omstilling

I prosjektet har vi arbeidet ut fra sosiotekniske perspektiv på bærekraftig omstilling – også gjerne kalt transisjonsstudier (av engelsk "*sustainability transition studies*"). Til grunn for dette fagområdet ligger en forståelse av at radikale teknologiske endringsprosesser beror på samspill mellom teknologi, institusjoner (dvs. lover, regler, standarder, normer, vaner), politikk, praksis og markeder. Etablerte sektorer (f.eks.

transportsektoren) preges gjerne av stivhengighet² og innkapslingsmekanismer som gjør det krevende for nye løsninger og teknologier å vinne fram. Dette gjelder kanskje særlig 'infrastruktursektorer' hvor omstillingsprosesser som oftest er ressurs- og tidkrevende – og ofte konfliktfylte (Sovacool et al., 2020, Markard et al., 2012). Forut for TRAZEPO er dette faglige perspektivet kun benyttet i noen få studier i havnesektoren, og da med fokus på enkelthavner (se f.eks. Loorbach & Geerlings, 2017).

Et vanlig perspektiv innenfor dette fagområdet er at endringsprosesser skjer som et resultat av voksende eksternt press (f.eks. økt oppmerksomhet rundt klimaproblematikk) og framvekst av ny teknologi (som batteri-elektriske løsninger) som kan konkurrere med etablerte løsninger. Endring må videre skje langs hele verdikjeder (brukere, produsenter, leverandører osv.). Typisk kreves støtte mekanismer/virkemidler både for forskning, utvikling og innovasjon ("market push") og på markedssiden ("market pull") for å få moment på omstillingsprosesser. Det siste er nødvendig ettersom radikale løsninger oftest har kostnadsutfordringer sammenlignet med eksisterende teknologi – som gjerne har hatt mange tiår (eller mer) på optimalisering, effektivisering og kostnadsreduksjoner. Nye løsninger, som for eksempel batteri-elektrisk fremdrift eller hydrogen til skip, krever at større deler av systemene de skal inngå i også endres.

Gjennom å studere teknologiske endringsprosesser, strategier og handlinger hos ulike aktører (i TRAZEPO: havneorganisasjoner, rederier, speditører, myndigheter på forskjellig nivå, virkemiddelaktører osv.), samt institusjonelle forhold og politikk, gir et sosioteknisk systemperspektiv et helhetlig blikk på drivere og barrierer for sektoromstilling. Fagområdet er dessuten tverrfaglig, og gir mange muligheter for koblinger også til andre perspektiv og metoder for å forstå betingelser og muligheter for endring. I TRAZEPO har vi eksempelvis også gjennomført tekno-økonomiske analyser (modellering) av lønnsomhet av investeringsbeslutninger knyttet til valg av både teknologier (f.eks. landstrøm, batterilagring, hydrogen, lokal energiproduksjon) og dimensjonering av de ulike komponentene i et slikt system.

Et sosioteknisk perspektiv danner dessuten grunnlag for å diskutere ulike omstillingsbaner for havner til å bli nullutslipps energiknutepunkt, og hva som vil kreves av så vel havner som andre aktører og rammevilkår for at ulike utviklingsforløp skal kunne realiseres. I denne rapporten bruker vi innsikter basert på både kvalitativ og kvantitativ forskning rundt havner i Norge til å diskutere framtidig utvikling i lys av nasjonale klima-ambisjoner og nyere scenarioanalyser av framtidig utvikling av transport- og energisystemer.

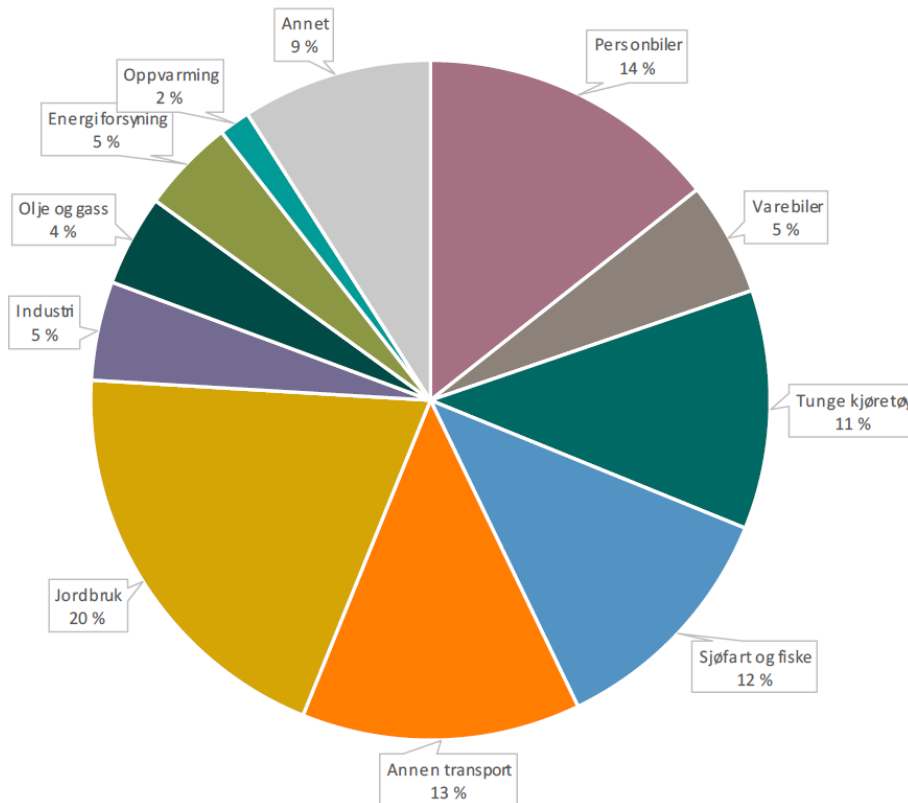
2 Utfordringen: redusere klimagassutslipp

Transportsektoren står for om lag 60% av Norges utslipp i ikke-kvotepliktig sektor. Ambisjonen er at disse skal kuttes med 50% innen 2030 (sammenlignet med 2005-utslipp), og at transportsektoren skal være klimanøytral innen 2050. Regjeringen Solberg II (Granavolden-plattformen) la til en grunn en ambisjon om å halvere utslippene fra innenriks skipsfart og fiske innen 2030, og å stimulere til null- og lavutslippsløsninger i alle fartøyskategorier. Regjeringen Støre (Hurdal-plattformen) følger opp disse målsettingene. Klimakur 2030 har utredet hvilke tiltak som kan bidra til at denne målsettingen nås (Miljødirektoratet, 2020). Som det framgår av Figur 2 skal over halvparten av reduksjonen i klimagassutslipp fra ikke-kvotepliktig sektor skje innen transport, hvorav sjøfart og fiske skal redusere sine samlede utslipp med 12%.

Blant en rekke ulike tiltak er de som er forventet å kunne gi størst utslippsreduksjoner, og som åpenbart vil berøre havner, bruk av avansert biodrivstoff til skipsfart, landstrøm, tiltak på offshorefartøy og innen havbruk, samt tiltak på ferger og hurtigbåter. Disse tiltakene handler alle om å erstatte fossil energi med nye drivstoff og energibærere. De ulike tiltakene har svært ulike kostander, men er generelt ansett som "dyre tiltak, både investeringer og drift for noen av teknologiene" (Miljødirektoratet, 2020: 96). Løsningene

² Begrepet viser til at innovasjons- og utviklingsarbeid i all hovedsak er av inkrementell art, det vil si forbedring/modifisering av det allerede etablerte. Dette er en utfordring for det grønne skiftet som krever radikal innovasjon og fundamental omstilling av mange sektorer. Eksempler på radikal innovasjon i transport er elektrifisering og bruk av hydrogen.

varierer videre betydelig med hensyn til modningsgrad og behov for endringer langs 'energiverdikjeder', inkludert utvikling av og investering i ny infrastruktur.



Figur 2 Fordeling av utslippsframskrivingen for perioden 2021-2030 på ulike utslippssegment. Kilde: Miljødirektoratet (2020)

IMOs ambisjon om å halvere utslippene fra internasjonal skipsfart innen 2050, vil gi økende global etterspørsel etter miljø- og klimateknologi. Det norske Rederiforbundet har en ambisjon om at medlemmenes utslipp skal reduseres med 50% per transporterte enhet målt mot 2008 innen 2030 (Rederiforbundet, 2020). Videre er målet at det kun skal bestilles skip med nullutslippsteknologi fra og med 2030, og at flåten skal være klimanøytral innen 2050. Fra 1.1.2021 trådte dessuten strengere krav til NO_x-utslipp i kraft for nye skip som skal seile i ECA-områdene Nordsjøen eller Østersjøen (IMO Tier III i MARPOL). Med krav om 76% reduksjon av NO_x betyr det at nye skip må bygges med lav- eller nullutslippsløsninger, LNG, eller eventuelt med katalysatorer på ordinære forbrenningsmotorer (Miljødirektoratet, 2020: 104-105). EUs 'Green Deal' øker også presset på både skipsfart, tungtransport og andre sektorer om å få fortgang i klimagassreduksjoner. "Fit for 55" pakken³ vil gi omfattende endringer i regelverk med en direkte påvirkning på maritim sektor, bl.a. ved at kvotesystemet utvides til å gjelde også for sjøtransport. Det vil bli maks-grenser på energibruk ombord og forpliktelser til bruk av landstrøm eller andre nullutslippsløsninger når større skip ligger i havn, og det skal innføres minimumsgrenser for skatt på drivstoff og fartøy, bl.a. basert på miljøavtrykk.

Norge er på flere områder ledende innen grønn skipsfart (Helseth et al., 2019). Det er liten tvil om at tilstedeværelsen av en sterk norsk maritim leverandørindustri og kompetansemiljø har vært viktig for de omstillingsprosessene som er i gang (se f.eks. Bach et al., 2020, Nilsen & Njøs, 2021, Bugge et al., 2021). Viktige drivere for det grønne skiftet i maritim sektor har blant annet vært de offentlige innkjøpsordningene

³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021DC0550>

i regi av Statens vegvesen og fylkeskommunene som har sørget for at et betydelig antall ferger nå går på batteri. Videre har ulike offentlige støtteordninger fra Enova og Innovasjon Norge, investeringsstøtte fra NOx-fondet, samt FoU og innovasjonsaktiviteter (med støtte fra Norges Forskningsråd, EU og Innovasjon Norge), samt aktiviteter i regi av klyngeorganisasjoner (f.eks. NCE Maritime Cleantech) og ulike nettverk (f.eks. Grønt Skipsfartsprogram) vært viktige for det grønne skiftet til sjøs (Steen et al., 2019).

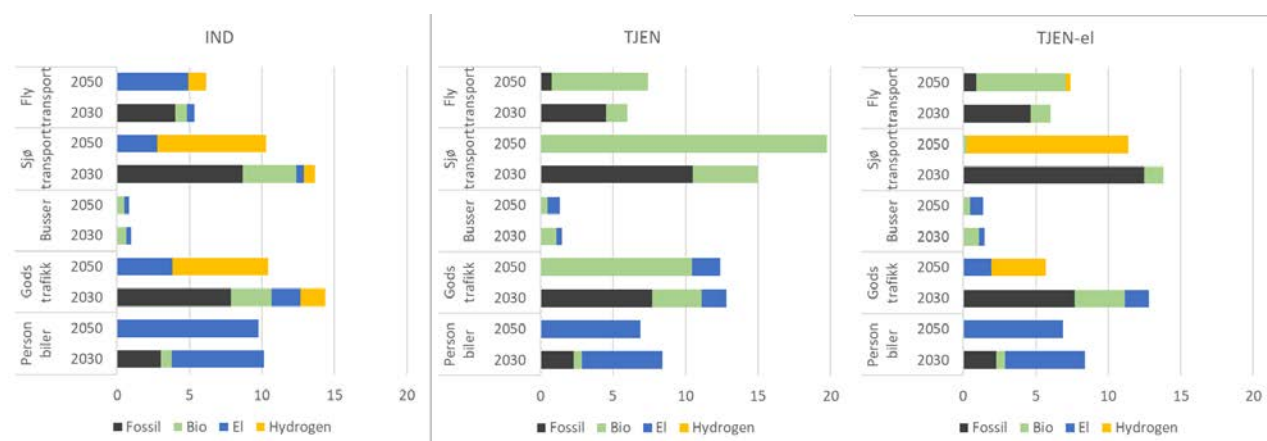
Regjeringen Solberg II framla følgende handlingsplan for grønn skipsfart i 2019:

- Tiltak og virkemidler innenfor ulike fartøyskategorier: rutegående passasjerbåter og ferger, cruiseskip og større passasjerferger, lasteskip, offshorefartøy, spesialfartøy og oppdrettsfartøy, fiskefartøy og fritidsbåter
- Virkemidler som er relevante på tvers: Enova, Innovasjon Norge, Norges Forskningsråd og NOx-fondet. CO₂-avgift, redusert elavgift og miljødifferensierte havnevederlag gjør de grønne løsningene mer lønnsomme.
- Utrede omsetningskrav for bærekraftig biodiesel og biogass for skipsfart.
- Krav om nullutslippstransport i leveranser til det offentlige, der det ligger til rette for det
- Mål å ha utslippsfrie havner der det ligger til rette for det innen 2030
- Viktig at havnene tilbyr land- og ladestrøm og tilstrekkelige muligheter for å bunkre miljøvennlig drivstoff som hydrogen og biogass

Likevel er det så langt kun et begrenset antall fartøy som har implementert lav- og nullutslippsløsninger.⁴ Det samme gjelder tungtransport på land, hvor det så langt er primært busser som har tatt i bruk nye løsninger som biogass og batterier.

2.1 Framtidsscenerier

Helhetlige energiscenerier for Norge tilsier at det er mulig å innfri målet om et lavutslippssamfunn i 2050. Dette vil imidlertid ikke skje uten påvirkning på økonomisk vekst, og heller ikke uten nye løsninger for avkarbonisering i transportsektoren. Et nylig utarbeidet Veikart for energi i Norge mot 2050, basert på integrerte energisystem og makroøkonomisk modellering av ulike framtidsscenerier (Schäffer et al., 2020) tar for seg to ytterpunkter, og viser at enten vi får en utvikling der deler av norsk gassproduksjon konverteres til bærekraftig hydrogen for et fremtidig industrisamfunn, eller vi stenger hele petroleumssektoren og utvikler et fornybart tjenestesamfunn, vil energimiksen for transport endres radikalt (Figur 3).

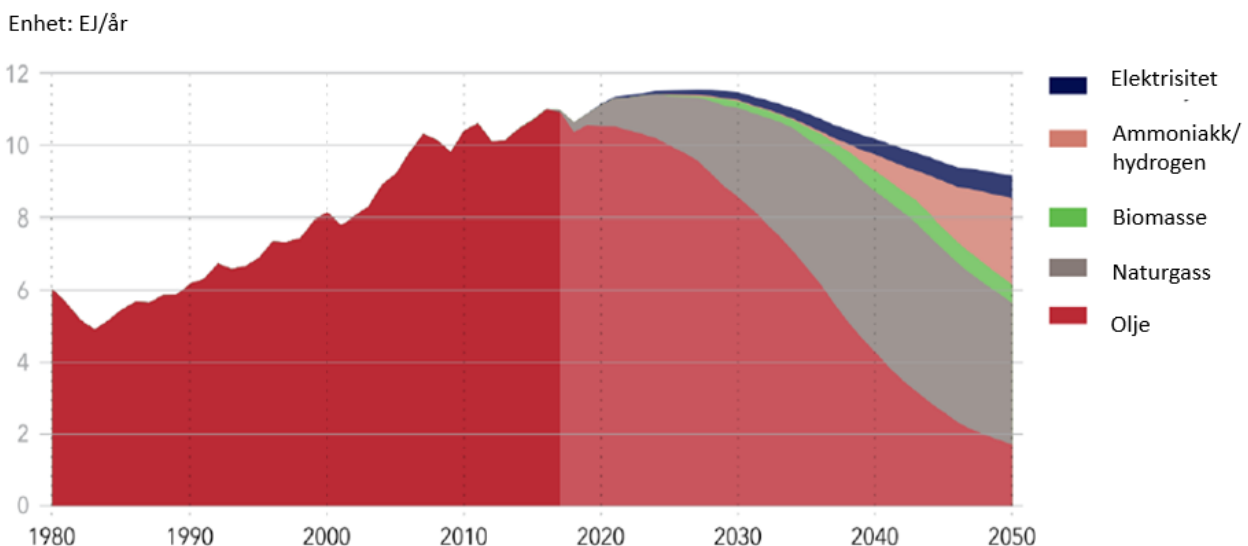


Figur 3 Scenerier for energibruk (TWh) i norsk transport 2030 og 2050 (Schäffer et al. 2020:37). I det tredje diagrammet, lengst til høyre, er det lagt til en betydelig økning i CO₂-krav.

⁴ https://www.regjeringen.no/contentassets/00f527e95d0c4dfd88db637f96ffe8b8/dnv-gl-underlagsrapport_endelig-versjon.pdf

I et referansescenario basert på framskriving av dagens situasjon vil energibehovet til veitrafikk øke med 10% i 2050, mens energibruken er halvert i både *Tjenestesamfunnet* og *Industrisamfunnet*. Dette skyldes mer energieffektive kjøretøy og drivstoff i *Industrisamfunnet*, og lavere etterspørselsvekst og bruk av batterielektriske personbiler i *Tjenestesamfunnet*. I et *Tjenestesamfunn*-scenario der det ikke legges begrensninger på tilgangen til bioressurser kan vi få svært store innslag av biodrivstoff både i godstrafikk på vei, fly og ikke minst sjøtransport mot 2050, som illustrert i det midterste diagrammet (Figur 3). Ettersom tilgangen på bærekraftige bioressurser i realiteten vil være begrenset, inkluderer Veikartet også et tredje scenario, der dette er hensyntatt, samtidig som det er lagt til en betydelig økning i CO₂-krav (diagrammet lengst til høyre i Figur 3). Både i dette scenariet og i *Industrisamfunnet* får vi en radikal omstilling, der hydrogen og/eller hydrogen-baserte drivstoff vil spille en viktig rolle, spesielt i sjøtransporten.

DNV GL sine scenarier (se Figur 4) for global maritim transport er basert på andre typer analyser. De tyder på at spesielt flytende nedkjølt naturgass (LNG), men også olje, fortsatt vil være viktige energibærere i 2050. Biodrivstoff og batteri-elektriske løsninger tas mer i bruk, men for å oppnå målet om 50% kutt i klimagassutslipp får vi også her et sterkt økende innslag av hydrogen og ammoniakk. Disse bredere og mer langsiktige perspektivene er det viktig å ha med seg når omstilling i norske havner diskuteres.

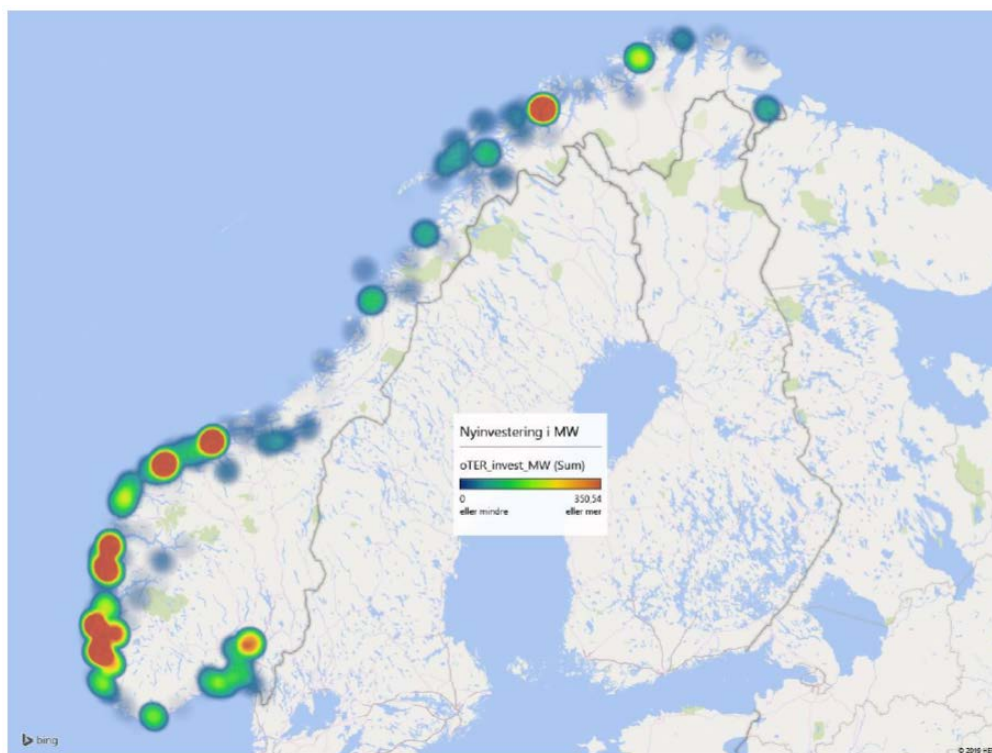


Figur 4 Anslått energiforbruk fordelt på energibærere i global maritim sektor fram til 2050. Basert på DNV GL (2019: 91)

AFRYs (2020) scenarioanalyser av infrastrukturbehov for alternative drivstoff i maritim sektor har fokus på elektrisitet, hydrogen eller andre energibærere for brenselceller, og biodrivstoff. De ser i mindre grad på biodrivstoff, da behovet for ny infrastruktur knyttet til dette vil være begrenset, sammenlignet med det en står overfor når det gjelder elektrisitet og hydrogen. Elektrisitet er aktuelt både for landstrøm og fremdrift med batterier. Landstrøm er teknologisk sett forholdsvis enkelt og modent, med moderat effektbehov, selv om store cruiseskip kan kreve nettanlegg med kapasitet på 10-15 MW per skip. Lading av batterier krever derimot svært stor nettkapasitet, samtidig som dagens batterier har lav energitetthet og kun kan dekke kortere seilingsdistanser. Selv om hydrogen og ammoniakk har stort potensial, er de forbundet med teknologiske utfordringer i flere ledd, og anvendelsen de nærmeste årene vil være lav (AFRY 2020). I sitt mest optimistiske scenario (se Tabell 1) definerer AFRY en utvikling med både økende elektrifisering og 'hydrogenifisering':

Tabell 1 Optimistisk scenario for norsk skipsfart mot 2030. Basert på AFRY (2020)

Scenario for norsk skipsfart mot 2030: Fossilfrie løsninger	
Helelektrisk	Samtlige fergestrekninger under 20 nautiske mil (nm), 50% av brønnbåtflåten med kortest seilingsdistanser (referanse) Pluss: Ferger, stykkogds-/roro-skip, slepefartøy, andre servicefartøy og fiskefartøy hvis 90% av strekningene er 25 nm eller kortere
Delelektrisk	Offshore supplyskip: 22% av dieselforbruket til sjøs erstattes av el. Andre offshorefartøy: 32% av dieselforbruket til sjøs erstattes av el. Fiskefartøy: 22% av dieselforbruket til sjøs erstattes av el. Containerskip: 34% av dieselforbruket til sjøs erstattes av el. Stykkogds-/roro-skip: 16% av dieselforbruket til sjøs erstattes av el.
Landstrøm	Samtlige skip i de 20 mest trafikkerte ISPS/gods-terminalene
Hydrogen (for skip som ikke del-elektrifiseres)	Kystruten: 50% av energiforbruket til sjøs erstattes av hydrogen Offshore supplyskip: 50 % av dieselforbruket til sjøs erstattes av hydrogen Andre offshorefartøy: 50 % av dieselforbruket til sjøs erstattes av hydrogen Kjemikalie-/produktskip, stykkogds-/roro-skip, gasstankskip for skip hvor 90% av strekningene er under 150 nm: 50 % av dieselforbruket til sjøs erstattes av hydrogen. Cruiseskip utelukkende i innenrikstrafikk, ferger og hurtigbåter: 20% av dieselforbruket til sjøs erstattes av hydrogen
Biodrivstoff	LNG-skip driftes på biogass Neglisjerbar innfasing av biodiesel



Figur 5 Utbygging av nødvendig kapasitet (kraft, nett) i scenariet "Fossilfrie løsninger" som skissert over (AFRY 2020:47). Blå = lite, rød = stor.

Det anslåtte totale utslippet ved et slikt scenario mot 2030 er ca. 4,6 millioner tonn CO₂ (AFRY 2020). Basert på nettselskapenes rapporterte ledige kapasitet i nettet vil dette innebære et nytt effektbehov på rundt 10 000 MW. Ut fra dette og bl.a. AIS-data, presenterer AFRY investeringsbehovet mot 2030 som vist i Figur 5.

Som kartet viser vil det være stort investeringsbehov i kraftsystemet, spesielt på Vestlandet og i Tromsø, og de største anleggene vil ifølge AFRY være på over 300 MW. Her vil det være viktig å få til en koordinert og målrettet utbygging, med best mulig utnyttelse av anlegg for både landstrøm og lading. Dette understreker for det første betydningen av å harmonisere løsninger i havner, og for det andre det å utforske mulighetene for utvikling av havner som integrerte energisystemer.

2.2 Status på bærekraftig omstilling i havner og skipsfart

Generelt har forskning på bærekraftig omstilling i havner økt de siste årene, og spesielt er det søkelys på det som skjer i de største internasjonale havnene som Los Angeles/Long Beach, Vancouver, Rotterdam, Amsterdam, Hamburg, Antwerpen og Singapore (se f.eks Poulsen et al., 2018, Sornn-Friese et al., 2021). Mange ulike former for omstillingsarbeid er undersøkt i litteraturen, men spesielt dominerende er implementering av landstrøm (Bjerkan & Seter, 2019). Dette er et effektivt tiltak for å redusere forurensing til luft mens skip ligger til kai i kortere eller lengre perioder. Andre tiltak som vektlegges i den vitenskapelige litteraturen er blant annet fartsreduksjon, modalskifte (godsoverføring til sjø), overvåking av utslipp, og elektrifisering av havneutstyr. Det finnes også flere rapporter som omhandler LNG, elektrifisering og solenergi.

Det finnes få rapporter som gir en detaljert beskrivelse av implementerte virkemidler for bærekraftig omstilling i havner internasjonalt (Bjerkan et al., 2021c), og få som dokumenterer hvilke effekter man har oppnådd. Havneavgifter er det virkemiddelet som er mest hyppig omtalt. Dette representerer sannsynligvis kun et lite utvalg av det som faktisk foregår i av omstillingsarbeid i internasjonale havner. Når erfaringer ikke dokumenteres, er det vanskelig å få til en erfaringsoverføring mellom ulike havner.

Det er et stort behov for mer kunnskap om erfaringer med ulike virkemidler for små- og mellomstore havner.

Som nevnt har det i skipsfarten de siste årene vært sterkt økende oppmerksomhet mot alternative energiløsninger (Steen et al., 2019). I Norge har skjerpede krav til utslipp fra fergesektoren og innovativ bruk av offentlige anskaffelser vært viktig for utvikling av batteri-løsninger og ladeinfrastruktur. For det andre har krav til primært lokale utslippsreduksjoner i havner som Oslo og Bergen vært en vesentlig driver for utbygging av landstrøm (Bjerkan & Seter, 2021). Det samme ser vi når det gjelder utbygging av landstrøm til cruisetrafikk i byhavner. Det har også vært et betydelig opptak av batteriløsninger i offshoreflåten (petroleumssektoren), og utbygging av landstrøm til denne både i en del havner og forsyningsbaser.



Figur 6 Oversikt infrastruktur for alternative drivstoff til sjøtransport per mars 2021. Oransje: fergelading. Blå: LNG. Grønn/gul: landstrøm. Kilde: Kystverket

Alternative lav- og nullutslipps drivstoff og energibærere til sjøtransport er imidlertid i all hovedsak i tidlig utviklingsfase (DNV GL, 2017, Mäkitie et al., 2022a). Løsninger kan riktignok være 'verifiserte' i andre sammenhenger (eksempelvis innen landtransport eller andre sektorer), men har ennå ikke blitt tilpasset sjøtransporten. Ved siden av behov for å teste og utvikle teknologier og løsninger for skip mangler både produksjonskapasitet og infrastruktur for lagring og distribusjon av nye energiløsninger som eksempelvis hydrogen. Generelt ser vi en omstillingsprosess – eller et sett med prosesser av ulikt omfang og med ulikt tempo - som innebærer at transportsektoren både til sjøs og på land går fra én type dominerende teknologi og energiløsning (dvs. forbrenningsmotor og fossile drivstoff) til en rekke forskjellige løsninger som batteri-elektrisk (fullelektrifisert, hybrid), ulike biodrivstoff, hydrogen og ammoniakk. Hvordan dette vil påvirke havner varierer selvsagt, og vil i stor grad være påvirket av trafikkmønster i den enkelte havn, men også regelverk og krav som stilles på ulike nivå – fra det internasjonale til det lokale.

3 Hva gjør norske havner?

I TRAZEPO er det gjort omfattende kvalitative studier (intervjuer, arbeidsmøter, dokumentstudier) så vel som en spørreundersøkelse. Intervjuer ble i all hovedsak gjort i 2018-2019, med fokus på aktører (havneorganisasjon, speditører, rederi, kraft-/nettselskap, lokale myndigheter osv.) i og rundt de tre casehavnene Oslo, Kristiansand og Narvik samt på nasjonalt nivå (f.eks. interesseorganisasjoner,

myndigheter og virkemiddelapparat). Totalt ble det gjennomført ca. 40 intervjuer, hvorav flere intervjuer også med andre havneorganisasjoner enn de tre casehavnene. Arbeidsmøter involverte representanter for casehavnene samt fra Kystverket og Norske Havner. Funn fra den kvalitative kartleggingen og påfølgende analyser er presentert blant annet i Damman et al. (2019), Bjerkan et al. (2021b), Bjerkan og Seter (2021) og Damman og Steen (2021).

Spørreundersøkelsen ble gjennomført i perioden mars-juni 2020 og sendt til enkeltpersoner i offentlige og private havner via det nettbaserte verktøyet SurveyDesign. Totalt 96 havner (havneorganisasjoner) responderte på surveyen, hvorav 41 offentlige og 52 private.

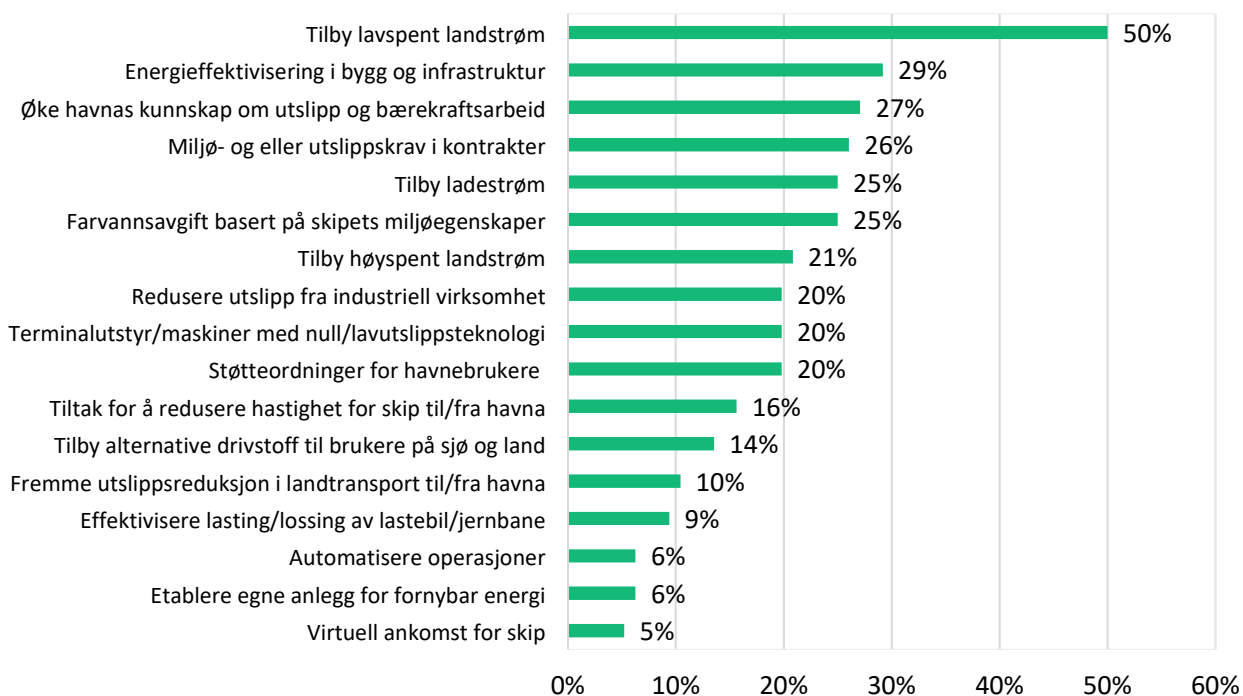
Tabell 2 Spørreundersøkelse -populasjon og utvalg

	<i>Offentlige havner</i>	<i>Private havner</i>	<i>Uspesifisert</i>	<i>Total</i>
Populasjon (N)	60	339		399
Survey distribusjon	60	304		364
Survey sample (n)	41	52	3	96

Spørreundersøkelsen omhandlet spørsmål om havnenes egne erfaringer med gjennomføring av tiltak som forbedrer havnens bærekraft, og hvilke drivere og barrierer som er knyttet til en slik implementering. Vi stilte også spørsmål om hvilke forventinger havnene har til implementering av ulike lav- og nullutslipps energiløsninger. I det som følger presenterer vi sentrale funn fra dette datamaterialet. Analyser basert på datamaterialet fra spørreundersøken er presentert blant annet i Bjerkan et al. (2021a) og Bjerkan et al. (2021c).

3.1 Implementering av tiltak

Tiltak havner kan gjøre for å omstille egen virksomhet i mer bærekraftig retning samt bidra til at kunder/brukere velger nye løsninger omfatter implementering av ny teknologi og endringer i praksis (Bjerkan & Seter, 2019). Hvor bærekraftig et enkelt tiltak er lar seg ikke nødvendigvis lett dokumentere – og kan oftest diskuteres - men generelt kan målet med en bærekraftig havn sies å være "å oppnå en sosialt akseptabel og trygg havn som er energieffektiv og miljøvennlig, samtidig som den maksimerer økonomisk profitt" (Lim et al., 2019, vår oversettelse). TRAZEPO har hatt fokus på tiltak knyttet til energi og reduksjon av klimagassutslipp – altså miljødimensjonen. Vi har i liten grad berørt andre forhold som også handler om miljørelatert bærekraft, som håndtering av avfall og utslipp til vann. De tiltakene vi har hatt fokus på angår altså både havnas egen drift så vel som det havner gjør for å stimulere og tilrettelegge for at ulike kunder/brukere kan velge alternative løsninger til konvensjonelle fossile drivstoff.

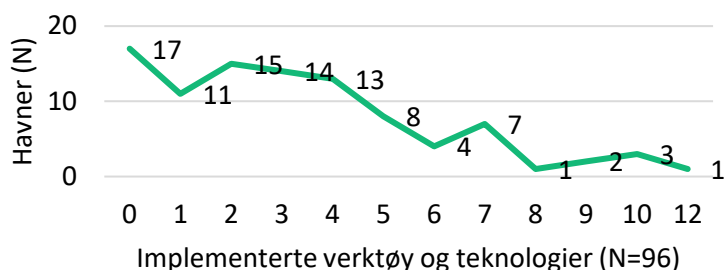


Figur 7 Implementerte null- og lavutslippstiltak og -teknologier i norske havner. N=96

Av tiltak havnene gjør i dag for å redusere klimagassutslipp, så troner tilbud om lavspent landstrøm høyt. Som vist i Figur 7 har så mange som 50% av norske havner tilbud om dette. Litt lenger bak kommer energieffektivisering i bygg og infrastruktur, samt økt kunnskap om utslipp og bærekraftsarbeid. Disse har til felles at de er forholdsvis 'enkle' tiltak. Av de mer komplekse eller 'radikale' tiltakene, som å tilby alternative drivstoff, automatiserte operasjoner og egen produksjon av fornybar energi, ser vi en betydelig lavere implementeringsgrad (14-16%).

Hva som kreves av tiltak i ulike havner er selvsagt kontekststøttet, og beror særlig på hvilke typer kunder havnene betjener og hvilken rolle ei havn spiller for en eller flere næringer – og for byen eller omlandet som havna er del av. Generelt sett kan man like fullt si at bærekraftig omstilling krever en rekke ulike tiltak.

Per forsommeren 2020 hadde så mange som 17 (av 96) havner ikke innført noen av tiltakene, men noen av disse har antakelig planer om å innføre. De fleste havner har innført 2-4 teknologier/tiltak, og én havn hadde implementert så mange som 12 teknologier/tiltak. Gjennomsnittet for implementerte teknologier og tiltak ligger på nesten 5.

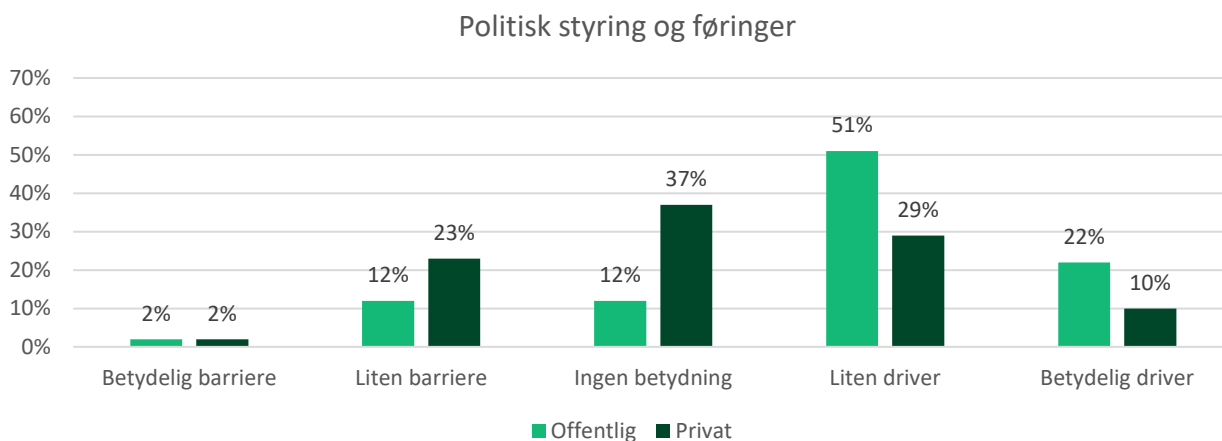


Figur 8 Antall havner som har implementert fra 0-12 tiltak og teknologier.

3.2 Drivere og barrierer for omstilling til lavutslipp i norske havner

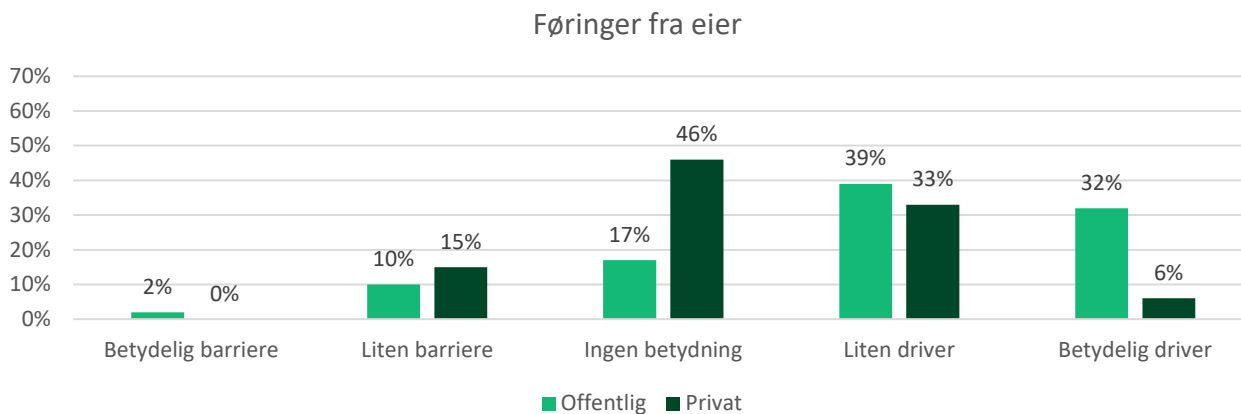
I spørreundersøkelsen stilte vi også en rekke spørsmål knyttet til drivere og barrierer for omstilling til lavutslipp i norske havner. Havnene ble spurt om "I hvilken grad opplever du følgende faktorer som barrierer eller drivere i havnas arbeid med lav- og nullutslipp?" Likert-skalaen gikk fra 1 til 5, med kategoriene 'betydelig barriere', 'liten barriere', 'ingen betydning', 'liten driver' og 'betydelig driver'.

Funnene viser at offentlige og private havner opplever forskjellige barrierer og drivere for sitt omstillingsarbeid.⁵



Figur 9 Betydning av politisk styring og føringer på havnenes omstillingsarbeid. N=93

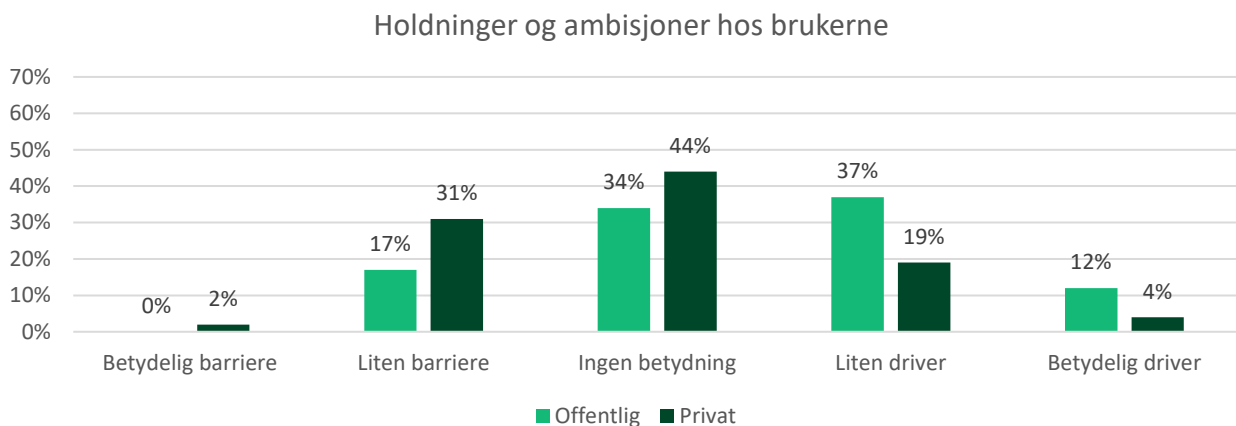
Som det fremgår av Figur 9 opplever offentlige havner *politisk styring og føring* i større grad som en driver for omstillingsarbeid enn private havner. Dette funnet gjenspeiles også i at *føringer fra eier* i større grad oppleves som en driver for de offentlige havnene enn for de private havnene (Figur 10).



Figur 10 Betydning av føringer fra eier på havnenes omstillingsarbeid. N=93

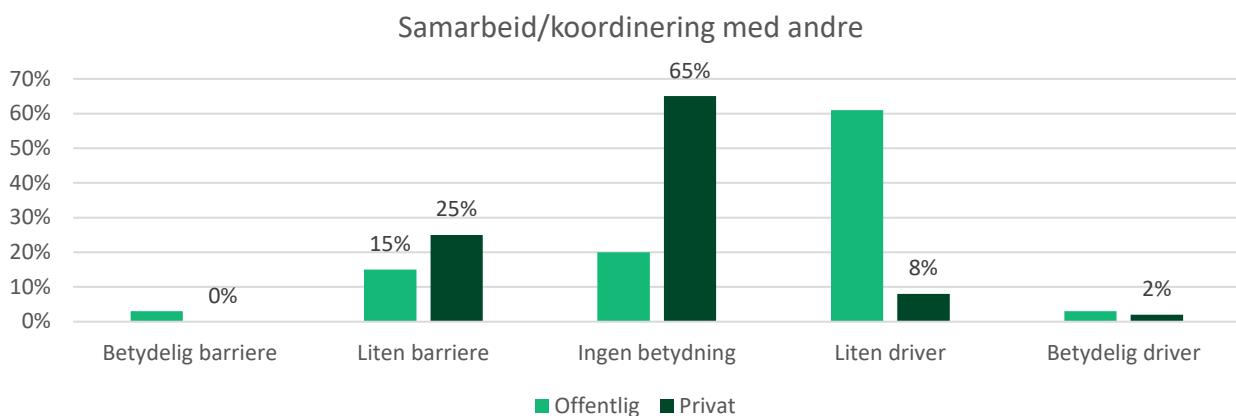
Når det gjelder *føringer fra eier* ser vi at eierskap har betydning både i private og offentlige havner, men at offentlig eide havner i vesentlig større grad opplever at føringer fra eier påvirker deres omstillingsarbeid.

⁵ Like fullt vil vi bemerke at når disse faktorene kjøres i en multipl regressjonsanalyse, med en sammensatt målvariabel for omstillingsarbeid, nyanseres forskjellene mellom offentlige og private havner noe.



Figur 11 Betydning av holdninger og ambisjoner hos brukerne for havnenes omstillingsarbeid. N=93

Vi ser også at *holdninger og ambisjoner hos brukerne* (Figur 11) er i større grad vurdert av de private havnene som en barriere for omstilling til lav- og nullutslipp enn for de offentlige havnene som ser det mer som en driver. Når det gjelder typer skipsfart som havnene betjener, så er en viktig forklaring på denne skillnaden at de offentlige havnene i større grad enn private har brukere (altså rederier) innen segmenter hvor teknologiomstilling av ulike årsaker har kommet lengre, så som ferger og ulike passasjerskip.

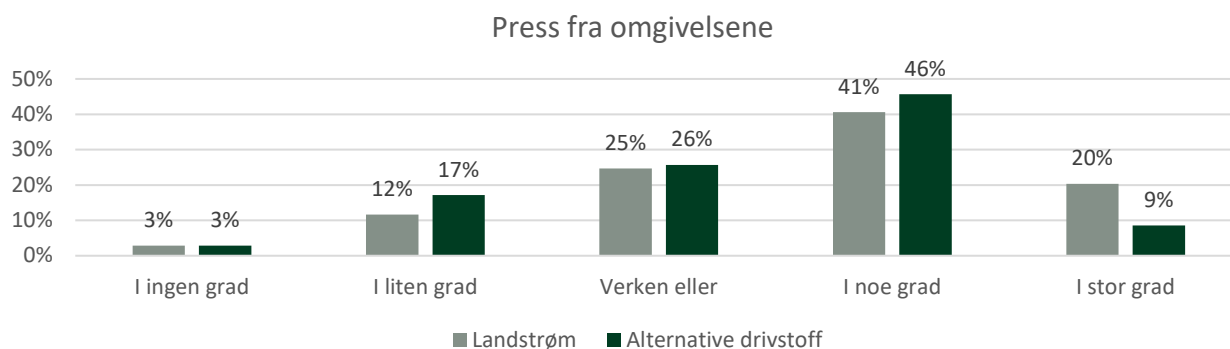


Figur 12 Betydningen av samarbeid/ koordinering med andre for havnenes omstillingsarbeid. N=93

For *samarbeid og koordinering med andre* (Figur 12) ser vi at majoriteten av private havner ser på dette som en faktor som ikke har betydning, mens offentlige havner i større grad ser dette som en driver.

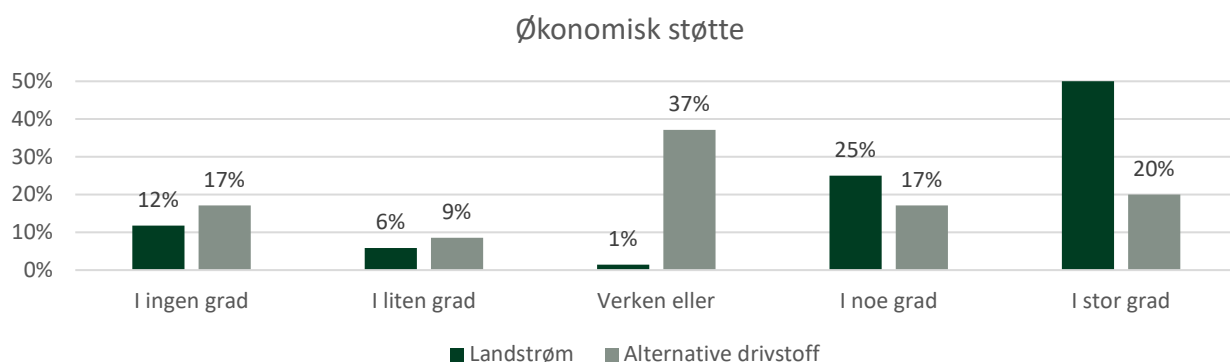
3.3 Tiltaksspesifikke barrierer og drivere knyttet til landstrøm og alternative drivstoff

Videre tok spørreundersøkelsen for seg tiltaksspesifikke barrierer og drivere knyttet til landstrøm og alternative drivstoff. Spørsmålet ble stilt på følgende vis: *Du har angitt at din havn planlegger/har innført X (eksempelvis landstrøm). I hvor stor grad har følgende vært viktig for å etablere landstrøm i din havn?* Spørsmålet var likelydende uavhengig av om et tiltak alt var implementert eller planlagt. Disse to tiltakene (dvs. landstrøm og alternative drivstoff) har veldig ulike forutsetninger i form av drivere og barrierer, som det framgår av figurene som følger.



Figur 13 Betydningen av press fra omgivelsene som driver for implementering av landstrøm og alternative drivstoff. N=96

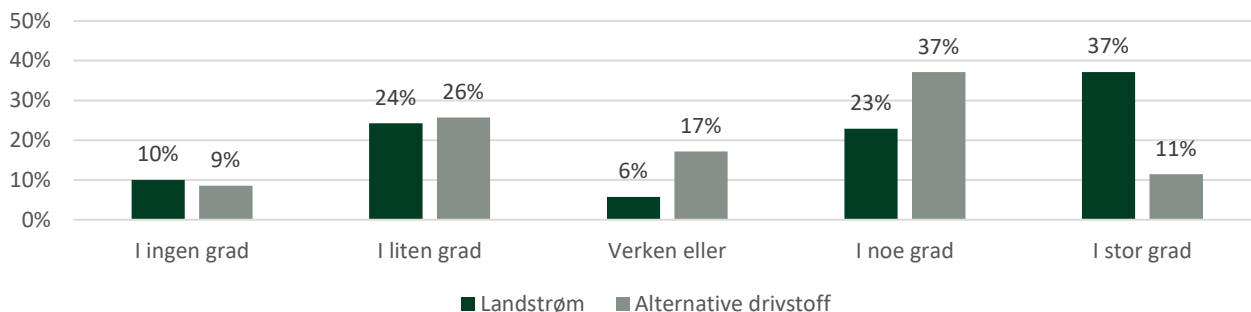
Press fra omgivelsene (Figur 13), dvs. fra eiere, interesseorganisasjoner, befolkning, media osv. synes å være en viktigere faktor for innføring av landstrøm enn for alternative drivstoff, selv om en stor andel opplever dette i noe grad for begge. Dette kan forklares både ut fra den politiske konteksten i Norge hvor det har vært mye fokus på elektrifisering, ved at landstrøm også bidrar til store kutt i lokale utslipp til luft, og ved at landstrøm er en mer moden teknologi enn de fleste alternative drivstoff.



Figur 14 Betydningen av økonomisk støtte for implementering av landstrøm og alternative drivstoff. N=96.

Økonomisk støtte (f.eks. gjennom Enova) har tydelig vært svært viktig for implementering av landstrøm (Figur 14). Derimot synes det ikke å være en viktig faktor for innføring av alternative drivstoff, som da også er implementert i vesentlig mindre grad.

Brukere har etterspurt



Figur 15 Betydningen av at brukere har etterspurt for implementering av landstrøm og alternative drivstoff. N=96.

At brukere har etterspurt (Figur 15) er en viktig faktor for implementering av alternative drivstoff og (spesielt) landstrøm. Interessant nok er det nokså mange havner som ikke har opplevd dette som en viktig faktor. Når tiltak like fullt er implementert kan det indikere at enkelte havner forventer etterspørsel, eller forsøker å tilrettelegge for etterspørsel etter både landstrøm og alternative drivstoff.

3.4 Hva karakteriserer havner som innfører flere tiltak?

I denne delen ser vi nærmere på hva som kjennetegner de havnene som har høy implementeringsgrad, altså har innført mange tiltak for å redusere energiforbruk og klimagassutslipp. Funnene er basert på bivariate analyser samt regresjonsanalyse (se tabell 1-3 i Vedlegg) hvor implementeringsgrad vist i Figur 7 er brukt som utfallsvariabel.

Figur 16 viser både til konkrete egenskaper ved havnene (eierskap, antall anløp, trafikkompleksitet som omhandler graden av variasjon i typer last som ankommer havna osv.) og de opplevde barrierene og driverne presentert i 3.2. Disse faktorene er gruppert etter styrke - desto sterkere farge desto sterkere sammenheng eller forskjell.

Faktorene med størst betydning for implementering av null- og lavutslippstiltak og teknologier i havnene, er *opplevd press fra eier*, samt *oversikt over eget energibruk og utslipp*. Faktorer med moderat betydning er *store havner*, *press og støtte fra omgivelsene*, samt *støtte fra eier*. Det vil si at havner med mange ansatte innfører flere tiltak enn små og middels store havner. *Press og støtte fra omgivelsene*, det vil si fra politikere, naboer, interesseorganisasjoner, befolkning og media, samt *støtte fra eier*, påvirker også til en viss

Press fra eier*

Oversikt energibruk*

Oversikt utslipp

Store havner

Press og støtte fra omgivelsene

Støtte fra eier

Offentlige havner

Små havner*

Antall anløp (ila. et år)

Trafkkompleksitet

Føringer fra eier

Politisk styring

Press fra brukere

Økonomi som driver**

Figur 16 Faktorer som karakteriserer havner med høy implementeringsgrad. Fargestyrken indikerer styrken.

*Signifikant også når kontrollert for de andre faktorene (multipl kvantilregresjon, tabell 3 i Vedlegg). **Signifikant kun når kontrollert for andre faktorer i regresjon. Se tabell 1-3 i Vedlegg.

grad. Til sist kan vi se at faktorer med noe betydning for høyere implementeringsgrad blant annet er eierskap – det vil si, offentlige havner innfører flere tiltak enn private havner. Små havner ser også ut til å innføre flere tiltak (sammenlignet med middels store havner). Sammenlignet med gjennomsnittet har havner med høyere implementeringsgrad også flere anløp, høyere trafikkompleksitet (dvs. anløp av flere ulike typer last og skip), de opplever i større grad føringer fra eier, politisk styring, press fra brukere, og de ser økonomi i større grad som en driver. Denne variasjonen understreker hvor forskjellige ulike havner er, og viser også til hvordan havner (dvs. havneorganisasjoner) utøver forskjellige roller både i ordinær drift og i omstillingsarbeid.

3.5 Havnerollene

I den internasjonale havnelitteraturen skilles det mellom ulike roller som havneorganisasjoner tar i sitt arbeid. I TRAZEPO har vi sett disse rollene i sammenheng med havnenes omstillingsarbeid. Typisk skilles det mellom fire rolletyper⁶:

- 'Landlord' - forvalter av eiendom, infrastruktur
- 'Regulator' - avgifter, miljøstandarder, arealplanlegging
- 'Operator' - av eget utstyr, flåte, kjøretøy
- 'Community manager' - koordinerer, kobler sammen aktører i /rundt havna

Landlordrollen kan blant annet knyttes til å ivareta økosystemer i og rundt havna, ivareta miljøhensyn i forhold til brukere og økonomiske aktiviteter i havnen, og sikre bærekraft i bygge- og anleggsarbeid, avfallsmottak og infrastrukturutvikling. Regulatorrollen kan benyttes for å overvåke forbruk og utslipp, iverksette nødvendige tiltak og fremme bærekraftig havnevirksomhet gjennom forbud, sanksjoner og belønninger (f.eks. gjennom differensierte havneavgifter som premierer brukere som benytter lav- eller nullutslipps energi). Som operatører kan havner forme omstillingsarbeid ved å øke energieffektiviteten og redusere utslipp fra egen drift, eller benytte bærekraftskriterier ved valg av underleverandører.

"Community manager" rollen er særlig interessant ettersom den innebærer at havner påtar seg ansvar og oppgaver utover egen kjernevirksomhet. Denne rollen argumenteres for å ha utviklet seg som et resultat av økt globalisering i havnesektoren, samt press fra marked og myndigheter (de Langen, 2006). Dette har økt havnas interesse for og innsats innen miljø, byutvikling, arbeidsforhold og nabomiljø (Verhoeven, 2010). Rollen er dessuten interessant fordi den har flere likhetstrekk med såkalt 'intermediary-kapasitet'. 'Intermediaries', det vi på norsk kan kalle *mellomromsaktører*, er viet mye oppmerksomhet i forskning på bærekraftig omstilling (Kivimaa et al., 2020). Dette fokuset på mellomromsaktører reflekterer behovet for koordinasjon i omstillingsarbeid, f.eks. tilrettelegging for overgang til nye energiløsninger. I TRAZEPO har vi sett nærmere på hvordan havneorganisasjoner opptre som mellomromsaktører i omstillingsarbeid (Damman & Steen, 2021, Bjerkan et al., 2021a). Derfor ser vi nærmere på denne rollen og hvordan den utøves av havner (dvs. havneorganisasjoner) i den norske konteksten.

- **Community manager-rollen:** håndterer interessenter og aktører i og rundt havna, relasjonen med byen/stedet, stimulerer implementering av grønn teknologi og praksis, lobbyvirksomhet på vegne av havneaktører, grønn profilering og miljøbevissthet samt ressurs håndtering.
- **Intermediary-rollen:** bidrar til systemendring gjennom koordinering eller megling, skaper narrativer og visjoner, kapasitetsbygging og kunnskapsutvikling, promoterer bærekraftige løsninger

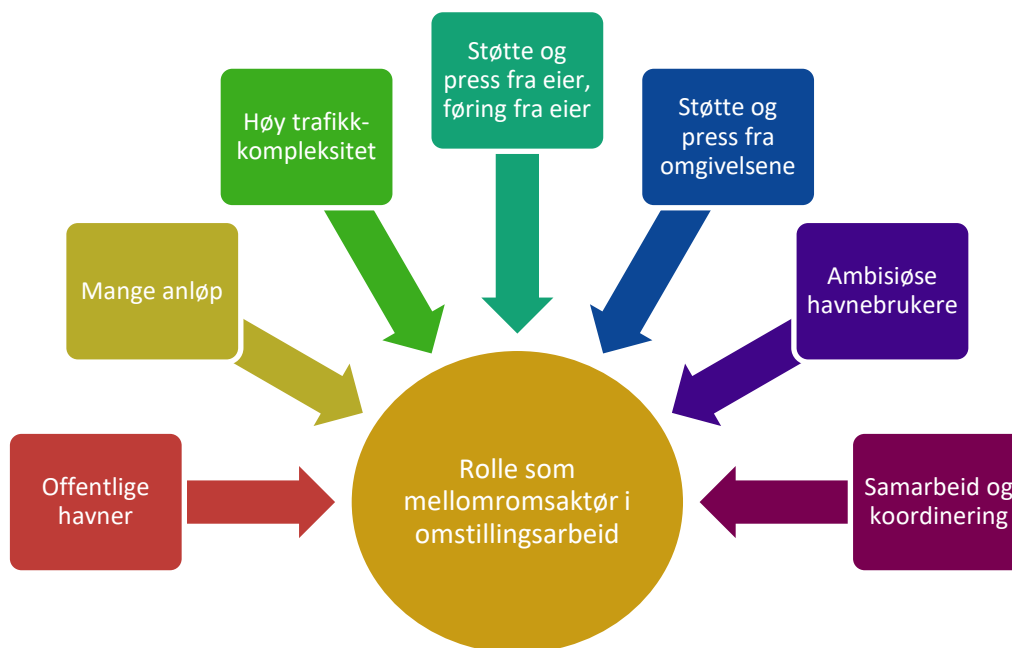
⁶ I tabell 4 i Vedlegg vises en oversikt over hvordan havnene fordeler seg på de ulike rollene basert på survey spørsmålene.

Det er altså mange overlappende funksjoner mellom disse to rollene, spesielt når det gjelder å samordne og tilrettelegge på tvers av ulike aktører. Samlet sett kan denne rollen som *mellomromsaktør* sies å omhandle følgende konkrete aktiviteter for havner:

- jobber politisk med å promotere havnas interesser generelt
- tilrettelegger for dialog og samarbeid mellom havnas brukere
- muliggjør at andre aktører enn bare havna kan redusere utslipp
- framsnakker konkrete løsninger som kan redusere utslipp i og rundt havna (se tabell 4 i vedlegg for fordelingen på disse ulike oppgavene)

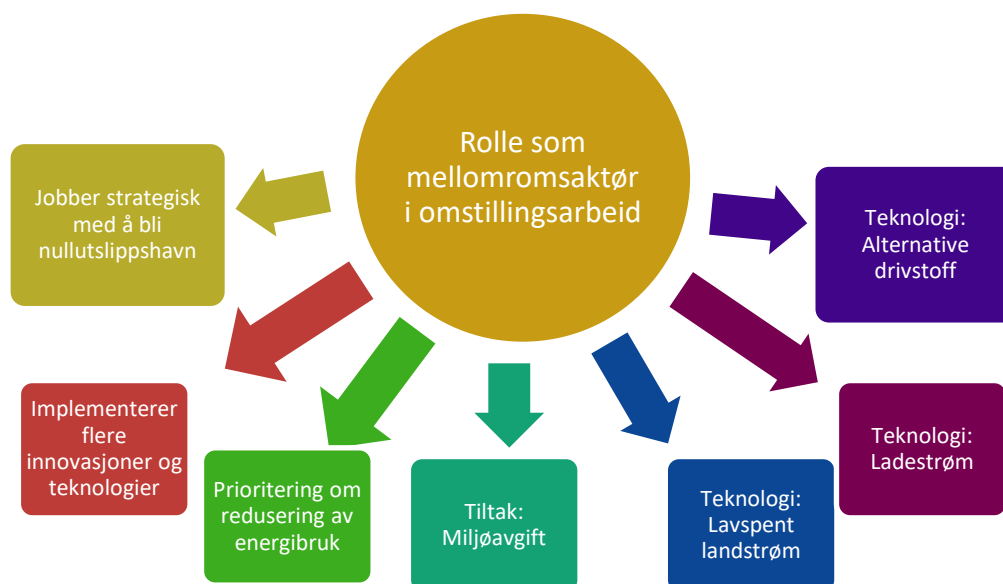
Spørreundersøkelsen tilsier at 55% av norske havner har innført alle disse aktivitetene i sitt arbeid, mens så mange som 99% av havnene gjør minst én av aktivitetene.

Men hva karakteriserer havner som utfører flere slike aktiviteter? Vi ser en tendens til at offentlige havner i større grad enn de private opptre som mellomromsaktør. Havner som skårer høyt på disse aktivitetstypene har også et høyere antall anløp per år, samt høyere trafikk-kompleksitet (altså ulike segmenter innen sjøtransport). Dette kan indikere at jo høyere kompleksitet, desto mer behov og også muligheter har havner for å aktivt koordinere og 'orkestrere' aktører og aktiviteter. Havner som utfører slike aktiviteter opplever også noe mer press fra eier, samt mer press og støtte fra omgivelsene når det gjelder havnas arbeid med bærekraftig omstilling. Dette tilsier at eierskapsstrategier er viktige bakenforliggende drivere for havners omstillingsarbeid. Figur 17 oppsummerer disse faktorene som har sammenheng med havnas rolle som mellomromsaktør.



Figur 17 Faktorer som har sammenheng med havnas rolle som mellomromsaktør

Hva betyr så mellomromsaktør-rollen for omstillingsarbeidet i havnene? Havner som utfører mange ulike typer arbeid knyttet til denne rollen jobber også mer strategisk med å bli nullutslippshavn, dvs. å redusere både egne og andres utslipp, som vist i Figur 18. Disse havnene implementerer også flere lavutslippsteknologier eller utslippsreducerende tiltak generelt. Av de spesifikke tiltakene eller teknologiene, er det en positiv sammenheng særlig med bruk av miljøavgift, lavspent landstrøm og alternative drivstoff. Grunnlaget for oppsummeringene i Figur 18 og 19 finnes i Bjerkan et al. (2021a) og Bjerkan et al. (2021c).



Figur 18 Sammenhengen mellom mellomromsaktør-rolle og havnenes arbeid med å redusere energiforbruk og utslipp

3.6 Lokalisering og samspill

De kvalitative studiene i TRAZEPO understreker at havnenes handlingsrom påvirkes av en rekke forhold, som virker sammen på ulike måter i den enkelte havn (Bjerkan et al., 2021b, Bjerkan & Ryghaug, 2021, Damman & Steen, 2021). Det er en klar sammenheng mellom lokalisering, fordeling på ulike skipssegmenter, etterspørsel og krav blant kundene og hvilke muligheter havnene har til å implementere nullutslippsløsninger på en økonomisk bærekraftig måte.

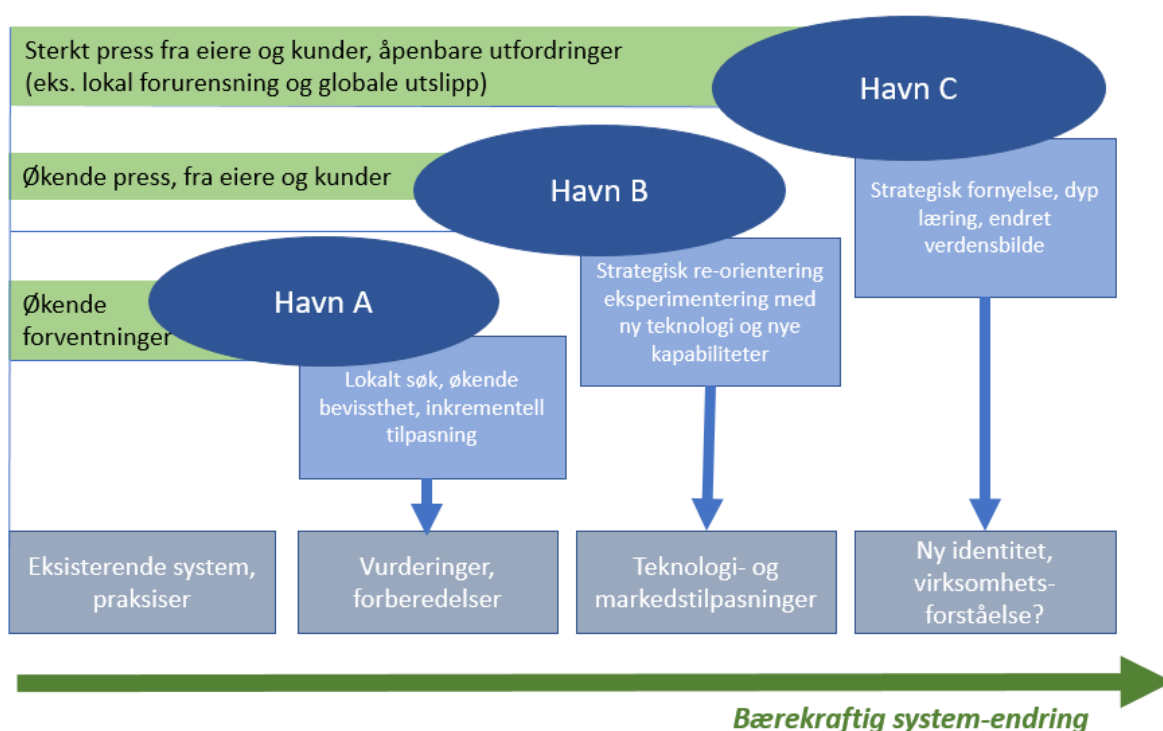
Ulike havner har også strategisk fokus på transport- og logistikksystemer med ulik skala, hvor de har ulik grad av innflytelse. For eksempel har vi sett at der Oslo og Kristiansand begge er opptatt av koblingen mot Europa, så er Narvik i sitt strategiske arbeid med utvikling av havna opptatt av transportkorridorer som strekker seg over land (med tog) til Øst-Asia. Havnenes tilnærming preges også av lokal historie og kultur, organisasjonens form og kapasitet, samt motivasjoner blant involverte nøkkelpersoner. Dette understreker at det er viktig å utvikle strategier ut fra den enkelte havns karakteristika og kontekst.

Samtidig finnes det er et betydelig læringspotensial mellom og på tvers av havner. Kristiansand, Narvik og andre havner vil kunne lære av den integrerte og planmessige tilnærmingen i Oslo Havn, mens Kristiansand har vært en foregangshavn når det gjelder eksperimentering og implementering av ny teknologi. Narvik Havn har lenge hatt et tett og godt samspill med lokale næringsaktører om bærekraftig transport og regional utvikling. Variasjonen og evnene til å gripe nye muligheter på ulike måter understreker viktigheten av et større systemperspektiv for å utvikle havnene til nullutslipps energiknutepunkter. Her har både Kystverket og Norske Havner en viktig rolle å spille, samt også Enova og andre virkemiddelaktører som støtter opp om omstillingsarbeid.

Som det framgår av funn fra spørreundersøkelsen påvirkes havnenes handlingsrom i stor grad av forholdet til eierne og andre aktører i og rundt havna. Oslo har vært tidlig ute og har store ambisjoner som miljøhovedstad. Dette gjør at Oslo Havn møter høye krav og kan hente mye støtte i kommunen, samtidig som de har en rekke ressurssterke og ambisiøse brukere, som gjør at de kan ha en integrert, planbasert tilnærming og jobbe mot helt nye havnekonsepter med et helhetlig perspektiv. I Kristiansand har kommunens forventninger i større grad vært knyttet opp mot én bestemt teknologi, nemlig landstrøm. Kristiansand Havn sine mål og visjoner for utvikling mot nullutslippshavn har vekt på landstrøm og elektrifisering og inkludering av flere løsninger ettersom markedet modnes. I Narvik har havneselskapet hatt

en mer autonom rolle, og kommunen har en relativt trang økonomi. Havna har imidlertid vært aktiv i lokale nettverksinitiativer og bidratt til utredninger og ulike samarbeidsprosjekter på alternative drivstoff, samtidig som man forbereder nye kaiområder for landstrøm. Havna spiller også en sentral rolle i "Smart Narvik", som blant annet har hatt fokus på bærekraftig transport og mulighetene knyttet til hydrogen. De nylig lanserte planene om et innovasjonssenter og en stor fabrikk for hydrogen-brenselceller i Narvik kan sees i sammenheng med dette. Målet er å etablere en helhetlig verdikjede for utnyttelse av hydrogen som energibærer, blant annet for skipsfarten.

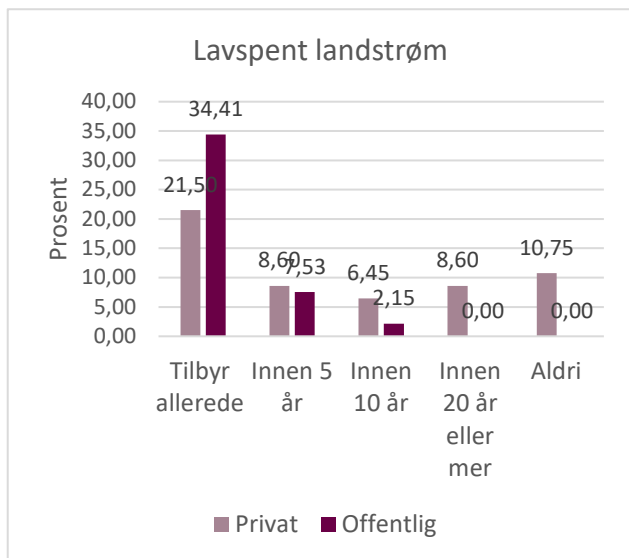
De nevnte forskjellene gjør at havnenes muligheter og måter å bidra til bærekraftig omstilling i det nasjonale transport- og energisystemet også arter seg forskjellig. Figur 19 illustrerer hvordan ulike situasjoner kan assosieres med ulike nivåer av endring, som er forbundet med ulike læringsløyper og ulik grad av innflytelse i det større sosio-tekniske systemet havnene inngår i.



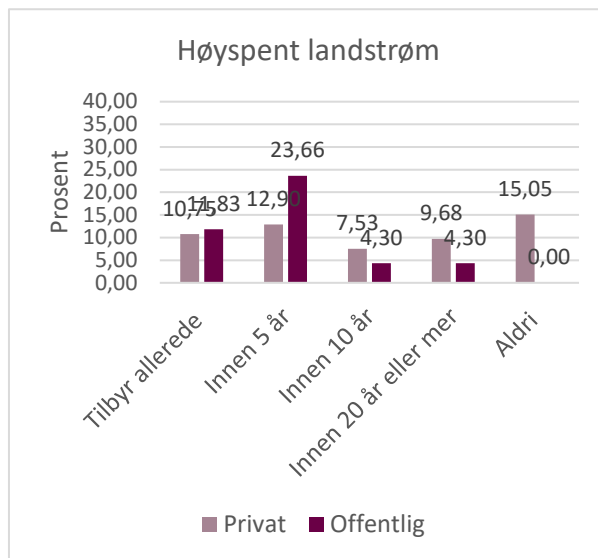
Figur 19 Havneomstilling i samspill med eksterne faktorer

3.7 Implementering av lav- og nullutslipps energiløsninger – status og forventninger

Her ser vi nærmere på implementering av lav- og nullutslippsløsninger energiløsninger (lavspent og høyspent landstrøm, ladestrøm, LNG, LBG, biodiesel, hydrogen, ammoniakk og metanol) og fremtidige planer, basert på funn i spørreundersøkelsen. I surveyen stilte vi spørsmålet: når anslår du at ditt havn-/kaianlegget vil måtte tilby følgende teknologi/drivstoff? Svaralternativene var: *tilbyr allerede; innen fem år, innen 10 år, innen 20 år, mer enn 20 år, og aldri*. I de følgende figurene har vi slått sammen innen 20 år og mer enn 20 år, til "innen 20 år eller mer". Vi får da kategoriene tilbyr allerede, innen 5 år (nær framtid), innen 10 år (mellomlang sikt, og relevant med tanke på 2030 ambisjoner, innen 20 år eller mer (lang sikt, og relevant for 2050-ambisjoner) og aldri.



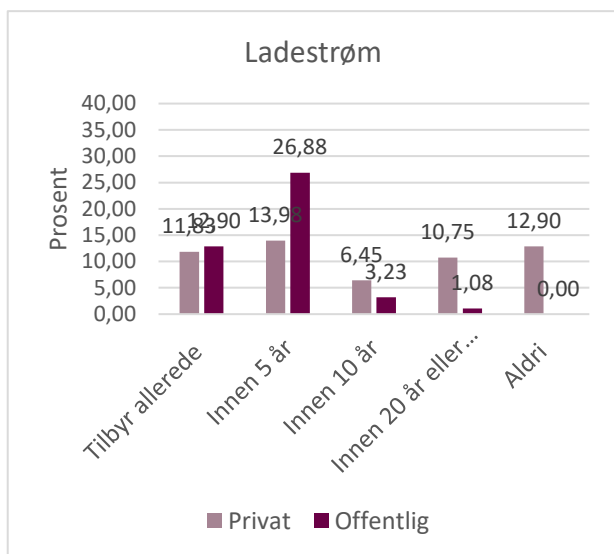
Figur 21 Implementering av lavspent landstrøm. N=96



Figur 20 Implementering av høyspent landstrøm. N=96

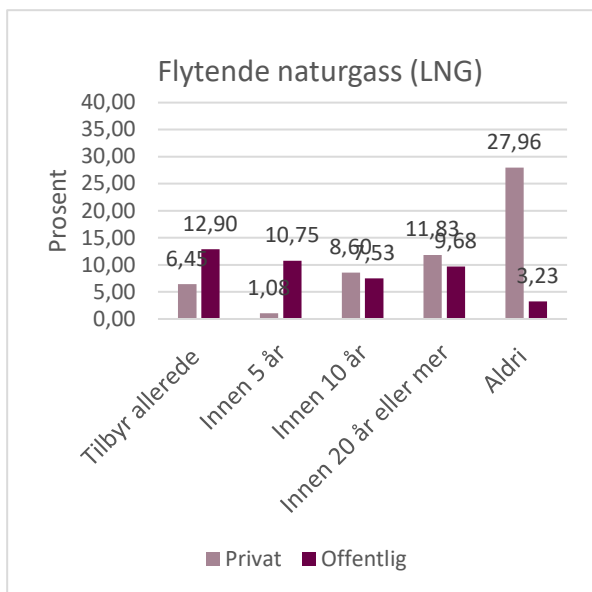
Med lavspent landstrøm menes tilførsel av strøm med spenning lavere enn 1000V. Dette er tilstrekkelig for mange typer skip, inkludert fiske-, offshore- og gods fartøy. Som vist i Figur 21 har en stor andel av havnene allerede innført lavspent landstrøm, og andelen er høyere blant offentlige enn private havner. Noen flere private enn offentlige havner ser for seg innføring innen 5-10 år. Over 10 prosent av private havner i Norge forventer at dette tiltaket aldri vil bli aktuelt, hvilket med all sannsynlighet har sammenheng med type trafikk disse havnene betjener.

Med høyspent landstrøm menes strømtilførsel med spenning over 1000V. Dette er typisk nødvendig for cruiseskip og store passasjerfartøy. Figur 20 viser at høyspent landstrøm er vesentlig mindre utbredt enn lavspent landstrøm, og at det er omtrent likt mellom private og offentlige havner angående hva som tilbys i dag. Innen 5 år forventer offentlige havner i større grad enn private å innføre høyspent landstrøm. Vi ser igjen at private havner i mye større grad enn offentlige svarer at de aldri vil innføre høyspent landstrøm.



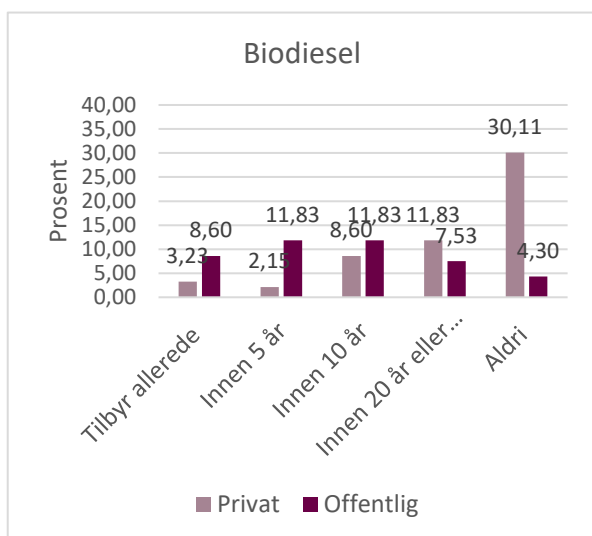
Figur 22 Implementering av ladestrøm. N=96

Ladestrøm: ladestrøm viser til strømtilførsel til fartøy med installerte batteri. Her ser vi samme tendens som for høyspent landstrøm – offentlige havner planlegger i større grad å innføre denne innen 5 år.



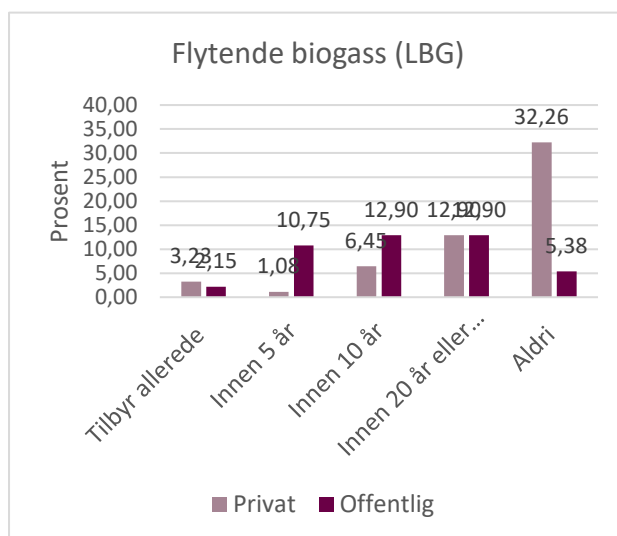
Figur 23 Implementering av LNG. N=96

Flytende nedkjølt naturgass (LNG): Her ser vi en tendens til at offentlige havner i større grad enn private tilbyr dette i dag, og også ser for seg innføring innen 5 år. En svært stor andel av private havner forventer å aldri innføre LNG. Generelt er det en lavere andel havner som forventer innføring av LNG sammenlignet med strøm-løsningene. Dette kan også gjenspeile at infrastrukturen for LNG i stor grad forventes å være 'mobil', dvs. at LNG bunkres fra tankbiler eller skip.



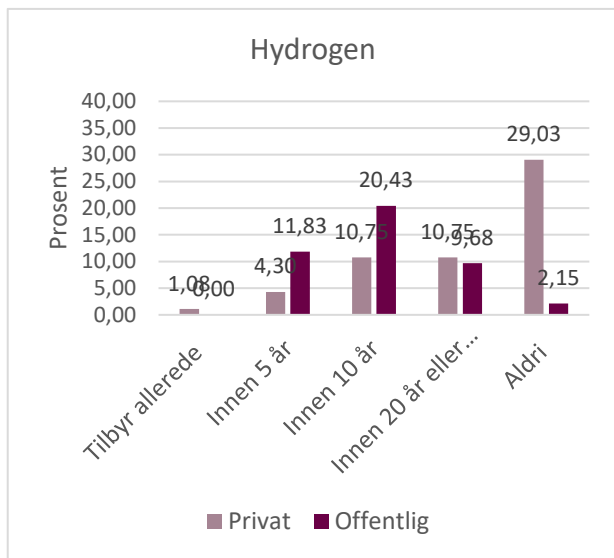
Figur 25 Implementering av biodiesel. N=96.

Biodiesel: Generelt lite utbredt, og nærmest ikke-eksisterende hos private havner (Figur 25). Selv om offentlige havner i større grad enn private både tilbyr dette allerede, og tenker det innført innen 5 og 10 år, er det generelt lav andel for innføring. Vi merker oss igjen at private havner i svært stor grad svarer Aldri.

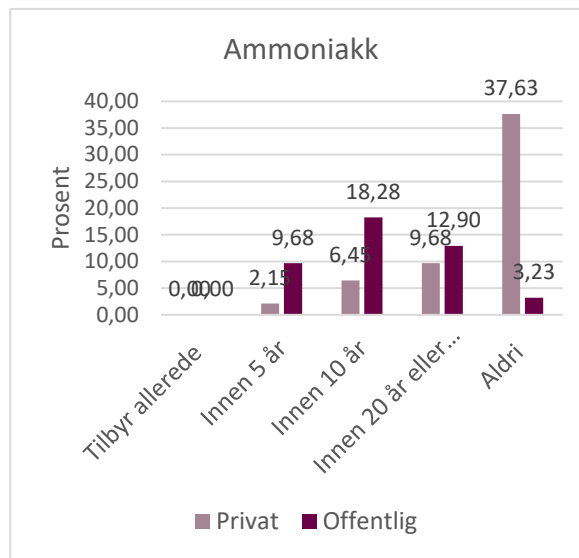


Figur 24 Implementering av LBG. N=96

Flytende biogass (LBG): Viser omtrentlig samme bilde som for biodiesel, bortsett fra at det er enda færre offentlige havner som har innført dette i dag (Figur 24).

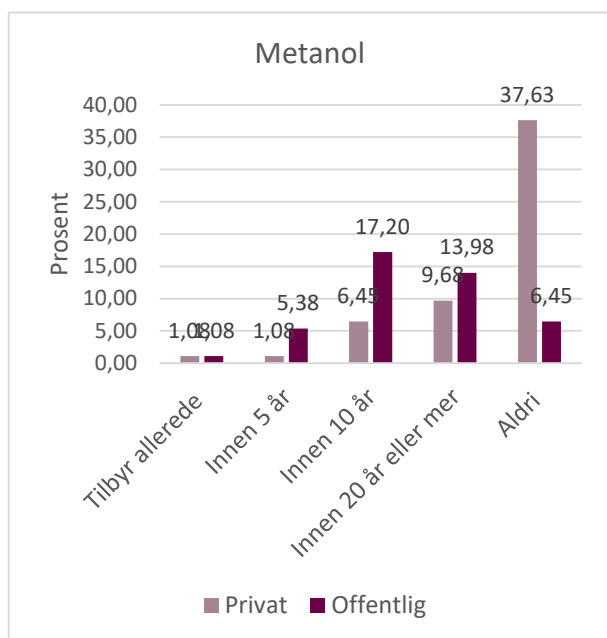


Figur 27 Implementering av hydrogen. N=96.



Figur 26 Implementering av ammoniakk. N=96.

Hydrogen: Som vist i Figur 27 er hydrogen noe som havnene i større grad tenker å innføre på litt lengre sikt. Om lag en tredjedel av de private havnene forventer ikke at hydrogen vil bli aktuelt. Samme bildet tegner seg for **ammoniakk** (Figur 26), og for **metanol** (Figur 28). Men her ser vi at det er enda flere havner som aldri ser for seg at det vil bli aktuelt å tilby disse to drivstoffene. Til felles har de at de er svært umodne og stort sett på eksperimentstadiet i teknologiutviklingen. For havneaktører (så vel som andre) er det sånn sett krevende å ta stilling til spørsmål om hvorvidt teknologien/løsningen vil bli aktuell eller ikke, samt eventuelt når.



Figur 28 Implementering av metanol. N=96.

Det er betydelig forskjell mellom private og offentlige havner for flere av energiløsningene og hva som er forventet innført. Offentlige havner ser i større grad for seg enn private å innføre de fleste av energiløsningene på kort sikt, innen 5 år. Størst forskjell kan ses innen 5 år for høyspent landstrøm og ladestrøm, LNG, biodiesel og LBG, hydrogen og ammoniakk hvor offentlige havner i større grad enn private ser for seg at det kan bli aktuelt å innføre på kort sikt. En relativt høy andel av de private havnene svarer at de aldri forventer å innføre noen av løsningene, spesielt gjelder dette de mer 'radikale' energiløsningene.

Oppsummert viser dette at av lav- og nullutslipps energiløsninger er det lavspent landstrøm som i størst grad tilbys i dag. Dernest følger høyspent landstrøm, ladestrøm og LNG. Høyspent landstrøm og ladestrøm er også løsningene flest av havnene ser på som mest aktuelle å implementere på kort sikt. På lengre sikt (innen 10 år) er det særlig LNG, biodiesel og flytende biogass (LBG) som vurderes som aktuelt. På lengre sikt

(20 år eller mer) er det særlig LBG, metanol og hydrogen som havnene forventer at vil bli implementert. Her er det selvsagt betydelig usikkerhet, men funnene gir like fullt noen indikasjoner på hvilke forventninger aktørene i transportsektoren har til hvordan det grønne skiftet vil utarte i tiårene framover – og hva det rent konkret vil kunne komme til å bety for dem. Vi merker oss også at havneaktørene er mer optimistiske til

innfasing av nye energiløsninger (eksempelvis hydrogen, ammoniakk) enn det scenarieanalysene (se delkapittel 2.1) tilsier.

Det er verdt å minne om at spørreundersøkelsen er utformet slik at spørsmålene gjelder hver enkelt havn – ikke havnesektoren (og øvrige sektorer) generelt. For å ta et enkelt eksempel, så kan det tenkes at det er bred enighet om at metanol eller ammoniakk vil være viktig for å bidra til utslippsreduksjoner i skipsfarten, uten at det medfører at en stor andel av havnene vil tilby disse drivstoffene. Det kan også tenkes at en del havner forventer å tilby ulike alternative drivstoff ved å benytte 'mobil infrastruktur', slik LNG i stor grad distribueres til skip i dag.

Forventninger oppstår heller ikke i vakuum, men i samspill mellom ulike aktører og gjennom påvirkning fra ulike hold. I den norske debatten om utslippsreduksjon fra transportsektorene har det generelt vært mye fokus på elektrifisering og hydrogen de sisten årene, og det er ikke unaturlig at dette preger aktørers forventninger. I forhold til bærekraftig omstilling er forventninger interessante også fordi mye forskning viser hvordan forventninger til fremtiden blir en rettesnor, og rent konkret påvirker det aktører gjør av investeringer, plan-, utviklings- og utredningsarbeid.

4 Omstilling til nullutslipps 'energihubs'

Sammenholder vi havnenes innføring av alternative drivstoff og energibærere (både gjennomført og antatt/forventet) med scenarioene fra kapittel 2, tegner det seg et bilde som tilsier at det i grove trekk finnes noen kollektive forventninger til hvordan energiframtiden vil utvikle seg i havnesektoren. Det mest opplagte uttrykket for dette er at de aller fleste havner enten har eller forventer å tilby elektrisitet som energibærer i en eller flere former, noe som er i tråd med så vel scenarier som politikk for energiomstilling i Norge (og internasjonalt). Videre ser vi at verken biodrivstoff eller LNG er energikilder som aktører i havnesektoren forventer at vil spille vesentlige roller i energimiksen de må forholde seg til fremover. Dette er mer i uoverensstemmelse med scenarier som viser at biodrivstoff blir viktig for nå målene mot 2050 (Schäffer et al., 2020), spesielt dersom blå hydrogen (dvs. reformert naturgass med CCS) blir utfordrende å realisere. Derimot er det tydelig at nye energiløsninger som hydrogen og ammoniakk, forventes å bli etterspurt på noe lengre sikt.

Disse funnene reflekterer et grunnleggende premiss ikke bare for prosjektet, men for mye av samfunnsdebatten om energiomstillingen i Norge og verden for øvrig, nemlig overgang fra én dominerende energiløsning for transport til en miks av mange ulike løsninger. Det er i lys av dette Nasjonal Transportplan (2018-2029) ser en framtid for norske havner som energiknutepunkter, med tilgang til alternative drivstoff, samt landstrøm og ladeinfrastruktur for både maritim og landbasert transport. Som vi har sett over (2.1) vil økt utbygging av landstrøm og ladeinfrastruktur, samt mulig lokal produksjon av hydrogen, kreve tilgang til betydelige mengder energi med tidvis stor variasjon i effektbehovet. På den annen side har havner også mulighet til å produsere energi, f.eks. ved installasjon av solpanel eller vindmøller.

Utviklingen av robuste og fleksible integrerte energisystemer vil derfor bli mer og mer aktuelt i tiden framover. I slike systemer vil det være viktig å få til et mest mulig optimalt samspill mellom ulike energikilder, teknologier og brukere i og rundt den enkelte havn, og samtidig unngå suboptimale investeringer og 'innelåsning' til bestemte løsninger. Nye løsninger for fleksibilitet, lagring og konvertering av energi kan gi mer stabil energiforsyning og bedre økonomi knyttet til nullutslippsløsninger, som høyspent landstrømanlegg, slik at de kan dekke flere behov. Økt fleksibilitet gjennom integrering av ulike energiløsninger vil også kunne redusere etterspørselstopper og redusere behovet for investering i ny infrastruktur på nettselskapenes side. Det er derfor økende fokus på hvordan havner kan utvikles som *integrerte energisystemer* eller *'energihubs'*, som en del av det grønne skiftet.

4.1 Utforsking av ulike konsepter

Flere havner utforsker nye 'energihub'-konsepter. Oslo Havn har ved siden av landstrøm og andre klimatiltak utredet et konsept for godshavna – Sydhavna - som inkluderer både egenproduksjon, distribusjon og lagring av energi i et helhetlig energisystem (Oslo Havn, 2020). Utredningen anbefaler å bygge ladeinfrastruktur til all landrelatert transport, mens kundene i havna må ta i bruk tilgjengelig nullutslippsutstyr i perioden 2020-2025. I tillegg sier den at biogass til oppvarming i betongprosessen og drivstoff til betongbiler bør fases inn. Stasjonær batteribank som støtte til strømmettet svarer seg ikke i dag, men kan vurderes på nytt innen 2024, mens solcelletiltak implementeres gradvis, i takt med vedlikehold og utbygging mot 2030. Ifølge utredningen vil tiltakskostnadene for nødvendig infrastruktur i Sydhavna bli i størrelsesorden 210 millioner kroner. Et samlet mikronett blir for dyrt, men ulike deler av systemet bør likevel knyttes bedre sammen for å oppnå økt fleksibilitet.

Mens Oslo Havn har hatt delte meninger om utveksling med enkeltbrukere, har Borg Havn stor tro på energiutveksling med industriområdet Øra. Man har etablert et Smart Borg Havn program, som skal stimulere til eksperimentering, testing og demonstrering av både ny teknologi, nye tjenester og nye forretningsmodeller. Havna har allerede et internt nett, med ett målepunkt, som er utviklet steg for steg etter innkjøp av en 10kV trafo for elleve år siden. Nyere prosjekter inkluderer ekstra batterier, storskala elektrifisering og et smart styringssystem, samt utredning av en 800kW vindmølle, og vurderinger rundt hydrogen. Per i dag kjøper alle virksomhetene i industriområdet strøm fra havna, og havneselskapet ser på utvikling som energiknutepunkt som en ny forretningsmulighet.

I Stavangerregionen er det etablert et regionalt samarbeidsprosjekt, hvor havna har gått sammen med Avinor, Forus Næringspark, Lyse Elnett og IT-konsulent Smartly om å finne løsninger for økt lokal produksjon, lagring og styring av effekt og energi. Det er etablert en avtale på 10 millioner kroner med Kverneland Energi om levering av et mikronett til Utenriksterminalen i Risavika, som vil gjøre at terminalen i perioder kan være selvforsynt med strøm. Løsningen inkluderer solceller, elbilladere, battericontainer og styresystem. Det er også planer om videre investering i ladeinfrastruktur for flere ulike skipstyper og komponenter for styring av laster (Becker, 2021). Ved siden av dette har Stavangerregionen Havn flere landstrømanlegg og leverer LNG til skip fra flere av terminalene, hvor man også ser for seg at det vil leveres hydrogen og ammoniakk i fremtiden (COWI, 2020).

Karmsund Havn utvikler et konsept kalt Intelliport (Karmsund Havn, 2019). Utgangspunktet er et prosjekt for utvikling av godshavna på Husøy som startet i 2017. Karmøy Kommune har vært aktiv som tilrettelegger og de største brukerne av havna spiller en viktig rolle. Ambisjonen er å bli Norges største, grønneste godshavn. Automatisk vakuumbortføring som kan kombineres med batterilading, samt bunkringsanlegg for biodrivstoff (HVO) inngår, sammen med smart styring av elektriske kraner, porter og lys, nullutslipps kjøretøy og anleggsmaskiner i selve havna. En ny trafostasjon nær terminalen sikrer tilgang på fornybar strøm, men andre kilder, som vind, solceller, og bølgekraft er også relevante. Da regjeringen åpnet Utsira Nord og Sørlege Nordsjø II for havvindutbygging i 2020, økte også ambisjonene for Intelliport: Det er nå snakk om investeringer på 1 milliard kroner og en dypvannskai på 1,6 km, med strømmuttak for landstrøm og batterilading for hver 100 m. Alt utstyr vil bli elektrifisert, og man skal tilby drivstoff som LNG, hydrogen og ammoniakk (Jørgensen, 2020). I tillegg er det inngått avtale om et større landstrømanlegg for cruise på Risøy, som vil kunne gi en årlig utslippsreduksjon på rundt 1300 tonn CO₂ (Haugland Kraft, 2020).

Det jobbes også med spennende løsninger i andre havner. Disse eksemplene viser noe av bredden. Slik havner er forskjellige vil også aktuelle energihub-løsninger variere. Effektbehov og andre forutsetninger varierer fra sted til sted. Konseptet i Oslo er utredet som et klimatiltak, mens arbeidet i Borg Havn også har bakgrunn i tidligere investeringer og et syn på energi som forretningsmulighet. I Elnett 21 har man et større perspektiv, som ikke bare går på nullutslipp, men hvordan strøm til fly, busser og skip i regionen kan styres og fordeles for å unngå store investeringer i strømmettet. Intelliport har opphav i smart teknologi og henger sammen med sterk satsing på flytende havvind. Arbeidet bidrar til bærekraftig omstilling på ulike vis, både

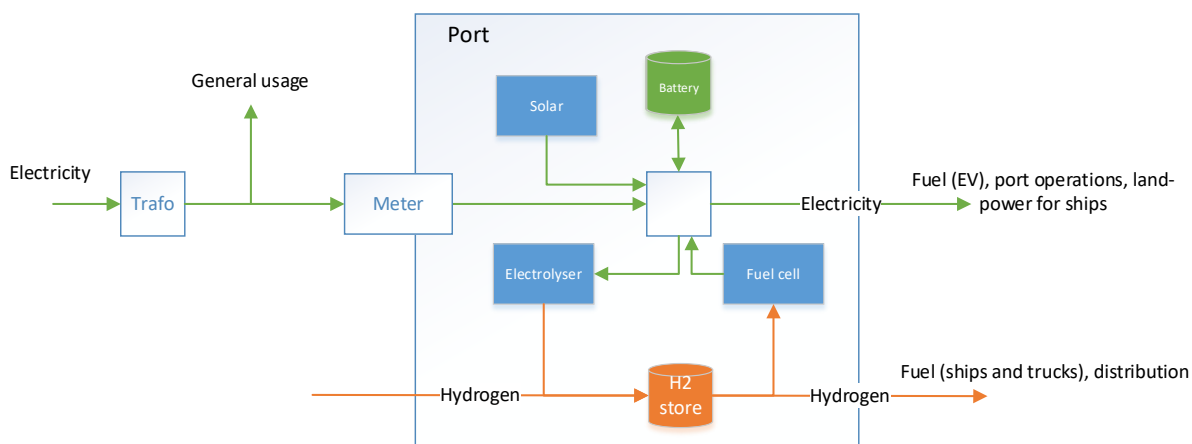
ved å redusere klimagassutslipp fra transport og legge rette for bærekraftig innovasjon og utslippsreduksjoner i lokal industri, samt redusere behov for nettutbygging og utvikle nye verdikjeder for bærekraftig energi. Scenariene i kapittel 2 viser at det siste kan bli særlig viktig for noen av havnene på Vestlandet.

Oppsummert ser vi at det jobbes med en rekke ulike integrerte løsninger i forskjellige havner, der løsningene (produksjon-distribusjon-konvertering-konsum) er tilpasset lokale, havnespesifikke forhold. Konsekvensen av dette kan bli at framtidens havner blir mer forskjellige enn de er i dag, særlig med tanke på hva som tilbys av ulike drivstoff og energibærere.

4.2 Vurdering og valg av tekniske løsninger

Mens de forangående seksjonene hadde et sosio-teknisk perspektiv med fokus på politiske og institusjonelle drivere og barrierer for overgangen til nullutslippshavner, tar dette delkapittelet en tekno-økonomisk tilnærming for å se nærmere på hvilke løsninger og kombinasjoner av teknologier som kan bidra til å nå målene og hvordan det sosio-tekniske rammeverket kan påvirke valg av løsninger. Utvikling av havner som energihub krever ny kunnskap, både når det gjelder tekniske løsninger, verktøy for tekno-økonomiske vurderinger av hvordan disse kan settes sammen til rasjonelle helhetlige konsepter tilpasset den enkelte havns lokale forhold og mål, og hvordan samspillet mellom ulike aktører best kan organiseres. For å ta gode beslutninger som sikrer rasjonelle og robuste løsninger knyttet til dimensjonering og valg av teknologi, kan optimeringsbaserte økonomiske analyser være et godt hjelpemiddel. En slik tilnærming betrakter havner på en skjematisk og forenklet måte, med utgangspunkt i de mest relevante delene og deres samspill.

Gjennom en modellering av havna som et nettverk av ulike komponenter hvor energi kan produseres, forbrukes eller lagres i hver komponent med muligheter for flyt mellom dem, kan man utvikle kvantitative modeller basert på en matematisk beskrivelse av problemet. Typiske komponenter er lager (batterier, tanker) og produksjonsenheter (elektrolyser, solceller). Et eksempel på et slikt nettverk hvor man fokuserer på samspillet mellom hydrogen og elektrisitet, er illustrert i Figur 29. Slike modeller er både fleksible og utvidbare og kan raskt tilpasses behovene for ulike analyser og havner. For eksempel kan man lett utvide med andre aktuelle typer energibærere som ammoniakk og biodrivstoff eller andre produksjonsenheter som vindturbiner. Denne typen modeller kan analyseres ved hjelp av spesialisert programvare som finner optimale løsninger under gitte forutsetninger knyttet til kostnader og fremtidig behov for ulike produkter og løsninger. Dette kan også innebære strategier for inn- eller utfasing av løsninger etter en viss tid.

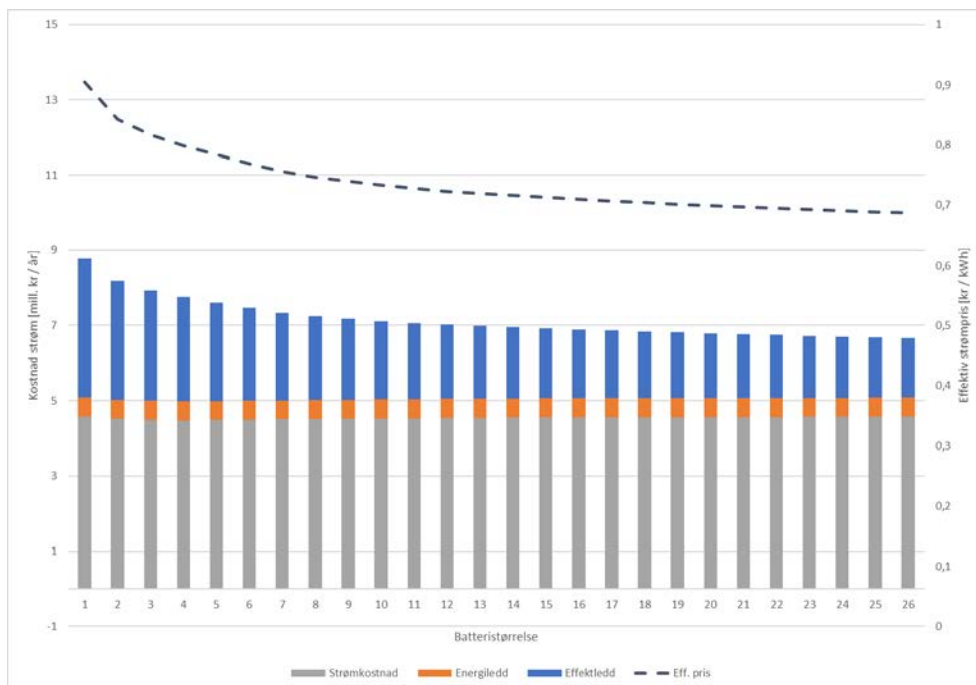


Figur 29 Modellering av havna som et nettverk av ulike komponenter hvor energi kan flyte mellom de ulike komponentene i form av elektrisitet og hydrogen. Merk at man også kan flytte energi i tid gjennom lagring enten i batterier eller som hydrogen, samt kjøpe elektrisitet og hydrogen fra eksterne markedskilder

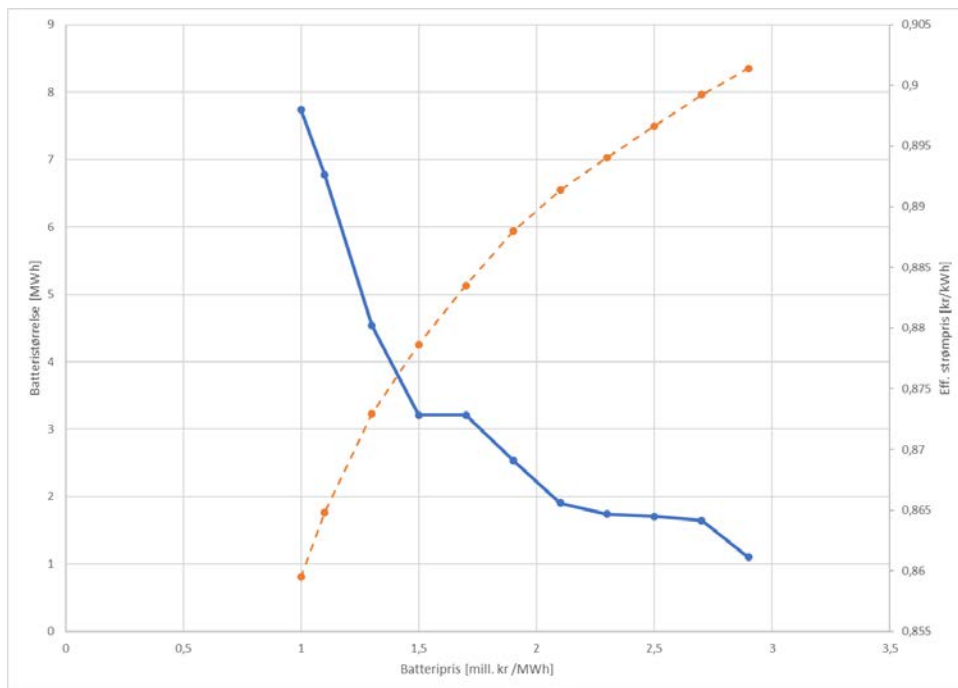
Gjennom en slik modellering kan man effektivt fange både samspill mellom de ulike teknologiene og den underliggende dynamikken. Spesielt vil bruk av ladekapasitet kunne ha en betydelig variasjon over døgnet med store effekttopper og tilhørende kostnader og krav til infrastruktur. Her vil stasjonære batterier kunne brukes som et middel til å redusere effekttopper gjennom å lade batterier i perioder med lav belastning. Det er også mulig å se for seg et samspill med lokal produksjon av hydrogen hvor en elektrolyser kan brukes i perioder med mindre belastning på nett.

En økonomisk modell kan kjøres over ulike tidshorisonter for å se på lønnsomhet av investeringsbeslutninger knyttet til både valg av teknologier og dimensjonering av de ulike komponentene. En slik analyse vil måtte tilpasses hver enkelt havn og ta hensyn til eksisterende infrastruktur, muligheter for å ta i bruk ny teknologi (f.eks. begrenset areal) og lokale variasjoner i framtidig behov for landstrøm, lading og alternative drivstoff. Det er også mulig å legge inn krav til utslippsreduksjoner, for å se hvordan man best mulig kan oppnå ønsket reduksjon, f.eks. i CO₂-utslipp.

Figur 30 og Figur 31 viser eksempler på resultater fra denne typen analyser basert på data fra Kristiansand Havn. Her er søkelyset på hvordan en spesifikk teknologi (bruk av stasjonære batterier) vil samspille med eksisterende infrastruktur og energibruk. Kristiansand Havn har i samarbeid med Agder Energi, Kristiansund Kommune og Agder fylkeskommune kartlagt effekt- og energibruk knyttet til havneområdet ved Vestre Kvadraturen. Disse tallene er kombinert med historiske strømpriser for å se hvordan et stasjonært batteri med varierende kapasitet vil påvirke den totale strømprisen, primært gjennom å redusere effekt-topper knyttet til varierende behov for ladestrøm over døgnet. Prisen på batterier er stadig nedadgående og Figur 31 viser resultater fra en sensitivitetsanalyse som viser best mulig batteristørrelse (basert på nåverdi over en 20-års periode) for ulike batteripriser. Med lavere batteripriser blir det mer attraktivt å investere i betydelig større batterier da særlig for å håndtere variasjoner over kort tidsrom.



Figur 30 Illustrasjon av hvordan ulike batteristørrelser (MWh) vil redusere strømpriser gjennom utjevning av effekt-topper. Den stiplede linjen viser den resulterende strømprisen per kWh.



Figur 31 Illustrasjon som viser hvordan optimal batteristørrelse vil variere med batteripris (kr/MWh). Den blå kurven viser optimal batteristørrelse som funksjon av batteripris. Den oransje kurven viser strømpris per kWh inkludert kostnader for strøm og nettbruk.

Gitt at vi kan forvente at havner i framtiden vil måtte tilby ulike drivstoff og energibærere vil denne typen analyser ha verdi for havner både i en tidlig vurderingsfase og i en ev. etterfølgende investeringsfase, både med hensyn til hvilke teknologier det kan være aktuelt å investere i, når investering bør gjøres i tid, og hvilke dimensjoner som bør velges for investeringene.

4.3 Nye samarbeidsmodeller

En utvikling i retning nullutslipps energiknutepunkt stiller også nye krav til kompetanse. Flere av de større havnene velger nå å ansette kandidater med spesialkompetanse innen miljøfaglig og ekspertise innen elkraft og elektronikk. Det økende fokuset på elektrifisering fordrer også et tettere samspill mellom havn og energiselskap. Ifølge ZERO (2020) er dette en utfordring. Nettselskapet vil i mange tilfeller avvende tiltak frem til det kommer en bestilling, og først da undersøke hva for kapasitet som er tilgjengelig og hva slags kostnader og anleggsbidrag som må påregnes for ny infrastruktur, noe som tar tid. Alle de tre case-havnene i TRAZEPO har imidlertid et tett samarbeid med energiselskapet i sin region.

I Bergen er Plug etablert, som et eget selskap 50% eid av Bergen Havn og 50% av BKK (nå Eviny), som ble etablert for å utvikle, bygge og drifte anlegg som skal forsyne skip med ren energi. Målet var i utgangspunktet en fullelektrifisering av Bergen Havn, men Plug skal også bygge landstrømanlegg for cruiseskip i Ålesund, og har utviklet en forretningsmodell der man søker samarbeid med flere havner i Norge og Europa. Mens Plug sitt konsept innebærer samarbeid med BKK er det imidlertid flere havner som vil prioritere samarbeid med sitt lokale energiselskap. Arctic Energi Ports er også en 50/50 konstellasjon, hvor Tromsø Havn og Troms Kraft ønsker å ta grep i nord når det gjelder elektrifisering, men etter hvert også nye energiformer som blant annet LNG (gass) og hydrogen. I deres modell inngår samarbeid med flere nettselskap, som gjør at blant andre Bodø og Narvik Havn har inngått avtaler hvor deres lokale energileverandør fortsetter å være involvert. Karmsund Havn og Haugaland Kraft har valgt å etablere et eget selskap, Havnekraft AS. Oslo Havn har en intensjonsavtale med Hafslund E-CO, mens Kristiansand Havn og Borg Havn så langt har valgt å drifte sine anlegg selv.

En av grunnene til å benytte egne selskap er at omsetting av strøm i prinsippet krever omsetningskonsesjon fra NVE. Kravet har ikke vært strengt praktisert for ladestrøm og mindre landstrømanlegg, men aktualiseres når omfanget blir større. Ifølge NVE vil det ikke være vanskelig å få omsetningskonsesjon, men det innebærer flere forpliktelser i forhold til energiloven og – forskrifter, som kan være kompliserte eller uklare for aktører

utenfor kraftbransjen⁷ (THEMA, 2018). Høyspentanlegg krever også anleggskonsesjon, evt. har man i noen tilfeller gitt dispensasjon fra dette, dersom havna allerede har områdekonsesjon. Anleggsbidrag vil i mange tilfeller utgjøre en betydelig andel av investeringskostnadene for ny el-infrastruktur. En annen utfordring finnes når det gjelder nettleie, hvor nettselskapene opererer med ulike priser, som gjør at strømkostnadene varierer mye mellom havnene. ZERO (2020) fant at i noen tilfeller kan prisen bare på nettleie bli så høy som én krone per kilowatttime, slik at diesel faktisk blir billigere. Nettleien skal imidlertid være nøytral, så det er ikke anledning til å gi rabatt til enkelte typer av kunder. Høsten 2020 ble ordningen justert, slik at man nå har et fastledd basert på effekt, pluss et effektledd for næringskunder (over 100 000 kWh). Effektleddet baseres på kundens effektuttak i definerte perioder og skal være tidsdifferensiert, slik at fleksibilitet insentiveres. Dette kan også påvirke relasjonene mellom aktørene, og bidra til et tettere samspill mellom nettselskap, havn og brukere.

Noen av nettselskapene har tilbydd utkoblbar tariff⁸, som gir betydelig rabatt fra ordinær tariff og har stor betydning for økonomien knyttet til landstrømanlegg med lav brukstid. Ordningen fases ut fra 2020, men Olje- og energidepartementet har foreslått en ny ordning, som innebærer at det kan inngås avtaler hvor kunden kan kobles ut eller gis redusert forsyning i gitte situasjoner, for å tilrettelegge for tilknytning eller forbruksøkning uten nye investeringer i nett. Denne ordningen har bl.a. Norske Havner stilt seg positive til.⁹

Mens dagens markedsmodell innebærer fri konkurranse om å levere strøm til havnene, som deretter videreformidler energien til skip, peker bl.a. THEMA (2018) på at man også kan se for seg en modell der rederiene kjøper strøm direkte fra strømselskapene og betaler havnene for bruk av infrastrukturen. Her kan enten skipene bli kunder av et selskap som tar betalt for bruk av landstrøm som én tjeneste, inkludert både nettleie, landstrømanlegg og energi, eller det kan være to separate leverandører, én for infrastruktur, inkludert nettleie, og én som leverer strømmen. Enkelte større fergeselskap med fast plass har allerede lokale energikontrakter som innebærer "marked til kaikanten", men for andre kategorier vil dette være krevende. Når det gjelder landstrøm utgjør også selve energien en begrenset andel av kostnadene. For andre drivstoff, som LNG, utgjør energien en langt større del av kostnadene, og konkurranse på salget vil ha større betydning. Det kan likevel være relevant med konkurranse også for strøm, hvis det kan gi bedre tjenester.

Selv om havnene tar ansvar for å utforske og tilby nye klimavennlige løsninger, reiser kompleksiteten nye spørsmål om havnenes rolle: I hvilken grad havnene skal beskjeftige seg med formidling, lagring og produksjon av energi og tilby nullutslippsløsninger til sine brukere, kontra det å bidra via kjernevirksomheten, med mer effektive tjenester og fokus på å få transport over fra vei til sjø og bane, slik at de totale utslippene fra transportsektoren reduseres? Her er det ikke nødvendigvis noen motsetning, men viktige avveininger som må gjøres både i den enkelte havn og på nasjonalt nivå.

4.4 Sosio -tekniske og tekno-økonomiske vurderinger kan komplementere hverandre

Optimeringsbaserte tekno-økonomiske analyser kan altså være et godt hjelpemiddel særlig for vurdering av konkrete investeringsbeslutninger i ny teknologi og løsninger. Omstilling til lavutslippssamfunnet innebærer imidlertid komplekse endringsprosesser som handler om sosiale og politiske forhold, og som gjerne er forbundet med betydelig usikkerhet. I så måte kan havner (og øvrige aktører) i sine mer langsiktige vurderinger og avveininger ha nytte av bredere vurderinger hva gjelder omstillingsmuligheter. Her kan tekno-økonomiske og sosio-tekniske scenarier med fordel kobles, der energiløsninger, -brukere og behov for infrastrukturutvikling ses i sammenheng. Dette er særlig relevant med tanke på omstillingsprosesser som

⁷ Dette gjelder bl.a. strengere krav til måling av energibruken, årlig rapportering til NVE, informasjonskrav til kunden og at strømsalget blir underlagt Elklagenemda.

⁸ En utkoblbar overføring er en overføring av elektrisk kraft som kan kobles ut på kort varsel, og som da gir en redusert tariff for strømkunden.

⁹ <https://www.samfunnsbedriftene.no/media/6276/horing-endoringer-i-forskrift-om-nettregulering-mm-des-2020.pdf>

innebærer at framtidens havner blir integrerte energisystem (energi-hubs), som nettopp forutsetter systemperspektiv der energiløsninger og -brukere ses mest mulig i sammenheng.

Omstilling av sosio-tekniske systemer (som transportsektorer) tar typisk mange tiår (Markard et al., 2012). Studier av utviklingsløp for ny energiteknologi viser det samme: Bento og Wilson (2016) finner at gjennomsnittlig tar nye energiteknologier drøyt 20 år fra tidligfase FoU til de kan anses som kommersielt modne – og dette gjelder da kun de teknologiene som når så langt. Videre finner de at energiteknologier som kan erstatte eksisterende løsninger eller som passer inn i eksisterende systemer og bruksmønstre (produksjon, distribusjon, bruk – f.eks. i forbrenningsmotorer på skip) har kortere modningstid. Med tanke på utslippsmål for 2030 betyr dette at det kan være hensiktsmessig å vurdere de nye lav- og nullutslippsløsningene særlig med tanke på endringsbehov i systemet eller systemene de skal inngå i.

Slike vurderinger kan være verdifulle å benytte i *sammenheng* med eksempelvis tekno-økonomiske framskrivninger av ulike drivstoff og energibærere for ulike deler av sjø- og landtransporten. For havneorganisasjoner kan det være særlig nyttig å gjøre slike vurderinger sammen med øvrige havner, sentrale brukere av havna samt eiere og myndigheter som påvirker omstillingsarbeid både direkte og indirekte. På den måten kan man sørge for en mest mulig omforent forståelse av hva som er mulig og hvordan omstilling kan gjennomføres i praksis. Dialog med ulike brukere/kunder og andre aktører som spiller en rolle i å realisere bruk av ny teknologi vil være viktig for å avdekke flaskehals og andre barrierer.

Turnheim og Nykvist (2019) beskriver ulike 'sosio-tekniske dimensjoner' som bør hensyntas i vurderingen av framtidsscenarioer:

- **Teknologisk modenhet:** de aller fleste lav- og nullutslippsløsninger er ennå i en tidlig utviklingsfase med tanke på implementering i transport og integrasjon i energisystemer.
 - Løsninger kan være demonstrert/verifisert, men det kan være store svakheter/betydelig umodenhet i deler av verdikjeden (produksjon, distribusjon og lagring) som leverer en energibærer/drivstoff.
 - Selv om en ny teknologi 'objektivt' sett er demonstrert å fungere, betyr ikke det dermed at mulige brukere/kunder oppfatter det slik. Typisk vil noen få aktører gå foran – mens flertallet av potensielle brukere vil vente til både kostnader og risiko er redusert (Mäkitie et al., 2022a).
 - Det at en teknologi er en løsning som har vist seg å fungere godt, f.eks. batteriløsninger i ferge- eller offshoredrift, betyr heller ikke at teknologien er tilstrekkelig moden eller vurderes å kunne fungere godt i andre segment (Bergek et al., 2021).
- **Behov for utvikling av infrastruktur og systemintegrasjon:** ny teknologi/løsninger krever ofte endringer i det systemet de skal inngå i. I havnesektoren dreier det seg eksempelvis om lade- og bunkringsinfrastruktur.
 - Mens noen av de alternative energiløsningene kan benytte eksisterende infrastruktur eksempelvis for bunkring (LBG kan eksempelvis benytte infrastruktur for LNG (Bach et al., 2021)), så vil det for de fleste være behov for tilpasninger, eventuelt utvikling av helt nye verdikjeder inkludert infrastruktur for å produsere og distribuere nye energiløsninger (Mäkitie et al., 2022b).
 - Dette kan være krevende, for eksempel der det er konkurranse om knappe arealer, der investeringsbeslutninger utfordres av usikker markedsutvikling, eller der det mangler aktører som går inn og tar nye roller i de grensesnittene hvor sektorer møtes som tidligere har hatt lite med hverandre å gjøre. Et eksempel på det siste er utbyggere/tilbydere av land- eller ladestrøm, der nye aktører som Plug etablerer seg for å ta denne rollen i ulike havner.

- Omstilling innebærer risiko for feilinvestering i kostbar infrastruktur. I den grad mulig kan risiko reduseres ved et utvidet kundegrunnlag, eksempelvis i form av distribusjon av alternative drivstoff til både sjø- og landtransport, og evt. andre energibrukere.
- **Politisk gjennomførbarhet og sosial aksept:**
 - En teknologi kan være godt egnet til å bidra til utslippsreduksjoner (også på en økonomisk bærekraftig måte), men kan hindres av manglende politisk og/eller sosial aksept.
 - For eksempel viser forskning på grønn omstilling i norsk nærskipfart at det er betydelig skepsis til biodrivstoff, spesielt nåværende biodieselproduksjon som oppfattes å konkurrere med matproduksjon (Steen et al., 2019).
 - Videre kan man tenke seg at det kan være krevende å anlegge eksempelvis bunkringsanlegg for hydrogen i eller i nærheten av mange havner på grunn av skepsis til om det er trygt, jf. eksplosjonen i Nels hydrogenstasjon i Sandvika i juni 2019.
 - Stor-skala realisering av alternative energiløsninger kan også kreve statlig tilrettelegging/investering som vanskelig lar seg gjennomføre når politikken først og fremst vektlegger teknologinøytralitet og markedsstyring.
 - Politisk og sosial aksept kan endres relativt raskt, jf. motstand mot vindkraft i Norge, og den nåværende energikrisen forsterket av krigen i Ukraina.

5 Oppsummering og anbefalinger

Hensikten med denne rapporten har vært å presentere funn fra TRAZEPO-prosjektet, som har fokusert på hvordan norske havner kan omstilles mot å bli nullutslippshavner. Fordi havnesektoren befinner seg i krysningpunktet mellom ulike sektorer – og fordi det grønne skiftet innebærer behov for endringer på tvers og mellom ulike sektorer som produserer, distribuerer og forbruker energi – har et viktig utgangspunkt for prosjektet vært at havner kan være en nøkkelaktør i omstillingsarbeid.

Ved siden av å peke på sentrale drivere for bærekraftig omstilling i havnesektoren har rapporten presentert funn fra kvalitative og kvantitative analyser som særlig har hatt fokus på hvordan havnene jobber med energi- og klimarelaterte tiltak og teknologier, og hva som påvirker dette arbeidet i den enkelte havn.

De pågående endringsprosessene i havnesektoren skjer i et tett samspill med de sektorene havnene betjener, altså primært sjø- og landbasert transport, og også industri og annen næringsaktivitet i og rundt havner. Særlig viktig er samspillet med kraftsektoren, men også ulike lokale og nasjonale myndigheter i forbindelse med blant annet byutvikling og arealplanlegging. Norge er på mange måter et foregangsland innen teknologiomstilling både i skipsfart og landbasert transport, noe som for havnesektorens del særlig kommer til uttrykk ved at et økende antall havner tilbyr land- og ladestrøm. Det forventes videre at havner framover skal tilby ulike alternative drivstoff og energibærere (hydrogen, biodrivstoff mm.), noe som vil kreve både store investeringer og strategisk innsats vis-a-vis kunder, leverandører, og lokale og nasjonale myndigheter. Vi ser allerede at det etableres nye aktører som er spesialisert på å tilby energitjenester, og det vil trolig være behov for å utforske nye forretningsmodeller koblet til de behov, muligheter og begrensninger som finnes rundt den enkelte havn.

Omstillingsarbeidet i havner synes å være sterkt påvirket av eierskap. Dette ser vi særlig i de havnene hvor offentlige eiere har tydelige og ambisiøse planer for utslippsreduksjoner, eksempelvis i Oslo. Samtidig som 'eksternt press' dermed er en viktig driver for omstilling i havnesektoren, så har forskningen i TRAZEPO vist at flere havner, slik som Kristiansand, er fremoverlente og bidrar med tidlig implementering av løsninger som gjør det lettere for eksempelvis skipsredere å investere i ny teknologi om bord i fartøy. Andre havner, som bl.a. Narvik og Borg, er langt fremme med å tenke helhetlig rundt energiproduksjon og -bruk mellom ulike sektorer. Slikt arbeid er et eksempel på at havner kan utøve en viktig rolle som 'mellomromsaktør' i komplekse omstillingsprosesser.

5.1 Anbefalinger til havner og havnesektoren

Gitt at alle havner er ulike, noe forskningen i TRAZEPO i høyeste grad også har bekreftet, er vi varsomme med å gi generelle anbefalinger. Noen momenter er like fullt viktige å framheve.

Det er ingen tvil om at bærekraftig omstilling krever utstrakt dialog og samarbeid mellom havner og deres kunder/brukere, så vel som andre interessenter. Forskningen i TRAZEPO har ikke minst synliggjort at havner kan spille viktige roller som *mellomromsaktører* i omstillingsprosesser. Slikt arbeid trenger ikke å kreve store ressurser. Til gjengjeld må det jobbes strategisk og langsiktig med å utvikle relasjoner og mest mulig konkrete planer for omstilling. Det handler blant annet om å etablere arenaer hvor ulike aktører kan diskutere muligheter og utfordringer, og derigjennom etablere noen felles forventninger, ideer og (eventuelt) strategier for omstilling, for eksempel når det gjelder godsoverføring fra vei til sjø og bane. I noen havner er det også aktuelt med integrerte energisystemer, som kan gi bedre utnyttelse og større rom for implementering av nye nullutslippsløsninger.

Vi ser flere eksempler på havner som bruker *drivstoff- og havneavgifter* til å differensiere mellom ulike energibærere, for på den måten premiere de rederiene som satser på ny teknologi, og derigjennom også øke konkurranseevnen til lav- og nullutslippsløsninger sammenlignet med fossile drivstoff. Det synes også klart at *samarbeid og samordning* om miljøkrav, trinnsvis økning av farledsgebyrer og kommunale havneavgifter for skip som ikke tar i bruk landstrøm eller andre nullutslippsløsninger, og generelt forsterket havnesamarbeid, vil være viktig for å tilrettelegge for omstilling. I Norge ser vi eksempler på slikt samarbeid rundt både Oslo og Kristiansand. Gjennom *koordinert innsats* eksempelvis med tanke på valg av tekniske løsninger for land- og ladestrøm kan havner redusere risiko for kunder som vurderer ny teknologi, og også redusere sjansen for at implementert utstyr blir stående ubrukt.

Samarbeid er også viktig fordi de fleste norske havner er små og har begrensede ressurser og kapasitet til å gjennomføre komplekse omstillingsprosjekt. For havnesektoren generelt vil det være viktig med erfaringsoverføring og læring på tvers. Her kan aktører som Norske Havner og Kystverket, men også flere andre, spille viktige roller, bl.a. bistå i utredning og planlegging, søknadsarbeid, og lignende. Samtidig har vi sett i TRAZEPO at det kan være behov for at havnene selv tenker nytt om kompetanse og kunnskapsbehov. Energi, elkraft og miljøledelse vil bli stadig viktigere i årene som kommer. *Deltakelse i nettverk og FoU-prosjekt* kan være en viktig kilde til ny kunnskap og gir anledning til å lære på tvers av havner og andre aktører. Flere av aktørene vi har vært i kontakt med i TRAZEPO har for eksempel snakket varmt om arbeidet som gjøres i Grønt Skipsfartsprogram.

5.2 Anbefalinger til myndighetene

For å nå målet om å ha utslippsfrie havner der det ligger til rette for det innen 2030 er det nødvendig å *øke omfanget av miljørelaterte investeringer framover*, bl.a. gjennom Enovas støtteordninger. Samtidig understreker funnene i TRAZEPO at bærekraftig omstilling i norske havner skjer og vil skje i samspill med endringer i transport- og energisystemet for øvrig – i Norge så vel som internasjonalt. Særlig er det forventet betydelige endringer i forbindelse med pågående policyendringer i Europa (jf. 'Fit for 55'¹⁰). Et helhetlig perspektiv er derfor viktig.

Det grønne skiftet krever *omfattende endringer* i nær sagt alle sektorer, og slik omstilling er forbundet med betydelig usikkerhet og risiko. Nettverk og samarbeid på tvers av aktører er én viktig måte å bidra til å redusere barrierer. Bærekraftig omstilling i havnesektoren skjer i samspill med havnenes kunder, brukere, eiere og andre interessenter. Mange av de teknologiske løsningene som trengs for å dekarbonisere skipsfart og tungtransport er på relativt tidlige utviklingsstadier. Arenaer som Grønt Skipsfartsprogram og også

¹⁰ Se f.eks <https://www.kystverket.no/nyheter/hoyt-tempo-i-brussel--og-i-norge/>

(større) FoU- og innovasjonsprosjekter er viktige, ikke bare for å utvikle ny kunnskap og gjennomføring av piloter, men også for å fasilitere dialog og samarbeid.

Politikken bør ikke ta mål av seg å diktere den teknologiske utviklingen. Det er likevel nødvendig med en viss *koordinering* fra myndighetenes og virkemiddelapparatets side, med tanke på *infrastrukturutvikling* for nye alternative energiløsninger som må på plass for at (flere) aktører i både skipsfart og landbasert tungtransport tar steget bort fra konvensjonelle fossile drivstoff. Hydrogen er et opplagt eksempel hvor energiverdikjedene må etableres nærmest fra bunn av, og hvor statlig risikoavlastning vil være viktig. Samtidig er havnene svært forskjellige, og det er viktig å velge løsninger som dekker fremtidige behov, uten at det overdimensjoneres eller at man låses til bestemte teknologier. Valg av løsninger bør i så måte baseres på brede prosesser og dialog som inkluderer havner, politiske myndigheter, virkemiddelapparat og sluttbrukere av energitjenester.

Sist, men ikke minst, må politikk og virkemidler for grønn omstilling i havnesektoren hensynta global konkurranse, og konkurranse mellom transportformer slik at sjøtransport ikke fortrenses til fordel for landtransport. Det kan være en viss konflikt mellom behov for et teknologiskifte vs. den politisk vedtatte ambisjonen om overføring av mer gods fra vei til sjø (og bane) – det vil si et modalskifte. For skip som går i utenriksfart, eller tilbringer mye eller mesteparten av tiden utenfor norske farvann, er det en fare for at særnorske høye avgifter fører til (mer) bunkring utenlands, og dermed karbonlekkasje. Det å jobbe for internasjonale avtaler som sikrer mest mulig like konkurranseforhold i transportsektoren vil derfor være viktig.

6 Referanser

- AFRY 2020. Scenarioanalyse av infrastrukturbehov for alternative drivstoff til fartøy i maritime sektor. AFRY Management Consulting.
- BACH, H., BERGEK, A., BJØRGUM, Ø., HANSEN, T., KENZHEGALIYEVA, A. & STEEN, M. 2020. Implementing maritime battery-electric and hydrogen solutions: A technological innovation systems analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 87, 102492.
- BACH, H., MÄKITIE, T., HANSEN, T. & STEEN, M. 2021. Blending new and old in sustainability transitions: Technological alignment between fossil fuels and biofuels in Norwegian coastal shipping. *Energy Research & Social Science*, 74, 101957.
- BECKER, T. I. 2021. Kortnytt om havn. *MTlogistikk.no*, 21.01.2021.
- BENTO, N. & WILSON, C. 2016. Measuring the duration of formative phases for energy technologies. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 21, 95-112.
- BERGEK, A., BJØRGUM, Ø., HANSEN, T., HANSON, J. & STEEN, M. 2021. Sustainability transitions in coastal shipping: The role of regime segmentation. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 12, 100497.
- BJERKAN, K. Y., HANSEN, L. & STEEN, M. 2021a. Towards sustainability in the port sector: The role of intermediation in transition work. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 40, 296-314.
- BJERKAN, K. Y. & RYGHAUG, M. 2021. Diverging pathways to port sustainability: How social processes shape and direct transition work. *Technological Forecasting and Social Change*, 166, 120595.
- BJERKAN, K. Y., RYGHAUG, M. & SKJØLSVOLD, T. M. 2021b. Actors in energy transitions. Transformative potentials at the intersection between Norwegian port and transport systems. *Energy Research & Social Science*, 72, 101868.
- BJERKAN, K. Y. & SETER, H. 2019. Reviewing tools and technologies for sustainable ports: Does research enable decision making in ports? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 72, 243-260.
- BJERKAN, K. Y. & SETER, H. 2021. Policy and politics in energy transitions. A case study on shore power in Oslo. *Energy Policy*, 153, 112259.
- BJERKAN, K. Y., SETER, H., HANSEN, L. & STEEN, M. 2021c. Implementing measures for environmental sustainability: barriers and drivers in Norwegian ports *Under review in Maritime Studies*.
- BUGGE, M. M., ANDERSEN, A. D. & STEEN, M. 2021. The role of regional innovation systems in mission-oriented innovation policy: exploring the problem-solution space in electrification of maritime transport. *European Planning Studies*, 1-22.
- COWI 2020. COWI samarbeider med Stavangerregionen havn om elektrifisering. ntb.no.
- DAMMAN, S., KENZHEGALIYEVA, A., BJERKAN, K. Y. & STEEN, M. 2019. Mot nullutslippshavner i 2030? En studie av handlingsrom med fokus på havnene i Oslo, Narvik og Kristiansand. *SINTEF rapport*. Trondheim: SINTEF.
- DAMMAN, S. & STEEN, M. 2021. A socio-technical perspective on the scope for ports to enable energy transition. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 91, 102691.
- DE LANGEN, P. W. 2006. Chapter 20 Stakeholders, Conflicting Interests and Governance in Port Clusters. *Research in Transportation Economics*, 17, 457-477.
- DNV GL 2017. Maritime Forecast To 2050 -Energy Transition Outlook 2017. Oslo.
- DNV GL 2019. Energy Transition Outlook 2019. Høvik: DNV GL.
- HAUGLAND KRAFT 2020. Haugaland Kraft og Karmsund Havn etablerer felles landstrømselskap. Haugaland Kraft.
- HELSETH, A., FJOSE, S. & JAKOBSEN, E. 2019. Grønn maritim. Status for omsetning, sysselsetting og investeringer. Oslo: Menon Economics.
- JØRGENSEN, G. 2020. Satser én milliard for å bli Norges mest miljøvennlige havn. *Nrk.no*, 22.02.2020.
- KARMSUND HAVN 2019. Intelliport Concept Document. Karmsund: Karmsund Havn.
- KIVIMAA, P., BERGEK, A., MATSCHOSS, K. & VAN LENTE, H. 2020. Intermediaries in accelerating transitions: Introduction to the special issue. *Environmental Innovation and Societal Transitions*.



- LIM, S., PETTIT, S., ABOUARGHOUB, W. & BERESFORD, A. 2019. Port sustainability and performance: A systematic literature review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 72, 47-64.
- LOORBACH, D. & GEERLINGS, H. 2017. Ports in transition. In: GEERLINGS, H., KUIPERS, B. & ZUIDWIJK, R. (eds.) *Ports and Networks: Strategies, Operations and Perspectives*. London: Routledge.
- MARKARD, J., RAVEN, R. & TRUFFER, B. 2012. Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy*, 41, 955-967.
- MILJØDIREKTORATET 2020. Klimakur 2030. Tiltak og virkemidler mot 2030. Trondheim: Miljødirektoratet.
- MÄKITIE, T., STEEN, M., SAETHER, E. A., BJØRGUM, Ø. & POULSEN, R. T. 2022a. Norwegian ship-owners' adoption of alternative fuels. *Energy Policy*, 163, 112869.
- MÄKITIE, T., HANSON, J., STEEN, M., HANSEN, T. & ANDERSEN, A. D. 2022b. Complementarity formation mechanisms in technology value chains. *Research Policy*, 51, 104559.
- NILSEN, T. & NJØS, R. 2021. Greening of regional industrial paths and the role of sectoral characteristics: A study of the maritime and petroleum sectors in an Arctic region. *European Urban and Regional Studies*, 0, 09697764211038412.
- OSLO HAVN 2020. Sydhavna som nullutslippshavn. Oslo: Oslo Havn.
- POULSEN, R. T., PONTE, S. & SORNN-FRIESE, H. 2018. Environmental upgrading in global value chains: The potential and limitations of ports in the greening of maritime transport. *Geoforum*, 89, 83-95.
- REDERIFORBUNDET 2020. Null utslipp i 2050. Oslo: Norges Rederiforbund.
- SCHÄFFER, L. E., ROSEBERG, E., PISCIELLA, P., DAMMAN, S., ESPEGREN, K. A., FODSTAD, M., GRAABAK, I., PEREZ-VALDES, G., SANDBERG, E., JOHANSEN, U., SELJOM, P. M. S. & TOMASGARD, A. 2020. Veikart for energi i Norge mot 2050. *SINTEF rapport*. Trondheim: SINTEF.
- SORNN-FRIESE, H., POULSEN, R. T., NOWINSKA, A. U. & DE LANGEN, P. 2021. What drives ports around the world to adopt air emissions abatement measures? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 90, 102644.
- SOVACOO, B. K., HESS, D. J., AMIR, S., GEELS, F. W., HIRSH, R., RODRIGUEZ MEDINA, L., MILLER, C., ALVIAL PALAVICINO, C., PHADKE, R., RYGHAUG, M., SCHOT, J., SILVAST, A., STEPHENS, J., STIRLING, A., TURNHEIM, B., VAN DER VLEUTEN, E., VAN LENTE, H. & YEARLEY, S. 2020. Sociotechnical agendas: Reviewing future directions for energy and climate research. *Energy Research & Social Science*, 70, 101617.
- STEEN, M., BACH, H., BJØRGUM, Ø., HANSEN, T. & KENZHEGALIYEVA, A. 2019. Greening the fleet: A technological innovation system (TIS) analysis of hydrogen, battery electric, liquefied biogas, and biodiesel in the maritime sector. *SINTEF rapport 2019:0093*. Trondheim: SINTEF.
- THEMA 2018. Markedsmodeller for elektrisk transport - er det behov for endringer? Oslo: THEMA Consulting Group.
- TURNHEIM, B. & NYKVIST, B. 2019. Opening up the feasibility of sustainability transitions pathways (STPs): Representations, potentials, and conditions. *Research Policy*, 48, 775-788.
- VERHOEVEN, P. 2010. A review of port authority functions: towards a renaissance? *Maritime Policy & Management*, 37, 247-270.
- ZERO 2020. Elektrifisering av skipsfarten. Status for landstrøm i stamnetthavnene. Oslo: ZERO / Grønt Kystfartsprogram.

7 Vedlegg

Surveyresultater

Bivariate analyser: Havneegenskaper og opplevelse med omstillingsarbeid opp mot implementeringsgrad – indeks for lav- og nullutslippstiltak og teknologier. Tabell 1 og 2.

Tabell 1.		Gj.snitt.	St.av vik.	Rank sum	Forventet	Teststatistikk	P-verdi	n
Havneegenskaper								
Eierskap	Privat	2.95	2.53	2230	2444	Z= -1.670*	0.095	52
	Offentlig	3.90	3	2141	1927	–	–	41
Størrelse	Små	2.7	2.02	1765	–	chi2 = 7.650**	0.022	40
	Medium	2.48	1.94	1040.5	–	–	–	25
	Stor	4.71	3.56	1850.5	–	–	–	31

Tabell 2.

Havnetrafikk og opplevelse med omstillingsarbeid	Indeks: Implementert null-og lavutslippstiltak og teknologi		
	Spearman rho	P-value	n
Anløp (per år)	0.2050	0.048	94
Trafikkompleksitet	0.2547	0.012	96
Oversikt over utslipp	0.3126	0.002	93
Oversikt over energibruk	0.3769	0.0002	93
Press fra eier	0.4064	0.0000	96
Press fra brukere	0.2619	0.0099	96
Press fra omgivelsene	0.2933	0.004	95
Støtte fra eier	0.2856	0.005	95
Støtte fra omgivelsene	0.2811	0.006	95
Økonomi	0.1509	0.142	96
Kompetanse	0.1164	0.259	96
Tid- og personressurser	0.1386	0.178	96
Regelverk	0.0663	0.521	96
Teknologisk modenhet	0.0667	0.518	96
Politisk styring og føringer	0.2132	0.037	96
Føringer fra eier	0.2187	0.032	96
Holdninger og ambisjoner blant brukere	0.1463	0.155	96
Samarbeid/koordinering fra andre	0.0894	0.386	96
Annet	-0.0156	0.881	96

Tabell 3. Multipel kvantilregresjon av faktorer som påvirker implementering av null-og lavutslippstiltak og teknologier

Indeks: Implementert null-og lavutslippstiltak og teknologi	Koeff.	St.feil	t	P-verdi
Anløp (per år)	0.492	.450	1.09	0.278
Medium havner *	-2.076	.839	-2.47	0.016
Store havner*	-0.304	.891	-0.34	0.734
Trafikkompleksitet	0.019	.171	0.11	0.912
Oversikt over utslipp	-0.208	.326	-0.64	0.527
Oversikt over energibruk	0.593	.321	1.85	0.069
Press fra eier	1.029	.494	2.08	0.041
Press fra brukere	-0.078	.383	-0.20	0.839
Press fra omgivelsene	0.046	.426	0.11	0.914
Støtte fra eier	-0.137	.490	-0.28	0.781
Økonomi	0.474	.276	1.72	0.090
Kompetanse	0.431	.381	1.13	0.262
Tid- og personressurser	-0.050	.419	-0.12	0.905
Regelverk	0.047	.397	0.12	0.906
Teknologisk modenhet	-0.182	.324	-0.56	0.576
Politisk styring og føringer	-0.157	.401	-0.39	0.697
Holdninger og ambisjoner blant brukere	-0.132	.461	-0.29	0.776
Samarbeid/koordinering fra andre	0.778	.554	1.40	0.165
Annet	-0.541	.690	-0.78	0.436
_cons	-3.771	2.580	-1.46	0.148
Antall observasjoner	90			
Pesudo R ²	0.3352			

*Referansekategori = små havner, 1–5 ansatte

Tabell 4. Deskriptiv statistikk av havnerollene og fordeling på spørsmålene relatert til disse.

Roller	Item	Vil du si at ...	n	%	Total
Landlord	1	.. jobber med administrasjon, vedlikehold og utvikling av eiendomsmasse	77	81.91	94
Regulator	2	.. jobber med å besørge trygghet, sikkerhet for skip og last	93	96.88	96
	3	.. setter krav, regler eller avgifter for brukere av anlegget	90	93.75	96
	4	.. kontrollerer/overvåker aktivitet på anlegget	95	98.96	96
Operator	5	.. eier egne fartøy/kjøretøy	58	61.05	95
	6	.. selv gjennomfører fysisk omlastning av gods og passasjerer	40	42.11	95
	7	.. tilbyr havnetjenester (los, taubåt, ankertjenester osv.)	24	25.26	95
Community manager/interme	8	.. jobber politisk med å fremme havn-/kaianleggs interesser generelt	60	65.93	91
	9	.. aktivt legger til rette for dialog og samarbeid mellom brukerne av havn-/kaianlegget	82	86.32	95
	10	.. legger til rette for at brukere av havn-/kaianlegget kan redusere sine utslipp	71	77.17	92
	12	.. fremsnakker konkrete løsninger som kan redusere utslipp i og rundt anlegget	72	79.12	91