



Rapport 2023/09 | Nye Veier



Hvorfor pilotere utslippsfrie løsninger på anleggsplasser?

En samfunnsøkonomisk vurdering av støtte til innovasjon og piloter for å redusere direkte klimagassutslipp fra anleggsplasser i transportsektoren

Ingeborg Rasmussen, Leif Grandum og Martin Ørbeck

Dokumentdetaljer

Tittel	Hvorfor pilotere utslippsfrie løsninger på anleggsplasser?
Rapportnummer	2023/09
Forfattere	Ingeborg Rasmussen, Leif Grandum og Martin Ørbeck
ISBN	978-82-8126-621-6
Prosjektnummer	22-ISR-05
Prosjektleder	Ingeborg Rasmussen
Kvalitetssikrer	Orvika Rosnes
Oppdragsgiver	Nye Veier
Dato for ferdigstilling	16.mars 2023
Kilde forsidefoto	Kristian Helgesen/Nye Veier. Gjennomslag Væretunnelen 09.03.22.
Tilgjengelighet	Offentlig
Nøkkelord	Samfunnsøkonomi, miljø og klima, innovasjon og virkemidler

Om Vista Analyse

Vista Analyse AS er et samfunnsfaglig analyseselskap med hovedvekt på økonomisk utredning, evaluering, rådgivning og forskning. Vi utfører oppdrag med høy faglig kvalitet, uavhengighet og integritet. Våre sentrale temaområder er klima, energi, samferdsel, næringsutvikling, byutvikling og velferd. Vista Analyse er vinner av Evalueringsprisen 2018.

Våre medarbeidere har meget høy akademisk kompetanse og bred erfaring innenfor konsulentvirksomhet. Ved behov benytter vi et velutviklet nettverk med selskaper og ressurspersoner nasjonalt og internasjonalt. Selskapet er i sin helhet eiet av medarbeiderne.

Forord

Vista Analyse har på oppdrag fra Nye Veier vurdert samfunnsøkonomisk virkninger og prinsipper av å redusere direkte utslipp fra anleggsfasen i transportsektoren.

Samferdselsdepartementet (SD) har innvilget støtte til 12 pilotprosjekter i regi av transportvirksomhetene. Det er satt av 62 millioner kroner til prosjektene (Samferdselsdepartementet, 2022a). Ett av disse prosjektene er Nye Veiers «*Kunnskapsprogram om fossilfrie anleggsplasser*».

Denne rapporten er en del av kunnskapsprogrammet og omhandler en overordnet samfunnsøkonomisk vurdering av overgang fra fossile energibærere på anleggsplasser til nullutslippsløsninger, basert på foreliggende kunnskap og erfaringer fra pilotprosjektene. Ved å belyse hvilke samfunnsøkonomiske effekter overgangen fra fossile energibærere til utslippsfrie energibærere i forbindelse med anleggsvirksomhet kan ha, er formålet med denne delen av kunnskapsprogrammet og bidra til å bedre beslutningsgrunnlaget for å vurdere videre pilotbehov i fremtiden.

Maarten Lohne van der Eynden har vært Nye Veiers kontaktperson. Vi takker for et hyggelig og konstruktivt samarbeid.

Oslo 16. mars 2023

Ingeborg Rasmussen
Partner
Vista Analyse AS

Ordliste

CO₂-ekvivalenter	Klimagassutslipp omfatter i tillegg til karbondioksid (CO ₂) også gasser som metan (CH ₄), lystgass (N ₂ O) og fluorgasser (HFK, PFK og SF ₆). Alle disse gassene bidrar til klimaendringer, men har svært forskjellig oppvarmingseffekt og levetid i atmosfæren. For å kunne sammenligne dem, regnes de om til CO ₂ -verdier. Mengdene kalles CO ₂ -ekvivalenter. Alle utslipp kan da sammenlignes direkte fordi de får samme enhet
CO₂-e	Brukes som forkortelse for CO ₂ -ekvivalenter.
Biodrivstoff	I rapporten brukes biodrivstoff som en fellesbetegnelse for konvensjonelt og avansert biodrivstoff, der ikke annet er oppgitt.
Avansert biodrivstoff	Avanserte biodrivstoff framstilles i hovedsak av rester og avfall fra næringsmiddelindustri, landbruk eller skogbruk og kommer ikke fra råstoff som kan utnyttes som mat eller dyrefôr. Dette kalles også andregenerasjons biodrivstoff.
Konvensjonelt biodrivstoff	I Norge brukes begrepet konvensjonelle biodrivstoff, Dette fremstilles av råstoff som også kan brukes til å produsere mat eller dyrefôr (landbruksvekster). Dette kalles også førstegenerasjons biodrivstoff.

Innhold

Sammendrag og konklusjoner	7
1 Innledning.....	10
1.1 Oppdragets mandat	10
1.2 Avgrensning og premisser for vurderingene	11
1.3 Organisering av rapporten	13
2 Utslipp fra anleggsplasser	15
2.1 Utslipp av klimagasser i Norge	15
2.2 Nullalternativ – utslipp fra bygg- og anleggsvirksomhet 2021-2030	16
2.3 Hovedalternativ – Nullutslippsteknologi vinner fram	19
2.4 Klimagassutslippenes kostnader – hva er karbonprisen?	20
2.5 Klimakostnadene i nullalternativet og hovedalternativet	23
2.6 Oppsummering	25
3 Kort om aktuelle teknologier og løsninger	27
3.2 Samfunnsøkonomiske virkninger	29
4 Teknologiutvikling og virkemidler	30
4.1 Når prising av CO ₂ ikke er tilstrekkelig	30
4.2 Virkemidler og utvikling av klimavennlig løsninger	31
4.3 Hvordan stimulere til en samfunnsøkonomisk lønnsom teknologiutvikling?	34
4.4 Hva er pilotprosjekters rolle for å nå målsetting om en utslippsfri anleggssektor?	36
5 Vurdering av pågående pilotprosjekter	40
5.1 Pilotprosjekter knyttet til teknologier av lav modenhet	40
5.2 Organisatoriske demonstrasjonsprosjekter	41
5.3 Markedsdemonstrasjon	41
Referanser.....	45
Figurer	
Figur 2.1 Nullalternativ. Utslipp fra anleggsdiesel 2021-2030. Bygg- og anleggsvirksomhet	18
Figur 2.2 Hovedalternativ. Utslipp fra anleggsdiesel 2021-2030. Bygg og anleggsvirksomhet	20
Figur 2.3 Klimakostnader i nullalternativet og hovedalternativet basert på Finansdepartementets prisbane for samfunnsøkonomiske analyser for utslipp i årene 2023–2030	23
Figur 2.4 Klimakostnader i nullalternativet og hovedalternativet ved dagens klimapolitikk og ved realisering av 1,5 graders målet	24
Figur 2.5 Klimagassutslipp i nullalternativet og hovedalternativet	26
Figur 4.1 Lineær modell for innovasjon. Basert på Bossink (2015) og Rogers (2003)	32
Figur 4.2 Innovasjonsprosessen og virkemidler	33
Figur 4.3 TRL-skala – vurdering av teknologisk modenhet	37

Tabeller

Tabell 1.1	Oversikt over piloter som fikk tilskudd fra støtteordningen i 2022. 13
Tabell 2.1	Utslipp av klimagasser i Norge. Mill. tonn CO ₂ -ekvivalenter..... 16

Sammendrag og konklusjoner

I denne rapporten gir vi en overordnet samfunnsøkonomisk vurdering av en overgang fra fossile energibærere på anleggsplasser i transportsektoren til nullutslippsløsninger. Rapporten er en del av Nye Veiers «Kunnskapsprogram om fossilfrie anleggsplasser». Rapporten belyser hvilke samfunnsøkonomiske effekter overgangen fra fossile energibærere til utslippsfrie energibærere i forbindelse med anleggsvirksomhet kan ha, og hva som begrunner offentlige tiltak for å stimulere utviklingen av fossilfrie løsninger. Kunnskapen skal brukes som en del av beslutningsgrunnlaget for å vurdere behov og innretning på tiltak og piloter der reduksjoner i klimagassutslipp er formålet. Med utgangspunkt i et krav om samfunnsøkonomisk lønnsomhet og en kostnadseffektiv klimapolitikk, bør tiltak og virkemiddelbruk fra transportvirksomhetenes side begrunnes i markedssvikt. Vår vurdering er at CO₂-prising ikke er alltid tilstrekkelig til å utvikle klimavennlige løsninger. Det er flere former for markedssvikt som kan begrunne tiltak fra transportetatens side.

CO₂-prising er ikke alltid tilstrekkelig for å utvikle klimavennlige løsninger

Avgift på utslipp av klimagasser, er sammen med utslippskvoter, myndighetens viktigste virkemidler for å sikre lavere utslipp av klimagasser. Gjennom en CO₂-prising sikres det at aktørene tar hensyn til de negative virkningene som følger med utslipp av klimagasser. En riktig pricing av utslippene er likevel ikke tilstrekkelig til å sikre at investerings- og innovasjonsinsentivene for å utvikle og ta i bruk klimavennlige teknologier er sterke nok til at samfunnsøkonomisk lønnsomme løsninger realiseres i markedet. Dette fordi aktørene ikke tar hensyn til kunnskap som spres til andre bedrifter og som kan bidra til ytterligere teknologiutvikling med påfølgende gevinster. Det kan også være en rekke andre former for markedssvikt som nettverkseffekter, koordineringsproblemer, risiko og kapitalbegrensninger mv. som gjør at samfunnsøkonomisk lønnsomme løsninger ikke realiseres på tross av riktig pricing av utslipp. Det kan da være behov for tiltak for å korrigere for markedssvikt.

Pilot som virkemiddel kan korrigere for markedssvikt

Et pilotprosjekt er en organisatorisk form eller metode hvor man tester og eksperimenterer med en teknologi eller løsning i realistiske omgivelser og under reelle driftsbetingelser, men i mindre skala. Hovedhensikten med et pilotprosjekt er å redusere usikkerhet knyttet til en løsnings funksjon og virkemåte. Dette innebærer å lære om en teknologi og dens bruk slik at teknologien videreutvikles, og risiko og kostnader ved fremtidig bruk reduseres. Organisatoriske løsninger knyttet til eksempelvis logistikk eller arbeidsmetoder inngår også som pilotprosjekt. En pilot kan også gi kunnskap om avhengigheter og nettverkseffekter som kan bremse eller fremme bruk av en ny løsning eller teknologi.

Oppsummert vil et pilotprosjekt kunne bidra til målsettingen om en utslippsfri anleggsektor på tre måter:

- Videreutvikling av teknologien gjennom ny kunnskap
- Redusere usikkerhet og risiko som kan stimulere til økt bruk av teknologien. Usikkerhet kan knytte seg til teknologiens funksjonelle evne og ytelse i samspill med andre innsatsfaktorer på anleggsplassen, samt hvilke rammebetingelser effektiviteten av teknologien avhenger av

- Innhente ny kunnskap som identifiserer potensialet til en teknologi, inkludert å avdekke om teknologien ikke er egnet til å nå formålet effektivt.

Hvor stort er problemet og hva er pilotens forventede bidrag?

Det finnes i dag ikke statistikk som viser utslippene fra anleggsvirksomhet. Vi har med stor usikkerhet anslått at utslippene knyttet til bygg og anleggsvirksomhet ligger mellom 800 og 900 tonn CO₂-ekvivalenter i 2021. I vårt nullalternativ reduseres utslippene med 2,5 pst. årlig. Utslippene faller da til mellom 590 000 til 790 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Dette tilsvarer om lag 4 pst. av utslippene i ikke kvotepliktig sektor som er beregnet i Nasjonalbudsjettet for 2023. Hvor stor andel av disse utslippene som kan tilskrives anleggsvirksomhet i transportsektoren har vi ikke grunnlag for å kunne vurdere.

Dersom vi forutsetter at Finansdepartementets prisbane for CO₂-utslipp reflekterer klimakostnadene vil kostnadene ved klimagassutslipp for bygg og anleggsvirksomhet være på om lag 1,7 mrd. kroner i 2030. Dersom tiltakene i hovedalternativet fases inn, blir kostnadene på 1,2 mrd. kroner. Dersom vi i stedet legger 1,5 graders målet til grunn, øker klimakostnadene i 2030 til hhv 2,3 og 1,6 mrd. kroner. Beregningene anslår med stor grad av usikkerhet, gevinstpotensialet ved tiltak og virkemiddelbruk som kan redusere utslippene fra anleggsfasen innenfor bygg og anlegg.

Markedssvikt begrunner tiltak utover den generelle klimapolitikken

Markedssvikt i form av informasjonsbrist, koordineringsproblemer, nettverkseffekter og kunnskapsspredning tilsier at det er behov for tiltak og virkemiddelbruk utover den generelle klimapolitikken. Logistikk og effektivisering av blant annet massetransport og andre energikrevende prosesser framstår blant de mest kostnadseffektive tiltakene. Det er også nettverkseffekter knyttet til elektrifisering som tilsier at transportvirksomhetenes innsats bør rettes mot tilrettelegging og kunnskapsutvikling av ladeinfrastruktur.

Norges klimaforpliktelser er avgrenset til å gjelde utslipp som teller på det norske utslippsregnskapet. De direkte utslippene fra anleggsmaskinene vil være en del av transportsektorens utslipp og dermed utslipp fra ikke-kvotepliktig sektor slik dette er definert i det norske utslippsregnskapet. Indirekte utslipp utenfor Norge telles ikke med i utslippsregnskapet og inngår heller ikke mandatet for denne utredningen.

Arealbruksendringer er en kilde til utslipp som må regnes med

Arealbruksendringer er ikke vurdert i denne rapporten. Utslipp fra arealbruksendringer er verken omfattet av kvoteplikt eller avgifter, men skal inkluderes i en samfunnsøkonomisk analyse av investeringsprosjekter. Utslipp fra prosjekter som krever inngrep i skog og myr kan være særlig store. Valg av løsninger og arealbruk er derfor et viktig element for å realisere klimamålene. Konsekvenser for arealbruk bør også vurderes som et element i utviklingen av utslippsfrie anleggsprosesser.

Tiltak og virkemiddelbruk bør støtte opp under kravene til en kostnadseffektiv klimapolitikk

I og med at utslipp av CO₂ er et eksempel på en negativ virkning som aktørene ikke automatisk tar hensyn til i tilstrekkelig grad til at klimamålene realiseres, så er det behov for en offentlig inngripen. Merk at selv med en prising av CO₂-utslipp som internaliserer skadekostnadene, vil investeringsinsentivene for klimavennlig teknologi kunne være for svake. Den enkelte bedrift betaler riktignok kostnadene for sitt eget utslipp, og vil dermed få en økonomisk gevinst av å redusere utslippene med ny teknologi. Eventuelle gevinster en slik teknologi har for andre bedrifters muligheter til å utvikle klimavennlig teknologi, vil imidlertid ikke tillegges vekt når bedriften skal vurdere prosjektet.

En kostnadseffektiv klimapolitikk krever at transportvirksomhetene er tydelig på hvilken markedssvikt som begrunner tiltak, og at doseringen står i forhold til problemets størrelse.

Hvor er behovet for piloter størst?

Utfordringene ved elektrifisering i anleggsarbeid er godt kjent, og fremstår derfor ikke som den vesentligste barrieren. Dette bekreftes også langt på vei gjennom pilotene. Kunnskap om hvordan det kan tilrettelegges for en større grad av elektrifisering på anleggsplasser i transportsektoren, samt kunnskap om kostnader for å etablere nødvendig infrastruktur, framstår som en større mangel enn kunnskap om og tilgang til utslippsfrie maskiner. Unntaket er kanskje større maskiner som er egnet for svært energikrevende oppgaver der markedstilgangen på elektriske maskiner er mindre.

Klimakur har plassert elektrifisering av anleggsmaskiner som et dyrt tiltak med en tiltakskostnad på over 1500 kroner per tonn CO₂. Med en CO₂-avgift på 2000 kroner tonnet, eller forventninger om dette avgiftsnivået, må det forventes at markedet selv tar i bruk elektriske maskiner der infrastrukturen for bruk er til stede, og markedet tilbyr maskiner. Dette vil i første rekke gjelde for mindre maskiner der etablert infrastruktur gjør bruk av elektriske maskiner mulig.

Det er segmenter der elektriske anleggsmaskiner er lønnsomme allerede i dag. Med dagens klimapolitikk i Norge og EU må det også forventes en etterspørsel etter elektriske maskiner som stimulerer tilbudssiden og som på sikt vil gi lavere kostnader. Batteriteknologi og løsninger for større maskiner må forventes å komme på markedet. Investeringsstøtte til selve maskinene risikerer å bruke offentlige midler på investeringer som markedet uansett hadde realisert på egen hånd.

Eksistens av nettverkseffekter tilsier at spesifikke tiltak rettet mot anleggsmaskiner i transportsektoren kan være aktuelt. Tiltak og videre piloter bør da rettes mot infrastruktur for bruk av denne type maskiner, samt utvikling av kunnskap om kostnader og kriterier for hvor det eventuelt vil være hensiktsmessig å investere i nødvendig infrastruktur.

Så lenge tilstrekkelig nettkapasitet og ladeinfrastruktur er den avgjørende barrieren, bør virkemidlene rettes mot løsninger tilpasset transportsektorens anleggsplasser. I den grad høye strømpriser eller store variasjoner i strømprisene representerer en barriere, vil det kunne legges inn kompensasjonsordninger knyttet til differansen mellom elpris og dieselpris. Dette vil være en kostnad for etatene, men gi en risikoavlastning for operatørene. Ved en CO₂-avgift på 2000 kroner per tonn CO₂, vil dette neppe være nødvendig.

1 Innledning

Samferdselsdepartementet (SD) har innvilget støtte til 12 pilotprosjekter i regi av transportvirksomhetene. Det er satt av 62 millioner kroner til prosjektene (Samferdselsdepartementet, 2022a). Ett av disse prosjektene er Nye Veiers «*Kunnskapsprogram om fossilfrie anleggsplasser*». I dette prosjektet har Nye Veier fått midler til å utføre analyser, evalueringer og andre kunnskapsarbeider som har som mål å sørge for at samfunnet får mest mulig kunnskap og erfaring ut av de pågående pilotprosjektene.

Denne rapporten er en del av kunnskapsprogrammet og omhandler en overordnet samfunnsøkonomisk vurdering av overgang fra fossile energibærere på anleggsplasser til nullutslippsløsninger, basert på foreliggende kunnskap og erfaringer fra pilotprosjektene. Ved å belyse hvilke samfunnsøkonomiske effekter overgangen fra fossile energibærere til utslippsfrie energibærere i forbindelse med anleggsvirksomhet kan ha, er formålet med denne delen av kunnskapsprogrammet og bidra til å bedre beslutningsgrunnlaget for å vurdere videre pilotbehov i fremtiden.

Rapporten må også sees i sammenheng med utredningsoppdraget transportvirksomheten har fått i forbindelse med utarbeidelse av Nasjonal transportplan 2025–2036, der virksomhetene i samråd med Miljødirektoratet blir bedt om å utrede mulighetene for å sette krav og mål for fossilfrie anleggsplasser i transportsektoren (Samferdselsdepartementet, 2022 b). Dette er en oppfølging av Meld. St. 13 Klimaplan for 2021-2030 der det blant annet står:

“ Regjeringa vil stille klimakrav i fleire offentlege kjøp. Det gjeld til dømes anbod innan anlegg i transportsektoren. Regjeringa tek sikte på å leggje til rette for at anleggsplassane i transportsektoren skal vere fossilfrie innan 2025.

Meld. St. 13. Klimaplan for 2021–2030

I de samfunnsøkonomiske vurderingene av pilotprosjektene har vi støttet oss på et parallellprosjekt under Kunnskapsprogrammet gjennomført av Sintef: *Fossilfrie anleggsplasser. Etablering av felles evalueringsmetodikk og evaluering av pilotprosjekter* (Lervåg, Thommassen, & Kristensen, 2022). Det foreligger ikke et tilstrekkelig grunnlag til at det er mulig å gjennomføre en konkret samfunnsøkonomisk analyse av pilotene. Vi gir likevel noen illustrasjoner som sammen med teoretiske og prinsipielle betraktninger kan bidra til læring, og dermed også bidra til beslutningsgrunnlaget for å vurdere piloteringsbehov på dette området framover.

1.1 Oppdragets mandat

I oppdragets mandat pekes det på at tidligere pilotprosjekter for utslippsfrie anleggsplasser har hatt en tendens til å fokusere på hvordan ny teknologi fungerer i praksis. Videre vises det til at det er ett behov for å belyse hvilke samfunnsøkonomiske effekter overgangen fra fossile energibærere til utslippsfrie energibærere i forbindelse med anleggsvirksomhet vil ha. Dette vil utgjøre en viktig del av beslutningsgrunnlaget for å vurdere videre piloteringsbehov i fremtiden.

Oppdragsbeskrivelsen ber om at følgende tema dekkes:

- Et nullalternativ hvor anleggsmaskiner fremdeles hovedsakelig benytter seg av fossile drivstoff.
- Et hovedalternativ hvor disse teknologiene gradvis erstattes av nullutslippsteknologi.
- En vurdering av enkelte konkrete teknologier:
 - Tiltak 1: Forbedret logistikk
 - Tiltak 2: Elektriske maskiner
 - Tiltak 3: Biogass
 - Tiltak 4: Hydrogen

I tillegg bes det om en vurdering av samfunnsøkonomisk prissatte og ikke-prissatte virkninger av nullalternativ, hovedalternativ og de ulike spesifiserte teknologiene med følsomhetsanalyser som beskriver effekten av ulike scenarier for utviklingen av energipriser de neste årene. Vi gir en vurdering av klimakostnadene i nullalternativet og hovedalternativet slik disse skal beregnes i en samfunnsøkonomisk analyse. Vi gir også en kort vurdering av de spesifiserte teknologien, men har ikke hatt muligheter til å gjennomføre beregninger av effekten av ulike scenarier for utviklingen av energipriser innenfor rammene av dette prosjektet.

Vi gir i stedet en prinsipiell gjennomgang av begrunnelser for støtte til teknologiutvikling og virkemidler for å støtte utviklingen av klimavennlige teknologier i løsninger med utgangspunkt i krav til samfunnsøkonomisk lønnsomhet.

1.2 Avgrensning og premisser for vurderingene

Arbeidet har delvis pågått parallelt med Sintefs arbeid med å utvikle en evalueringsmetodikk for evaluering av pilotprosjekter. Det har vært dialog med Sintef underveis, og vi fikk også tilgang til sluttrapporten fra Sintef i slutfasen av vårt arbeid. Det har vært en ambisjon å bygge videre på evalueringen som er gjennomført, og evalueringsmetodikken som er utarbeidet der det samfunnsøkonomiske perspektivet inngår som et element i evalueringsmetodikken som er utarbeidet.

1.2.1 Parisavtalen, avtale med EU og 2030-målet som premiss for analysene

Norge har under Parisavtalen tatt på seg en forpliktelse til å redusere utslippene av klimagasser med minst 55 pst. i 2030 sammenlignet med nivået i 1990 (Miljødirektoratet, 2022).

Norge har også en klimaavtale med EU der Norge har forpliktet seg til å kutte de ikke-kvotepliktige utslippene med 40 pst. sammenlignet med utslippsnivået 1990. Reduksjonene må skje gjennom: i) reduksjoner i nasjonale utslipp, ii) bidrag til kutt i andre europeiske land, iii) begrenset bruk av kvoter fra kvotesystemet og iv) samarbeid om utslippsreduksjoner med andre EU-land. Utslipp fra transport, bygg- og anlegg, avfall og jordbruk er ikke-kvotepliktige utslipp.

Avgift på utslipp av klimagasser er, sammen med utslippskvoter, myndighetens viktigste virkemidler for å sikre lavere utslipp av klimagasser. Drivstoff som brukes i bygg og anlegg, såkalt anleggsdiesel, er underlagt samme CO₂ avgift som bensin og autodiesel, men sistnevnte er i tillegg ilagt en veibruksavgift som skal reflektere øvrige eksterne kostnader ved veitrafikk.

Regjeringen varslet ved fremleggelse av statsbudsjettet for 2023 at de vil øke avgiftene på ikke-kvotepliktige utslipp til om lag 2000 2020-kroner i 2030. Dette ble fulgt opp med en økning av CO₂-avgiften på ikke-kvotepliktige utslipp med 21 pst. i 2023. Samtidig ble grunnavgiften for anleggsdiesel fjernet og veibruksavgiften for bensin og autodiesel redusert (Meld. St. 1. Nasjonalbudsjettet 2023). Den samlede avgiften målt i kroner per liter gikk dermed ned fra 2022 til 2023, men må økes for å komme opp i en CO₂-avgift per liter som tilsvarer 2000 til 2020 kroner per tonn. Dagens CO₂-avgift på 2,53 kroner per liter anleggsdiesel gir en pris på 952 kroner per tonn CO₂.

Vi legger til grunn at Norges klimaforpliktelser skal innfris, og at en stor andel av utslippsreduksjonene skal tas gjennom reduksjoner i nasjonale utslipp. Videre legger vi til grunn at avgiftene på klimagassutslipp økes til det nivået som antydes i Nasjonalbudsjettet for 2023.

1.2.2 Indirekte utslipp er ikke en del av analysene

Norges klimaforpliktelser er avgrenset til å gjelde utslipp som teller på det norske utslippsregnskapet. Det norske utslippsregnskapet utarbeides etter retningslinjer fra FN. De direkte utslippene fra anleggsmaskinene vil være en del av transportsektorens utslipp og dermed utslipp fra ikke-kvotepliktig sektor slik dette er definert i det norske utslippsregnskapet.

Hensynet til indirekte utslipp er ivaretatt gjennom CO₂-avgifter eller kvotesystemet, avhengig av om utslippene kommer i fra kvotepliktig eller ikke-kvotepliktig sektor i Norge, eller utenfor Norge der det legges til grunn at kvoteplikt gjelder. Kostnadene ved utslippene er langt på vei internalisert der de kommer som direkte utslipp, og framkommer som en innkjøpskostnad som ivaretas i de samfunnsøkonomiske analysene av investeringsprosjekter i samferdselssektoren. Dersom kalkulasjonsprisen for CO₂ reflekterer kvoteprisen og CO₂-avgiften, vil også hensynet til indirekte utslipp være ivaretatt i vurderingen av alternative løsninger i dagens analyser.

I henhold til mandatet for denne rapporten er ikke indirekte utslipp inkludert i vurderingene av samfunnsøkonomiske konsekvenser av en overgang til fossilfrie og lavutslipps anleggsplasser. Dersom indirekte utslipp som inngår i Norges utslippsregnskap skal hensyntas i denne type analyser og i beslutningsgrunnlag, må det korrigeres for CO₂-avgift/kvotepris for å unngå dobbelttelling.

1.2.3 Overordnede og prinsipielle vurderinger belyst med kunnskap fra 2022-pilotene

Det foreligger ikke et tilstrekkelig empirisk grunnlag til at det kan gjennomføres en samfunnsøkonomisk analyse av de 11 pilotene som ble igangsatt i 2022. Evalueringen av pilotene viser hvilke virkninger som er oppnådd så langt, og gir dermed det beste tilgjengelige grunnlaget for å kunne vurdere pilotene. Vi har derfor valgt å bruke dokumentasjonen fra evalueringsrapporten for å belyse våre prinsipielle samfunnsøkonomiske vurderinger rundt pilotprosjektene. Øvrige vurderinger og analyser baseres på prinsipielle vurderinger, tidligere utredninger og eksisterende data.

Følgende tabell gir en oversikt over pilotprosjektene.

Tabell 1.1 Oversikt over piloter som fikk tilskudd fra støtteordningen i 2022.

Ansvar	Pilot	Type teknologi/beskrivelse	Sted	Støttebeløp (mill.kroner)
SVV	SVV1 Uttesting av nullutslippsmaskiner	El-drift av gravemaskiner, lastebiler, rivemaskiner, personkjøretøy og lette varebiler	E18/E39 Gartnerløkka – Kolsdalen	5
	SVV2 Elektrifisering av utstyr til steinknusing	52-tonns hybrid gravemaskin; strøm fra nettet for knusing av stein	E39 Betna – Stormyra	7,65
	SVV3 Fossilfri tunnelproduksjon	Elektriske maskiner og utstyr i div. prosesser for tunnelproduksjon	E39 Rogfast, undersjøisk tunnel	21
Nye Veier	NV1 Elektrifisering av bruarbeider	Elektrisk utstyr, tilkoblet nett	E18 Langangen – Rugtvedt	5,45
	NV2 Slamfordeling	2 teknologier tørrstoffanlegg LT15 lastetraktor, fra diesel til batteri	E39 Lyngdal	8,3
Bane NOR	BN1 Ombygging dieseldrevet 5 skinnegående kjøretøy til batteridrift	LT15 lastetraktor, fra diesel til batteri	Hamar	5
	BN2 Ladbar elektrisk gravemaskin	Elektrisk gravemaskin	Sande omformerstasjon	3,2
	BN3 Planlegging og utprøving av utslippsfrie løsninger	Elektriske maskiner, teknologier ikke avklart	Narvik Stasjon	0,5
	BN4 Markedskartlegging tilgang fossilfri maskiner	Elektriske maskiner og utstyr	Sandnes stasjon	0,4
	BN5 Testing av ladecontainer	Elektriske maskiner og utstyr	Drammen-Kobbervikdalen	2,5
	BN6 Dashboard for overvåking av maskiner og utstyrslogistikk	Datadrevet dashboardløsning, datafangst fra maskiner	Drammen-Kobbervikdalen	1

1.3 Organisering av rapporten

I kapittel 2 presenterer vi vårt nullalternativ og hovedalternativ, der vi også har beregnet klimakostnadene ved utslippene i disse alternativene. I kapittel 3 gir vi en kort gjennomgang av mulige teknologier og løsninger som vurderes som tilgjengelige i dag, og som kan bidra til at hovedalternativet realiseres. Deretter ser vi nærmere på hva som kan begrunne offentlig støtte til innovasjoner og piloter der vi ser spesielt på virkemiddelbruk for å stimulere utvikling og bruk

av klimavennlige løsninger. Vi viser at riktig prising av kostnadene ved klimagassutslipp ikke alltid vil være tilstrekkelig til å sikre utvikling klimavennlig teknologi, og drøfter vilkår for å tiltak og virkemidler i tillegg til det som følger med den generelle klimapolitikken.

I kapittel 5 drøfter vi våre prinsipielle samfunnsøkonomiske vurderinger av pilotprosjekter i lys av dokumentasjonen som foreligger for de pågående prosjektene, for å gi et empirisk belegg på vurderingene.

2 Utslipp fra anleggsplasser

I dette kapitlet svarer vi på de to første punktene i oppdragets mandat der vi viser:

- Et nullalternativ hvor anleggsmaskiner fremdeles hovedsakelig benytter seg av fossile drivstoff
- Et hovedalternativ hvor disse teknologiene gradvis erstattes av nullutslippsteknologi

For å kunne vurdere innretningen på og nivået på piloter og øvrige tiltak for å redusere utslipp fra anleggsplasser, må vi ha kunnskap om størrelsen på problemet og gevinstpotensialet ved å lykkes med å framskynde bruk av nullutslippsteknologier i anleggsfasen. Vi beregner derfor kostnadene fra utslippene i de to alternativene der vi følger Finansdepartementets retningslinjer for prissetting av klimakostnader. Differansen mellom de to alternativene gir da et bilde av det teoretiske gevinstpotensialet ved å lykkes med denne overgangen.

2.1 Utslipp av klimagasser i Norge

Tall fra Statistisk sentralbyrå viser at det ble sluppet ut klimagasser tilsvarende 48,9 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i Norge i 2021, noe som tilsvarer en nedgang på 4,7 pst. fra 1990¹. Transportsektoren stod for 33 pst. av utslippene i 2021 (16,1 mill. tonn)². Utslippene fra transportsektoren har økt med 27 pst. fra 1990, men er redusert de siste årene som følge av en stadig økende andel el-biler i veitrafikken og økt innblanding av biodrivstoff gjennom omsetningskravet. Det finnes ikke statistikk over utslipp fra anleggsfasen i transportsektoren, men de direkte utslippene fra bygg- og anleggsvirksomhet i Norge er tidligere estimert til ca. 600 000 til 700 000 tonn CO₂-ekvivalenter per år (Jernbanedirektoratet, Kystverket, Avinor, Nye Veier og Statnes vegvesen, 2018). Hvor stor andel av disse utslippene som er knyttet til anleggsfasen for utbygging av transportinfrastruktur er ikke kjent. Vi kommer tilbake til anslag over anleggsutslipp i avsnitt 2.2.

Utslipp i 2030 basert på framskrivningene i Nasjonalbudsjettet 2023

Framskrivningene i Nasjonalbudsjettet 2023 (Finansdepartementet, 2022-2023) viser at klimagassutslippene anslås å avta med rundt 2,5 pst. i året fra 2021 og frem mot 2030. Dette gir utslipp på 38,6 mill. tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Tilsvarende utslipp i 1990 var på 51,4 mill. tonn. Dette innebærer en reduksjon i innenlandske utslipp på om lag 25 pst. (netto opptak i skog er ikke medregnet). Det betyr igjen at de resterende utslippsreduksjonene for å nå klimamålene må tas gjennom andre tiltak.

Tabell 2.1 viser utslipp av klimagasser i 2021 og fremskrevet utslipp i 2030, hentet fra Nasjonalbudsjettet 2023. Som det framgår av tabellen er de største reduksjonene i ikke-kvotepliktige utslipp, der utslippskutt i veitrafikk står for de største kuttene.

1.1 ¹ Statistikkbanken – utslipp til luft, tabell 08940: Klimagasser, etter kilde (aktivitet), energiprodukt, statistikkvariabel, år og komponent

² Miljøstatus Klimagassutslipp fra transport i Norge

Tabell 2.1 Utslipp av klimagasser i Norge. Mill. tonn CO₂-ekvivalenter.

	2021	2030
Utslipp av klimagasser	49,1	38,6
Kvotepliktig utslipp	23,8	19,0
Ikke-kvotepliktig utslipp	25,4	19,5
– Veitrafikk	8,7	5,3
– Andre kilder (inkludert anleggsmaskiner)	5,4	3,9

Kilde: Meld. St. 1. Nasjonalbudsjettet 2023

Kategorien *andre kilder* er en samlekategori og inkluderer ikke-kvotepliktige utslipp fra industri, petroleumsvirksomhet og energiforsyning, i tillegg til oppvarming og andre kilder (herunder anleggsmaskiner).

2.2 Nullalternativ – utslipp fra bygg- og anleggsvirksomhet 2021-2030

Det foreligger ikke statistikk som viser hvor stor andel av utslippene som kan tilskrives anleggsvirksomhet. Vi må derfor støtte oss på andre kilder, forutsetninger og anslag for å kunne utarbeide et nullalternativ hvor anleggsmaskiner fremdeles hovedsakelig benytter seg av fossile drivstoff.

I kunnskapsgrunnlaget til NTP 2022–2033 fra transportvirksomhetene er de direkte utslippene fra bygg- og anleggsvirksomhet i Norge estimert til ca. 600 000 til 700 000 tonn CO₂-ekvivalenter per år (Jernbanedirektoratet, Kystverket, Avinor, Nye Veier og Statnes vegvesen, 2018). Til sammenligning var transportsektorens samlede utslipp på 15 mill. tonn CO₂-ekvivalenter da utslippene ble estimert (2017). Det innebærer at utslippene fra bygg- og anleggsvirksomheten tilsvarer rundt 4-5 pst. av utslippene fra transportsektoren i 2017.

Vi har tatt utgangspunkt i SSBs statistikk over utslipp av klimagasser etter aktivitetskilde der vi starter med kategorien *Traktorer, anleggsmaskiner og andre motorredskaper: diesel*. Denne kategorien dekker utslipp fra diesel uten veibruksavgift, også omtalt som anleggsdiesel, som ikke går til jernbane eller fritidsbåter. I tillegg til utslipp fra anleggsmaskiner dekker kategorien jordbruksmaskiner, maskiner brukt på industriområder, traktorer, gaffeltrucker og dieseldrevne aggregater. De viktigste sektorene som kategorien omfatter er bygg og anlegg, industri, og jordbruk. I 2021 var de totale utslippene fra denne utslippskategorien 2,5 mill. tonn CO₂-ekvivalenter.

Vi vet ikke hvordan disse utslippene fordeler seg på sektorer. Hvis vi legger til grunn SSBs statistikk over forbruk av anleggsdiesel i 2021 utgjorde «bygg og anlegg» 30 pst. av netto innenlands forbruk.³ Dette tilsier at utslipp fra forbruk av anleggsdiesel i bygg- og anleggsbransjen var på ca. 740 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2021.

³ Basert på SSB tabell 11562: *Energivarebalanse; post 12 – Netto innenlands forbruk eksl. råstoff (tonn)*. Dette inkluderer alt innenlands energiforbruk utenom forbruk i energiproduserende sektor. Tallene er basert på salg av anleggsdiesel og hvem oljeselskapene oppgir at kjøper dieselen. Det tas derfor ikke hensyn til videreforhandlere slik at tallene er høyst usikre (Miljødirektoratet m.fl., 2020). I Klimakur 2030s anslag, basert på tall fra 2017, var andelen 40%.

Klimakur 2030 (Miljødirektoratet m.fl, 2020) viser til at bygg- og anlegg er anslått til å utgjøre omtrent 40 pst. av utslippene blant ikke-veigående maskiner som bruker anleggsdiesel. Dette er basert på tall fra 2017. Hvis vi legger dette til grunn, blir utslippene fra forbruk av anleggsdiesel i bygg- og anleggsbransjen på ca. 990 000 tonn CO₂-ekvivalenter.

Dette er i samme størrelsesorden som estimatene utarbeidet av transportvirksomhetene i Kunnskapsgrunnlaget til NTP 2022-2033.

Vårt beste anslag for utslipp i 2021 fra forbruk av anleggsdiesel i bygg- og anleggsbransjen er med disse forutsetningene 740 000–990 000 tonn CO₂-ekvivalenter. I nullalternativet har vi lagt gjennomsnittet av disse verdiene som startpunkt der ytterpunktene representerer et usikkerhetsspenn. Startpunktet i vårt nullalternativ blir da 865 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2021 (jf. Figur 2.1).

Utslippsreduksjoner fram til 2030 i nullalternativet

I sin vurdering av ulike tiltak for utslippskutt blant ikke-veigående maskiner og annen transport legger Klimakur 2030 (Miljødirektoratet m.fl, 2020) til grunn at utslippene reduseres med 1 pst. årlig fra 2021-2030, basert på forventet aktivitetsnivå, generell effektivisering og utvikling. Sett i lys av innstramningene i klimapolitikken, herunder økningen i CO₂-avgiften som er gjennomført og varslet i siste nasjonalbudsjett, er dette estimatet etter våre vurderinger for lavt.

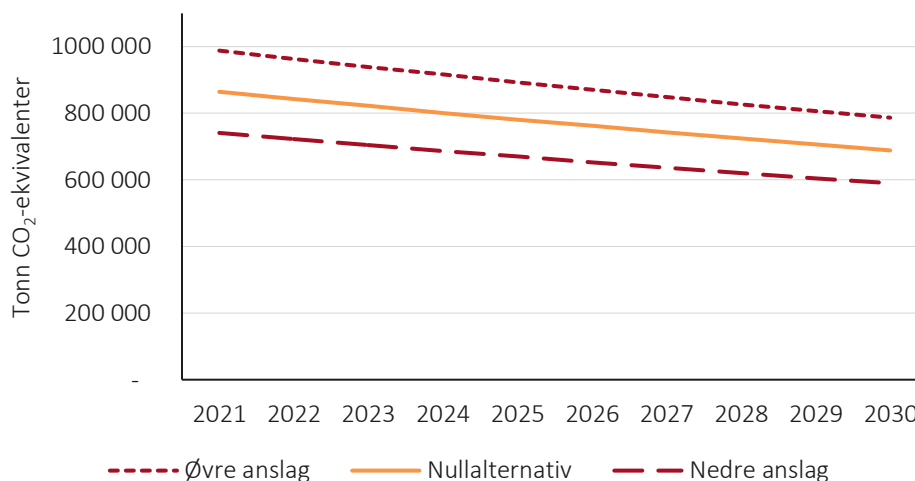
I Nasjonalbudsjettet for 2020 (Finansdepartementet, 2019-2020) ligger anleggsmaskiner under kategorien *Transport*. Hvis vi trekker ut *Veitrafikk* fra denne kategorien, sitter vi igjen med *sjøfart, fiske, ikke-kvotepliktig luftfart, andre mobile kilder og anleggsmaskiner*. For denne kategorien reduseres utslippene med ca. 1,5 pst. årlig fram til 2030. Hvis vi antar at dette gjelder for utslipp fra anleggsdiesel fra bygg- og anleggsvirksomhet, blir utslippene i 2030 på mellom 645 000–860 000 tonn CO₂-ekvivalenter Dette anslaget tar ikke hensyn til økninger i CO₂ avgiften vedtatt etter 2020. Utslippsreduksjonene er dermed trolig for lave.

I Nasjonalbudsjettet for 2023 faller *anleggsmaskiner* inn under kategorien *Ikke-kvotepliktig utslipp - Andre kilder* (jf. Tabell 2.1). Denne kategorien består av ikke-kvotepliktige utslipp fra industri, petroleumsvirksomhet og energiforsyning i tillegg til oppvarming og *andre kilder*. For denne kategorien reduseres utslippene med ca. 3,5 pst årlig fram mot 2030. Hvis denne reduksjonsraten legges til grunn for utslipp fra anleggsdiesel i bygg- og anleggsvirksomhet, blir utslippene i 2030 på 540 000 – 720 000 tonn CO₂-ekvivalenter.

Det er ikke opplagt hvilken kategori og reduksjonsrate som er mest relevant for utslipp fra anleggsmaskiner. I mangel på bedre estimat legger vi til grunn de gjennomsnittlige årlige utslippsreduksjonene i framskrivningene i Nasjonalbudsjettet 2023 på 2,5 pst. Dette ligger mellom utslippsreduksjonene for kategorien som anleggsmaskiner var plassert under i Nasjonalbudsjettet for 2020 og kategorien som ble brukt i Nasjonalbudsjettet for 2023. Med denne antakelsen blir utslipp fra anleggsdiesel fra bygg- og anleggsvirksomhet i 2030 på mellom 590 000–790 000 tonn CO₂-ekvivalenter.

I vårt nullalternativ legger vi til grunn at utslippene i 2021 er på 865 000 tonn CO₂-ekvivalenter og at dette reduseres med 2,5 pst årlig, slik at utslippene i 2030 blir ca. 690 000 tonn CO₂-ekvivalenter. Vårt nullalternativ med øvre og nedre anslag er illustrert i Figur 2.1.

Figur 2.1 Nullalternativ. Utslipp fra anleggsdiesel 2021-2030. Bygg- og anleggsvirksomhet



Kilde: Vista Analyse, egne beregninger. Forutsetninger og kilder er beskrevet foran

Merknad: Utslippene antas redusert med 2,5 pst. årlig. «Øvre anslag» viser utslippsbanen hvis bygg- og anlegg antas å utgjøre 40 pst. av utslipp fra anleggsdiesel. «Nedre anslag» viser utslippsbanen hvis bygg- og anlegg utgjør 30 pst. Nullalternativet antar 35 pst.

Utslippene i vårt nullalternativ utgjør om lag 4 pst. av ikke-kvotepiktige utslipp i 2030. Utslippene i 2030 er anslått til å være ca. 175 000 tonn CO₂-ekvivalenter lavere enn i 2021, uten ytterligere tiltak. Både byggevirksomhet og anleggsvirksomhet er fremdeles inkludert i dette estimatet.

Vi har også inkludert et øvre og nedre anslag for nullalternativet for å illustrere usikkerheten i beregningene.

Samme forutsetninger som framskrivningene i Nasjonalbudsjettet 2023

Framskrivningene i bygger på de samme forutsetningene som er brukt i Nasjonalbudsjettet 2023 (Meld. St. 1. Nasjonalbudsjettet 2023, s. 93). De viktigste forutsetningene er:

- Dagens klimapolitikk i Norge og internasjonalt videreføres
- Prisen på EUs kvotesystem stiger fra 800 kroner per tonn utslipp sommeren 2022 til nærmere 1200 2022-kroner i 2035.
- Samme makroøkonomiske forutsetninger som er brukt i de langsiktige analysene i Nasjonalbudsjettet 2023
- Alle nye personbiler vil være elektriske fra 2025
- Andelen elektriske varebiler av nybilsalget øker med fem prosentenheter i året fram til 2025, og utgjør 90 pst. av nybilsalget i 2035
- Trafikkarbeidet følger befolkningsveksten
- Fra 1. januar 2023 et omsetningskrav for avansert biodrivstoff for ikke-veigående maskiner, som anleggsmaskiner og traktorer. Dette gjelder for hele perioden
- Innblanding av biodrivstoff følger gjeldende krav angitt i Nasjonalbudsjettet 2023.

Det er implisitt forutsatt at investeringsnivået vil være på om lag samme nivå som i 2020. Bygg- og anleggssektoren er konjunkturutsatt, og har vært i en høykonjunktur med et høyt investeringsnivå i transportsektoren. Dersom aktivitetsnivået reduseres, vil også utslippene fra bygg- og anleggsvirksomhet gå ned, uten at det gjøres ytterligere tiltak.

2.3 Hovedalternativ – Nullutslippsteknologi vinner fram

Vi mangler statistikk for å gjennomføre en selvstendig vurdering av at fossildrevne anleggsmaskiner i transportsektoren gradvis erstattes av null-utslippsmaskiner. For å kunne vurdere dette trenger vi data som kan beskrive dagens maskinpark. Dette inkluderer antall maskiner, gjennomsnittlig levetid per maskin, brukstid og dieselforbruk, kostnader (drivstoff og el) mv. I mangel på dette legger vi til grunn analysene som ble gjort i Klimakur 2030 (Miljødirektoratet m.fl, 2020). Der ble to tiltak som er relevant for vårt mandat vurdert:

- Forbedret logistikk og økt effektivisering av maskiner på bygg- og anleggsplasser.
- 70 pst. av nye ikke-veigående maskiner og kjøretøy er elektriske i 2030.

Disse tiltakene vil påvirke utslippskategorien «*Traktorer, anleggsmaskiner og andre motorredskaper: diesel*». Klimakur antar et nullalternativ hvor utslippene reduseres med 1 pst. hvert år i perioden 2021-2030. Sammenlignet med denne referansebanen er forbedret logistikk og effektivisering og gradvis innføring av elektriske maskiner estimert til å gi utslippskutt på til sammen henholdsvis 0,4 og 1,75 millioner tonn CO₂ i perioden 2021-2030. Dette estimatet inkluderer alle sektorer og at alle maskintyper oppnår at 70 pst. av nysalget er elektrisk i 2030.

Vårt hovedalternativ legger til grunn at disse to tiltakene implementeres.

Utslippsreduksjonen fra tiltak om forbedret logistikk og økt effektivisering av maskiner på bygg- og anleggsplasser, er beregnet med utgangspunkt i at potensialet i hovedsak gjelder i bygg- og anleggsbransjer. Vi tilegner derfor hele dette bidraget til bygg- og anleggssektoren.

Utslippsreduksjonen som følger av tiltak som resulterer i at 70 pst. av nye ikke-veigående maskiner og kjøretøy er elektriske i 2030 antar en gradvis opptrapping av denne andelen fra 1 pst. i 2021. Utslippsreduksjonen fra tiltaket inkluderer også andre sektorer og det er antatt at logistikk- og effektiviseringstiltak som reduserer dieselforbruk er gjennomført. Klimakur 2030 (Miljødirektoratet m.fl, 2020, s. 185 (Vedlegg 1)) antar at 40 pst. av utslippene som er inkludert i dette tiltaket kan tilskrives bygg- og anleggsbransjen. Vi legger dette anslaget til grunn i vårt estimat for utslippsreduksjoner i vårt hovedalternativ.

Klimakur 2030 har ikke tatt hensyn til økningene i CO₂-avgiften som er gjennomført etter at deres beregninger ble utført. De har heller ikke tatt hensyn til signalene som ble gitt i Nasjonalbudsjettet for 2023 der det varsles om at CO₂-avgiften skal økes til 2000 kroner tonnet fram til 2030. Økt CO₂-avgift vil gjøre utslippsfrie anleggsmaskiner relativt billigere å investere i, sammenlignet med fossile anleggsmaskiner, uten at det innføres ytterligere tiltak. Det er derfor rimelig å anta at effekten av tiltakene er lavere enn det som ble beregnet i Klimakur 2030 som følge av at mer realiseres i nullalternativet. I vårt hovedalternativ nedskaleres derfor tiltakseffekten beregnet i Klimakur med 25 pst. som følge av at det i nullalternativet realiseres større utslippskutt enn det som er forutsatt i Klimakur.

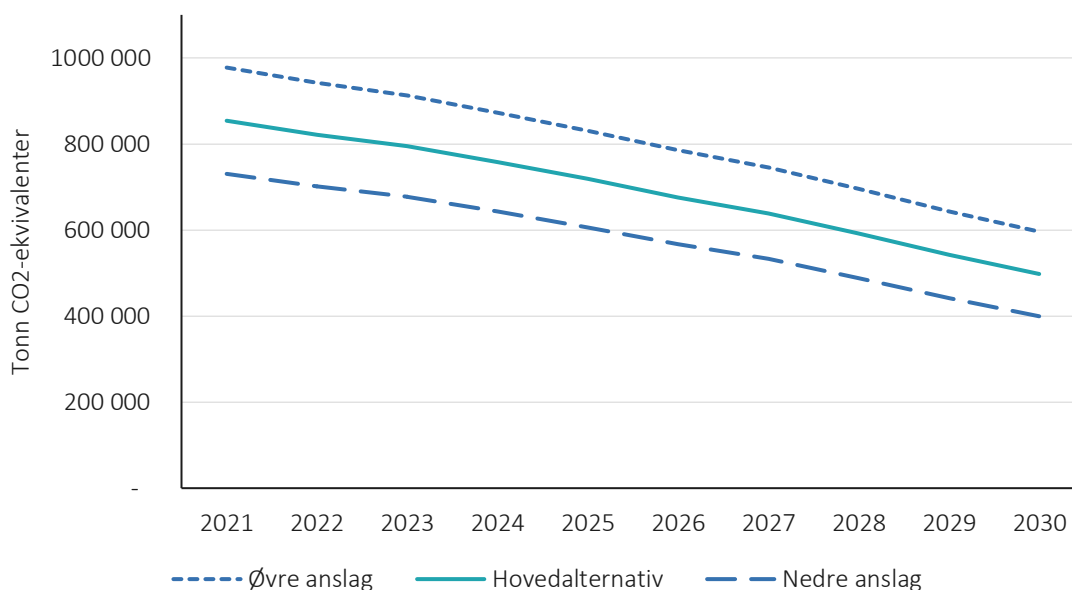
I våre beregninger er utslippene fra anleggsdiesel fra bygg- og anleggsvirksomhet i 2030 på ca. 500 000 tonn CO₂-ekvivalenter.

I vårt hovedalternativ, med antakelser som beskrevet over, og antakelse om at utslipp fra anleggsdiesel i bygg- og anleggsvirksomhet utgjør 35 pst. av utslippene fra anleggsdiesel, er utslippene ca. 360 000 tonn CO₂-ekvivalenter lavere i 2030 enn i 2021.

Vi har inkludert et øvre og bedre anslag som korresponderer med startpunktet for øvre og nedre anslag for nullalternativet. Vi har ikke inkludert andre beregninger av årlige reduksjoner i figuren, men lagt til grunn at utfallsrommet i 2030 ved innfasingen av tiltakene i Klimakur 2030 ligger mellom øvre og nedre anslag med hovedalternativet som antatt mest sannsynlig.

En full elektrifisering av alle anleggsprosesser vil gi null utslipp fra anleggsmaskiner innen 2030. Dette anser vi som et lite relevant alternativ. En raskere innfasing av nullutslippsteknologi vil redusere utslippene ytterligere og vil i kunne sammenfalle med det nedre anslaget i 2030.

Figur 2.2 Hovedalternativ. Utslipp fra anleggsdiesel 2021-2030. Bygg og anleggsvirksomhet



Kilde: Vista Analyse, egne beregninger. Forutsetninger og kilder er beskrevet foran

Merknad: «Øvre anslag» beskriver utslippsbane hvor bygg- og anleggsvirksomhet er antatt å utgjøre 40 pst. av utslipp fra anleggsdiesel. «Nedre anslag» beskriver utslippsbane hvor bygg- og anleggsvirksomhet er antatt å utgjøre 30 pst. av utslipp fra anleggsdiesel. «Hovedalternativ» antar at denne andelen er 35 pst.

2.4 Klimagassutslippenes kostnader – hva er karbonprisen?

Finansdepartementet har fastsatt et regelverk for hvordan klimagassutslipp skal tas hensyn til i samfunnsøkonomiske *analyser av statlige tiltak*. Ifølge reglene skal analysene anvende årlig oppdaterte karbonprisbaner fra (Finansdepartementet, 2021). Finansdepartementet publiserer årlig hvilke konkrete prisbaner som skal benyttes. Spørsmålet er om denne prisbanen også bør legges til grunn i en vurdering av kostnadene av klimagassutslipp når den oppgitt prisbanen ikke vurderes som tilstrekkelig til å realisere utslippsmålene? Dette spørsmålet drøftes blant annet i

Vista Analyse (2020) der det gis en teoretisk gjennomgang ulike tilnærminger for å fastsette en riktig pris (se Tekstramme 2.1).

Tekstramme 2.1 Hva er en samfunnsøkonomisk riktig pris på utslipp?

Dette spørsmålet behandles blant annet i Vista Analyse (2020). I rapporten drøftes tre alternative utgangspunkt for å fastsette en kalkulasjonspris på utslipp:

1. marginalkostnad av utslippsreduksjoner
2. skadekostnad
3. skranke på samlede utslipp

Den første fremgangsmåten tar utgangspunkt i et eksogent forløp for utslipp, og beregner de tilhørende marginalkostnadene av å oppnå disse utslippene i stedet for utslipp uten noen regulering. Det konkluderes med at CO₂-prisen som kommer frem med denne tilnærmingen normalt er irrelevant i normative analyser, herunder nyttekostnadsanalyser. Dette skyldes at utslippsbanen er eksogen, og derfor normalt ikke optimal i noen forstand. Selv om utslippsforløpet er konsistent med et mål om f.eks. 1,5 eller 2 grader oppvarming, kan det være andre utslippsbaner som er gunstigere (Vista Analyse, 2020, s. 20).

Den andre tilnærmingen tar utgangspunkt i en skadefunksjon, hvor skaden på ethvert tidspunkt avhenger av temperaturøkningen. Siden temperaturøkning avhenger av CO₂ i atmosfæren, kan en slik skadefunksjon omformuleres til å avhenge av mengden CO₂ i atmosfæren. Med en slik skadefunksjon er CO₂-prisen i år t lik neddiskontert marginal skade i all fremtid forårsaket av en enhets utslipp i år t. Dette omtales ofte som «sosial cost of carbon». Denne CO₂-prisen avspeiler den eksterne klimakostnaden knyttet til utslipp, og er derfor den prisen som er relevant å bruke i normative analyser. Av dette følger det at det er samfunnsøkonomisk lønnsomt å redusere utslippene så lenge denne CO₂-prisen overstiger marginalkostnaden av å redusere utslipp (Vista Analyse, 2020, s. 21).

Den tredje tilnærmingen tar utgangspunkt i en fastsatt skranke på utslipp. Skadefunksjonen er vanskelig å fastsette, og beregninger av skadekostnadene er også beheftet med svært stor usikkerhet. For å komme rundt dette problemet kan skadekostnaden i stedet omformuleres til en maksimal skranke på de samlede CO₂-utslippene summert over alle fremtidige år. Med en slik skranke er optimale utslipp kjennetegnet ved at summen av fremtidige utslipp er nøyaktig lik denne skranken, og ved at nåverdien av marginalkostnaden av å redusere utslipp er konstant over tid. I dette tilfellet er det nettopp denne marginalkostnaden som er den aktuelle CO₂-prisen som bør brukes i normative analyser. Nåverdien av kalkulasjonsprisen for CO₂ er altså i dette tilfelle konstant over tid, mens nivået på denne prisen er akkurat så høyt at skranken på samlede utslipp tilfredsstilles.

Hvis dagens virkemidler er tilstrekkelig til å oppfylle Norges klimamål, avtalen med EU og internasjonale klimaforpliktelser, så kan det argumenteres for at riktig CO₂-kostnad er lik den generelle CO₂-avgiften med opptrapping eller noe høyere. Noe høyere kan begrunnes med at det er flere virkemidler og tiltak i klimapolitikken og at disse kostnadene derfor også må speiles i en kalkulasjonspris som realiserer klimamålene.

Dagens CO₂-avgift vurderes ikke som tilstrekkelig til å nå utslippsmålene for ikke-kvotepliktig sektor. Dersom Norge ikke innfrir sine forpliktelser, må EUs fleksible mekanismer tas i bruk. Kostnaden for Norge av at norske ikke-kvotepliktige utslipp blir høyere enn våre forpliktelser er lik kostnaden av å kjøpe tilleggsrettigheter fra EU gjennom ESR-ordningen (ESR = Effort-Sharing

Regulation). Avtalen med EU har et punkt som sier «begrenset bruk av kvoter fra kvotesystemet» (jf. avsnitt 1.2.1), dette er også i tråd med norsk politikk. Det må da legges til grunn at Norge foretrekker å redusere utslipp i Norge framfor å kjøpe rettigheter fra EU selv om dette koster mer. Hvor mye høyere kostnader norske myndigheter vil ta når utslippene fra Norge og EU til sammen ikke påvirkes, er usikkert. Differansen mellom Finansdepartementets prisbane for ikke-kvotepliktig sektor og kvotepliktig sektor kan forstås som en indikasjon på hvor store kostnader myndighetene er villig til å bære for å redusere utslipp i Norge framfor å kjøpe kvoter gjennom ERS-ordningen. Prisbanene fra Finansdepartementet som skal også følge utviklingen i de viktigste klimapolitiske virkemidler. Endringer som påvirker prisforventningene i markedet, skal i prinsippet fanges opp gjennom oppdaterte prisbaner. I gjeldende prisbaner ligger prisene i ikke-kvotepliktig sektor over kalkulasjonsprisen som skal brukes i kvotepliktige sektor, men holdes uendret fra 2030 frem til kvotepliktige utslipp passerer dette nivå. På lang sikt legges det til grunn at prisen på alle typer utslipp vil konvergere.

Resonnementet over tilsier at det er prisbanen fra Finansdepartementet som bør brukes i beregningene av kostnadene for klimagassutslipp i anleggsvirksomhet, selv om CO₂-avgiften med opptrapping ikke vurderes som tilstrekkelig til i nå utslippsmålene for 2030.

Dersom vi i stedet tar utgangspunkt i litteratur som har beregnet skadekostnadene, eller beregninger av kostnader for å nå 1,5 graders målet, er klimakostnadene høyere. En nylig publisert artikkel av Rennet m.f (2022) estimerer skadekostnader på 185 \$ per tonn CO₂-ekvivalent. Dette tilsier høyere klimakostnader for utslippene enn det som følger av Finansdepartementets prisbane som ifølge retningslinjene for samfunnsøkonomiske analyser skal brukes ved utarbeidelse av beslutningsgrunnlag.

Finansdepartementet viser også til at det er knyttet en stor grad av usikkerhet til den oppgitte prisbanen. Ifølge R-109/21 skal det derfor gjennomføres usikkerhetsanalyser for parametere med høy usikkerhet. Finansdepartementet oppgir prisbaner som skal brukes for følsomhetsanalyser av karbonpris. Den høye prisbanen tar utgangspunkt i det FNs klimapanel anslår trengs for å begrense oppvarming til 1,5 grader (median-anslag). Den lave prisbanen er satt til 75 prosent av kvoteprisen i det første året og vokser deretter med kalkulasjonsrenten for samfunnsøkonomiske analyser (Finansdepartementet, 2022). Vi vurderer prisbanen for å nå 1,5 graders målet som mer relevant enn den lave prisbanen og har beregnet klimakostnadene og gevinstpotensialet ved en gradvis innføring av utslippsfrie anleggsmaskiner med denne prisbanen i tillegg til hovedprisbanen oppgitt av Finansdepartementet.

2.4.1 Oppsummering – valg av inngangsdata i beregninger av klimakostnader

Vi har valgt å følge Finansdepartementets retningslinjer for hvordan klimagassutslipp skal tas hensyn til i samfunnsøkonomiske analyser av statlige tiltak. Ved å legge denne prisbanen til grunn for klimatiltak i anleggssektoren, støtter tilnærmingen opp under en kostnadseffektiv klimapolitikk.

Vi vil likevel peke på følgende forhold som tilsier at denne prisbanen ikke fullt ut internaliserer utslippskostnadene i anleggssektoren:

- Beregninger av skadekostnader tilsier at klimakostnadene er høyere enn prisbanen reflekterer, se blant annet Rennet m.f (2022)
- FNs klimapanel sine beregninger av hva som skal til for å nå 1,5 graderes målet ligger høyere

- Opptappingen av CO₂-avgiften antas ikke som tilstrekkelig for å realisere utslippsmålene i 2030 i ikke-kvotepiktig sektor
- Det brukes i dag virkemidler i transportsektoren som implisitt priser CO₂-utslipp betydelig høyere enn den generelle CO₂-avgiften og det som følger av Finansdepartementets prisbane.

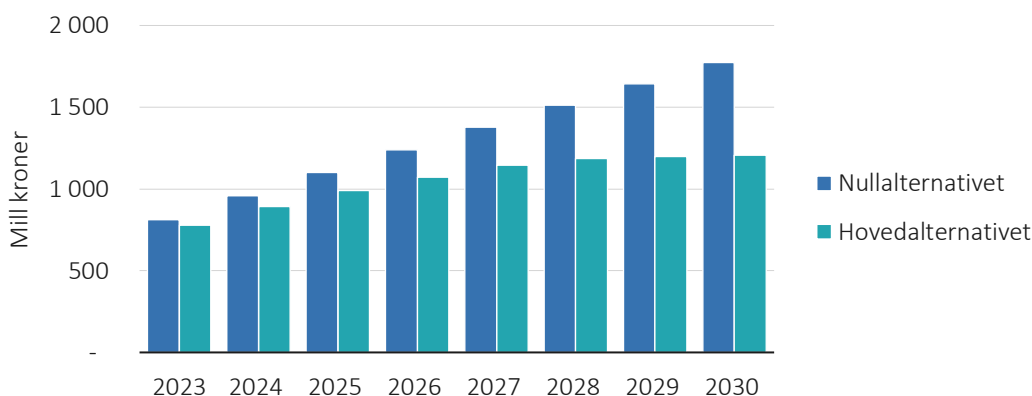
Det ligger utenfor dette oppdragets mandat og rammer å utarbeide alternative prisbaner til Finansdepartementets retningslinjer. For å vise et mulig øvre nivå på kostnadene, presenterer vi derfor også konsekvensene av 1,5 graders målet og hva som ifølge FNs beregninger skal til for å nå dette målet. Også denne prisbanen er hentet fra Finansdepartementet, og skal brukes i følsomhetsanalyser.

2.5 Klimakostnadene i nullalternativet og hovedalternativet

For å beregne de samfunnsøkonomiske kostnadene ved klimagassutslippene i hhv. hovedalternativet og nullalternativet har vi benyttet prisbanen oppgitt av Finansdepartementet. Vi har ikke regnet på kostnader av tiltak – kun på verdien av utslippene i hhv nullalternativet og hovedalternativet. Differansen mellom de to alternativene viser hvor store kostnader tiltakene vil kunne bære innenfor et krav om samfunnsøkonomisk lønnsomhet, forutsatt at tiltakene realiserer utslippsreduksjoner som tilsvarer differansen mellom alternativene

Den samfunnsøkonomiske kostnaden ved disse utslippene, forutsatt at CO₂-prisbanen oppgitt av Finansdepartementet, er vist i Figur 2.3.

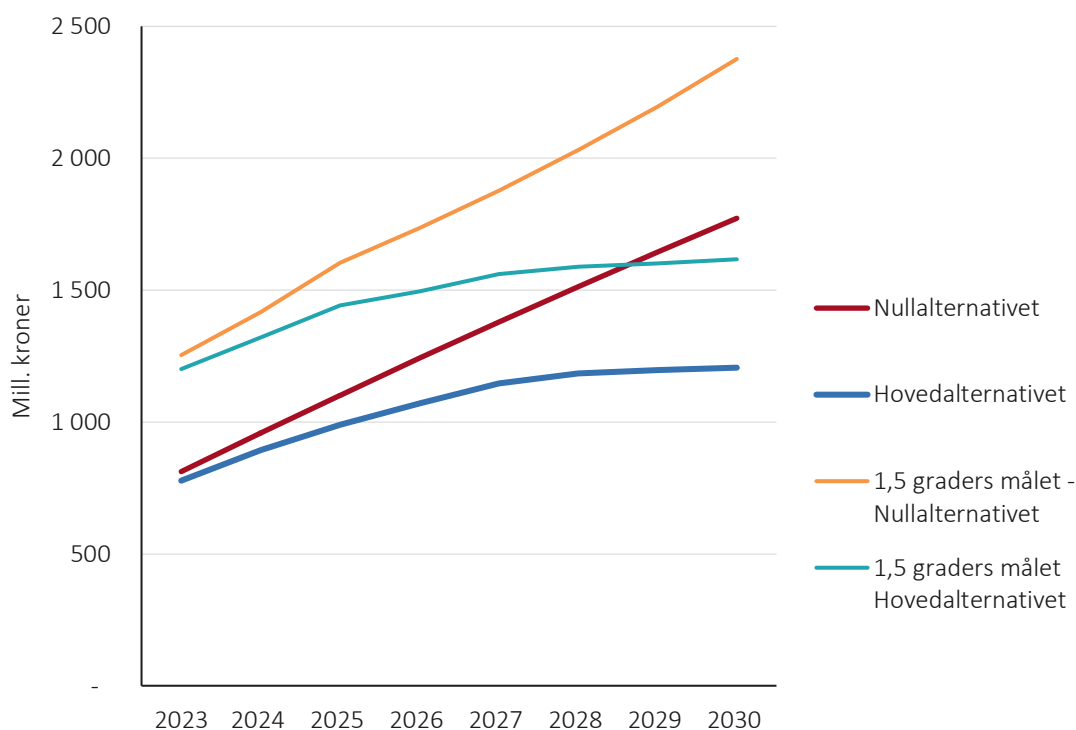
Figur 2.3 Klimakostnader i nullalternativet og hovedalternativet basert på Finansdepartementets prisbane for samfunnsøkonomiske analyser for utslipp i årene 2023–2030



Kilde: Vista Analyse

Finansdepartementet oppgir også hvilke kostnader som skal benyttes i følsomhetsanalyser. Den høye prisbanen tar utgangspunkt i det FNs klimapanel anslår trengs for å begrense oppvarming til 1,5 grader (median-anslag). Den lave prisbanen er satt til 75 prosent av kvoteprisen i det første året og vokser deretter med kalkulasjonsrenten for samfunnsøkonomiske analyser. I figuren under viser vi beregninger med den høye prisbanen og hovedberegningene fra Figur 2.4.

Figur 2.4 Klimakostnader i nullalternativet og hovedalternativet ved dagens klimapolitikk og ved realisering av 1,5 graders målet



Kilde: Vista Analyse

Hvilken kostnadsbane for klimagassutslipp som er mest rimelig å legge til grunn, er et normativt spørsmål. Det handler om hvordan samfunnet vurderer klimagassutslipp. I Figur 2.3 har vi brukt Finansdepartementets prisbane basert på politiske føringer om en gradvis økning av dagens CO₂-avgift fram til 2030 som et utgangspunkt for samfunnets vurdering av kostnadene ved klimagassutslipp.

Prisen aktørene møter i markedet i dag i ikke-kvotepliktig sektor, er den til enhver tid gjeldende CO₂-avgiften. Dette innebærer at den opplevde prisen i dag er lavere enn det som følger av de politiske signalene i klimapolitikken. Klimakostnadene framover er dermed ikke fullt ut internalisert med mindre aktørene forventer at avgiftene trappes opp slik de er varslet. Prisforventningene har betydning for investeringsbeslutninger som gjøres i dag.

Opptappingen av CO₂-avgiften er neppe tilstrekkelig til å nå utslippsmålene for ikke-kvotepliktig sektor. Avgiftene kan likevel tolkes som en form for politisk betalingsvillighet for hvor store kostnader myndighetene vil påta seg for å redusere utslipp i Norge framfor å kjøpe klimakvoter fra EU gjennom ESR-ordningen. Dette er politiske vurderinger som kan endre seg, og som også gjør at det er usikkerhet knyttet til hvor stram den innenlandske klimapolitikken vil bli. Dette har betydning for hvor store utslippsreduksjoner som må tas i ikke-kvotepliktig sektor.

Dersom sektoren lykkes med å realisere tiltakene i hovedalternativet så vil den prissatte klimakostnadsgevinsten i 2030 ligge mellom 550 og 760 mill.kroner avhengig av hvordan utslippskostnadene vurderes, og forutsatt at vårt nullalternativ og hovedalternativ stemmer. Fram til 2030 realiseres det årlig gevinster som kommer i tillegg. Hva som vil være en optimal innfasing av tiltak ligger utenfor denne utredningens mandat å vurdere. Noe av utfordringen er uansett at omstillingen må starte nå for at gevinstene i 2030 skal kunne realiseres. Piloter er ett av

virkemidlene for å framskynde realisere hovedalternativet. Dette kommer vi tilbake til i kapittel 4.

2.5.1 Indirekte utslipp skal ikke inkluderes i en samfunnsøkonomisk analyse

I NTP 2022–2033 pekes det på tiltak som både reduserte direkte utslipp (for eksempel tiltak som gir mindre utslipp fra kjøretøy og anleggsmaskiner) og indirekte utslipp (for eksempel byggematerialer) gjennom sine anskaffelser. Det vises til at tiltak som reduserer de direkte utslippene vil bidra til å redusere de ikke-kvotepliktige utslippene med 40 pst. innen 2030. Videre argumenteres det for at tiltak for å redusere indirekte utslipp kan bidra positivt for *å fremme grønn næringsutvikling, stimulere etterspørsel etter lav- og nullutslippsalternativer og fremme lavutslippssamfunnet, og være en del av virksomhetenes utøvelse av sitt samfunnsansvar* (Nasjonal transportplan – NTP 2022-2033, s. 74).

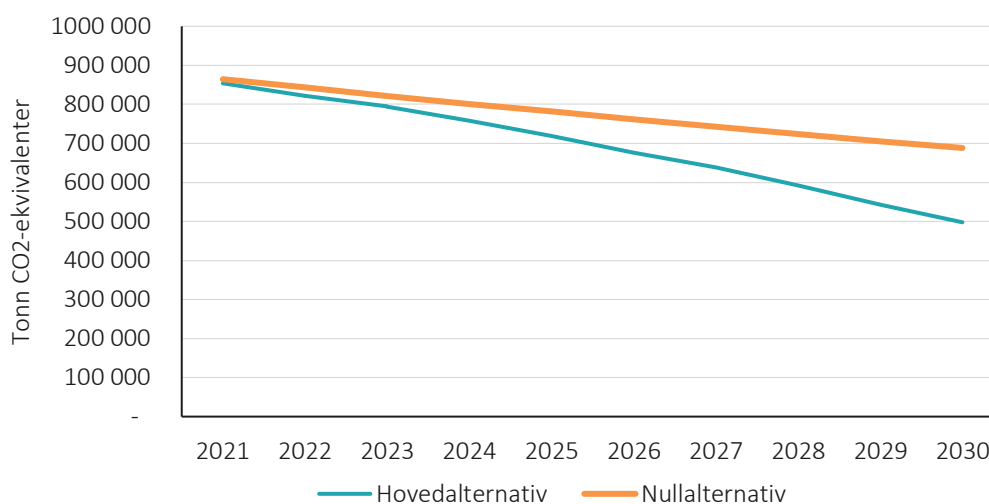
Mandatet for denne utredningen er avgrenset til å vurdere direkte utslipp. Dersom CO₂-avgiften og kvoteprisen internaliserer utslippskostnadene, vil klimakostnadene ved indirekte utslipp være hensyntatt i dagens kostnadsberegninger. Dersom det ikke er tilfelle, kan det være relevant å prise kostnadene ved indirekte utslipp som ikke internalisert. Vi går ikke inn på hvordan denne type beregninger kan gjennomføres.

I vurderingen av tiltak for å fremme grønn næringsutvikling generelt, er det relevant å se hen til regjeringen satsning ved Innovasjon Norge, som skal bidra til profilering av norske grønne løsninger for økt eksport og spredning internasjonalt. Utslipp i andre sektorer, eller som er en del av EUs kvotesystem, reguleres også best gjennom direkte tiltak der utslippene oppstår. Bruk av anskaffelsesreglementet kan likevel være relevant som et supplerende virkemiddel til CO₂-avgift. Selv ved en CO₂-avgift som internaliserer klimakostnadene ved utslipp, kan investeringsinsentivene og innovasjonsviljen til markedsaktørene bli for svake. Dette fordi en enkeltbedrift ikke tar hensyn til gevinster en investering kan ha for andre bedrifters muligheter til å utvikle klimavennlig teknologi (Vista Analyse, 2022). Det kan da være relevant å korrigere for denne type markedssvikt, noe som er noe annet enn å vektlegge indirekte utslipp eller ivareta andre målområder.

2.6 Oppsummering

Vårt nullalternativ, hvor anleggsmaskiner fremdeles hovedsakelig benytter seg av fossile drivstoff, og vårt hovedalternativ, hvor bruk av maskiner effektiviseres og elektriske maskiner fases inn, er illustrert i Figur 2.5. Sammenlignet med utslippene i 2021, reduseres utslippene i 2030 med ca. 360 000 tonn CO₂-ekvivalenter i hovedalternativet og ca. 175 000 tonn CO₂-ekvivalenter i nullalternativet.

Figur 2.5 Klimagassutslipp i nullalternativet og hovedalternativet



Kilde: Vista Analyse; SSB; Klimakur 2030..

Dette impliserer at en gradvis innfasing av utslippsfrie anleggsmaskiner der 70 pst. av nysalget er elektriske i 2030, vil redusere CO₂-utslippen med ca. 190 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030 sammenlignet med vårt nullalternativ. I Klimakur 2030 ble disse tiltakene beregnet til å redusere utslipp fra ikke-veigående maskiner i alle sektorer med 530 000 tonn CO₂-ekvivalenter, hvorav 254 000 tonn CO₂-ekvivalenter kan tilskrives bygg- og anleggsvirksomhet.

Utslippskostnadene i nullalternativet øker fra 812 millioner kroner i 2023 til 1 772 mill. kroner i 2030 på tross av at utslippene reduseres. I vårt hovedalternativ med tiltak øker utslippskostnadene fra 932 mill. kroner til 1 205 mill. kroner i 2030. Dette tilsier at det er store gevinster å hente på å stimulere til en raskere innfasing av nullutslippsløsninger i anleggsfasen. Dersom sektoren lykkes med å realisere tiltakene i hovedalternativet så vil det potensielle gevinstpotensialet i 2030 av å lykkes med tiltakene i hovedalternativet ligge mellom 550 og 760 mill.kroner avhengig av hvordan utslippskostnadene vurderes, og forutsatt at vårt nullalternativ og hovedalternativ stemmer.

I kapittel 4 drøfter vi pilotprosjektets rolle i virkemiddelapparat fra et samfunnsøkonomisk perspektiv. Der ser vi både på hva som begrunner offentlig støtte til pilotprosjekter, og hvilke virkninger denne type støtte kan ha.

3 Kort om aktuelle teknologier og løsninger

Vi gir en kort vurdering av ulike teknologier og løsninger som kan redusere klimagassutslippene fra anleggsplasser. I vurderingen støtter vi oss på Klimakur 2030 og resultatene fra evalueringen av pilotprosjektene (Lervåg, Thommassen, & Kristensen, 2022).

3.1 Forbedret logistikk

Klimakur 2030 identifiserte forbedret logistikk på bygg- og anleggsplasser og effektivt bruk av maskiner som et enkelt og kostnadseffektivt tiltak. Tiltakskostnadene ble vurdert å være i kategorien under 500 kroner per tonn CO₂. En økning i CO₂-avgiften vil stimulere denne type tiltak.

Manglende kunnskap og koordineringsproblemer er pekt på som en barriere for å utløse nye logistikk-løsninger som reduserer energibehovet i anleggsfasen. Piloter, der ulike måter å redusere transportbehov og andre energikrevende prosesser i anleggsfasen, kan dermed være viktige for å øke kunnskapen og redusere usikkerheten ved alternative løsninger. Informasjonsdeling og kunnskapsspredning må da være en forutsetning for å kunne støtte piloter i denne kategorien. Økt kunnskap om logistikk-løsninger med kostnadseffektive klimagassreduksjoner vil også være relevant for transportetatene i forbindelse med planarbeid og anskaffelser. Dette fordi det legges mange premisser for utbyggingsfasen i planfasen. Kunnskap om løsninger og kostnader ved ulike måter å redusere klimagassutslippene, er dermed viktig både i plan- og anskaffelsesfasen. Dette for å kunne realisere lønnsomme tiltak, og å unngå å bruke ressurser på løsninger der kostnadene for utslippsreduksjoner, målt i kroner per tonn, blir svært høye. Hensynet til en effektiv klimapolitikk krever at også transportetatene legger krav om kostnadseffektivitet til grunn for sine klimatiltak.

En eventuell støtte til piloter bør være rettet mot områder der potensialet for utslippsreduksjoner er stort, dvs løsninger med en høy grad av generaliserbarhet i sektoren. Piloter på smale områder bør vurderes i forhold til CO₂-potensial der støttenivået til piloten sees i sammenheng med verdien av den potensielle utslippsreduksjonen og kunnskapen som bygges. Risikoavlastning for leverandører som ønsker å teste alternative løsninger i en konkret utbygging framstår som en hensiktsmessig form for støtte.

3.1.1 Elektriske maskiner

Klimakur utredet tiltak som innebærer at 70 pst. av nye ikke-veigående maskiner og kjøretøy er elektriske i 2030. Utredningen er basert på en bottom-up-modellering av maskinparken. Vi har som vist foran lagt dette tiltaket til grunn for vårt hovedalternativ. Elektriske maskiner og kjøretøy som brukes i anleggsfasen finnes på markedet innenfor de fleste kategorier. Det er likevel en begrenset tilgang på anleggsmaskiner, og da særlig i kategorien store anleggsmaskiner som brukes til energikrevende oppgaver. For mindre anleggsmaskiner er tilgangen bedre.

Lervåg, Thommassen, & Kristensen (2022) viser at entreprenørene i stor grad både har tilgang til og har tatt i bruk elektriske anleggsmaskiner. Tilgang til ladeinfrastruktur og batterikapasitet framstår i dag som den største begrensningen for en rask utskifting til elektriske anleggsmaskiner. Tilgang til ladeinfrastruktur og øvrig infrastruktur som gjør det mulig å bruke elektriske anleggsmaskiner varierer stort, det samme gjør kostnadene ved å få på plass nødvendig infrastruktur. Det er med andre ord både koordineringsutfordringer og nettverkseffekter som gjør at CO₂-prising neppe er tilstrekkelig for å realisere en rask overgang til elektriske anleggsmaskiner.

Utfordringene ved elektrifisering i anleggsarbeid er godt kjent, og fremstår derfor ikke som den vesentligste barrieren. Dette bekreftes også langt på vei gjennom pilotene. Kunnskap om hvordan det kan tilrettelegges for en større grad av elektrifisering på anleggsplasser i transportsektoren, samt kunnskap om kostnader for å etablere nødvendig infrastruktur, framstår som en større mangel enn kunnskap om og tilgang til utslippsfrie maskiner. Unntaket er kanskje større maskiner som er egnet for svært energikrevende oppgaver der markedstilgangen er på elektriske maskiner er mindre.

Kostnad for ladeinfrastruktur vil kunne være betydelig i en del områder. Det er neppe kostnadseffektivt å prioritere områder der kostnadene til nødvendig infrastruktur er svært høye. Læring og erfaring bør bygges der kostnadene er lavere, og overføringsverdien til andre prosjekter er stor.

Klimakur har plassert elektrifisering av anleggsmaskiner som et dyrt tiltak med en tiltakskostnad på over 1500 kroner per tonn CO₂. Med en CO₂-avgift på 2000 kroner tonnet, eller forventninger om dette avgiftsnivået, må det forventes at markedet selv tar i bruk elektriske maskiner der infrastrukturen for bruk er til stede, og markedet tilbyr maskiner. Dette vil i første rekke gjelde for mindre maskiner der etablert infrastruktur gjør bruk av elektriske maskiner mulig.

Det er segmenter der elektriske anleggsmaskiner er lønnsomme allerede i dag. Med dagens klimapolitikk i Norge og EU må det også forventes en etterspørsel etter elektriske maskiner som stimulerer tilbudssiden og som på sikt vil gi lavere kostnader. Batteriteknologi og løsninger for større maskiner må forventes å komme på markedet. Investeringsstøtte til selve maskinene risikerer å bruke offentlige midler på investeringer som markedet uansett hadde realisert på egen hånd.

Eksistens av nettverkseffekter tilsier at spesifikke tiltak rettet mot anleggsmaskiner i transportsektoren kan være aktuelt. Tiltak og videre piloter bør da rettes mot infrastruktur for bruk av denne type maskiner, samt utvikling av kunnskap om kostnader og kriterier for hvor det eventuelt vil være hensiktsmessig å investere i nødvendig infrastruktur.

Så lenge tilstrekkelig nettkapasitet og ladeinfrastruktur er den avgjørende barrieren, bør virkemidlene rettes mot løsninger tilpasset transportsektorens anleggsplasser. I den grad høye strømpriser eller store variasjoner i strømprisene representerer en barriere, vil det kunne legges inn kompensasjonsordninger knyttet til differansen mellom elpris og dieselpris. Dette vil være en kostnad for etatene, men vil gi en risikoavlastning for operatørene. Ved en CO₂-avgift på 2000 kroner per tonn CO₂, vil dette neppe være nødvendig.

3.1.2 Biogass og hydrogen

Biogass kan være et godt alternativ til diesel, men krever at entreprenørene velger å investere i anleggsmaskiner på biogass fremfor diesel eller el. Dette krever igjen at markedet for biogass er utviklet og at biogass er konkurransedyktig på pris og konkurransedyktig mot elektriske anleggsmaskiner. Det samme gjelder for bruk av hydrogen. Hydrogen24 viser i en artikkel datert 9.mai 2022 til en anleggsmaskin basert på hydrogen som skal være i stand til å bære en nyttelast på 290 tonn (Hydrogen24, 2022). Maskinen omtales som verdens største hydrogendrevne anleggsmaskin.

Markedet for biogass og hydrogen er i dag mindre utviklet, noe som tilsier at risikoen ved å investere i anleggsmaskiner som kan drives på biogass og hydrogen også vil bli større. Videre er det knyttet stor usikkerhet til effekten på klimagassutslipp av en økt satsning på bioenergi. Hoel (2020) viste at produksjon av bioenergi i de fleste tilfeller vil ha en negativ effekt på klima, og det er kun i situasjoner hvor prisen på utslipp er for lav at det vil kunne være samfunnsøkonomisk lønnsomt å erstatte fossil energi med bioenergi.

3.2 Samfunnsøkonomiske virkninger

Hovedvirkningen på nyttesiden av en overgang til utslippsfrie anleggsplasser er verdien av utslippsreduksjonen. I tillegg til reduksjon av CO₂-utslipp vil også lokale utslipp reduseres. Elektriske maskiner har også mindre støy enn dieseldrevne maskiner. Hvor stor gevinsten av reduserte lokale utslipp er, avhenger av hvor utslippene kommer, hvor mange som berøres og tilstanden før anleggsprosessen starter opp. Mange av anleggsprosessene, som eksempelvis knusing av stein, er beheftet med et støynivå som gjør at overgangen til elmotor kun blir marginal. For andre prosesser kan støy ha en større betydning, både for anleggsarbeiderne som bruker maskinene og for omgivelsene.

På kostnadssiden vil det kunne være omstillingskostnader i form av opplæring og etablering av nye arbeidsprosesser. Utslippsfrie teknologier har heller ikke konkurransedyktige alternativer for alle nødvendige arbeidsprosesser. Dette gir høyere risiko, noe som også er en kostnad.

Effektivisering i form av eksempelvis mindre massetransport og bedre logistikk, vil gi kostnadsgevinster ved at prosessene blir mindre arbeids- og energikrevende. Sparte kostnader kommer da som et tillegg til sparte klimakostnader.

4 Teknologeutvikling og virkemidler

“ *Utvikling av nye teknologier og markeder vurderes som sentralt ved omstilling til et lavutslipps-samfunn. Støtte til å utvikle og ta i bruk nullutslippsløsninger i Norge kan også bidra til at løsninger som kutter utslipp blir billigere og tas i bruk globalt*

(Klima- og miljødepartementet, 2021)

I dette kapitlet diskuterer vi kort hvilke samfunnsøkonomiske elementer som kan være viktig å ta inn over seg når man skal allokere ressurser til innovasjon i en klimakontekst. Det fokuseres da spesielt på pilotprosjekters rolle i innovasjonsprosessen.

I kapitlet drøfter vi ulike former for markedssvikt som kan begrunne en offentlig inngripen i markedet, og at offentlige transportvirksomheter kan forsvare å bruke ressurser på klimatiltak utover det som regnes som lønnsomt gitt en CO₂-prising som internaliserer klimakostnadene.

Utfordringen er å vurdere hvordan virkemidlene skal utformes og hvilke behov som begrunner piloter under utslippsfrie anleggsplasser, og hvordan ressursene til denne type piloter best kan fordeles. Fra et samfunnsøkonomisk perspektiv kan markedssvikt begrunne at det suppleres med virkemidler og tiltak utover det som følger av den generelle klimapolitikken, og det kan også være nødvendig at offentlige virksomheter som transportvirksomhetene bidrar med særskilte tiltak for at reduksjonsmålene i ikke-kvotepliktig sektor realiseres.

Bruk av andre virkemidler, som eksempelvis støtte til pilotprosjekter og krav i anskaffelsesreglementet, bør likevel være begrunnet i markedssvikt og ellers følge opp kravene som følger av regjeringens klimapolitikk. For at tiltakene skal være samfunnsøkonomiske lønnsomme bør det eksistere en markedssvikt eller barriere som begrunner offentlig støtte til gjennomføring av pilotprosjekter. I og med piloter skal søke ny informasjon om en teknologi eller løsningen, bør det også være et krav at kunnskapen og erfaringen må gjøres tilgjengelig for hele markedet.

4.1 Når pricing av CO₂ ikke er tilstrekkelig

Avgift på klimagassutslipp og klimakvoter er de viktigste virkemidlene i klimapolitikken. Ved å prise utslippene korrigeres det for utslippenes negative eksterne effekter. Det korrigeres dermed for en markedssvikt. Det er også gitt klare varsler om at avgiftene skal trappes opp, samtidig som det er en forventning om økte kvotepriser.

Utvikling og innføring av nye teknologier, organisatoriske endringer eller nye måter å gjennomføre anleggsutbyggingen på tar tid. I mange tilfeller vil det også kreve investeringer med en lang tidshorison og ofte også høy usikkerhet knyttet til investeringene. En forventning om høyere avgifter øker også forventningene til lønnsomheten ved å investere i lav- eller nullutslippsteknologi, og stimulerer dermed til utvikling av nye løsninger. Selv med pricing av CO₂-

utslipp som reflekterer skadekostnadene vil investeringsinsentivene for klimavennlig teknologi kunne være for svake fra et samfunnsøkonomisk synspunkt. Den enkelte bedrift betaler riktignok kostnadene for sitt eget utslipp, og vil dermed få en økonomisk gevinst av å redusere utslippene med ny teknologi. Eventuelle gevinster en slik teknologi har for andre bedrifters muligheter til å utvikle klimavennlig teknologi, vil imidlertid ikke tillegges vekt når bedriften skal vurdere prosjektet (Vista Analyse, 2022). Det kan også være nettverkseffekter, mangel på kunnskap og koordineringsproblemer som gjør at lønnsomme tiltak ikke realiseres.

4.2 Virkemidler og utvikling av klimavennlig løsninger

I vurderingen av støtte til og utvelgelse av pilotprosjekter for å stimulere til fossilfrie anleggsplasser kan det være hensiktsmessig å skille mellom to situasjoner (basert på NOU 2009:16, kap.10):

- i. Eksisterende virkemidler og de varslede økningene i CO₂-avgiften internaliserer de negative eksterne virkningene der ambisjonene i fastsatte klimamål er ivaretatt.
- ii. Eksisterende virkemidler og de varslede økningene i CO₂-avgiften internaliserer ikke i tilstrekkelig grad de negative eksterne virkningene og er ikke tilstrekkelige til å ivareta fastsatte reduksjonsmål for ikke-kvotepliktig sektor.

I det første tilfellet kan det fremdeles være andre former for markedssvikt som kan begrunne støtte til utvikling av nye løsninger. Investeringsinsentivene for klimavennlig teknologi vil kunne være for svake på tross av «riktig» CO₂-prising.

Det andre tilfelle kan begrunne virkemidler som korrigerer for markedssvikt knyttet til negative eksterne virkninger som ikke er internalisert i prisene, og positive eksternaliteter som kunnskapsutvikling og -spredning.

Vår vurdering er at dagens CO₂-prising ikke er tilstrekkelig til å realisere mål om utslippsreduksjoner i 2030. Beregninger viser at nødvendige tiltakskostnader for å nå utslippsmålene på marginen er høyere enn dagens CO₂-pris. Om den varslede økningen i CO₂-avgiftene vil være tilstrekkelig, er mer usikkert. Dette avhenger av hvor raskt økningen fases inn, og utviklingen i relevante tiltakskostnader for å utvikle og ta i bruk lavutslippsløsninger. Aktørene som skal investere i nye løsninger må også vurdere varselet om høyere CO₂-priser som rimelig sikkert for at de skal investere i nye løsninger. Dersom aktørene ikke tror på varselet om CO₂-avgifter på 2000 2020-kroner innen 2030, vil investeringene i klimavennlige teknologier og løsninger bli for lave. Vi merker oss også at Klimameldingen for 2021 til 2030 vurderer en CO₂-avgift på 2000 kroner/tonn som tilstrekkelig.

Alt i alt vurderer vi at vi er i situasjon ii), der det er nødvendig med supplerende virkemidler til dagens CO₂-prising for å realisere klimamålene.

Det kan både være grunnlag for virkemidler rettet mot positive eksterne virkninger knyttet til teknologiutvikling, og for ytterligere korrigeringer av de negative eksterne virkningene ved klimagassutslipp.

4.2.1 Innovasjon og teknologiutvikling – positive eksterne virkninger

Forskning og utvikling har positive kunnskapseksternaliteter som begrunner offentlig støtte. Dette gjelder også for utvikling av teknologi og løsninger som reduserer bruken av fossile drivstoff på anleggsplasser og som reduserer klimagassutslippene fra anleggsfasen i samferdselsprosjekter.

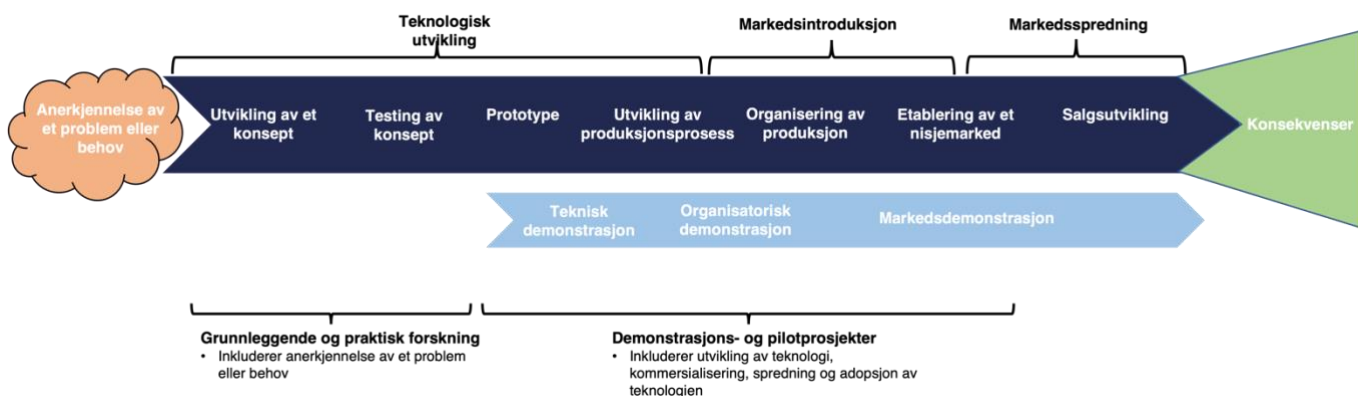
Det brukes flere ulike virkemidler for å øke samfunnsøkonomisk effektivitet i innovasjon og teknologiutvikling (Vista Analyse, 2022). Utviklingen av klimateknologi støttes blant annet gjennom bevilgninger via Enova, Klimasats, Norges forskningsråd og Innovasjon Norge. De ulike virkemidlene har ulik motivasjon ut fra hvilken markedssvikt eller eksternalitet man ønsker å korrigere for.

For å kunne vurdere de samfunnsøkonomiske virkningene av ulike piloter i kategorien lavutslipp eller fossilfrie anleggsplasser, starter vi med et overordnet blikk på innovasjon og virkemidler som fremmer innovasjon og markedsspredning.

Teknologi og innovasjon – hva er en effektiv inngripen i markedet?

Teknologi kan defineres som et verktøy som brukes for å oppnå et ønsket resultat. En innovasjon kan defineres som en ide eller teknologi som oppfattes som *ny* av aktøren som adopterer innovasjonen (Rogers, 2003). Innovasjonsprosessen handler om å tilegne seg ny informasjon om en teknologis virkemåte og kan forenklet illustreres som en prosess fra anerkjennelse av et problem, eller behov, til full markedsspredning, se Figur 4.1.

Figur 4.1 Lineær modell for innovasjon. Basert på Bossink (2015) og Rogers (2003)

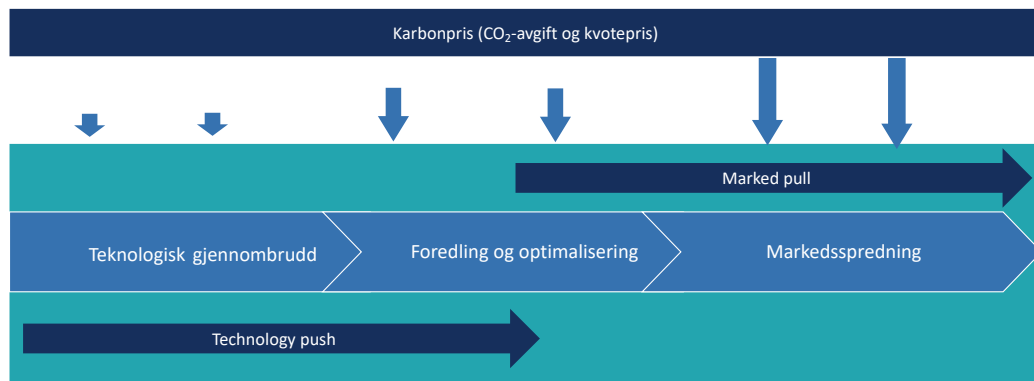


I den første fasen ved anerkjennelse av et problem og utvikling av mulige konsepter og løsninger, vil det normalt være mange ideer. Utover i prosessen vil ideene gjennomgå testing, eventuelt laboratorietesting og en gradvis oppskalering til ulike former for demonstrasjon og klargjøring for markedet med markedsspredning som mål. Underveis i prosessen vil noen ideer og løsninger falle fra, noe som også er en viktig del av kunnskapsgenereringen. Læring om hva som ikke virker, eller som har for mange avhengigheter til andre utviklingsprosesser til at de kan realiseres, kan også ha en vesentlig samfunnsverdi ved å forhindre investeringer som ikke kommer samfunnet til gode.

Innovasjonsprosessen kan også sees i sammenheng med ulike virkemidler som kan påvirke utvikling i fra idé til marked. Dette er vist i Figur 4.2 der innovasjonsprosessen i Figur 4.1 er forenklet til tre stadier. I figuren er virkemiddelet «karbonprising» tegnet inn som det overordnede virkemidlet i klimapolitikken. Gjennom en prising av klimagassutslipp (CO₂) skapes

det et marked for lavutslipp- og nullutslippsteknologi, herunder fossilfrie anleggsmaskiner. Effekten av karbonprising antas å være størst i spredningsfasen og i fasen der markedstesting og pilotering er aktuelt. Dette er illustrert med de vertikale pilene der virkningen er størst i siste fase av innovasjonsprosessen.

Figur 4.2 Innovasjonsprosessen og virkemidler



Kilde: Basert på figur 10.1 i NOU 2009:16

Marked pull – stimulering av etterspørselen

Så lenge en bedrift må betale for utslippene, vil den også ha incentiver til å investere i eller ta i bruk teknologi som reduserer utslippene. Pricing av CO₂ er også en forutsetning for at markedsaktører og investorer skal investere i klimavennlige teknologier og løsninger. Med forutsigbarhet og sikkerhet for at CO₂-prisene vil vedvare eller øke, gis det en forventning om en fremtidig etterspørsel etter klimavennlige løsninger.

Karbonprising antas likevel å ha mindre effekt i tidligere faser enn i den siste fasen i innovasjonsprosessen, selv om pricing av utslipp og klimapolitikk er en nødvendig forutsetning for at ideer, der formålet er å redusere utslipp, utvikles.

Virkemidler som stimulerer markedet og etterspørselen kalles gjerne for «market pull» fordi teknologiutviklingen stimuleres gjennom etterspørselen ved at det korrigeres for eksterne virkninger. Krav til lavutslippsløsninger i offentlige anskaffelser vil kunne forsterke effekten av karbonprising dersom kravene er forutsigbare og langsiktige. Aktørene vil da forvente at noe av utviklingskostnadene kan veltes over på offentlige aktører ved at de vil kunne oppnå en høyere pris for utslippsfrie løsninger enn for fossile løsninger.

Teknologiutviklingspolitikk («technology push»)

I tillegg til markedsstimulerende virkemidler, kan det være nødvendig å stimulere teknologiutviklingen og sørge for at nok ideer kommer inn, og at ideen tas gjennom prosessen. Denne type virkemidler og tiltak kalles gjerne «technology push», eller aktiv teknologiutviklingspolitikk. Denne kategorien virkemidler er i all hovedsak begrunnet i positive eksterne virkninger knyttet til kunnskapseksternaliteter, herunder kunnskap og læring som bidrar til å redusere risikoen.

I tillegg kan det være nettverkseksternaliteter. Med dette menes at en aktørs nytte knyttet til bruk av en teknologi påvirkes positivt av andres bruk av teknologien. Golombek et al. (2021) forklarer dette enkelt i sammenheng med teknologien CO₂-fangst: en investering i et fangstanlegg øker etterspørselen etter deponier for å lagre utslippene og bidrar til at tilbudet av slike deponier øker. Dette gir så økt insentiv til å investere i fangstanlegg. Det samme gjelder for utslippsfrie anleggsmaskiner. Ved at flere tar teknologien i bruk, vil også løsninger for og kunnskap om ladeinfrastruktur utvikles, noe som vil stimulere til bedre ladeløsninger samtidig som kostnadene vil presses ned.

Kognitive kostnader eller begrenset rasjonalitet hos beslutningstakere, er en annen form for markedssvikt.

Norges forskningsråd, Enova, Klimasats og Innovasjon Norge har som nevnt over, virkemidler som retter seg mot teknologi- og kunnskapsutvikling.

4.3 Hvordan stimulere til en samfunnsøkonomisk lønnsom teknologiutvikling?

Aktørers insentiv til å investere i innovasjon og teknologiutvikling er en viktig innfallsvinkel for å vurdere utforming og nivå på mulige virkemidler for å stimulere utviklingen av klimavennlige teknologier. Disse insentivene avhenger i stor grad av konkurransesituasjon, markedsstruktur og reguleringer. Hva slags virkemiddel som er hensiktsmessig og som har størst sannsynlighet for å øke den samfunnsøkonomiske lønnsomheten vil avhenge av *hvordan* insentivene er påvirket, og av hvor moden teknologien er.

For å kunne si noe om hva som er samfunnsøkonomisk lønnsomt fordrer det at man kan si noe om kostnader og nytte ved den enkelte investeringen. Ideelt sett er disse kvantifisert og prissatt slik at de kan sammenlignes direkte og mellom prosjekt. Et hovedmål med pilotprosjekter er å redusere usikkerhet gjennom læring av aktøren som gjennomfører prosjektet. Noe av denne læringen kan ofte kvantifiseres i kostnadsreduksjoner eller fremtidig reduksjon i klimagassutslipp for aktøren og samfunnet. Direkte kostnader for en enkelt investering i teknologi kan også kvantifiseres.

Det er dog en iboende usikkerhet knyttet til hvilke effekter innovasjon og teknologiutvikling vil ha og det kan dermed være krevende å kvantifisere alle fremtidige konsekvenser. Det kan likevel være viktig å prøve å ta hensyn til noen av disse effektene *kvalitativt* så langt det er mulig. I en klimakontekst kan *kunnskapseksternaliteter* være svært viktig. En aktørs innovasjon kan bidra til å øke informasjonsgrunnlaget og innovasjon til andre aktører uten å bli kompensert for dette, med den konsekvens at det innoveres for lite (Arrow, 1962). I en klimakontekst ønsker man at flest mulig tar i bruk klimavennlig teknologi. Gevinsten av å korrigere eller øke kunnskapseksternaliteter kan da tenkes å være mange ganger høyere enn den direkte observerbare og kvantifiserbare gevinsten. Det er derfor viktig å hensynta slike effekter når det er mulig.

For å illustrere dette: demonstrasjon av drift av en elektrisk anleggsmaskin kan ha direkte kostnadskutt for neste brukstilfelle, som kan være relativt predikerbart og observerbart for innovatørene. I tillegg vil informasjon fra demonstrasjonen også kunne føre til at andre aktører finner det mindre usikkert og mer lønnsomt å investere i eller ta i bruk elektriske anleggsmaskiner.

Det kan da være ønskelig å maksimere denne eksternaliteten uten at det minsker innovasjonsinsentivene til innovatøren.

Når en privat aktør gjennomfører et pilotprosjekt som utvider kunnskapsgrunnlaget om en teknologi, kan noe av denne kunnskapsgevinsten tilfalle andre aktører. Dette omtales ofte som kunnskapseksternaliteter (Vista Analyse, 2022). Den private aktøren vil ikke hensynte denne kunnskapseksternaliteten i sin beslutningsprosess, da gevinsten tilfaller andre. Dette medfører at den samfunnsøkonomiske avkastningen av pilotprosjektet er større enn den privatøkonomiske avkastningen. Dette er det mest framtreddende argumentet for offentlig inngripen og støtte til pilotprosjekter. Hvor stor den samfunnsøkonomiske avkastningen er, vil avhenge av hvor stort nedslagsfeltet for ny kunnskap om teknologien er. I kontekst av mål om utslippsfrie anleggsplasser vil det også være sentralt å vurdere hvor stort potensiale for utslippsreduksjoner er. Om teknologien det investeres i er utbredt, kan overføres til flere områder eller kun står for en liten del av utslipp.

Den samfunnsøkonomiske avkastningen av piloten har potensiale til å være større jo mer teknologiutvikling og utslippsreduksjon den leder til.

Forskning på pilot- og demonstrasjonsprosjekt peker på noen generelle faktorer som er vist å ha en stimulerende effekt på teknologiutvikling (Bossink, 2015).

- **Balansering av risiko** for deltakende aktører: I et pilotprosjekt må partene samarbeide om avveininger mellom innovasjon og kostnader. Det må være en fornuftig fordeling av risiko og gevinster for at læringsutbytte skal være størst mulig. Hvis det er usikkerhet knyttet til om kostnadsbærerne også får gevinstene kan politikk, interesser og forhandlinger bli fremtredende og insentiver til god gjennomføring svekkes (Russel, Markusson, & Scott, 2012).
- **Systematisering av læring**: Et pilotprosjekt er et nyttig verktøy for systematisk og etterfølgende læring og det bør stilles krav til dokumentasjon slik at informasjonen kan stimulere til videreutvikling (f.eks. nye prosjekter), også blant andre aktører. Det er viktig å presisere at både teknisk- og sosial læring er viktig, hvor sosial læring handler om organisering av ansatte og ressurser. Organisatorisk læring kan også gjøre aktører motiverte og kapable til å ta en rolle som ledende innovatør.
- **Positiv kommunikasjon**: Ny teknologi betyr at brukere konfronteres med endring, noe som kan skape usikkerhet blant brukerne. Dette kan føre til motstand og avvisning av ny teknologi som prøves ut i pilotprosjektet slik at læringseffekter svekkes. Et viktig bidrag fra et pilotprosjekt er å utdanne og informere brukere. Det er derfor viktig at aktørene tar del i den eksperimentelle prosessen knyttet til å bruke ny teknologi, lære fra den og fortelle andre om hvordan og hvorfor den virker.
- **Nettverk av samarbeidende aktører**: Aktører som fokuserer på samarbeid med andre har vist seg å kunne ha større sannsynlighet for suksess i teknologiutvikling (Shi et al. 2010).
- **Evaluering av resultater**: Pilotprosjekter er primært et virkemiddel for å teste, utvikle, og forbedre en teknologi som en aktør ønsker å kommersialisere eller ta i bruk. For å lykkes med dette er det viktig at tekniske aspekter ved forsøket evalueres. Det kan også være hensiktsmessig å evaluere organisatoriske- og markedsaspekter ved teknologien hvis mulig.

Dette er altså faktorer som kan bidra til å øke den samfunnsøkonomiske avkastningen av pilotprosjekter og kan med fordel inngå som krav til å motta støtte og/eller brukes til å vurdere effektiviteten og nytten av et pilotprosjekt kvalitativt.

4.4 Hva er pilotprosjekters rolle for å nå målsetting om en utslippsfri anleggssektor?

Hovedhensikten med et pilotprosjekt er som nevnt å redusere usikkerhet knyttet til en teknologisk funksjon og virkemåte. Dette innebærer å lære om teknologien og dens bruk slik at teknologien videreutvikles, og risiko og kostnader ved fremtidig bruk reduseres.

Dette kommer også fram i «*Handlingsplan for fossilfrie anleggsplasser innen transportsektoren*» (side 5-6):

“ [...] Pilotering av fossilfrie anleggsplasser vil kunne gi oss raskere utvikling og utprøving av ny teknologi

«Handlingsplan for fossilfrie anleggsplasser» viser til at markedet for utslippsfrie ikke-veigående maskiner er i en tidlig fase. Teknologier i en tidlig fase er preget av stor usikkerhet og dette kan gjøre at risikoen ved investering og utprøving av umodne teknologier ansees som for høy. Et pilotprosjekt kan redusere denne usikkerheten ved å innhente informasjon om teknologiens funksjon og yteevne under reelle driftsbetingelser.

Et pilotprosjekt kan dermed bidra til målsettingen om en utslippsfri anleggssektor på tre måter:

- Videreutvikling av teknologien gjennom ny kunnskap
- Redusere usikkerhet og risiko som kan stimulere til økt bruk av teknologien. Usikkerhet kan knytte seg til teknologiens funksjonelle evne og ytelse i samspill med andre innsatsfaktorer på anleggsplassen, samt hvilke rammebetingelser effektiviteten av teknologien avhenger av
- Innhente ny kunnskap som identifiserer potensialet til en teknologi, inkludert å avdekke om teknologien ikke er egnet til å nå formålet effektivt.

Gitt at det er etablert et behov for støtte til pilotprosjekter, vil vi videre se nærmere på samfunnsøkonomiske effekter og virkninger av pilotprosjekter som kan gi en indikasjon på hvilke piloter det er samfunnsøkonomisk lønnsomt å innføre.

4.4.1 Forventede virkninger av pilotprosjekter etter teknologisk modenhet

Utvikling av teknologi kan forenklet sett illustreres som en lineær prosess slik det er illustrert i Figur 4.1. Denne prosessen kan konkretiseres ytterligere ved hjelp av TRL skalaen (se Figur 4.3) som er ment å måle teknologisk modenhet på en skala fra 1 til 9.⁴

⁴ TRL står for «Technology Readiness Level» og brukes av bl.a. EU Horizon forskningsprogram og av Innovasjon Norge. Den ble opprinnelig utviklet av NASA for å klassifisere en teknologisk modenhet fra ideskisse til godkjenning for bruk i romferd. I praksis kan innovasjonsprosessen være mer kaotisk, og man må ikke nødvendigvis gjennom alle steg kronologisk.

Figur 4.3 TRL-skala – vurdering av teknologisk modenhet



Lave TRL-nivå er karakterisert ved høy grad av usikkerhet knyttet til teknologiens virkemåte og ytelse. Dette betyr at det er større risiko knyttet til bruk. Høyere TRL-nivå betyr at teknologiens virkemåte og kostnader, er mer kjent, slik at risiko ved bruk er mindre.

TRL-nivå 1 til 4 kan sies å være grunnleggende forskning, og i den grad prototyper eksisterer på dette nivået, blir de utviklet under *kontrollerte omgivelser* og faller derfor ikke inn under vår definisjon av et *pilotprosjekt* og utdypes ikke nærmere her. Disse trinnene skal også være ivarettatt gjennom andre virkemidler der ideer må konkurrere om forskningsmidler.

4.4.2 Teknologier av lav modenhet (TRL nivå 5-7)

For å klassifiseres som nivå 5 må teknologien være validert på laboratorienivå og testet i *realistiske* (men muligens noe kontrollerte) omgivelser. For å nå dette nivået må teknologien ansees som gjennomførbar fra et rent teknologisk perspektiv. På dette nivået er det høy grad av usikkerhet fordi det er uvisst hvordan teknologien vil prestere fra et ingeniørmessig perspektiv og om den er pålitelig eller ikke.

På nivå 6 er teknologien demonstrert i markedsrelevante omgivelser og driftsbetingelser. Dette innebærer at teknologien er ansett som *ingeniørmessig* gjennomførbar.

For å nå nivå 7 må teknologien være demonstrert i markedsrelevant skala slik at teknologien kan sies å være vist *pålitelig* fra et teknologisk perspektiv under reelle bruksomgivelser.

På disse nivåene er det varierende, men høy grad av usikkerhet fordi det er uvisst hvordan teknologien vil prestere og om den er pålitelig eller ikke. Denne usikkerheten utgjør en barriere for bruk av teknologien ved at risiko og kostnader er høye. Her er altså kunnskapsmangelen om den spesifikke teknologien størst og den viktigste virkningen av piloten kommer gjennom læringseffekter og økt informasjon og kunnskap.

Hovedmotivasjon for støtte til pilotprosjekter i denne fasen bør derfor være å videreutvikle teknologien.

4.4.3 Organisatoriske demonstrasjonsprosjekter (TRL 8)

Når teknologien er vist pålitelig, er den moden for implementering i et større system eller som del av en allerede eksisterende teknologi og kan klassifiseres som nivå 8. På dette nivået vil pilotprosjekter inneha en større *organisatorisk* del hvor bruk skjer under kommersielle rammer. Her er det mindre usikkerhet knyttet til teknologiens virkemåte isolert sett og mer usikkerhet knyttet til teknologiens virkemåte i samspill med andre teknologier. Dette kan ansees som det siste utviklingstrinnet på skalaen før markedsdemostrasjon.

Virkningen av pilotprosjektet på dette steget vil komme gjennom kunnskap om bruk og samspill med andre teknologier i et større system og organisasjon. På dette stadiet blir også sosiale og organisatoriske effekter mer viktig for pilotens endelige måloppnåelse. Dette inkluderer organisering av ressurser og ansatte i tillegg til aksept blant brukere av teknologien. Risikoen for aktører er her noe mindre enn for nivå 5-7 og av en litt annen art. Det kan derfor tenkes at aktørene har større insentiver til å gjennomføre slike prosjekter på egen hånd og at andre virkemidler er mer hensiktsmessige/effektive. Prising av utslipp, CO₂-kostnad, eller forventninger om høyere fremtidige CO₂-kostnader, kan i mange tilfeller være tilstrekkelig til aktørene velger å ta løsningene i bruk.

Noen faktorer som kan øke utbytte av pilotprosjekter på dette stadiet kan være:

- Kostnadseffektivisering: Pilotprosjekter er en learning-by-doing prosess. Hvis pilotprosjektet muliggjør eksperimentering med kostnadsdeling og optimisering kan dette i tillegg til ren teknologiutvikling føre til ytterligere kostnadseffektivisering.
- Gründernes engasjement for pilotprosjektet: Gründere kan ha en sterk innflytelse på resultatene fra et pilotprosjekt og spiller ofte en nøkkelrolle i å forme forretningsmodeller og for å skape en visjon og retning for utviklingen.

4.4.4 Modne teknologier: markedsdemonstrasjonsprosjekt (TRL 9)

Etter at teknologien er utprøvd i kommersielle omgivelser over tid, og potensielt som en del av et større system, kan den ansees som en kommersielt tilgjengelig teknologi og klassifiseres som TRL 9. Dette er det siste nivået på skalaen. Informasjon om teknologien har nå nådd et nivå som gjør risikoen ved bruk akseptabel, slik at teknologien kan konkurrere med eksisterende teknologier. Virkning av et slikt prosjekt handler i mindre grad om teknologisk læring og mer om å påvirke aktører til å ta i bruk teknologien (markedsadopsjon). Pilotprosjektet kan på dette nivået sies å være en markedsdemonstrasjon.

På dette modenhetsnivået er det mindre klart om støtte til et pilotprosjekt er det mest samfunnsøkonomisk effektive virkemiddelet. Det bør her stilles større krav til å identifisere hvilket formål, virkemåte, og markedssvikt eller barriere prosjektet forsøker å overkomme.

Virkninger av et slikt prosjekt kan være

- **Ytterligere forbedringer og tilpasning av teknologien eller produksjonsorganisasjonen** til kundebasens behov, ønsker og ideer. Det kan her vurderes om teknologi produsent skal involveres (hvis det de ikke har nok insentiv til å bidra med dette fra før).
- **Nettverkseksternaliteter.** Dersom markedet for en moden teknologi foreløpig er lite og underutviklet, vil bruk av den i pilotprosjekter gi økt etterspørsel etter infrastruktur som teknologien avhenger av, og påvirke markedsaktører til å investere i disse. Dette påvirker videre lønnsomheten av å investere i teknologien. Denne prosessen kan omtales som en positiv sirkel hvor markedet for teknologien vokser og kostnader reduseres.
- **Å gjøre teknologien observerbar.** Fordi virkningen dreier seg om at flere aktører skal ta i bruk teknologien, bør prosjektet ta sikte på å være observerbar for andre markedsaktører slik at deres oppfattet risiko om bruk av teknologien reduseres. Markedet tenderer til å foretrekke allerede kjente teknologier hvor risiko og usikkerhet er lav, og det krever ofte ressurser for å informere og overbevise markedsaktører om fordelene ved en ny teknologi.
- **Fare for markedsvridning.** Produsent av teknologi som demonstreres kan få store gevinster ved at etterspørsel dreies mot hans produkt på bekostning av andre alternative produsenters teknologi som ikke fikk støtte.

Ettersom hovedvirkningen her egentlig er å stimulere til økt etterspørsel bør ressursbruk til pilotprosjekter som dette settes opp mot andre virkemidler som kan stimulere etterspørselen.

Her kan det være mindre behov for offentlig finansiering av pilotprosjekter fordi markedsaktørene har større insentiv til å bidra med ressurser (e.g. en produsent vil ha interesse av at produktet bevises i praksis) og pilotprosjekt som virkemiddel «konkurrerer» i større grad med andre «market pull»-virkemidler som CO₂ avgift og reguleringer som kan gjøre pilotprosjekter overflødige og samfunnsøkonomisk ineffektive. Krav i kontrakter eller vekting av lavutslippsløsninger i anskaffelsesprosessen kan være aktuelle virkemidler som kan fungere som en form for indirekte CO₂-prising ved at løsninger med høye utslipp disfavoriseres sammenliknet med lavutslippsløsninger.

5 Vurdering av pågående pilotprosjekter

I dette kapittelet knytter vi dokumentasjon fra de pågående prosjektene til våre prinsipielle samfunnsøkonomiske vurderinger knyttet til pilotprosjekter som et virkemiddel for å redusere utslipp (jf. Tabell 1.1). Vi drøfter funn fra pilotprosjektene i lys av deres teknologiske modenhet, med hovedvekt på å diskutere hvilke kostnads- og nyttevirkninger som er relevante, hvilke barrierer og rammebetingelser som knytter seg til teknologiens effektivitet, og hvorvidt anvendelsen av den avhenger av eksterne faktorer som utvikling i priser på CO₂ og strøm.

5.1 Pilotprosjekter knyttet til teknologier av lav modenhet (TRL 5-6)

Pilotprosjekter rettet mot nye teknologier bør innrettes for mest mulig læring om teknologienes funksjonelle evne, og hvorvidt teknologien er pålitelig eller ikke (jf. kap. 4.4). I varierende grad vil teknologiene være et stykke unna markedsintroduksjon, og det knytter seg usikkerhet til hvorvidt teknologien i det hele tatt kan utføre oppgavene som kreves av dem på anleggsplassen. Dette illustreres for eksempel i dokumentasjonen for et av pilotprosjektene i regi av Bane NOR (BN1), som omhandler ombygging av skinnegående vedlikeholdsmaskin knyttet til jernbane (lastetraktor):

“ *Relevante problemstillinger vil være å se på hvorvidt en lastetraktor på ren batteridrift kan løse alle oppgaver som en ordinær lastetraktor utfører.*

Prosjektet sikter på å nøye kartlegge erfaringer med teknologiens rekkevidde, ladehastighet og bruksmønster, herunder hvorvidt maskinen er i stand til å utøve oppgaver med høyt energibehov, for eksempel knyttet til rydding av store snømengder i høy fart. Dette indikerer at pilotprosjektet retter seg mot økt informasjon og kunnskap om den spesifikke teknologien, med mål om å videreføre teknologien. Prosjektet har foreløpig ikke dokumentert resultater, men i dokumentasjonen argumenteres det for hvorfor en slik teknologiutvikling har verdi ved at rundt 30 pst. av utslippene i jernbanesektoren kommer fra vedlikehold, og at erfaringene knyttet til batterienes yteevne i energikrevende situasjoner vil ha høy overføringsverdi til andre sektorer hvor det er behov for elektrifisering av større maskiner og utstyr. Prosjektet peker på at kommunikasjon med andre sektorer vil være en viktig del av prosjektet. Bane NOR har plassert prosjektet i TRL 5.

Prosjektet NV2 om foredling av slam knyttet til tunneldrift er et prosjekt som skal redusere utslipp på grunn av mindre behov for frakt av slam fra tunnelene til godkjente deponier. Potensialet knyttet til reduserte utslipp er derfor begrenset da det retter seg mot en spesifikk anleggsaktivitet, utøvd av et utvalg aktører i tunnelbransjen. Den samfunnsøkonomiske lønnsomheten av prosjektet avhenger dermed i stor grad av kostnadseffektiviteten til løsningen, og hvor mye ressurser som kreves for at løsningen blir konkurransedyktig i markedet. Spredning av kunnskap fra prosjektet til markedet vil ha begrenset effekt, ettersom teknologien er relevant for kun et segment av markedet. Deling av kunnskap om teknologien til relevante aktører i dette segmentet vil derimot være viktig, da disse aktørene kan påvirkes til å bidra med videreutvikling

av teknologien. I dokumentasjonen fra prosjektet påpekes nettopp slik kunnskapsdeling med andre aktører i tunnelbransjen som gir grobunn for at bransjen kan samarbeide om utvikling av teknologien. Prosjektet har kun dokumentert foreløpige resultater, men det oppgis at løsningen er kostnadseffektiv og konkurransedyktig allerede i dag, og teknologien er moden for utrulling i større skala.

Nye Veier har kategorisert prosjektet i TRL 6. I og med teknologien kun er relevant for en liten nisje i markedet, der byggherren i de aller fleste tilfeller er offentlig, vil veien fra TRL 6 til markedsintroduksjon og bruk i dette tilfellet kunne være kort.

5.2 Organisatoriske demonstrasjonsprosjekter

Pilotprosjekter som retter seg mot bruk av teknologier som er vist å være funksjonelle og pålitelige kan omtales som organisatoriske demonstrasjonsprosjekter. Usikkerheten knyttet til teknologien er ikke lenger rettet mot teknologiens yteevne isolert sett, men hvordan den fungerer i samspill med andre teknologier og innsatsfaktorer på anleggsplassen, under kommersielle rammer. Et av pilotprosjektene i porteføljen som går innunder denne kategorien er Bane NOR sitt prosjekt, hvor man tester en batteridrevet elektrisk gravemaskin på Sande omformerstasjon (BN2). I dokumentasjonen omtales teknologien som funksjonelt ferdig utprøvd, men usikkerhet knytter seg til bruken av teknologien på anleggsplassen hva angår nødvendig ladeutstyr, ressurser knyttet til flytting av maskinen og tilgang på strøm. Siden teknologien er mer moden vil det i piloten måtte stilles større krav til konkurransedyktighet overfor alternativt utstyr, og piloten rapporterer for eksempel merkostnader ved bruk sammenlignet med tradisjonelle dieseldrevne gravemaskiner.

Nettverkseffekter

Ved at et organisatorisk demonstrasjonsprosjekt tester ut implementering av funksjonelle teknologier i et større system, burde prosjektet nøye kartlegge hvilke organisatoriske endringer som teknologiens effektivitet avhenger av, og som må tas inn i kostnadsbildet for teknologien. I Bane NOR-prosjektet med bruk av elektrisk gravemaskin avdekkes det en rekke kostnadsdrivende forhold som knytter seg til *bruk* av teknologien, herunder etablering av strømforsyning, logistikk knyttet til flytting av ladere, avhengighet overfor prisutvikling på strøm, samt at teknologien stiller krav til endret bruksmønster hos maskinførere. Prosjektet har dokumentert en rekke resultater og rapporterer at teknologien er langt unna å være kostnadseffektiv sammenlignet med tradisjonelle løsninger, og at teknologien ikke er et tilfredsstillende utslippsfritt alternativ til større og tyngre oppgaver på anleggsplasser. Dette indikerer at samfunnsverdien pilotprosjektet har bidratt med er reduksjon av usikkerhet knyttet til bruken av større elektrisk gravemaskin, og ved å spre denne kunnskapen til resten av markedet vil man kunne avverge ulønnsomme investeringer i slike maskiner, og heller skape insentiv til videre utvikling av teknologien som gjør den egnet også for tyngre og energikrevende oppgaver på lengre sikt.

5.3 Markedsdemonstrasjon

Når en teknologi er grundig utprøvd i en arbeidsprosess i lag med andre innsatsfaktorer og utstyr, og usikkerhet knyttet til bruk av teknologien er redusert til et akseptabelt nivå, bør pilotprosjekter

innrettes for å påvirke aktører til å ta i bruk teknologien. Teknologien kan da klassifiseres som TRL 9, siste nivå på skalaen for teknologisk modenhet.

Prosjekter i denne fasen kan stimuleres gjennom bruk av «market pull» virkemidler (jf. Figur 4.2) for å stimulere etterspørsel etter teknologien. Dersom CO₂-avgiften ikke vurderes som tilstrekkelig til at markedsaktørene selv velger å bruke den, kan transportetatene stille krav gjennom offentlige anskaffelser. For å redusere risikoen for innlåsingeffekter, bør det tilstrebtes å utforme teknologinøytrale krav. Konkrete krav til maksimale utslipp fra anleggsparken eller anleggsprosessen er en mulig tilnærming. Det kan også utformes insentiver i kontraktene der leverandørene belønnes for lave utslipp, eventuelt straffes for høyere utslipp enn fastsatte krav.

Noen av pilotprosjektene satt i gang av transportvirksomhetene i 2022 retter seg nettopp mot modne teknologier, og disse prosjektene bruker kravsetting i kontrakter som virkemiddel for å påvirke leverandørene til å ta i bruk nullutslippsløsninger. For at kravsetting skal være samfunnsøkonomisk lønnsomt, må det tydelig dokumenteres at det ikke er tilstrekkelig incentiv i markedet til å ta i bruk teknologien uten at krav stilles i offentlige kontrakter. Dette poengteres i et av pilotprosjektene til Statens Vegvesen, elektrifisering av steinknusing på E39 Betna-Stormyra (SVV2), hvor SVV har innført elektrisk utstyr som krav, og dekker merkostnader sammenlignet med fossildrevet utstyr. Leverandøren valgte å benytte «merkostnadsdekningen» til å investere i en konkret maskin fra markedet (52 tonn hybrid gravemaskin), og påpeker at store investeringskostnader står i veien for bruk av maskinen i bransjen. Med høye investeringskostnader vil også risikoen for markedsaktørene bli høy, der avkastningen også vil henge sammen med hvilke CO₂-avgifter som realiseres i den generelle klimapolitikken. En teknologi som potensielt vil være konkurransedyktig med en CO₂-avgift på 2000 kroner tonnet, vil ikke realiseres i markedet før aktørene er tilstrekkelig sikre på at denne CO₂-avgiften realiseres i nær framtid. Dette peker på behov for virkemidler for å stimulere etterspørselen etter teknologien for å fremskynde bruk av teknologier som er på markedet, men som ikke er lønnsomme med dagens avgifter.

Det er ikke gitt hvorvidt utslippsreduksjon gjennom bruk av teknologien oppnås mest kostnadseffektivt gjennom kontraktskrav i påvente av en høyere CO₂-pris, eller gjennom støtte til teknologiutvikling tidligere i innovasjonsprosessen. Det er heller ikke gitt hvor store merkostnader transportvirksomhetene bør bære for å stimulere til en tidligere markedsintroduksjon og spredning enn det som forventes å komme dersom CO₂-prisene økes. Fra et samfunnsøkonomisk perspektiv kan positive eksterne effekter i form av læring og bidrag til videre utvikling kunne forsvare høyere merkostnader enn en forventet fremtidig CO₂-pris skulle tilsi. Dersom dagens virkemidler ikke er tilstrekkelige til å nå 2030-målene (dvs. vi er i situasjon (ii), jf. kapittel 4.2), kan merkostnader opp til en CO₂-pris som tilsvarer kostnadene ved billigste alternative utslippsreduksjon i andre sektorer eller i andre deler av anleggsprosessen eller transportsektoren kunne forsvares. I prosjektdokumentasjonen foreligger det ingen resultater som kan gi innsikt i denne type spørsmål. Klimakur gir derimot informasjon om mulige tiltakskostnader i andre sektorer, og kan fungere som et overordnet sammenligningsgrunnlag over hvor store merkostnader transportvirksomhetene bør påta seg å bære for å fremskynde utslippsfrie anleggsmaskiner.

Den hybride gravemaskinen som pilotprosjektet ovenfor retter seg mot er ikke tatt i bruk enda, og vi kjenner derfor ikke effektene fra piloten. Derimot er det annen dokumentasjon fra

prosjektet som kan diskuteres i lys av det samfunnsøkonomiske bakteppet for markedsdemonstrasjoner presentert i kapittel 4.4.4. Prosjektet har formulert følgende effektmål:

“ *Bidra til at bransjen/leverandørene blir mer positive og får økt interesse for å investere i teknologier for elektrifisering av maskinparken*

Denne formuleringen tyder på et mål om å øke kjennskapen og interessen knyttet til de elektriske maskinene som finnes på markedet. For at dette skal være et relevant mål, må det fortsatt eksistere en betydelig risiko knyttet til bruk av teknologien på anleggsplasser som hindrer aktører som foretrekker eksisterende prosesser fra å ta i bruk nye maskiner og utstyr.

Usikkerhet knyttet til forskjellige elektriske maskiner og utstyr som erstattere for fossildrevne maskiner kommer frem i dokumentasjon fra flere av pilotprosjektene i regi av transportvirksomhetene. For at kunnskapseksternaliteter til resten av markedet skal realiseres, og risiko reduseres, må det foreligge konkrete planer for deling av kunnskap og erfaringer. Dette dokumenteres ikke eksplisitt i dokumentasjonen for prosjektet om elektrifisering av steinknusing i regi av SVV.

Gjennom markedsdemonstrasjoner burde pilotprosjekter dokumentere grundig hvilke rammebetingelser som teknologiens effektivitet avhenger av. Slik kunnskap bidrar ytterligere til å redusere risiko. Eksempelvis peker dokumentasjon fra pilotprosjektene rettet mot modne teknologier som startet opp i 2022 at prisforholdet mellom fossilt drivstoff og elektrisk strøm er helt sentralt for kostnadseffektiviteten til de utslippsfrie alternativene. Et godt dokumentert pilotprosjekt knyttet til modne og markedsklare teknologier, burde være i stand til å uttrykke kvantitativt hvordan effektiviteten av de utslippsfrie maskinene avhenger av disse prisene. Dette ville vært relevant informasjon i arbeidet med å fastsette nivået på CO₂-avgiften, og det er også relevant for å kunne stille riktige krav og incentiver i kontraktene. Støtte til pilotprosjekter bør følges av et krav til denne type dokumentasjon og kunnskapsspredning. De aktuelle pilotprosjektene forventes å levere denne type dokumentasjon ved slutføring, men dokumentasjonen er ikke tilgjengelig på nåværende tidspunkt.

Nettverkseffekter og behov for læring og kunnskapsbygging er sentralt

Pilotprosjektene som tar for seg elektrifisering av anleggsplassen gjennom bruk av teknologisk modne maskiner og utstyr peker på kritiske avhengigheter overfor kapasitet og effektbehov, særlig for store maskiner. Dokumentasjon fra flere av prosjektene peker eksplisitt på behov for utvikling av eksisterende batteriteknologi og ladeinfrastruktur for at driften av store elektriske maskiner skal være konkurransedyktig overfor de fossildrevne alternativene. Dette indikerer et potensial for nettverkseksternaliteter knyttet til pilotprosjekter hvor store elektriske maskiner blir tatt i bruk i markedet, ettersom dette kan bidra til å påvirke etterspørselen etter bedre teknologier for batterier og ladeinfrastruktur og utvikle disse markedene. Dette kan videre øke lønnsomheten av å investere i store elektriske maskiner.

Et av pilotprosjektene startet opp i 2022 av Bane NOR (BN2) er et kartleggingsprosjekt av tilgjengelige fossilfrie maskiner og utstyr i Rogaland, og har som mål å senke utslippsnivået i anleggsbransjen i fylket gjennom å knytte leverandører og entreprenører tettere sammen.

Tre av pilotprosjektene (SVV1, NV1, BN2) består av uttesting av elektrifisering på anleggsplassen, mens to av prosjektene ikke har oppgitt om piloten gjennomføres på anleggsplassen (BN3 og

BN5). I evalueringsrapporten pekes det på at pilotprosjektene (foreløpig) i større grad bidrar til å bekrefte kjente utfordringer med teknologien på anleggsplassen, heller enn å fremskaffe ny kunnskap på dette feltet (Lervåg, Thommassen, & Kristensen, 2022). Verdien av prosjekter som bekrefter utfordringer er naturlig nok begrenset. For å fremskynde bruk av teknologiene bør videre pilotering av elektrifisering av anleggsprosesser i større grad rettes mot testing av løsninger som bidrar til faktisk forbedring av arbeidsprosessene. Dette inkluderer også kunnskapsutvikling og erfaringsoppbygging knyttet til bruk av offentlige anskaffelser for å stimulere til bruk av løsningene.

5.4 Pilotene sett i et samfunnsøkonomisk perspektiv

Så langt er det kun NNV2 Slamforedling som oppgir at de har gjennomført en analyse av samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Det framgår at prosjektet vurderes som samfunnsøkonomisk lønnsomt og at dette vil bli dokumentert. Vi antar da at det siktes til effektivitetsgevinster og beregnet verdi av reduserte CO₂-utslipp. I tillegg kommer verdien av ny kunnskap og erfaring som vil kunne gi tilsvarende effektivitetsgevinster og klimagevinster til andre prosjekter, samt kunnskap om kostnader ved alternative løsninger. Kostnadene ved slamforedling vil dermed kunne bli lavere i fremtidige prosjekter, samtidig som risikoen ved å bruke løsningen er redusert.

SVV3 Fossilfri tunnelproduksjon forventes også å rapportere erfaringer knyttet til kostnadseffektivitet i forhold til beregnet CO₂-reduksjon. Dashboard for overvåking av maskiner og utstyr (pilot BN6) forventes å være kostnadseffektiv fra den tas i bruk, fordi den automatiserer og erstatter en manuell (og mer ressurskrevende) prosess for oppfølging av miljøkrav (Lervåg, Thommassen, & Kristensen, 2022). Dashbordløsningen framstår som et effektiviseringsstiltak som kanskje kunne vært innført og løst uten økonomisk støtte. Vi stiller spørsmål til om piloten er begrunnet i markedssvikt. Etter våre vurderinger bør en påvist markedssvikt være et krav for offentlig støtte til pilotprosjekter.

De øvrige pilotene synes å kunne begrunnes med markedssvikt, selv om det kan stilles spørsmål ved om samtlige uttestinger av elektrifisering av anleggsprosesser egentlig retter seg mot kunnskapsmangel eller nettverkseffekter. Støtte til piloter som kun bekrefter eksisterende kunnskap, vil naturlig nok ha en begrenset verdi utover den finansielle støtten til mottakeren. Utfordringene ved elektrifisering i anleggsarbeid er godt kjent, og fremstår derfor ikke som den vesentligste barrieren. Kunnskap om hvordan det kan tilrettelegges for en større grad av elektrifisering på anleggsplasser i transportsektoren, samt kunnskap om kostnader for å etablere nødvendig infrastruktur, framstår som en større mangel enn kunnskap om og tilgang til utslippsfrie maskiner. Unntaket er kanskje større maskiner som er egnet for svært energikrevende oppgaver der markedstilgangen er på elektriske maskiner er mindre.

Kostnad for ladeinfrastruktur framstår som en avgjørende barriere for elektrifisering av anleggsprosessen. Det er neppe kostnadseffektivt å prioritere områder der kostnadene til nødvendig infrastruktur er svært høye. Læring og erfaring bør bygges der kostnadene er lavere, og overføringsverdien til andre prosjekter er stor. Så lenge tilstrekkelig nettkapasitet og ladeinfrastruktur er den avgjørende barrieren, bør virkemidlene rettes mot løsninger tilpasset transportsektorens anleggsplasser.

Referanser

- Bossink, B. A. (2015). Demonstration projects for diffusion of clean technological innovation: a review. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 1409-1427.
- Finansdepartementet . (2021). *Rundskriv R-109/21 Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser*.
- Finansdepartementet. (2022, 12 22). *Karbonprisbaner for bruk i samfunnsøkonomiske analyser*. Retrieved from Regjeringen.no: <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/statlig-okonomistyring/karbonprisbaner-for-bruk-i-samfunnsokonomiske-analyser/id2878113/>
- Finansdepartementet. (2022-2023). *Meld. St. 1. Nasjonalbudsjettet 2023*.
- Golombek, R., Greaker, M., Kverndokk, S., & Ma, L. (2021). The Transition to Carbon Capture and Storage Technologies. *CESifo Working Paper*, 9047.
- Hoel, M. (2020). The rise and fall of bioenergy. *Journal of Environmental Economics and Management*, 101. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jeem.2020.102314>
- Hydrogen24. (2022, Mai 9). *Anglo American: Verdens største hydrogendrevne anleggsmaskin*. Retrieved from <https://hydrogen24.no/2022/05/09/verdens-storste-anleggsmaskin-pa-hydrogen/>
- Jernbanedirektoratet, Kystverket, Avinor, Nye Veier og Statnes vegvesen. (2018). *Muligheter og barrierer for fossilfrie anleggsplasser i transportsektoren Kunnskapsgrunnlag til Samferdselsdepartementets handlingsplan og grunnlag for Nasjonal transportplan 2022–2033*.
- Klima- og miljødepartementet. (2021, 10 22). *Klimaendringer og norsk klimapolitikk*. Retrieved from Klima og miljø: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>
- Lervåg, L.-E., Thommassen, M. K., & Kristensen, T. (2022). *Fossilfrie anleggsplasser. Etablering av felles evalueringsmetodikk og evaluering av pilotprosjekter*. Sintef. Rapport 2022:01397.
- Miljødirektoratet. (2022). *Miljømål 5.2 Norge har under Parisavtalen tatt på seg en forpliktelse til å redusere utslippene av klimagasser med minst 50 prosent og opp mot 55 prosent i 2030 sammenlignet med nivået i 1990*. Retrieved from Miljøstatus: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/klima/miljomal-5.2>
- Miljødirektoratet m.fl. (2020). *Klimakur 2030. Tiltak og virkemidler mot 2030*. Miljødirektoratet M-1625 - 2020.
- Rennert, K., & m.fl. (2022, oktober 27). Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO₂. *Nature*. Vol 610, pp. 687-692.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations*. New York: Free Press.

- Russel, S., Markusson, N., & Scott, V. (2012). What will CCS demonstrations demonstrate. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 651-668.
- Samferdselsdepartementet. (2018). *Nasjonal transportplan 2022-2033. Utredningsrapport 4. desember 2018.*
- Samferdselsdepartementet. (2021). *Nasjonal transportplan – NTP 2022-2033.*
- Samferdselsdepartementet. (2022 a, 03 30). *12 prosjekter skal teste ut løsninger for fossilfrie anleggsplasser.* Retrieved from Regjeringen.no: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/12-prosjekter-skal-teste-ut-losninger-for-fossilfrie-anleggsplasser/id2905959/>
- Samferdselsdepartementet. (2022 b). *Nasjonal transportplan 2025–2036. Utredningsoppdrag. 6.september 2022.*
- Vista Analyse. (2020). *Kalkulasjonspris for CO2 og utlipp av CO2 i transportmodellene.* Vista Analyse rapport 2020/03. Av Michael Hoel, Audun Moss og Haakon Vennemo.
- Vista Analyse. (2022). *Teknologiutvikling for energiomstilling.* . Vista Analyse rapport 2022/47. Av Dag Morten Dalen og Steinar Strøm.



Vista Analyse AS
Meltzers gate 4
0257 Oslo

post@vista-analyse.no
vista-analyse.no