

Marianne Kjendseth Wiik • Kristin Fjellheim
Eli Sandberg • Rebecca Thorne • Daniel Ruben Pinchasik
Ingrid Sundvor • Eivind Lekve Bjelle • Reidar Gjersvik

Utslippsfri byggeprosess i Oslo

KONSEKVENsutREDNING



SINTEF Fag

Marianne Kjendseth Wiik, Kristin Fjellheim, Eli Sandberg, Rebecca Thorne, Daniel Ruben Pinchasik, Ingrid Sundvor, Eivind Lekve Bjelle og Reidar Gjersvik

Utslippsfri byggeprosess i Oslo

Konsekvensutredning

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 89

Marianne Kjendseth Wiik¹, Kristin Fjellheim¹, Eli Sandberg¹, Rebecca Thorne², Daniel Ruben Pinchasik², Ingrid Sundvor², Eivind Lekve Bjelle¹ og Reidar Gjersvik¹

¹) SINTEF Community, www.sintef.no/community

²) TØI – Transportøkonomisk institutt, www.toi.no

Utslippsfri byggeprosess i Oslo – Konsekvensutredning

Emneord:

utslippsfri byggeprosess, utslippsfri bygg- og anleggsplass, elektriske anleggsmaskiner, elektriske lastebiler, utviklingsscenarioer, energiforsyning, energi- og effektmodellering, kostnadsanalyser, merknader

ISSN 1894-1583

ISBN 978-82-536-1751-0 (pdf)

Prosjektnummer: 102026281-2

Foto omslag: Klimaetaten i Oslo kommune

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2022

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Community

Børrestuveien 3

Postboks 124 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 40 00 51 00

www.sintef.no/community

www.sintefbok.no

Forord

Oslo kommune ved Klimaetaten har engasjert SINTEF og TØI for å gjennomføre en konsekvensutredning av utslippsfri byggeprosess i Oslo. Oslo kommune har som mål at bygge- og anleggsvirksomheten i Oslo skal være utslippsfri i 2030. I denne rapporten har vi undersøkt konsekvenser av en gradvis overgang til utslippsfri gjennomføring av byggeprosesser i Oslo. Rapporten ser på energibruk og energiforsyning på og til/fra byggeplass, kostnadsanalyser, markedsanalyser og vurderer forskjellige utviklingsscenarier. Vi har utredet i hvilken grad utslippsfrie anleggsmaskiner og kjøretøyer er allment tilgjengelig i det lokale markedet i og rundt Oslo, herunder om bruk av slikt utstyr medfører vesentlig ulempe eller merkostnader for utbygger og hvordan dette forventes å utvikle seg fram mot 2030. For å identifisere hvordan Oslo kommune kan legge til rette for ønsket utvikling med effektive virkemidler har vi etablert framtidsscenarioer for utviklingen av utslippsfrie løsninger for bygge- og anleggsplasser fram mot 2025 og 2030.

Oslo, mai 2022

Reidar Gjersvik
Forskningsleder
SINTEF Community

Kristin Fjellheim
Prosjektleder
SINTEF Community

Sammendrag

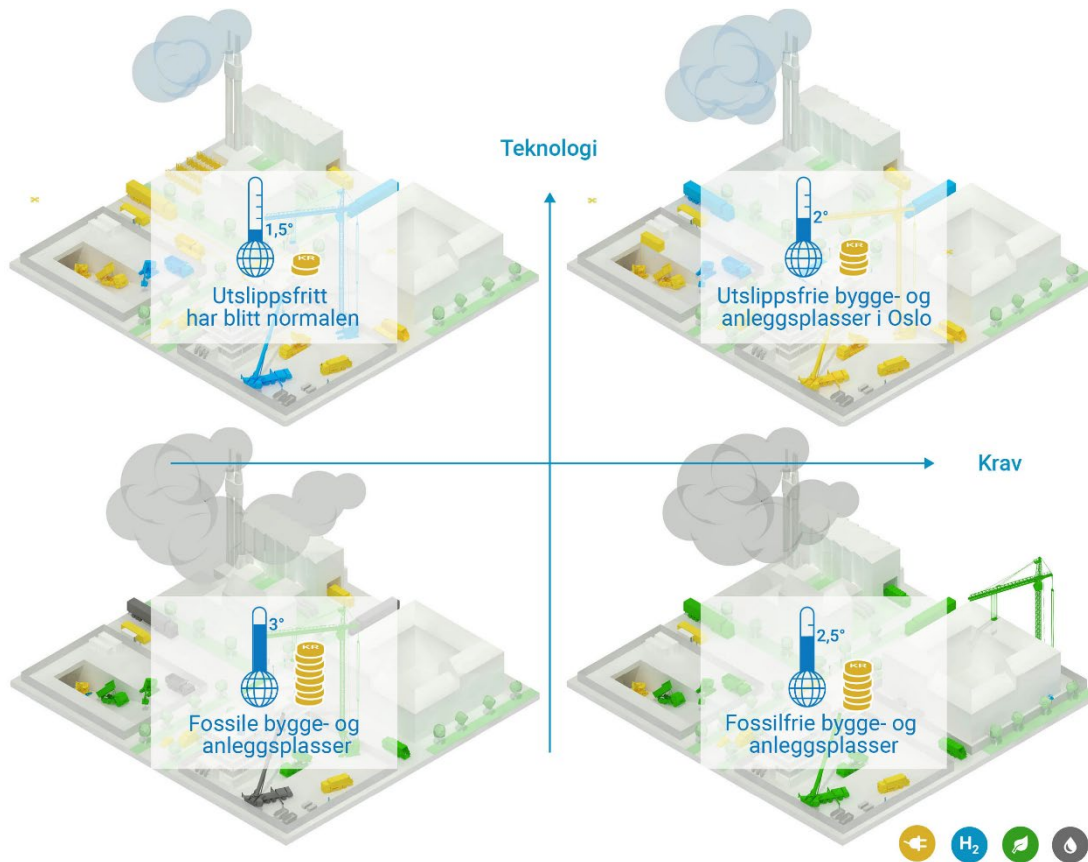
Oslo kommune har som mål at bygge- og anleggsvirksomheten i Oslo skal være utslippsfri i 2030. Fra 2025 skal bygge- og anleggsarbeider på oppdrag for Oslo kommune gjennomføres utslippsfritt. Denne konsekvensutredningen baserer seg på en kvantitativ analyse av energi- og effektbehov, merkostnader og oversikt over verdiskaping og sysselsetting. I tillegg har vi anvendt kvalitativ metode for å beskrive markedsutsiktene. Målsettingen har vært å belyse endringer i energi- og effektbruk, kostnader og andre konsekvenser som følge av overgangen til utslippsfrie byggeprosesser i Oslo, samt å utvikle framtidsscenarioer fram mot 2025 og 2030.

Analysene knyttet til energi- og effektforbruk baserer seg på energibruksdata fra noen av de aller første utslippsfrie bygge- og anleggsplassene i Oslo. Når det gjelder utvalget av bygge- og anleggsprosjekter, har vi sett på hvordan denne energi- og effektbruken fordeler seg mellom ulike arbeidsprosesser og mellom ulike anleggsmaskiner og transport. Dette er gjennomført for to tenkte scenarioer – en fullelektrisk byggeplass og en fullelektrisk anleggsplass. Resultatene viser at den mest energikrevende byggefasen er grunnarbeid, etterfulgt av råbygg og riving. Energibruk av anleggsmaskiner er innenfor tilgjengelig effekt, og ved noen justeringer av ladepauser og type teknologi (batteri, kabel eller kabelbatteri) er effektproblemstillingen for anleggsmaskinene løst etter våre beregninger. Dette blir mer utfordrende hvis man også skal ha nok tilgjengelig effekt for transportlading ettersom det per i dag ikke foregår lading av ekstern transport på bygge- og anleggsplasser, og det er lite utbygde muligheter for annen lading av tungtransport. Videre er det gjennomført scenarioanalyse for tre alternativer: et referansescenario, et middels scenario og et optimert scenario. Resultatene er brukt til å lage en framskrivning av energibehovet for utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo kommune fram mot 2030 for to ulike referansebaner med rask og sakte implementering. Resultatene viser at framtidig energibehov for utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo kommune er i størrelsesorden 77–97 GWh. I dag er det kun en liten andel av bygge- og anleggsplassene i Oslo som benytter elektrisitet, noe som vil si at dette kan tilsvare en økning på 77–97 GWh i energibehovet fra i dag og fram mot 2030.

For kostnadsanalysene er det utarbeidet levetidskostnader for en liten (8–16 tonn), medium (16–23 tonn) og stor (> 23 tonn) gravemaskin, og for en tippbil med maks tillatt totalvekt på 27 tonn med og uten henger. De minste anleggsmaskinene (under 8 tonn) er ikke omfattet av denne kostnadsanalysen. Disse maskinene antas å stå for en mindre andel av klimagassutslippene og er i større grad allerede tilgjengelige i markedet med tilnærmet konkurransedyktige levetidskostnader. Vi har sammenliknet kostnader over levetiden for diesel, HVO og et elektrisk alternativ. Analysene viser at investeringen for det elektriske alternativet har høyere initiale investeringskostnader, men lavere driftskostnader over levetiden. Avhengig av energiprisene kan de lavere driftskostnadene føre til at det elektriske alternativet er konkurransedyktig på pris over en analyseperiode på fem til seks år. Basert på levetidskostnadene og energiberegningene er det gjort en vurdering av hva merkostnadene for en bygge- og anleggsplass kan være i 2022, 2025 og 2030. Resultatene viser at det trolig vil være merkostnader ved en overgang til utslippsfri bygge- og anleggsplass i en periode framover, men at mot 2030 kan det i noen tilfeller gå i null eller faktisk ha reduserte kostnader.

Vi har vært i dialog med markedsaktører i form av intervjuer, arbeidsverksted og spørreskjema. De aktørene som er mest positive, tror at Oslo kommune når sine mål innen 2025 og 2030, med noen få unntak. Det er få som tror at det vil være mulig å nå målet om 100 % utslippsfritt i 2030 da det fortsatt er mange typer anleggsmaskiner som ikke har begynt overgangen til utslippsfritt. Mindre anleggsmaskiner (under 8 tonn) er satt i serieproduksjon av flere store produsenter, men for de større maskinene (over 8 tonn) foregår spesialproduksjon i mindre volumer. Som regel tar det to til tre år fra en maskin blir introdusert til den er kommersielt tilgjengelig. Mange modeller vil derfor ikke være klare for salg i 2025. Flere tror det er innenfor rekkevidde at nesten hele markedsandelen (nye investeringer) i Oslo er utslippsfritt i 2030. Aktørene forventer at det også i 2030 vil være behov for å bruke dieselbaserte maskiner og kjøretøyer, men da med bruk av bærekraftig biodrivstoff (HVO100). Markedsdialogen viste også at det er bred enighet om at omstillingen til utslippsfri bygge- og anleggsplass krever nettutbygging, både for fjernvarme og elektrisitet, og at det må etableres infrastruktur for lading av tungtransport.

Basert på energi- og effektanalysene, kostnadsanalysene og markedsdialogen tegnes det fire mulige framtidssbilder for utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo i 2030. Driverne *teknologiutvikling* og *strenge/gode krav fra Oslo kommune* utgjør bakteppet for disse fire scenarioene. Vi vurderer ikke virkemidler for å nå de ulike framtidssbildene, men beskriver viktige drivkrefter som påvirker utviklingen.



I scenarioet "Utslippsfritt har blitt normalen" er det tilgjengelig energi og løsninger for utslippsfrie bygge- og anleggsplasser både nasjonalt og internasjonalt. Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser har hatt høy prioritet både lokalt og på EU-nivå, og markedet har derfor blitt sparket i gang. Med globalt tilbud og etterspørsel etter utslippsfrie løsninger og teknologier på plass, blir kostnadene og utslippene lavere. I scenarioet "Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo" klarer Oslo kommune å stille gode og strenge krav til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser, selv om resten av landet og EU henger litt etter. Dette oppnås fordi det internasjonale markedet har snudd og beveger seg i samme retning. Grunnet importavhengigheten og Norge som liten aktør på verdensmarkedet vil utviklingen i Oslo avhenge av utviklingen i det globale markedet. I scenarioet "Fossilfrie bygge- og anleggsplasser" henger resten av landet og EU så langt etter at heller ikke Oslo greier å nå målet om utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i 2030. På grunn av manglende tilgjengelig teknologi og energitilgang gis det unntak fra kravene, og de store bygge- og anleggsprosjektene er i praksis fossilfrie, og til en høy kostnad. I scenarioet "Fossile bygge- og anleggsplasser" henger Norge og resten av verden så langt bak i det grønne skiftet at segmentene med høyest utslipp gis høyest prioritet. Dette er framtidssbildet med de høyeste merkostnadene knyttet til utslippsfrie løsninger og høyeste utslipp.

Utviklingen mot utslippsfrie bygge- og anleggsplasser er avhengig av teknologiutviklingen, som påvirkes av etterspørsel. Norge er importavhengige når det gjelder anleggsmaskiner, inkludert utstyr og deler til disse, og tilgjengeligheten av utslippsfrie anleggsmaskiner avhenger av at det fins en global etterspørsel etter disse løsningene. Dersom det kun etterspørres utslippsfrie anleggsmaskiner, vil Norge fortsette å bygge om fossildrevne anleggsmaskiner. Serieproduksjon settes først i gang når det er et større marked for det. I intervjuene argumenteres det på samme måte for utbygging av infrastruktur for energitilgang – at det kommer med økt utbredelse og tilgang på utslippsfrie teknologier. Løsninger for gravemaskiner har kommet langt, mens det fremdeles fins få løsninger for tungtransport, dumpere og

hullastere. For tungtransport vil virkemidler som veibruksavgift og bompenger bidra til rask markedsintroduksjon når utslippsfrie alternativer blir tilgjengelig. Liknende økonomiske insentiver fins ikke for anleggsmaskiner, hverken i Norge eller i EU. Det bidrar til økt usikkerhet om markedsutsiktene for utslippsfrie maskiner. For begge kategoriene trengs det videre utvikling av batteriteknologi for å få økt tilgang og lavere enhetskostnader.

Innhold

FORORD	3
SAMMENDRAG	4
INNLEDNING	8
BAKGRUNN	8
METODE	11
ENERGIBRUK OG ENERGIFORSYNING PÅ BYGGEPLASS	12
ERFARINGSKARTLEGGING	12
ENERGIMODELLERING.....	13
FRAMSKRIVING	25
KOSTNADSANALYSER	27
LIVSLØPSKOSTNADER (LCC)	27
KOSTNADSANALYSER TRANSPORT.....	28
<i>Resultater for kostnadsanalyse av transport</i>	31
KOSTNADSANALYSER FOR ANLEGGSMASKINER	34
<i>Resultater for kostnadsanalyse av anleggsmaskiner</i>	35
SENSITIVITETSANALYSE AV ENERGIPRISER	37
MERKOSTNADER FOR BYGGE- OG ANLEGGSPLASSE	39
MARKEDSANALYSER	45
INNSPILL FRA MARKEDSDIALOGEN.....	45
UTVIKLINGSSCENARIOER	46
UTSLIPPSFRITT HAR BLITT NORMALEN	48
UTSLIPPSFRIE BYGGE- OG ANLEGGSPLASSE I OSLO	49
FOSSILFRIE BYGGE- OG ANLEGGSPLASSE	50
FOSSILE BYGGE- OG ANLEGGSPLASSE	52
KONKLUSJON	53
REFERANSER	57
VEDLEGG A: INTERVJUGUIDE	59
VEDLEGG B: SPØRREUNDERSØKELSE OM UTSLIPPSFRIE BYGGE- OG ANLEGGSPLASSE I OSLO	61

Innledning

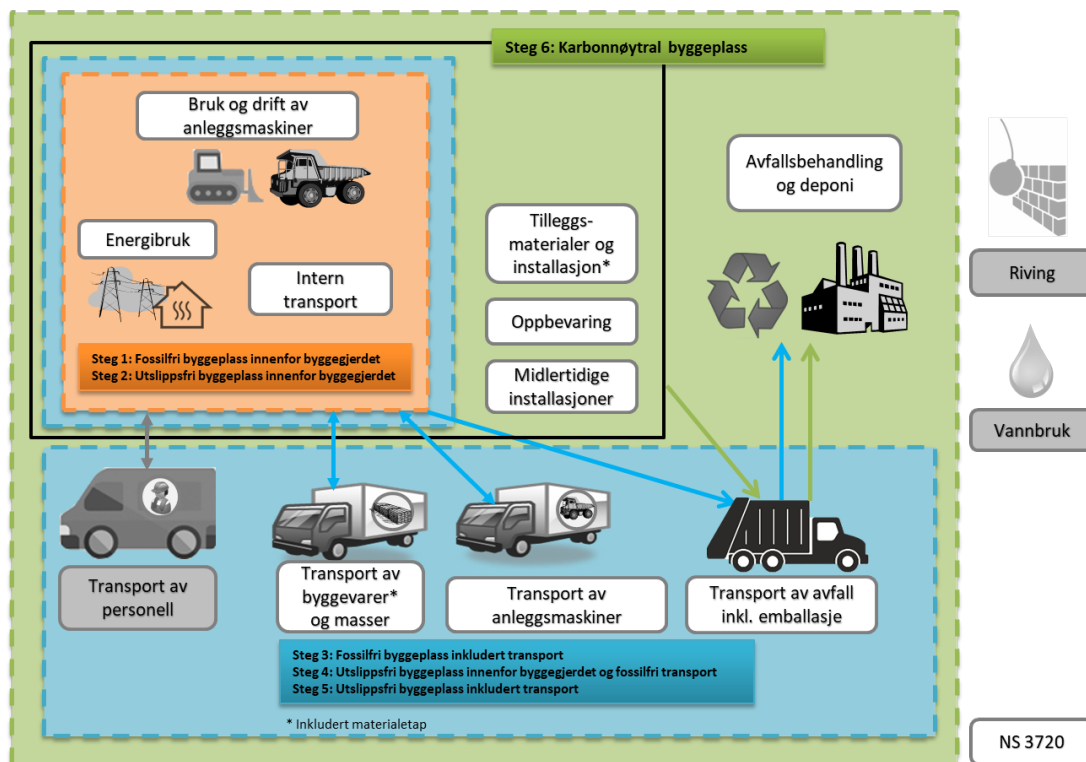
Oslo kommune har som mål at bygge- og anleggsvirksomheten i Oslo skal være utslippsfri i 2030 (1). Fra 2025 skal bygge- og anleggsarbeider på oppdrag for Oslo kommune gjennomføres utslippsfritt. Denne konsekvensutredningen er satt i gang for å undersøke konsekvenser av en gradvis overgang til utslippsfri gjennomføring av byggeprosesser i Oslo. Det skal utredes i hvilken grad utslippsfrie anleggsmaskiner og kjøretøyer er allment tilgjengelig i det lokale markedet i og rundt Oslo, herunder om bruk av slikt utstyr medfører vesentlig ulempe eller merkostnader for utbygger og hvordan dette forventes å utvikle seg fram mot 2030. Oslo kommune ved Klimaetaten har engasjert SINTEF Community og TØI til å utarbeide konsekvensutredningen.

Målsettingen er å etablere framtidsscenarioer for utviklingen av utslippsfrie løsninger for bygge- og anleggsplasser fram mot 2025 og 2030 – dette for å identifisere hvordan Oslo kommune kan legge til rette for ønsket utvikling med effektive virkemidler. Rapporten vil se på energibruk og energiforsyning på og til/fra byggeplass, kostnadsanalyser, markedsanalyser og vurdere de forskjellige scenarioene.

Bakgrunn

Rapporten bygger videre på en tidligere rapport, *Erfaringskartlegging av krav til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser* (2), hvor hovedtemaene var strømforsyning, utslippsfrie anleggsmaskiner og lastebiler, ladelogistikk samt erfaringer og barrierer knyttet til dette. Resultatene viser at utviklingen mot utslippsfrie bygge- og anleggsplasser går i et høyt tempo selv om det gjenstår noen barrierer og utfordringer. Gjennom standard klima- og miljøkrav til kommunens bygge- og anleggsplasser har Oslo siden oktober 2019 premiert leverandører som kan tilby utslippsfrie anleggsmaskiner og utslippsfri transport (3). Etter dette har det vært en rask utvikling og en økende andel utslippsfrie anleggsmaskiner i markedet. I 2021 gjennomføres flere titalls bygge- og anleggsprosjekter for Oslo kommune med bruk av utslippsfrie maskiner og kjøretøyer. Byrådet har tidligere varslet at det etter hvert er ønskelig å innføre krav til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser.

Definisjonen av en utslippsfri byggeplass innebærer bruk av utslippsfrie løsninger (for eksempel elektrisitet, fjernvarme eller hydrogen) til byggeaktiviteter innenfor systemgrensen, mens en fossilfri byggeplass innebærer bruk av fossilfrie løsninger (for eksempel HVO biodiesel, bioetanol eller fjernvarme) til byggeaktiviteter innenfor systemgrensen. Oslo kommune bruker en definisjon for utslippsfrie byggeplasser som både omfatter utslippsfrie løsninger og biogassbaserte løsninger. Systemgrensen defineres etter hvilke byggeaktiviteter som inkluderes (4). Figur 1 gir en oversikt over byggeaktiviteter som kan inkluderes, for eksempel bruk av anleggsmaskiner, internt transport, energibruk samt person-, masse-, vare- og avfallstransport til og fra byggeplassen. Figur 1 viser hvilke byggeaktiviteter som er inkludert (hvit boks) og ikke inkludert (grå boks) i norsk standard NS 3720 *Metode for klimagassberegninger for bygg* i livssyklusmodulene A4 transport til byggeplass og A5 installasjon for byggefase. Den oransje systemgrensen tilsvarer steg 1 (fossilfri byggeplass innenfor byggegjerdet) og steg 2 (utslippsfri byggeplass innenfor byggegjerdet) og inkluderer alle byggeaktivitetene innenfor byggegjerdet som bruk og drift av anleggsmaskiner, energibruk og intern transport. Den blå systemgrensen tilsvarer steg 3 til 5 (fossilfri til utslippsfri byggeplass inkludert transport) og inkluderer både aktivitetene innenfor byggegjerdet og person-, byggevarer-, masse-, anleggsmaskin- og avfallstransport til og fra byggeplassen. Den grønne systemgrensen inkluderer alle byggeaktivitetene etter NS 3720 pluss persontransport og tilsvarer steg 6: en fullstendig utslippsfri byggeplass. Riving og vannbruk er ikke inkludert i systemgrensen i henhold til NS 3720, men vi har inkludert riving i denne utredningen siden det utgjør en vesentlig del av energi- og effektbehov på elektriske bygge- og anleggsplasser. Det er mye diskutert om fjernvarme skal klassifiseres som en fossilfri eller utslippsfri energibærer siden det er avhengig av hvilke energikilder som brukes i produksjon av fjernvarme. I Oslo-området inkluderer fjernvarme en andel fossil gass (1 %) og bioenergi (14 %) (5). Det samme kan også argumenteres for de indirekte utslippene knyttet til elektrisitet og hydrogen. For elektrisitet er ca. 99 % av all produksjon fornybar, mens på marginen kan vi importere elektrisitet fra ikke-fornybare energikilder. For hydrogen er man avhengig av om det er grønt (fra elektrolyse med elektrisitet fra fornybare energikilder), blå (fra ikke-fornybare energikilder som naturgassreforming med karbonfangst og lagring (CCS) eller grå hydrogen (som fra naturgassreforming uten CCS).



Figur 1

Illustrasjonen viser systemgrensene for alle byggeaktivitetene som skjer i byggefasen med en stegvis tilnærming (2).

I denne utredningen undersøker vi konsekvensene av en gradvis overgang til utslippsfri gjennomføring av byggeprosesser i Oslo. Det skal utredes i hvilken grad utslippsfrie anleggsmaskiner og kjøretøyer er allment tilgjengelig i det lokale markedet i og rundt Oslo, herunder om bruk av slikt utstyr medfører vesentlig ulempe eller merkostnader for utbygger, og hvordan dette forventes å utvikle seg fram mot 2030. Utredningen ser på konsekvensene for næringsaktørene av en gradvis økende andel utslippsfri energibruk i byggefasen i takt med kostnads- og markedsutvikling fram mot 100 % utslippsfri anleggsvirksomhet i 2030. Utredningen inkluderer en vurdering av hvordan dette vil påvirke utenlandske aktører sammenliknet med norske aktører. Norge og Oslo utgjør en liten andel av det globale markedet for anleggsmaskiner og tilhørende utstyr, og det aller meste importeres fra andre land. Omstillingstakt og kostnadsutvikling for utslippsfrie byggeprosesser er derfor avhengig av at andre land også kommer på banen og etterspør utslippsfrie løsninger. Vurderingen skiller tydelig mellom utslippsfrie anleggsmaskiner på byggeplassen (Figur 1, steg 2) og vurderinger knyttet til utslippsfri transport til og fra bygge- og anleggsplassen (Figur 1, steg 5). Dette er viktig ettersom det vil være ulik teknisk utvikling på disse områdene, og det vil sann sett kunne tenkes at det går an å innføre krav til det ene uten å stille krav til det andre.

Maskingrossisternes Forening (MGF) opplyser at det ved utgangen av 2021 er over hundre større elektriske gravemaskiner (over 8 tonn) i Norge. Det er estimert at det i 2022 skal komme ca. 250 nye større elektriske gravemaskiner med egenvekt på over 8 tonn på det norske markedet. Det gjør at utslippsfrie maskiner oppnår en markedsandel på om lag 15 % av alle nye anleggsmaskiner i dette segmentet i Norge i 2022. Dette er en viktig parameter å måle fordi 40 % av alle mellomstore og store anleggsmaskiner er gravemaskiner. For de batterielektriske gravemaskinene over 8 tonn er investeringskostnadene typisk tre ganger høyere enn tilsvarende dieseldrevne anleggsmaskiner, og leveringstiden er på ca. 6–12 måneder. For mindre anleggsmaskiner under 8 tonn er merkostnadene lavere, og markedet ser annerledes ut, men disse er ikke analysert i denne rapporten. Per i dag er etterspørselen høyere enn produksjonskapasiteten. Når det gjelder maskinprodusenter, ser vi at teknologiske utfordringer er løst på forskjellige måter. Én maskinprodusent skal gjøre om produksjonslinjene sine til elektriske, mens en annen bygger om dieselmaskiner til elektrisk drift. Noen velger utskiftbare batteriløsninger, mens andre satser på kabel. De fleste har begynt med de aller minste anleggsmaskinene (under 8 tonn) mens andre

har begynt å elektrifisere små (8–16 tonn), medium (16–23 tonn) og store (over 23 tonn) anleggsmaskiner. Nye aktører kommer på markedet med forskjellige mobile, midlertidige batteri-konteinerløsninger, energisporingsverktøy og effektkalkulatorer. I tillegg kommer Standard Norge med ny standard (prNS 3770) om utslippsfrie bygge- og anleggsplasser (6).

Når det gjelder transport, har elektrifiseringen kommet lengst for personbiler. Alle varebilmodeller fra de fleste store produsentene er nå tilgjengelig i batterielektriske versjoner, og de fleste små og mellomstore varebiler kan brukes med tilhenger. Bortsett fra de største varebilene er rekkevidde opp mot 200 km tilgjengelig også vinterstid. For vanlig lading og hurtiglading kan den samme etablerte teknologien brukes som for personbiler. Også for bybusser har det skjedd en omfattende teknologisk utvikling de siste årene, med god tilgjengelighet på forskjellige batterielektriske løsninger. Teknisk sett er det få utfordringer knyttet til elektrifisering av busser, men rutetilpasning kan være nødvendig for å få til tilstrekkelig lading – spesielt om vinteren, hvor oppvarming krever mye energi. Andre buss-segmenter ligger noe etter på grunn av mer utfordrende bruksmønstre, men også her skjer det en rask utvikling.

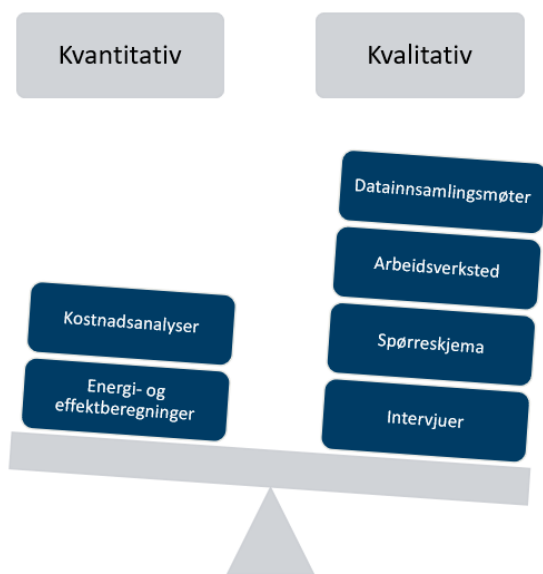
For lastebiler har det de siste årene skjedd en utvikling fra batterielektriske lastebiler som ble konvertert fra dieselskjøretøy (enkeltvis eller i småskalaproduksjon), til småskala serieproduksjon av dedikerte batterielektriske lastebiler. I Norge kom de første serieproduserte batterielektriske, tyngre nyttekjøretøyene på veien fra sommeren 2020, og i dag er (småskala) serieproduserte batterielektriske lastebiler og trekkvogner tilgjengelig fra en rekke større produsenter og i alle størrelsesklasser fra under 16 tonn og opp til 44 tonn. På norske veier brukes slike kjøretøyer i hovedsak til avfallshåndtering, lokal/regional distribusjonstransport, i tillegg til anleggstransport. For anleggstransport har flere av de batterielektriske bilene som er tatt i bruk i Norge, vært basert på et chassis for distribusjonsbiler (og har derfor svingbar bakaksel). Fra produsentene lanseres det nye modeller, generasjoner og størrelsesklasser av kjøretøy. Serieproduserte langtransportbiler med større batterier er under utvikling og forventes å være tilgjengelig i løpet av 2–3 år.

EU-kommisjonen har etablert en samarbeidsarena for bruk av offentlig innkjøpsmakt som strategisk virkemiddel for klimaomstilling: "EU Big Buyers for Climate and Environment" (7). Utslippsfrie byggeplasser er et av innsatsområdene, og arbeidsgruppa for dette temaet ledes av Oslo kommune. På denne arenaen rapporterte Nederland at de opplever ca. 5 % økning i kostnader for grønn anskaffelse, mens København opplever ca. 2 % økning i energikostnader når man bytter fra diesel til strøm. C40cities (8) er et nettverk bestående av 97 av verdens største byer som tar klimaansvar og ønsker å vise hvordan byene kan bidra til lav- og nullutslippsløsninger. Oslo har fått status som innovatørby i C40 fordi byen har vist tydelig lederskap på miljø- og klimaområdet. I dette nettverket leder Oslo "C40 Clean Construction Programme" (9), der 40 storbyer fra alle kontinenter deltar for å fremme klimavennlig materialbruk og utslippsfri bygge- og anleggsvirksomhet.

Metode

I denne rapporten har vi benyttet både kvantitative og kvalitative metoder (se Figur 2). Vi har gjennomført intervjuer, én spørreundersøkelse og arrangert ett arbeidsverksted.

Det er gjennomført 10 semistrukturerte intervjuer med informanter fra ulike deler av verdikjeden, hvor anleggsmaskiner, energitilgang, byggtørk og oppvarming og transport er representert. Informantene ble valgt ut gjennom tidligere prosjekter og arbeider innenfor temaet utslippsfri bygge- og anleggsplass. De fikk tilsendt intervjuguiden (Vedlegg A) noen dager før intervjuet, med informasjon om hvilke av spørsmålene vi kom til å legge vekt på. Intervjuene foregikk på Microsoft Teams, og hvert intervju varte omtrent én time. Det var to forskere med på hvert intervju: Én ledet intervjuet og én tok hovedsakelig notater. Intervjuene ble strukturert og analysert gjennom verktøyet NVivo. Informantene ble tilsendt notatene fra intervjuet i etterkant, med mulighet til å korrigere.



Figur 2
Oversikt over kvantitativ og kvalitativ analyse

forskjellige utviklinger på bygge- og anleggsplasser fram mot 2030. For energi- og effektberegninger er det utviklet et referansescenario, et middelsscenario og et optimalscenario som vurderer forskjellige ladesykluser. For kostnadsanalysene er det utviklet et referansescenario, et pessimistisk scenario og et optimistisk scenario som vurderer effekten av varierende energipriser (både for elektrisitet, fossilt drivstoff og biodrivstoff). Til slutt settes disse sammen med markedsanalysen for å etablere fire utviklingsscenarier. Ytterligere beskrivelse av antakelsene bak scenarioene fins i hvert enkelt kapittel.

Det ble sendt ut en spørreundersøkelse (Vedlegg B) til et større antall personer, og det kom inn 11 svar i løpet av en uke. Det var 23 deltakere på arbeidsverkstedet. I arbeidsverkstedet ble det diskutert drivkrefter og potensielle scenarioer for utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo i 2030. Til dette benyttet vi verktøyet Miro. Intervjuene, spørreundersøkelsen og arbeidsverkstedet utgjorde grunnlaget for utviklingen av scenarioene. Videre ble det gjennomført møter med prosjekter i Oslo kommune, og dette utgjorde grunnlaget for utvikling av for eksempel bygge- og anleggsplassene. For energi-, effekt-, og kostnadsberegningene er det gjennomført kvantitative analyser. Metoden for disse beregningene er beskrevet i detalj under hvert kapittel.

I denne konsekvensutredningen beskrives konsekvensene gjennom evaluering av ulike scenarioer. Det er utviklet scenarioer for energi og effektbruk på bygge- og anleggsplass, for energikostnader og for

Energibruk og energiforsyning på byggeplass

Dette kapitlet er delt inn i tre delkapitler om erfaringskartlegging, energimodellering og framskriving.

Erfaringskartlegging

En tidligere SINTEF-rapport om erfaringskartlegging av krav til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser viser at av 35 bygge- og anleggsprosjekter i Oslo kommune er det 77 % som har beregnet grad av utslippsfrie anleggsmaskiner og 43 % som har beregnet grad av utslippsfri massetransport (2). Rapporten viser at de fleste av prosjektene har begynt med elektrifisering av anleggsmaskinene, og 13 av dem oppnår også til en viss grad både utslippsfrie anleggsmaskiner og utslippsfri massetransport. Erfaringskartleggingen viser et marked i rask omstilling, og målet er at alle offentlige bygge- og anleggsprosjekter som gjennomføres på oppdrag for Oslo kommune, skal være utslippsfrie i 2025. Innen 2030 skal all bygge- og anleggsvirksomhet i Oslo gjennomføres utslippsfritt (1).

Rapporten viser til viktige erfaringer, som å ha batteribank som buffer for batterielektriske anleggsmaskiner for å redusere effekttopper. Det er et vippepunkt for elektrifisering av anleggsplasser hvis batteriene kan vare en hel arbeidsdag uten lading heller enn at man må sette i gang flere maskiner for å gjøre samme jobben. Hvis man tenker litt framover, kan biogass og hydrogen være en viktig løsning for elektrifisering av større anleggsplasser, for eksempel ved å ta i bruk hydrogenaggregat for lading av batterielektriske anleggsmaskiner og minske effekttoppene i nettet, eller bruke biogass- og hydrogenkjøretøyer for ekstern transport (vare-, masse-, avfalls-, person- og maskintransport) og i områder uten nettilknytning. Det har også vært utfordringer med at de forberedte for anleggsstrøm før entreprenøren ble valgt, eller at de ikke visste hvor mange elektriske maskiner de ville få bruk for eller som ville være tilgjengelig ved byggestart. Det er behov for å tenke på maks antatt kapasitet for hver anleggsplass. Makseffekt er beregnet ut fra erfaringstall på for eksempel hvor mye kubikk som skal fraktes, hvilke typer maskiner som skal brukes, hvor mange driftstimer og forbruk det er snakk om, samt rigging av anleggsplassen. Dette er blitt justert opp etter hvert.

En kommentar som gikk igjen i erfaringskartleggingen, er at det er uproblematisk med mindre elektriske maskiner og utstyr. Elektriske anleggsmaskiner fører også til mindre støy og forurensing og bedre luftkvalitet og miljø. Byggherrene stipulerer ikke alltid hvor mange elektriske anleggsmaskiner som skal brukes. Det er opp til entreprenørene selv å velge hva de kan levere. Det er også opp til entreprenøren om større anleggsmaskiner skal ha kabel, batteri eller en hybridløsning av kabel og batteri, men dette har store konsekvenser for planlegging av makseffekt, strømbehov og ladeløsninger. Når virksomhetene vurderer maskinlistene, kommenterte flere at poengsystemet ikke reflekterer realiteten, siden maskinlistene ikke tar hensyn til hybridmaskiner, bruksområde, ladeløsningen eller antall driftstimer for de ulike anleggsmaskinene. Det ble anbefalt av flere å bruke en prosentbasert utslippsfri-grad. Den kan ta hensyn til hvor mye av de elektriske anleggsmaskinene av ulike størrelsesklasser som skal brukes på forskjellige arbeidsoppgaver.

Felles læringspunkter går ut på å dimensjonere og bestille anleggsmaskiner etter arbeidet de skal gjøre, og å ha gode bruksrutiner for å tilpasse effektbruken til oppgaven istedenfor å kjøre på maks. Per i dag brukes ofte batterielektriske anleggsmaskiner på lettere oppgaver fordi de går fort tom for strøm. Da utnytter man energien på best mulig måte, og det er mindre sjans for at man går tom for energi. Med kabelelektriske løsninger er dette ikke et problem, men slike løsninger krever også robust strømforsyning som gjerne støttes av batterisystemer for å håndtere effekttopper. Det er vanskelig å estimere makseffekt og planlegge for nok strøm tidlig i prosjekter. Derfor vil det være nyttig å samle erfaringstall på blant annet strømforbruk, driftstimer, batterikapasitet, effekt ved drift, ladingseffekt og hurtigladingseffekt for deretter å fastslå effekttoppene ved utførelse av ulike byggeaktiviteter. Det er behov for gode laderutiner for at maskinene skal vare en hel arbeidsdag. En del av løsningen ligger i å ta i bruk batteri-kabel anleggsmaskiner og batterikonteinere for å gi mer fleksibilitet på bygge- og anleggsplasser. Videre er det behov for energistyringsverktøy i større bygge- og anleggsprosjekter, spesielt hvor flere store anleggsmaskiner og kjøretøyer brukes samtidig.

Energimodellering

SINTEF har brukt sitt eget energi- og effektmodelleringsverktøy for å kartlegge elektrisk energibehov til bygge- og anleggsplasser, og hvordan dette energibehovet fordeler seg mellom ulike arbeidsprosesser og mellom ulike anleggsmaskiner og transport. Dette er gjennomført for to tenkte scenarioer – en fullelektrisk byggeplass og en fullelektrisk anleggsplass. Energi- og effektmodelleringen er strukturert for byggeprosjekter etter følgende arbeidsprosesser i gjennomføringsstadiet:

- Grunnarbeid: forberedelse av tomte, herunder mobile anleggsmaskiner
- Råbygg: oppføring av bygget
- Innvendig arbeid: byggørk, oppvarming og innvendige arbeider
- Utvendig arbeid: utbygging av infrastruktur som vann og avløp, elektrisitet, vei og arrondering
- Intern transport: transport av varer, masser, personell e.l. innenfor anleggsområdet (innlemmes i de andre prosjektfasene hvor det oppstår)
- Ekstern transport: transport av varer, masser, personell e.l. til og fra anleggsområdet (innlemmes i de andre prosjektfasene hvor det oppstår)

Anleggsprosjekter har kun gjennomføringsstadiet og deles ikke opp etter byggefaser siden arbeidet er en kontinuerlig syklus av graving og kjøring av masser, sikring, legging av rør og kjøring og fylling av masser, hvor man ofte jobber nedover en gate. Energi- og effektforbruket er beregnet for en tenkt utslippsfri bygge- og anleggsplass, det vil si at alle maskiner, transport og utstyr er basert på en helelektrisk løsning. Scenarioanalysen tar det et steg videre og ser på andre energikilder som fjernvarme, biogass eller hydrogen.

Strømforsyning

Ved etablering av bygge- eller anleggsplassen må ofte entreprenøren bygge trafo for å konvertere fra 230 V til 400 V slik at de store elektriske anleggsmaskinene kan lades på plass og tas i bruk.

Fra intervjuene med bransjen ble det fort oppdaget at tilgjengelig effekt i *anleggsprosjekter* varierer fra 50 til 150 kW og noen ganger opp til 250 kW, avhengig av eksisterende infrastruktur og hvor mange uttak som er tilgjengelig i området. Dette er ofte begrenset for anleggsprosjekter ettersom de kan foregå i etablerte boligområder med eksisterende strømkunder og begrenset med annen utbygging som utløser et behov for mer strøm. I et anleggsprosjekt har man ofte ikke behov for ekstra strøm eller effekt etter at anleggsfasen er over.

I intervjuene med bransjen fastslo de at tilgjengelig effekt for *byggeprosjekter* per i dag er rundt 400–500 kW, men byggeledere ser for seg et framtidig behov for opptil 1 MW når alt skal elektrifiseres. Tilgang på strøm er ikke alltid et like stort problem for *byggeprosjekter* som for *anleggsprosjekter* ettersom man i et byggeprosjekt også har et økt strømbehov i etterkant av byggefasen.

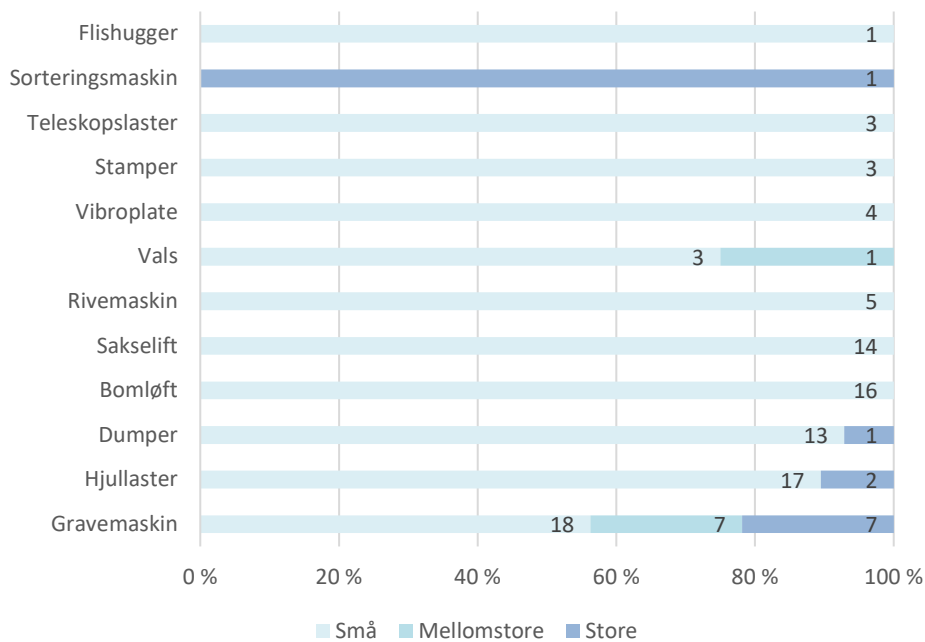
Maskinpark

Energi- og effektmodelleringsverktøyet inkluderer detaljert informasjon om en maskinpark som representerer det som er tilgjengelig på det norske markedet i dag for anleggsmaskiner og hypotetiske gjennomsnittsdata for kjøretøyer. Hypotetiske gjennomsnittsdata for kjøretøyer er basert på konvertering tilsvarende dieselskjøretøy til elektriske ved å hente drivstoffeffektivitet fra Hovi et al. (10). Hovi et al. har en oversikt over drivstoffeffektivitet for tungtransport fra over 22 selskaper. En faktor av 10,06 kWh/l diesel er deretter brukt for å konvertere til elektriske kjøretøy som antar en konverteringseffektivitet på 30 % for diesel og 85 % for elektrisk. Informasjon om elektriske anleggsmaskiner er hentet fra intervjuer med maskinleverandører, tekniske spesifikasjoner og produktdatablader, og er kvalitetssikret med maskin- og utstyrsleverandører og med bransjeorganisasjonene. Maskinparken inkluderer blant annet:

- Anleggsmaskiner: dumpere, gravemaskiner, hjullastere, kompressor, mobilkran, rivemaskiner, sorteringsmaskin, stampere, tørkesystemer, tårnkran, vibroplate, bomlift, sakselift, kran, teleskopplaster og borerigg
- Energilagring: batteripakker, batterikonteiner, mikrogrid og hydrogenbrenselceller

- Kjøretøy: lastebiler (totalvekt < 7 501 kg), lastebiler med lukket godsrom, lastebiler med plan, konteinerbiler, spesialbiler, betongbiler, trekkbiler, varebiler og personbiler

Maskiner og kjøretøyer som ikke er elektrifisert i det hele tatt, inkluderer blant annet veihøvler. Det er også mangel på elektrifiserte anleggsmaskiner og kjøretøyer i de større maskin- og kjøretøyklassene. En observasjon fra en maskinpark-database SINTEF har samlet inn er at det er stor forskjell i maks effekt avhengig av produsent og teknologiutviklingen, og det antas at dette vil forbedres og standardiseres i framtiden. Figur 3 viser oversikt over maskinparken som er tilgjengelig i Norge i dag. Figuren viser at de fleste små maskiner (< 8 tonn) er elektrifisert, mens færre mellomstore (8–20 t) og store (> 20 tonn) maskiner er tilgjengelig i elektrisk versjon. Unntaket er gravemaskiner, som er den anleggsmaskintype med flest elektrifiserte modeller i flere størrelser.



Figur 3
Oversikt over maskinpark tilgjengelig i Norge per i dag. NB: Kjøretøy er ikke inkludert siden det baseres på hypotetiske gjennomsnittsdata.

Datainnsamling

I den tidligere studien "Erfaringskartlegging av utslippsfrie byggeplasser i Oslo kommune" ble det identifisert flere prosjekter som sitter på detaljert innsikt i energibruk til maskiner og kjøretøyer på bygge- og anleggsplasser. Disse prosjektene er brukt videre i denne analysen for å kartlegge hvilke data de har tilgjengelig om energibruk og energiløsninger på bygge- og anleggsplasser i forskjellige byggefaser i dag. Dette har ikke blitt gjort før. Det er en viss usikkerhet i anslagene siden det er vanskelig å framstille data for en "typisk" bygge- eller anleggsplass. Strømforbruket er svært avhengig av hvilke anleggsmaskiner og kjøretøyer som brukes, hva de brukes til og hvor mye de kjøres. Data er derfor hentet inn for seks ulike bygge- og anleggsplasser i Oslo-området som enten nylig er bygget eller er under utbygging. I tillegg har SINTEF data for to byggeprosjekter som kan brukes i datainnsamlingsgrunnlaget. All informasjon er brukt for å velge ut en tenkt 100 % elektrisk byggeplass, og en tenkt 100 % elektrisk anleggsplass. Det var bestemt å lage to separate scenarioer for bygg og anlegg siden vi fort oppdaget at disse opererer på forskjellige premisser og har ulike energi- og effektbehov. Hovedforskjellene inkluderer blant annet arbeidstid, prosjektfaser, andel massetransport, persontransport og byggeaktiviteter for anleggsmaskiner. Dataene som er hentet inn, inkluderer blant annet:

- Nøkkelinformasjon om prosjektet, som oppstartsdato, sluttdato, type prosjekt, framdriftsplan og størrelse
- Rapportering om anleggsmaskiner brukt i byggeperioden, inkludert intern transport, mindre utstyr, type maskin, driftstid, drivstoffteknologi, og hvordan alt fraktes til og fra bygge- og anleggsplassen
- Rapportering om massetransport til og fra bygge- og anleggsplassen for hele byggeperioden, inkludert type kjøretøy, antall turer og drivstoffteknologi
- Rapportering om varetransport til og fra bygge- og anleggsplassen, inkludert informasjon om mengde varer, kjøretøy og drivstoffteknologi
- Avfallsrapporter for hele byggeperioden, inkludert mengde avfall per avfallsfraksjon, type kjøretøy, antall turer og drivstoffteknologi
- Antall fagarbeidere og funksjonærer i gjennomsnitt per måned i byggeperioden samt informasjon om typiske reisevaner for dag- og ukependler og arbeidstid
- Energibruk til oppvarming og tørking
- Maks effekt på strøm tilgjengelig i byggeperioden

Det ble også gjennomført oppfølgingsmøter med byggeledere og prosjektledere for å svare ut datahull i datainnsamlingsgrunnlaget. En utfordring med datainnsamlingen var oppløsning på data, som varierte veldig fra prosjekt til prosjekt og per aktivitet. I noen tilfeller var dataoppløsningen på et høyt nivå (timebasis), mens i andre tilfeller var den grovere (månedsbasis). I andre tilfeller var data ufullstendig, for eksempel kun for en femmånedersperiode i en byggefase som varte i to år. Det var derfor nødvendig å ekstrapolere dataene til et fullstendig sett. Dette ble gjort under samtaler med byggeledere for å utvikle realistiske scenarier.

Det kan argumenteres for at data som er hentet inn fra prosjekter som er enten nylig bygget eller under utbygging, ikke er representativt for vanlig prosjektvarighet på grunn av restriksjoner under pandemien 2020–2022. Byggelederne ble spurt om koronaeffekten under utbygging, og de sa at de opplevde at det var noe mer mannskapstransport hjemmefra istedenfor kollektivt, de opplevde noen restriksjoner for innreise og karantene for utenlandsarbeidere, de opplevde noen byggearbeidere i karantene som nærkontakt, og det var noen forsinkelser på grunn av varemangel, men disse faktorene gikk ikke ut over prosjektperioden.

De fleste bygge- og anleggsprosjekter varer i to år. Byggesyklusen med tanke på ferie er ganske sammenliknbart mellom bygge- og anleggsprosjekter. De fleste stopper drift i to uker i jula og i fire uker i løpet av sommeren. Arbeidsdagene er fra mandag til fredag kl. 7–16, men ofte mandag til torsdag for anleggsprosjekter for å kutte ned på ukependlernes transportbehov. Arbeidsdagen deretter starter kl. 7 og slutter kl. 19. Tidspunkter for levering/henting av masser, varer, avfall og anleggsmaskiner var basert på gjennomsnittlig tidsfordeling av leveranser og hentinger for hele bygg- og anleggssektoren over en typisk arbeidsdag (10). Dette er her tilpasset litt for å ta hensyn til informasjon om at det ikke skjer leveranser utenom arbeidstid. Resulterende fordeling av leveranser/hentinger over arbeidsdagen var 27 % mellom kl. 7–9, 62 % mellom kl. 9–15, 6 % mellom kl. 15–17 og 5 % mellom kl. 17–19.

Scenarioanalyse

I tillegg er det gjennomført scenarioanalyse (referanse, middels og optimert scenario) som gir noen eksempelberegninger på høye og lave anslag for energibruk og effekttoppene. Referansen er basert på fullelektrisk, mens middels og optimert inkluderer andre fornybare energikilder som hydrogen, biogass og fjernvarme.

1. Referansescenarioet

Per i dag foregår ikke lading av ekstern transport på bygge- og anleggsplasser, og det er lite utbygde muligheter for lading av tungtransport. Vi har derfor vært nødt til å bygge et tenkt scenario på lading av ekstern transport. Dialog med entreprenører har opplyst at det kommer en forventning fra transportleverandører at de kan lade på bygge- eller anleggsplassen og at dette skal tilrettelegges for. Derfor antar vi at ladebehov skjer på hvert besøk til anleggsplassen, og at lading er mulig på andre enden av tur/retur-reisen. Hvor det er mulig, er henting og levering samkjørt og de deler en lading, for eksempel levering av nye containere og henting av avfall. Ekstern transport dekker kun "last mile"-transport, det vil si nærmeste transportetappe.

I dette scenarioet foregår all hurtiglading på anleggsområdet. Natlading for anleggsmaskiner og utstyr foregår på anleggsområdet, mens natlading for kjøretøyer foregår hos transportleverandøren. Det er ingen optimering av energibruk eller effekttoppene. Det er ingen energifleksibilitet eller energilagring. Det antas at anleggsmaskiner har kontinuerlig drift på maks effekt. Elektriske anleggsmaskiner med tunge arbeidsoppgaver og som går fort tomme for strøm, har lange ladetider som kan medføre forsinkelser i framdrift. Det er antatt at natlading foregår fra kl. 22 til kl. 06. Driftstid på kabeldrevne anleggsmaskiner er satt til ti timer som gjenspeiler arbeidsdagen uten pauser. Første arbeidspauser er felles for alle maskiner og satt til kl. 11, bortsett fra de maskinene som har kortere driftstid enn fire timer. Maskinene med kortere driftstid enn fire timer har flere pauser til hurtiglading.

Massetransport

Hurtigladingssøker er basert på 1,2 kWh/km for tippbiler, hvorav 35 % av reisene innebærer en tur/retur reise (er koblet), som ble beregnet fra disaggregerte turnivådata som var tilgjengelige for en femmånedersperiode for et tenkt anleggsprosjekt. For anleggsprosjektet var turavstand til massehotellet eller deponiet 8 og 30 km, mens for den tenkte byggeplassen ble antatt turavstand beregnet som et gjennomsnitt fra 1) deponi for bløte leirmasser og lett forurensede masser på ca. fire mil per lass og 2) deponi for rene faste masser på ca. 15 km. Leveranse og henting gjennomføres per i dag med maks nyttelast 13 tonn (elektrisk) og 27,7 tonn (diesel) tippbiler, men med full elektrifisering er lastekapasiteten til den elektriske lastebilen utnyttet i analysen.

Varetransport

I anleggsprosjekter er varetransport av asfalt ofte fanget opp under masse- og avfallstransport, mens varetransport av mindre komponenter ofte er fanget opp under persontransport. Dette er tatt hensyn til i modellen. For den tenkte byggeplassen er det andre varer som leveres, for eksempel betong, treverk, rør, elektriske komponenter, pukk og ventilasjonskomponenter. Disse leveransene er knyttet til prosjektfasen hvor det er relevant, for eksempel treverk til råbygg og ventilasjonskomponenter til innvendig arbeid. Hurtigladingssøker for disse er basert på en liten lastebil (0,75 kWh/km) eller varebil (0,2 kWh/km) og en turavstand på 7–31 km.

Avfallstransport

Avfallstransport er beregnet basert på mengde avfall per måned, kapasitet på tippbil/kontainerbil og antall turer. Levering av containere og henting av avfall inkluderes også. For det tenkte anleggsprosjektet er innsamlingsdataene for avfall tilgjengelig også på en døgnoppløsning, slik at antall turer kan beregnes direkte. For den tenkte byggeplassen er det antatt at to containere kan leveres samlet på en lastebil, men når de er fulle, må de hentes individuelt. Ved tømning kan en lastebil inneholde avfall fra ca. to beholdere. Henting ble knyttet til leveranser der dette var mulig. Hvor ikke-kontaineravfall ble samlet inn (riveavfall), ble antall turer bestemt ved å bruke totalsummen av avfall til hver registrert destinasjon. Hurtigladingssøker er basert på enten 1,2 kWh/km for riveavfall eller 1,33 kWh/km kontainerbil kjørt i korte avstander (6–10 km) fra anleggsområdet til foretaket.

Transport av anleggsmaskiner

Transport av anleggsmaskiner er basert på informasjon om leverings- og hentingsdato, avstand til/fra maskinentreprenør eller neste jobb (25 km i gjennomsnitt). Det er en antakelse at all transport gjennomføres av lastebiler med plan med en energibruk på 1,16 kWh/km. Det er ingen optimering med transport av anleggsmaskiner, og hver maskin fraktes hver for seg siden anleggsmaskinene ofte kommer fra ulike maskinentreprenører.

Persontransport

I anleggsprosjekter er det ofte ca. fem fagarbeidere som jobber nedover gata fordi arbeidsplassen ofte er trang og det ikke er plass til flere arbeidere. På en byggeplass er det ofte mange flere innleide fagarbeidere/underentreprenører (spesielt i arbeidsfasen som foregår innvendig, for eksempel ventilasjon, rør og elektrisk arbeid). Noen ganger kan det være opp mot hundre arbeidere i de mest krevende byggeperiodene. Persontransport er fordelt mellom fagarbeidere/ produksjonsarbeidere som ofte er ukependlere fra for eksempel Telemark, Innlandet eller Sverige, og som kjører egen bil, og kontorarbeidere som ofte er dagpendlere og bruker en miks av egen bil, kollektivt og gående/syklende, avhengig av hvor i Oslo anleggsområdet er. Underentreprenørene og innleide stiller ofte med egen transport (varebil). Transport av avfall blir ofte fanget opp under massetransport i anleggsprosjekter. Det er antatt at ukependler kjører 120 km med ingen bildeling, og dagpendler kjører 10 km til anleggsplassen. Energibruk på varebiler er på 0,15 kWh/km, og det er antatt at de lader ved ankomst.

2. Middelsscenarioet

Middelsscenarioet bygger videre på referansescenarioet, men det gjøres noe optimering på de mest krevende byggeaktivitetene og prosjektfasene. Noen eksempler er at anleggsmaskiner med ulike teknologiløsninger (kabel og batteri) blir brukt, samt at lunsjpausene skjer puljevis for å unngå at alle lader samtidig. Det er også noe optimering av transportlogistikk, for eksempel for levering av anleggsmaskiner eller byggevarer. I dette scenarioet er 50 % av massetransporten koblet tur/retur, og 50 % trenger ikke lading på byggeplassen. For varetransport og avfallstransport er det kun lastebiler som trenger lading på byggeplassen, og vi antar at halvparten av lastebilene trenger lading. Varebiler klarer seg uten lading. For persontransport antar vi at halvparten av ukependlerne benytter bildeling, og at halvparten av dagpendlerne bruker offentlig transport, går eller sykler.

3. Optimalsenarioet

Optimalsenarioet bygger videre på middelsscenarioet, og drift av anleggsområdet er i høy grad optimalisert. Entreprenøren har laget masseplan og energiplan for anleggsområdet for å redusere transport- og energibehov, samt effekttoppene. Entreprenøren har også tatt i bruk energifleksible løsninger ved behov, som fjernvarme til tining, oppvarming og tørking, bruk av hydrogen og biodrivstoff til transport og batterikontainer til energilagring. All tungtransport kan lade utenfor byggeplassen. Transportleveranser av masse, varer og avfall er optimalisert, og kjøretøyene lader på depot. Det er antatt økt batterikapasitet, bedre teknologi og tilgjengelig ladeinfrastruktur, slik at kjøretøyene kan kjøre lengre avstander eller at andre energikilder som hydrogen eller biodrivstoff kan tas i bruk. All persontransport gjennomføres med enten offentlig eller aktiv transport, bortsett fra 3–4 elektriske varebiler på anleggsplassen som byggearbeidere kan bruke.

Resultatene

Følgende tabeller og figurer viser energibruk, ukentlige effektforbrukskurver og daglige effektforbrukskurver for en eksempel-byggeplass og en eksempel-anleggsplass for de tre scenarioene.

Tabell 1

Totalt energibruk (kWh) over hele byggeperioden for et eksempel-byggeprosjekt

Anleggsmaskiner	Referanse			Middels			Optimert		
	1. år	2. år	SUM	1. år	2. år	SUM	1. år	2. år	SUM
– Riving	60 667	0	60 667	60 667	0	60 667	60 667	0	60 667
– Grunnarbeid	64 657	0	64 657	64 657	0	64 657	68 818	0	68 818
– Råbygg	96 952	0	96 952	96 952	0	96 952	96 952	0	96 952
– Fasade	11 587	0	11 587	11 587	0	11 587	11 587	0	11 587
– Innvendig arbeid	21.579	65.503	87 082	21 579	65 503	87 082	21 579	65 503	87 082
– Utvendig arbeid	0	49.920	49 920	0	49 920	49 920	0	49 920	49 920
Persontransport	78 465	72.789	151 254	40 369	37 960	78 329	3 363	3 442	6 804
Massetransport	14 564	330	14 894	7 282	165	7.447	–	–	–
Avfallstransport	1 050	463	1 513	757	525	1 282	–	–	–
Varetransport	5 236	9.670	14 933	6 091	2 356	8 447	–	–	–
Anleggstransport	897	318	1 215	608	449	1 057	–	–	–
SUM	333 906	188 212	522 118	295 810	153 383	449 193	262 965	118 865	381 830
Gjennomsnittlig årlig energibruk			261 059			224 596			190 915

I Tabell 1 er det antatt at byggefasen varer i to år. Derfor er totalt energibruk per år basert på gjennomsnittlig energibruk over to år. Resultatene viser en reduksjon i totalt energibruk på 14 % når vi går fra referansescenarioet til middelsscenarioet, en reduksjon på 15 % når vi går fra middelsscenarioet til optimalscenarioet, og en reduksjon på 27 % når vi går fra referansescenarioet til optimalscenarioet. Bruk av anleggsmaskiner utgjør 71 % av den totale energibruken i referansescenarioet, mens transport til og fra byggeplassen utgjør 29 % i byggefasen. I referansen brukes den største andelen av energi til anleggsmaskiner i riving- og grunnarbeidsfasen (34 %), etterfulgt av råbyggfasen (26 %), innvendig arbeid (23 %), utvendig arbeid (13 %) og fasadearbeid (3 %).

Tabell 2

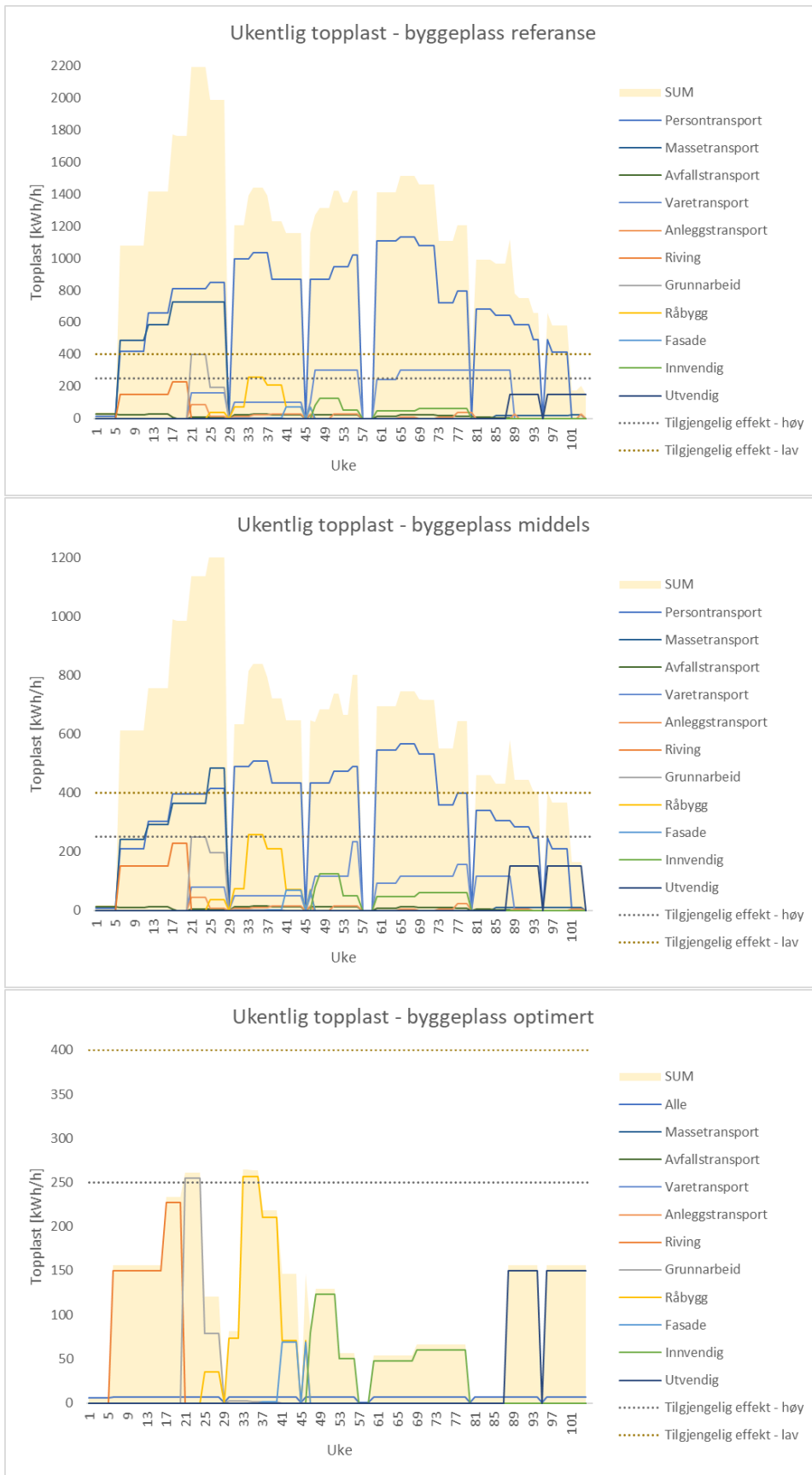
Totalt energibruk (kWh) over hele byggeperioden for et eksempel-anleggsprosjekt

	Referanse	Middels	Optimert
Grunnarbeid	140 439	140 439	144 699
Persontransport	35 618	19 311	2 470
Massetransport	86 430	36 383	–
Avfallstransport	223	111	–
Varetransport	449	225	–
Anleggstransport	6 557	3 279	–
SUM	269 715	199 778	147 194

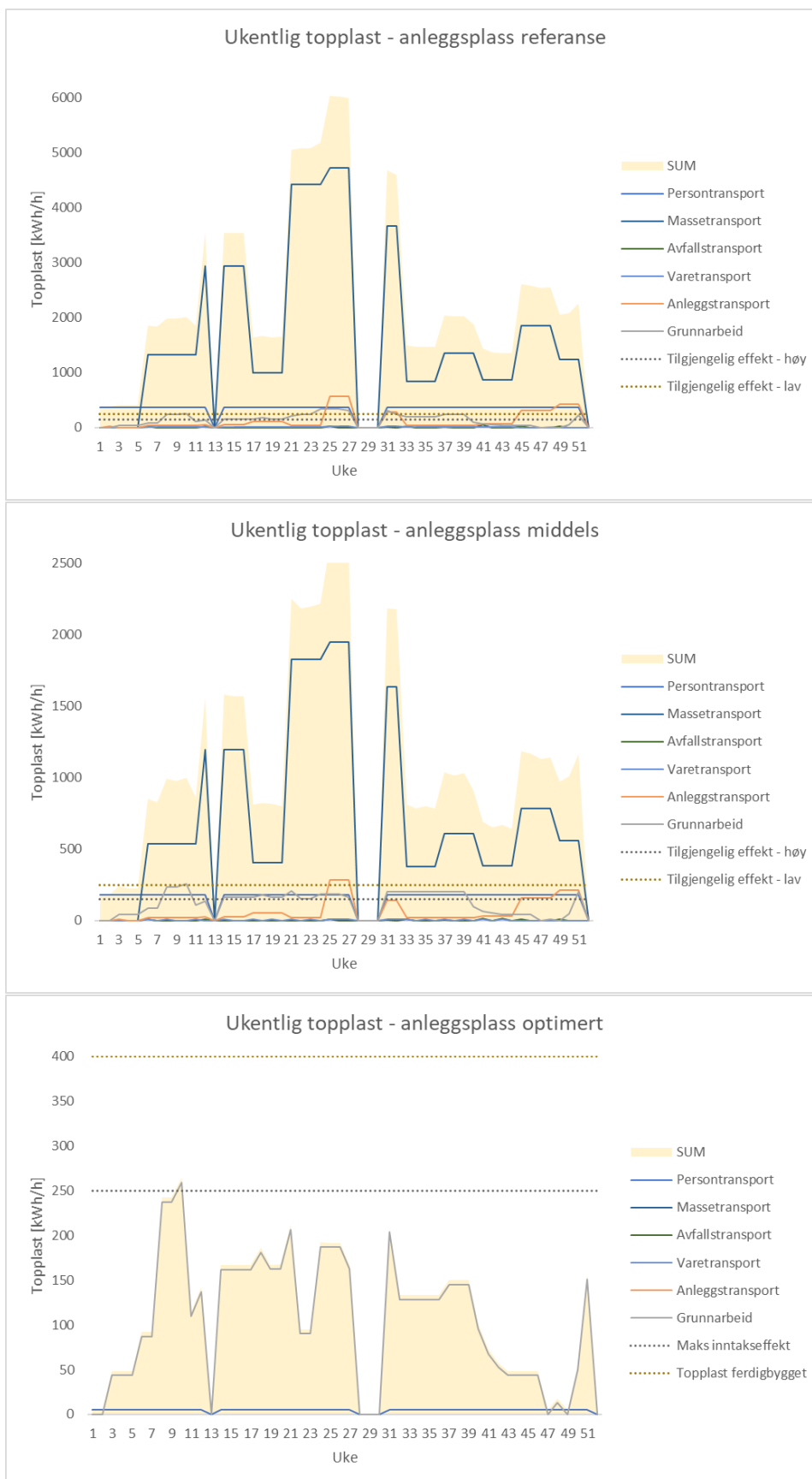
Vi antar at også anleggsprosjektet varer i to år. Arbeidet er en kontinuerlig syklus av graving og kjøring av masser, sikring, legging av rør, og kjøring og fylling av masser, hvor man ofte jobber nedover en gate, som betyr at aktivitetene og deretter energibruk er ganske likt år for år. Resultatene i Tabell 2 er for ett år og viser en reduksjon i totalt energibruk på 25 % når vi går fra referansescenarioet til middelsscenarioet, en reduksjon på 26 % når vi går fra middelsscenarioet til optimalscenarioet, og en reduksjon på 55 % når vi går fra referansescenarioet til optimalscenarioet. Bruk av anleggsmaskiner utgjør 52 % av total energibruk i referansescenarioet, mens transport til og fra anleggsplassen utgjør 32 % i anleggsfasen. Til transport brukes det mest energi for massetransport (57 %), etterfulgt av persontransport (28 %), anleggstransport (5 %), varetransport (0,3 %) og avfallstransport (0,2 %) i referansescenarioet. Grunnen til at det er en økning i energibruk til grunnarbeid mellom referansescenarioet/ middelsscenarioet og optimalscenarioet er at prosessene er optimert med tanke på effekt. Dette gjelder for både byggeprosjekter og anleggsprosjekter, og det betyr at en gravemaskin med stort batteri og høy effekt under hurtiglading er byttet ut med en stor batteri-kabel-gravemaskin som har litt høyere energiforbruk, men lavere effekt. Grunnen til at det ikke er noen forskjell i energibruk for grunnarbeid mellom referansescenarioet og middelsscenarioet er også fordi optimering er gjort med hensyn på effekt, og lunsjpauser forskyves for å minske effektuttaket når flere elektriske anleggsmaskiner hurtiglades samtidig.

Figur 4 viser ukentlig topplast og tilgjengelig effekt for de tre ulike scenarioene og for de forskjellige byggefasene over byggeperioden. Topplast vil si den timen med høyest effektuttak per uke. Resultatene viser noe overlapp i byggeaktiviteter mellom byggefasene, for eksempel grunnarbeid og råbygg, og at den mest energikrevende byggefasen er grunnarbeid etterfulgt av råbygg og riving. Energibruk av anleggsmaskiner er innenfor tilgjengelig effekt, og ved noen justeringer på lunsjpauser og type teknologi (batteri, kabel eller kabelbatteri) er effektproblemstillingen for anleggsmaskinene løst etter våre beregninger. Dette blir mer utfordrende hvis man også skal ha nok tilgjengelig effekt for transportlading. I middelscenarioet og optimalscenarioene er det antatt at denne belastningen er flyttet til en annen del av Oslo, for eksempel hos transportleverandøren eller på en sentral ladingsdepot. Figur 5 viser tilsvarende for et eksempel-anleggsprosjekt.

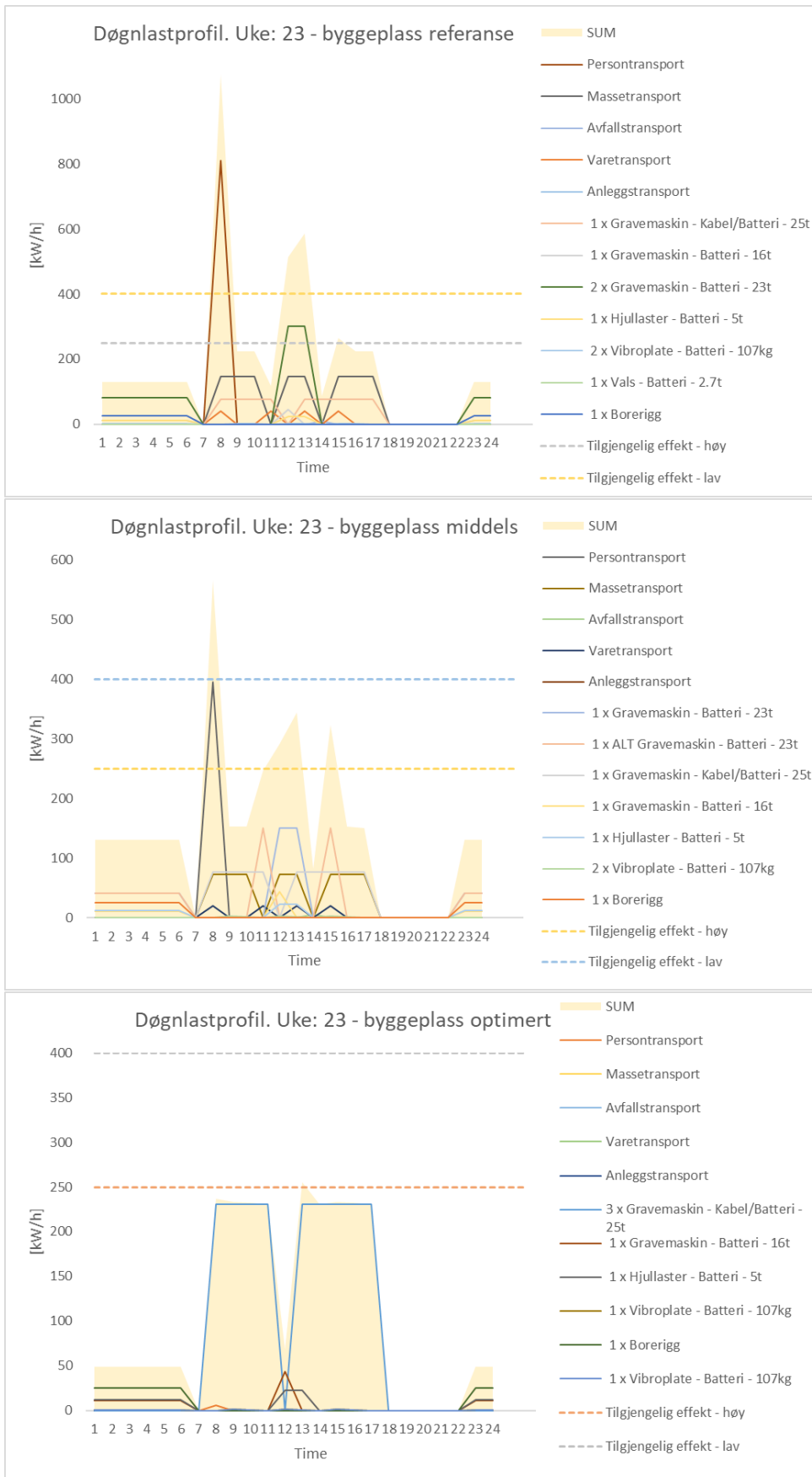
Figur 4 og Figur 5 viser uker hvor det ikke er aktivitet. Dette skyldes ferie. Resultatene for både byggeprosjektet og anleggsprosjektet er sensitive med hensyn til dataoppløsningen. For eksempel bygger estimerer på persontransport for eksempel-anleggsplassen på aggregerte data for hele byggeperioden, mens for eksempel-byggeplassen er dataene gitt per måned. I motsetning til dette er massetransport rapportert med døgnoppløsning, og i noen tilfeller på timebasis for anleggsprosjekter. Figur 6 og Figur 7 viser døgnlastprofiler med timeoppløsning for en av de mest energikrevende ukene for en eksempel-byggeplass (uke 23) og eksempel-anleggsplass (uke 25) for de tre ulike scenarioene. For eksempel-byggeplassen i referansescenarioet er det størst effektbehov når byggarbeiderne kommer på byggeplassen og alle vil lade elbilene sine samtidig, etterfulgt av lunsjpausen når alle batterielektriske anleggsmaskiner lades samtidig. For eksempel-anleggsplassen i referansescenarioet er det et jevnt stort effektbehov gjennom arbeidsdagen på grunn av kontinuerlig henting og levering av masser, som krever lading av massetransport-kjøretøy. Figurene viser også i hvilken grad man kan utnytte nattlading av anleggsmaskiner. Stasjonær energibruk er bakt inn i de ulike kategoriene hvor det oppstår for eksempel tining av bakken i grunnarbeidsfasen, og oppvarming og uttørring i byggefasen hvor det jobbes innvendig i bygget.



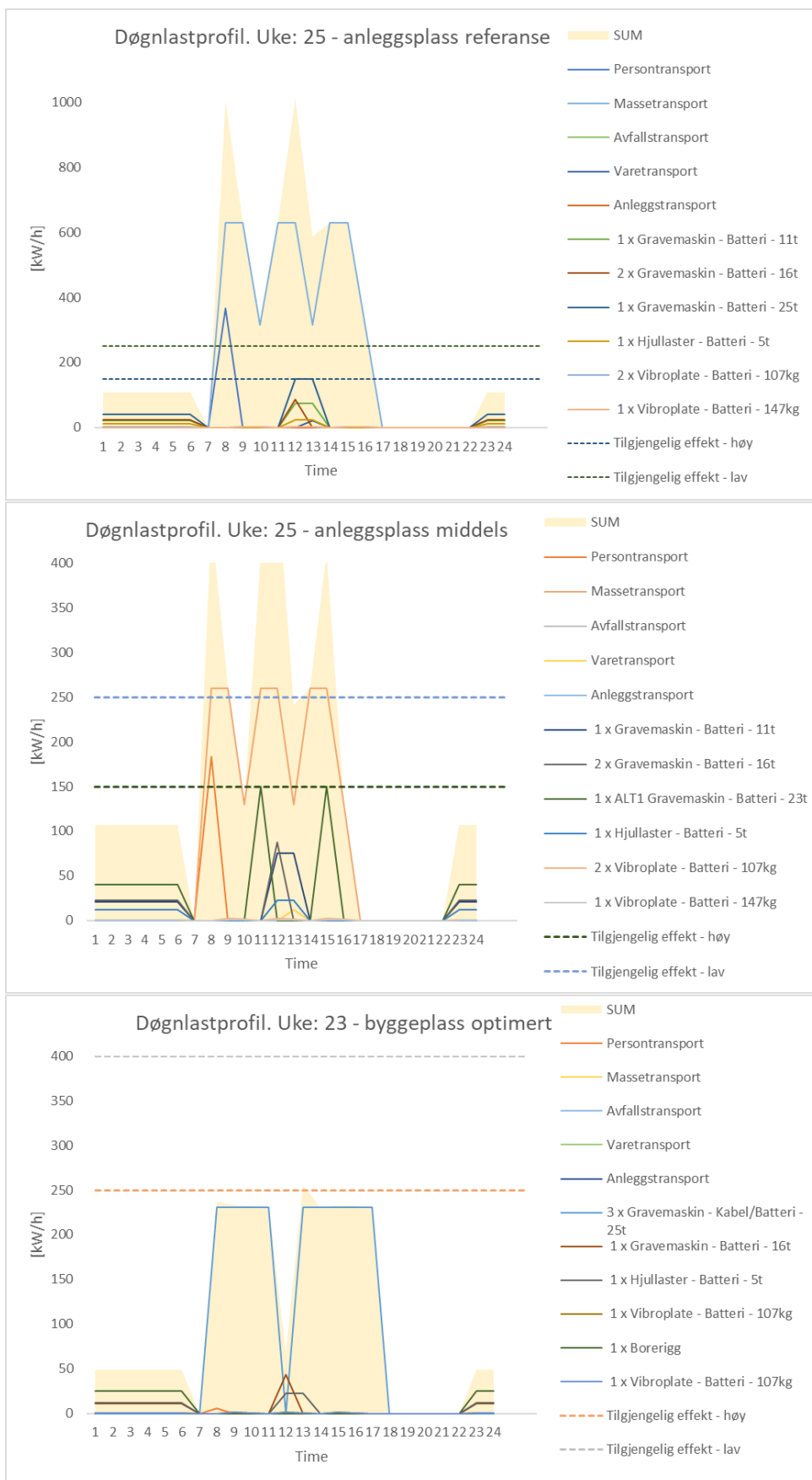
Figur 4
Ukentlig topplast og tilgjengelig effekt for de tre ulike scenarioene og for de forskjellige byggefasene over byggeperioden for et eksempel-byggeprosjekt



Figur 5
Ukentlig topplast og tilgjengelig effekt for de tre ulike scenarioene over anleggsperioden for et eksempel-anleggsprosjekt



Figur 6
Typisk døgnlastprofil med maks energibruk (timeoppløsning) i uke 23 for et eksempel-byggeprosjekt



Figur 7
Typisk døgnlastprofil med maks energibruk (timeoppløsning) i uke 25 for et eksempel-anleggsprosjekt

Når resultatene fra Tabell 1 og Tabell 2 er harmonisert per utbygd kvadratmeter bygg per år for eksempel byggeprosjektet og per million kroner kontraktsum per år for eksempel-anleggsprosjektet per scenario, er energibehovet for en tenkt fullelektrisk byggeplass på ca. 38–52 kWh/m²/år bygg og energibehovet for en tenkt fullelektrisk anleggsplass på ca. 1 780–2 129 kWh/MNOK/år. En DNV GL-rapport fra 2018, *Potensialet for utslippsreduksjon ved fossil- og utslippsfrie bygge- og anleggsplasser*, har anslått fossilt drivstoff til oppvarming og anleggsmaskiner, samt tilhørende utslipp fra bygge- og anleggsplasser i Oslo kommune (11). Våre resultater stemmer godt overens med DNV GL-rapporten som viser at energibehovet kan variere mye i byggefasen, avhengig av type prosjekt, og fastslår at en typisk byggeplass har energibehov på ca. 77–92 kWh/m² og en typisk anleggsplass har energibehov på ca. 700–5 300 kWh/MNOK. DNV GLs rapport tar ikke hensyn til at byggefasen ofte varer i to år, så da må man korrigere for dette ved å dele resultatene på to, som gir et energibehov på 38,5–46 kWh/m². DNV GLs rapport var også skrevet i 2018, på et tidspunkt hvor det ikke fantes utslippsfrie bygge- og anleggsplasser.

Usikkerheter og antakelser

Det er usikkerhet knyttet til disse beregningene av energi- og effektbehov. Man kan diskutere hvor representative de modellerte bygge- og anleggsplassene er sammenliknet med reelle prosjekter. Det har nemlig vært utfordringer knyttet til datatilgang, datainnsamling, datahull og dataoppløsning. Det er kun mulig å modellere ut fra det som er rapportert og dokumentert om maskiner, byggeaktiviteter og transport i de ulike prosjektene. Videre kan det hende at det er noen mindre aktiviteter som ikke er fanget opp under datainnsamlingen, og som vi dermed ikke har kjennskap til. De innsamlede dataene har begrenset informasjon angående tekniske spesifikasjoner av noen maskiner og kjøretøyer. Publiserte tekniske spesifikasjoner for kjøretøyer er ofte basert på målinger av tomme kjøretøyer, mens bedre data ville vært basert på kjøretøyer som er testet med last og reelle forhold på veiene. Det er også forskjeller i dataoppløsning for maskinparken, siden transport er basert på gjennomsnittsdata for ulike kjøretøykategorier, mens anleggsmaskiner er basert på produktspesifikke data fra produsentene. Når det gjelder datainnsamling om byggeaktivitetene og transport til og fra, var det stor variasjon i hvordan disse er rapportert. Noen byggeledere og entreprenører hadde månedlige estimater for en begrenset periode av byggefasen, mens andre hadde detaljert timeoppløsning for hele byggefasen. De innsamlede dataene er derfor ekstrapolert for å dekke alle prosjektfaser og aktivitetene under byggefasen for å gi et komplett bilde av en tenkt fullelektrisk byggeplass og en tenkt fullelektrisk anleggsplass. Videre var det nødvendig å gjøre noen antakelser, som at all transport av anleggsmaskiner til og fra byggeplassen gjennomføres av en lastebil med plan. Dette er fordi det ikke fantes bedre informasjon til å modellere transport av hver type anleggsmaskin. Det er også noen antakelser i energi- og effektmodellen, som at alle anleggsmaskinene er i kontinuerlig drift for å fastslå maks mulig effekt.

I referansescenarioet har vi lagt til grunn at det er en forventning fra transportleverandører at de kan lade på bygge- og anleggsplassen, og at dette skal tilrettelegges for, men resultatene viser at hvis alle skal gjøre dette, er det både dyrt og vanskelig for entreprenøren å sørge for nok effekt til alle. For å gjenspeile det som er mer sannsynlig å skje i drift av fullelektriske bygge- og anleggsplasser, valgte vi derfor å legge til transportlading andre steder i byen og spre effektbehovet samt legge til rette for gode logistikk-løsninger for middels og optimert scenario. For å lykkes med en mest mulig effektiv elektrifisering av bygge- og anleggsplasser er man nødt til å ta i bruk en rekke forskjellige tiltak: god planlegging, men også for eksempel etablering av tilhørende offentlig ladeinfrastruktur.

Beregningene av energi- og effektbehovet har framhevet noen viktige tiltak som kan iverksettes for å redusere energibruk og effekttopper:

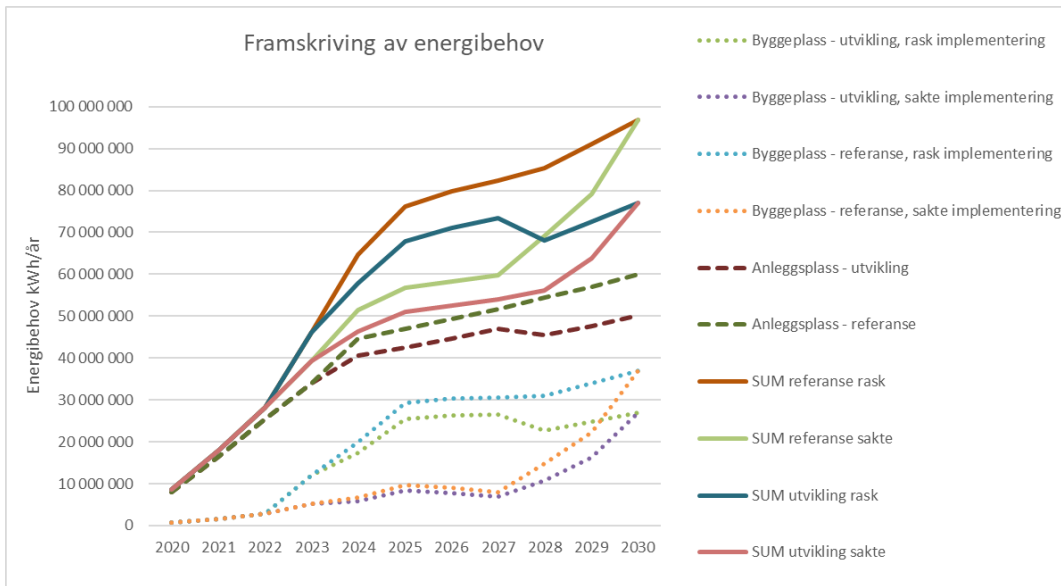
- Planlegg tidlig, og identifiser muligheter for kraftforsyning og energifleksibilitet.
- Lag en energiplan (prNS 3770).
- Unngå overlapp av krevende byggeaktiviteter eller byggefaser, for eksempel riving og grunnarbeid.
- Planlegg bruk og lading av anleggsmaskinene mellom kort, intermitterende lavenergibruk versus kontinuerlig høyenergibruk.
- Planlegg lunsjpausene slik at ikke alle anleggsmaskiner hurtiglades samtidig.
- Unngå å lade ekstern transport samtidig som man lader anleggsmaskiner.
- Optimer transportlogistikk, for eksempel levering av anleggsmaskiner eller byggevarer.

- Tilrettelegg for off-site lading av tungtransport på tilrettelagte ladesentraler.
- Reduser arbeidsuka til fire dager og ha lengre arbeidsdager.
- Fag- og kontorarbeidere skal oppfordres til å ta kollektiv transport, sykle eller gå, eller til bildeling.
- Lag massebalanse, NO-DIG strategi, for å redusere unødvendig flytting av masser og masse-transportbehov.
- Bruk fjernvarme og vannbårne løsninger til oppvarming og uttørring for å avlaste strøm- og effektbehovet.
- Bruk batterikonteinere til økt energifleksibilitet og kostnadsoptimalisering.
- Bruk batteribyttestasjoner.
- Hydrogenaggregat kan brukes til lading av batterikontainere på sikt
- Bruk effekttoppstyring (peak shaver) og forbedret batteriteknologi for høyere batterikapasitet og bedre, lengre drift.
- Sørg for ombruk av masser, god transportlogistikk som er organisert for tur/retur, og et lokalt pukkverk for å redusere massetransportbehov.

Framskrivning

Basert på byggesaks- og planporteføljen har Plan, bygg og eiendom (PBE) i Oslo kommune utarbeidet en årlig utbyggingsframskriving for bygninger (boliger og næringsbygg) (12). De har tatt hensyn til planleggingstid og utbyggingstakt for å fordele porteføljen over tid. Byggesaker er brukt for å framskrive de to første årene, deretter brukes "reguleringsreserven", det vil si vedtatte bygninger minus utbygge bygninger. Dagens planforslag begynner å bli realisert om ca. fire år (fram til 2025), og potensialet for kommuneplan og områdeplan får en større rolle etter 7–8 år (fram til 2030). Det er mer usikkerhet jo lengre fram i tid man framskriver. Ikke alle bygg med rammetillatelse eller igangsettingstillatelse bygges ut, ikke alle vedtatte reguleringsplaner blir realisert, og planer under arbeid kan bli trukket, ikke vedtatt eller vedtatt med et annet bolig-tall. Det kan tenkes at koronaeffekten blir større for næringer enn for husholdninger på grunn av usikkerhet knyttet til økonomien og arbeidsplasser. Vi antar at 80 % av byggeprosjekter er private og 20 % kommunale. PBE har dessverre ikke tilsvarende tall for anlegg. Derfor har vi brukt BNLs markedsrapport fra første kvartal i 2021, som oppsummerer bygge- og anleggsmarkedet for hele Norge i 2021–2023 og gir investeringer i anlegg i 2020 på 130 mrd. NOK (13). Dette tallet er justert til Oslo basert på *Kommunerapporten 2019* fra Byggfakta hvor Oslo utgjør 14,43 % av landets bygg- og anleggsinvesteringer (14). Framskrivning av volumendringer fra BNLs markedsrapport er brukt fram til 2023, deretter antas en vekst på 5 %, som er basert på statistikk fra SSB (15). Videre har vi forenklet ved å anta at alle anleggsprosjekter er kommunale, selv om det kan være noe anleggsvirksomhet i regi av private og statlige utbyggere.

Energi- og effektbehov vil variere mellom anleggsområder, avhengig av størrelse og omfang på det som skal bygges, og utslippsfrigraden på anleggsmaskiner og transport. I framskrivningen er det antatt at alle offentlige anleggsområder er utslippsfrie innen 2025 og at alle anleggsområder (inkludert private) er utslippsfrie innen 2030. Framskrivningen er gjort for referansescenarioet (basert på resultatene fra referanse byggeplass og anleggsplass energibehov) og et utviklingsscenario som tar hensyn til en teknologi- og kompetanseutvikling mot de to andre scenarioene – middelsscenarioet og optimalscenarioet – og for en rask og sakte implementering av mål om utslippsfrie bygge- og anleggsplasser på det private markedet. Framskrivningen er kun for energibehov og ikke effektbehov. Dette er fordi effektbehovet er avhengig av den enkelte bygge- eller anleggsplassen samt avhengig av utbyggingstakt for ulike bydeler, så det er lite nytte i å fastslå effektbehov for hele Oslo. Resultatene av framskrivningen er vist i Figur 8 for bygg, anlegg og summen av de to. Framskrivning av energibehovet vil endres i tråd med utbyggingstakt, måloppnåelse for private og kommunale bygge- og anleggsplasser, økning av utslippsfrigraden, og teknologiforbedringer. En tidligere DNV GL-rapport estimerte energibehovet fra bygge- og anleggsvirksomhet i Oslo kommune til ca. 133 GWh (16). Resultatene i denne studien er på ca. 77–97 GWh. Disse resultatene bør ikke sammenliknes direkte fordi ulike tilnærminger er brukt for framskrivninger, med ulike antakelser om utbyggingstakt og for forskjellige tidshorisonter.



Figur 8
Framskriving av energibehov for bygge- og anleggsplasser i Oslo kommune fram til 2030

Kostnadsanalyser

Tidligere analyser gjennomført for bransjen av SINTEF og TØI (17) viser at utslippsfrie alternativer for anleggsmaskiner og tunge kjøretøyer har en høyere investeringskostnad enn fossile alternativer. Analysene viser også at utslippsfrie alternativer ofte har lavere driftskostnader. For å vurdere effekten av reduserte driftskostnader opp mot høyere investeringskostnader er det utført livsløpskostnadsanalyser (LCC) for gravemaskiner og tippbiler på diesel, HVO og elektrisitet. Det er også gjort analyser av merkostnadene ved å benytte utslippsfrie alternativer på eksempel-byggeplassen og eksempel-anleggsplassen skissert i forrige kapittel. For de kostnadselementene det ikke er gjennomført LCC for, gis en kvalitativ vurdering av omfanget av merkostnadene ved utslippsfri bygge- og anleggsplasser sammenliknet med fossilfrie og tradisjonelle bygge- og anleggsplasser.

Livsløpskostnader (LCC)

Det er gjennomført livsløpskostnadsanalyser for en liten (8–16 tonn), medium (16–23 tonn) og stor (> 23 tonn) gravemaskin og for en tippbil med maksimal tillatt totalvekt på 27 tonn og en tippbil med henger. For levetidskostnader har vi benyttet metoden for livsløpskostnader (LCC) i henhold til standarden NS 3454 (18). Dette inkluderer investeringskostnader, drifts- og vedlikeholdskostnader og energikostnader, samt eventuelt annet utstyr som kreves for å drifte maskinene (som ladeinstallasjoner og kabeltromler). Det er også gjennomført en sammenlikning mellom tradisjonelle maskiner og tippbiler på fossilt drivstoff og på biodrivstoff.

Framskrivinger av kostnader i 2025 og 2030

Beregningene er gjennomført for dagens situasjon (2022) og for årene 2025 og 2030. I analysen er det antatt diskonteringsrate på 4 % (faktor som benyttes for å beregne nåverdien av framtidige kontantstrømmer) og en analyseperiode på seks år for gravemaskiner og fem år for tippbiler. Analyseperioden er basert på gjennomsnittlig periode maskinene er i markedet, hvorpå de blir solgt videre i ettermarkedet etter analyseperioden. Det er vanskelig å definere energiprisene og utvikling av disse. Fra myndighetene jobbes det for tiden med en sammenstilling av prisforutsetninger som vil kunne brukes som oppdatering av forutsetningene i Klimakur 2030-utredningen. Denne sammenstillingen er per dags dato (31.03.2022) hverken ferdigstilt eller offentlig tilgjengelig. Prisutviklinger etter publisering av Klimakur 2030-utredningen tyder på at prisbaner vil kunne oppjusteres. Våren 2022 er priser for både strøm, diesel og HVO historisk sett svært høye. For elektrisk drift og dieseldrift fanges dette i hovedsak opp innen rammene satt i vår sensitivitetsanalyse, mens økningen i HVO-prisene relativt sett er større hvis prisene holder seg høye framover. Det innebærer at drift med både strøm, diesel og HVO har fått økte kostnader i forhold til prisforutsetninger fra Klimakur-utredninger, men relative prisendringer og energiforbruk mellom energikildene er mest gunstige for elektrisk drift (som øker konkurransekraften vs. både diesel- og HVO-drift) og mest ugunstig for drift med HVO. Tabell 3 viser energiprisene som er benyttet i referansescenarioet for både gravemaskiner og tippbiler. Det er gjort en sensitivitetsanalyse for å se effekten av høyere elektrisitetspriser i 2030 og lavere diesel- og HVO-priser, samt lavere elektrisitetspriser og høyere diesel- og HVO-priser.

For investeringskostnadene for maskinene i 2025 og 2030 er det antatt at prisene i samfunnet generelt har økt med ca. 2 % i 2025 og 5 % i 2030 (19), og dette gjenspeiler seg i økning i kostnader for maskinene.

Tabell 3
Antatte energipriser i 2022, 2025 og 2030*

	2022	2025	2030
Dieselpris i kr per liter eks. avgifter	6,86	6,96	7,08
HVO-pris i kr per liter eks. avgifter	12,24	12,96	13,75
Strømpris i kr per kWh eks. avgifter	0,744	0,81	0,77
Hurtigladepris i kr per kWh eks. avgifter	3,2	3,48	3,31
CO ₂ -avgift i kr per liter	2,05	3,28	5,32
Veibruksavgift i kr per liter	3,52	2,91	1,88
El-avgift i kr per kWh	0,1541	0,1583	0,1541

* Energipriser er basert på prisbaner i Klimakur 2030-utredningen (Vedlegg II – veileder). Antatte energipriser ved hurtiglading er basert på tilbakemeldinger fra markedet (og som er på et tilsvarende nivå som i flere andre analyser). For framtidsår er hurtigladepriser skalert med utviklingen i strømprisen. For CO₂- og veibruksavgiften er dagens satser lagt til grunn. CO₂-avgiften antas å øke lineært i takt med et varslet nivå på ca. 2 000 kr/tonn i 2030, mens veibruksavgiften forutsettes redusert med halvparten av den årlige økningen i CO₂-avgiften. Det vil si at i sum øker avgiftstrykket per liter diesel, men for HVO (som kun svarer veibruksavgift), reduseres avgiftstrykket. El-avgiften følger banen som er lagt til grunn i Klimakur 2030-utredningen.

Kostnadsanalyser transport

Bakgrunn og innsikter fra kostnadsanalyser for batterielektriske lastebiler

For anleggstransport er det utarbeidet beregninger for totale eierskapskostnader (TCO) ved diesel-, HVO- og batterielektrisk drift. Beregningene er utført for både "dagens" situasjon, for årene 2025 og 2030, og for to kjøretøyklasser: tippbiler med maksimal tillatt totalvekt på 27 tonn og tippbiler med henger. Ettersom beregningene bygger på et rammeverk som TØI har utviklet gjennom flere år og flere prosjekter, presenteres først bakgrunn og overordnede innsikter fra disse analysene.

I TØI-rapporten *Grønn lastebiltransport?* (20) presenteres beregninger av totale eierskapskostnader for forskjellige størrelsesklasser av lastebiler og trekkvogner, over hele avskrivningsperioden. Beregningene tar utgangspunkt i en detaljert dekomponering av tids- og distanseavhengige kostnader og kostnadsdrivere, og de ble utført for standard kjøretøy med (der relevant) enkleste påbygg for å få mest mulig sammenliknbare kostnadsanslag. I praksis er de fleste tyngre nyttekjøretøyer skreddersydd, for eksempel med hensyn til kundens preferanser for motorstørrelse, totalvekt, påbygg og førerhytte, og i motsetning til person- og varebiler foreligger det ikke standard prislister. For batterielektriske løsninger vil også kundenes rekkeviddebehov, og dermed batteristørrelse, være en viktig faktor som påvirker prisen.

Tabell 4 er hentet fra TØI-rapporten (20) og illustrerer at batterielektriske tyngre kjøretøyer i dag har en særdeles høy merkostnad ved investering sammenliknet med dieselmotor. Relative prisdifferanser er noe mindre ved større kjøretøyer, mens trekkvogner har høyere prisdifferanser enn lastebiler når tilhenger ekskluderes.

Tabell 4
Prisforskjeller relativt til dieselmotor for ulike framdriftsteknologier, totalvektklasser og for lastebil og trekkvogn. Tilhenger er ikke inkludert i kostnaden for trekkvogn (20).

Totalvekt i tonn	Aksler	Diesel	Kompri- mert gass	Flytende gass	Hybrid vanlig	Plug-in hybrid	Batteri- elektrisk	FCEV estimat
Lastebil:								
< 16	2	100 %	120 %	130 %	150 %	160 %	325 %	400 %
< 27	3	100 %	115 %	125 %	145 %	155 %	300 %	375 %
> 27	3	100 %	110 %	120 %	140 %	150 %	275 %	350 %
Trekkvogn:								
< 27	2	100 %	120 %	140 %	170 %	180 %	375 %	500 %
> 27	3	100 %	115 %	130 %	150 %	160 %	300 %	400 %

For å se nærmere på konkurransedyktighet i årene framover har TØI dekomponert dagens kostnader for diesel- og batterielektriske tyngre nyttekjøretøyer i kostnader for chassis, batteri, drivlinje, elmotor og en rekke andre komponenter, samt framskrevet disse for 2025 og 2030, basert på prisprognoser fra en rekke kilder. En utfordring og et usikkerhetsmoment ved denne tilnærmingen er at det for batterielektriske kjøretøyer, ved dagens komponentpriser, kommer fram en stor "residualkostnad", altså en kostnadsforskjell sammenliknet med dieselskjøretøyer som ikke kan forklares med forskjeller i komponenter og komponentpriser alene. Tilbakemeldinger fra produsenter og andre kilder tyder på at dette skyldes utviklingskostnader som produsenter forsøker å tjene tilbake samt høye enhetskostnader ved dagens produksjon i relativt liten skala. Selv om det kan antas at denne residualkostnaden vil avta over tid, slik som vi har observert for person- og varebiler og gjennom prisreduksjoner fra 1. til 2. generasjon batterielektriske lastebiler, vil utviklingen i denne kostnaden være et vesentlig usikkerhetsmoment med betydelig innvirkning på eierskapskostnadene til batterielektriske kjøretøyer. Et annet usikkerhetsmoment i tillegg til faktisk batteriprisutvikling er hvorvidt prisutvikling og teknologisk utvikling vil påvirke størrelsen på batteripakken på framtidige biler. Tilbakemeldinger fra produsenter tyder på at rekkevidden for batterielektriske lastebiler forventes å øke i årene framover, drevet av behov hos kunder. Det vil si at det ventes reduksjoner i pris per kWh, samtidig som flere produsenter forventer en økning i kWh (batterikapasiteten) sammenliknet med dagens situasjon.

Målt i eierskapskostnader er differansen mellom batterielektriske biler og dieselskjøretøyer vesentlig mindre enn målt i innkjøpspris. Det skyldes at batterielektriske biler har betydelig lavere energi-/drivstoffkostnader enn dieselsbiler samt lavere utgifter til bompenger. For mange andre kostnadsdrivere (for eksempel kostnader til dekk eller årlige avgifter) er kostnadsforskjellene relativt små eller neglisjerbare. En viktig faktor i motsatt retning er usikkerhet rundt restverdien til batterielektriske kjøretøyer. Det skyldes både manglende erfaring rundt (rest)levetid, men også at mange av dieselsbilene som brukes i Norge, eksporteres til land i Øst-Europa. I lys av infrastrukturen som trengs til batterielektriske biler og kjøpekraften i land som norske bruktbiler vanligvis eksporteres til, er det derfor usikkerhet knyttet til om brukte batterielektriske biler vil kunne omsettes på samme måte eller med samme restverdiandel som dieselsbiler. En av lastebilleverandørene oppgir imidlertid at de opererer med at batterielektriske lastebiler vil ha en brukbar restverdi ettersom det forventes innføring av nullutslippssoner i både Norge og andre (vest-europeiske) land.

Generelt er konkurransedyktigheten til batterielektriske biler svært avhengig av bruksintensitet (og andelen – dyrere – hurtiglading). Kostnadselementene som gir de største besparelsene, er distanseavhengige, det vil si at konkurransedyktigheten øker desto lenger den årlige kjørelengden er. Samtidig er det nettopp årlig kjørelengde som begrenses av at dagens batterielektriske biler i praksis fortsatt har begrenset daglig rekkevidde. Også rammebetingelser, som videreføring eller avvikling av bompengfordeler, ENOVA-tilskudd, insentiver gjennom anbudsutlysninger og ladesituasjoner (tilgjengelighet og bruk av infrastruktur), og -kostnader vil i stor grad påvirke batterielektriske bilers konkurransedyktighet.

Spesifikke kostnadsberegninger for anleggsbiler

Dette avsnittet beskriver de viktigste forutsetningene som er lagt til grunn i kostnadsberegninger og sammenlikninger av kostnader for anleggsbiler med diesel-, HVO- og batteri-elektrisk drift.

Kapitalkostnader

Batterielektriske anleggsbiler som så langt er tatt i bruk i Norge, oppgis å ha vært ca. 3–3,5 ganger dyrere enn tilsvarende dieselsbiler, hvor merkostnaden har gått ned mellom 1. og 2. generasjons serieproduksjon. For framtidens årene 2025 og 2030 er merkostnader beheftet med stor usikkerhet, noe som også markedsaktører påpeker. Merkostnader brukt i våre beregninger er derfor basert på estimerte prisdifferanser og framskrivninger fra TØIs detaljerte dekomponerings- og framskrivingsarbeid omtalt ovenfor. Det innebærer at batterielektriske tippbiler uten henger forutsettes å være rundt 2,25 ganger dyrere enn dieselskjøretøyer i 2025, og rundt 1,9 ganger dyrere i 2030. For batterielektriske tippbiler med henger er disse forholdstallene forutsatt å ligge rundt 2,1 og 1,8.

Beregninger legger til grunn at 40 % av investeringsmerkostnaden for batterielektriske kjøretøyer dekkes gjennom tilskudd fra ENOVA. Gitt usikkerheten knyttet til restverdier er det utarbeidet to sett med TCO-beregninger for hver kjøretøyklasse. For det første forutsettes en brukstid på fem år, med avskrivning

etter saldometoden for diesekjøretøyer (og en restverdi etter fem år på ca. 28 % av nyprisen), konsistent med metoder brukt i tidligere analyser og Nasjonal Godsmodell (20). For batterielektriske biler er det brukt samme restverdiandel som for diesebiler, men med en nedjustering på 50 % i 2022 og 25 % i 2025 for å reflektere usikkerhet i brukmarkedet. For de andre beregningene forutsettes det en brukstid på sju år, hvor restverdien for både diesel- og batterielektriske kjøretøyer er satt til null. For å beregne og kunne sammenlikne eierskapskostnader per kilometer er kapitalkostnader over analyseperioden diskontert til 2022-kroner og delt med kjørte km over samme periode. Bakgrunnen for de to beregningssettene er tilbakemeldinger fra markedet om at diesel- og batterielektriske kjøretøyer i noen tilfeller tilnærmes annerledes, for eksempel når det gjelder brukstid før videresalg (eller gjenkjøpsavtale) trer inn, eller hvorvidt det velges å "bruke opp" kjøretøy under eget eierskap.

Bruks- og kjøremønstre

Litteratur, workshops, intervjuer og bakgrunnsinformasjon tyder på at bruksmønstre og kjøringen til anleggskjøretøyer kan variere mye. Det gjelder både generelt (diesekjøretøyer kan ha vesentlig ulike bruksmønstre), men også forskjeller mellom diesekjøretøyer og dagens bruk av (de få) batterielektriske anleggssbilene. Sistnevnte skyldes både rekkeviddebegrensninger og behov for lading, men også i hvilke prosjekter de batterielektriske anleggssbilene brukes og de endringene dette medfører i transportopplegget. En slik endring kan være at istedenfor å kjøre masser ut av byen, brukes batterielektriske biler til å kjøre masser til mellomagringssteder i randsonen av Oslo, og kjøretøyer med forbrenningsmotor kjører massene til sluttdestinasjonen. Dette vil kunne forbedres hvis man i større grad finner sirkulære løsninger for ombruk i nærheten av bygge- og anleggsplassene som kan redusere lengre transportetapper.

Generelt begrenses bilenes kjørelengder gjerne av at de står mye stille på anleggsplasser, hvor det er tid til lasting og lossing som er dimensjonerende. Det påvirker konkurranseevnen til batterielektriske biler ettersom besparelser og merkostnaden ved investering må hentes inn i bruks-/kjørefasen. Tall fra periodiske kjøretøykontroller for anleggsbiler i Oslo-området indikerer at nyere anleggsbiler i gjennomsnitt kjører mellom 35 000–50 000 km per år. For å reflektere stor variasjon i bruks- og kjøremønstre og for å illustrere viktigheten av bruksintensiteten for batterielektriske bilers konkurranseevne, presenterer vi TCO-beregninger ved årlige kjørelengder på 20 000, 30 000, 40 000, 50 000 og 60 000 km.

Drivstoff- og energikostnader

Energikostnader utgjør en viktig del av eierskapskostnader. Analysene legger til grunn utvikling i energipriser og avgiftssatser som oppsummert i Tabell 3. Kostnader til etablering av depotlader er inkludert i beregningene som kapitalkostnader (henholdsvis 100 000 og 150 000 for tippbiler uten og med henger). Utover en (betydelig) høyere kWh-pris ved hurtiglading er det ikke inkludert kostnader til etablering av hurtiglader eller til tidsbruk til lading. Å inkludere kostnader til etablering av hurtigladeinfrastruktur hos operatøren er utfordrende og medfører mye usikkerhet da kostnader er svært avhengige av nødvendigheten av nettoppgraderinger og antall biler som forsynes per hurtiglader. Hvorvidt tidsbruk til lading utgjør en kostnad, avhenger av om lading skjer i pauser der kjøretøyene uansett ikke brukes.

Operatører opplyser at drivstofforbruket til anleggsbiler varierer veldig med type kjøring og bruksmønstre. I våre beregninger er dieselforbruket til tippbiler forutsatt til 4 liter/mil og til 4,75 liter/mil for tippbiler med henger, basert på operatørenes tilbakemeldinger samt flåtestyringsdata for reell kjøring innenfor bygge- og anleggstransport, innsamlet gjennom LIMCO-prosjektet (10). Det opplyses også om at energiforbruket til de batterielektriske bilene kan variere mye med type kjøring, i tillegg til at 2.-generasjons kjøretøyer har hatt en merkbar forbedring i energieffektivitet. I våre beregninger er derfor energiforbruket ved batterielektrisk drift basert på relativ energieffektivitet til diesel- og batterielektriske drivlinjer, skalert med energiinnholdet i diesel. Det resulterende strømforbruket (1,4–1,7 kWh/km) er i samme størrelsesorden som estimerer oppgitt av operatører. Drivstofforbruket ved HVO-drift er basert på dieselforbruket, men justert for relativt energiinnhold.

Energikostnader ved batterielektrisk drift er videre avhengig av hvor mye batteriene lades med saktelading i depot (mot relativt lav strømpris) og hvor mye det benyttes hurtiglading (mot betydelig høyere pris per kWh). Som tidligere nevnt er TCO-beregningene utført ved ulik bruksintensitet (årlige

kjørelengder), som ved å dele med 250 driftsdager gir en gjennomsnittlig daglig kjørelengde. Med bakgrunn i bilenes rekkevidde har vi satt hurtigladeandeler som øker med daglig kjørelengde, hvor det tas utgangspunkt i at det ved lav daglig kjørelengde vil være lite behov for hurtiglading på dagtid, mens det ved intensivt bruk vil være et betydelig behov for hurtiglading. Mot 2025 og 2030 er hurtigladeandelen noe nedjustert for å reflektere ventede økninger i batterikapasitet.

Bompenger

For bompenger har vi forutsatt en gjennomsnittlig utgift på 1,35 kr/km for diesel- og HVO-drevne kjøretøyer (basert på uttrekk gjort med Nasjonal Godsmodell og tilpasset Oslo-området), mens for batterielektriske tunge kjøretøyer er det forutsatt bompengefritak ut 2030.

Vedlikehold

Kostnader til generelt vedlikehold er basert på forutsetninger for sammenliknbare kjøretøyer fra kostnadsfunksjoner til Nasjonal Godsmodell (21), med noen mindre justeringer for å reflektere tilbakemeldinger fra markedet og forutsetninger i tilsvarende analyser. Vedlikeholdskostnader for diesel- (HVO-) og batterielektriske kjøretøyer er forutsatt å være omtrent like, basert på tilbakemeldinger fra markedet. Det foreligger indikasjoner på at vedlikeholdet i dag kan være noe dyrere for batterielektriske biler, men også indikasjoner på at de potensielt kan bli betydelig lavere fordi batterielektriske biler har færre (bevegelige) deler som trenger vedlikehold, og er mindre utsatt for kjøretøyvibrasjoner. Videre er det lagt til grunn teknologiavhengige utgifter til dekk og vask, også basert på forutsetninger fra kostnadsfunksjoner til Nasjonal Godsmodell.

Øvrige kostnadsdrivere

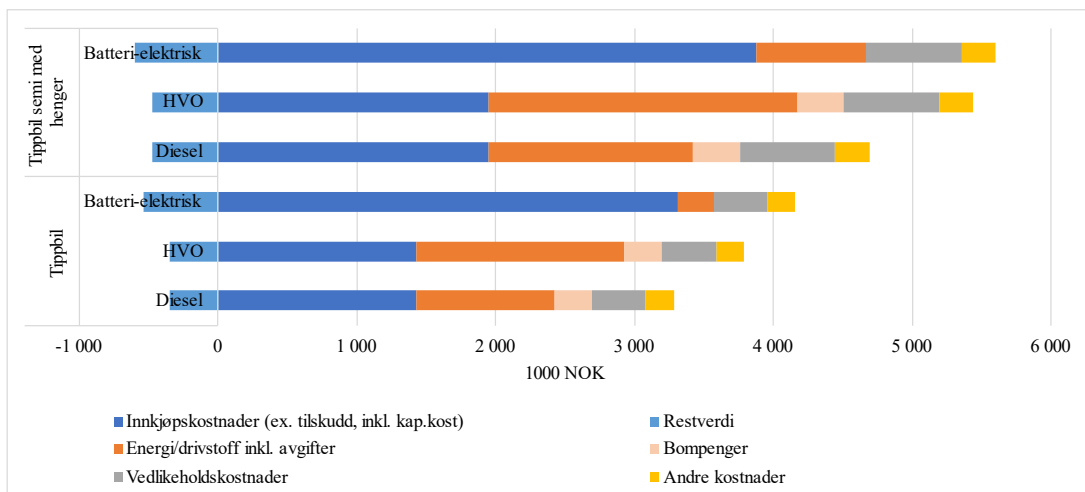
TCO-beregningene inkluderer også årlige utgifter til forsikring og administrasjon (hentet fra kostnadsmodellen til Nasjonal Godsmodell, for tilsvarende kjøretøy) og som forutsettes like for diesel- og batterielektriske kjøretøy. Videre inkluderer beregningene vektårsavgiften, som er marginalt høyere for dieslbiler på grunn av en liten miljødifferensiering i avgiften.

Resultater for kostnadsanalyse av transport

Som tidligere nevnt har vi gjennomført kostnadsanalyser for en tippbil med maksimal tillatt totalvekt på 27 tonn og en tippbil med henger. Analysene bygger på dagens kostnadsbilde ved diesel-, HVO- og batterielektrisk drift, og antakelser om kostnadsutviklinger mot 2025 og 2030. Det er videre gjennomført en sensitivitetsanalyse for reduksjon eller økning i energikostnader for å se effekten av økte/reduerte strømpriser/drivstoffpriser.

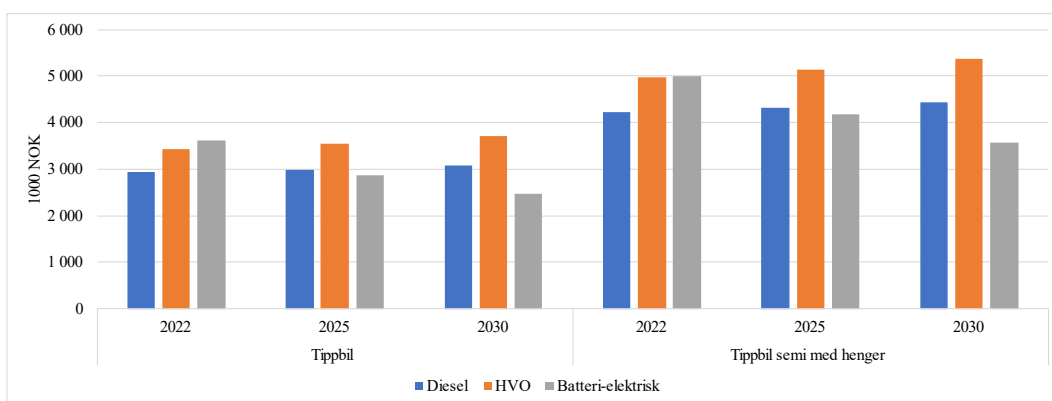
Resultatene som presenteres, tar utgangspunkt i gjennomsnittlige årlige kjørelengder på 40.000 km for tippbiler uten henger, og 50.000 km for tippbiler med henger, og i beregningene for femårs bruksperioder (med tilhørende og tidligere diskuterte antakelser om restverdier). Det er to unntak, som er tydelig beskrevet: En illustrasjon av effekten av lavere/høyere bruksintensitet (årlig kjørelengde) og en illustrasjon av effekten på eierskapskostnader når en sjuårs bruksperiode legges til grunn med restverdi null for både diesel- og batterielektriske kjøretøyer.

Figur 9 viser fordelingen av levetidskostnader (i 2022) for de forskjellige kostnadskategoriene: investeringskostnaden (etter tilskudd og inkludert kapitalkostnader), driftskostnader (energi/ drivstoff), vedlikeholdskostnader, bompenger, andre kostnader og restverdien etter fem år for de to kjøretøykategoriene. Figuren illustrerer tydelig at innkjøpskostnader og energi-/drivstoffkostnader er de største kostnadsdrivere. Innkjøpskostnader er desidert høyest for batterielektriske kjøretøyer, som samtidig har en betydelig lavere driftskostnad enn diesel- og HVO-drevne tippbiler, i tillegg til en besparelse gjennom fritak for bompenger. Dette er gitt standard energipriser som oppgitt i Tabell 3. Vedlikeholdskostnader utgjør en noe mindre kostnadsdriver og eventuelle forskjeller mellom kjøretøyer med forbrenningsmotor og batterielektrisk drivlinje vil gi mindre utslag. Andre kostnader utgjør en liten kostnadsdriver. Figuren viser videre effekten av usikkerhet rundt restverdier til batterielektriske tippbiler, ved at restverdien for sistnevnte utgjør en mindre andel av (de høyere) investeringskostnadene enn for diesel- og HVO-drevne biler.



Figur 9
Levetidskostnader for en tippbil uten henger og en tippbil semi med henger, fordelt på kostnadskategorier i 2022

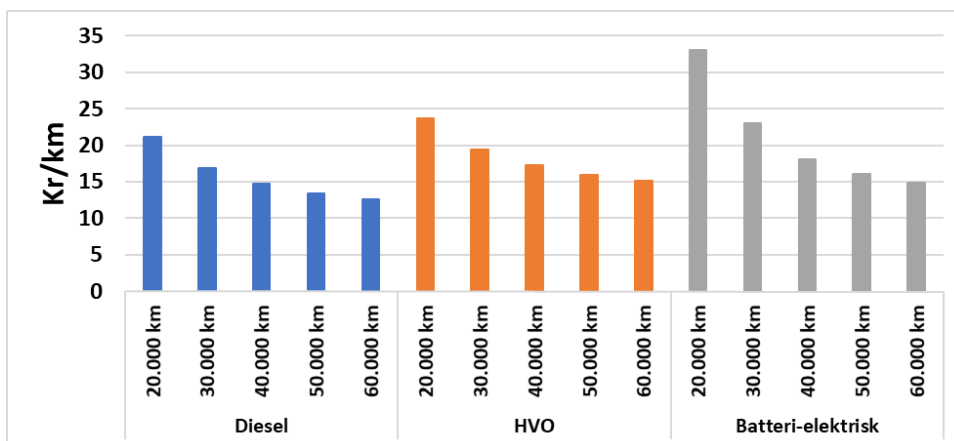
Utviklingen i totale levetidskostnader for tippbiler med og uten henger, ved ulike energi-teknologi, vises i Figur 10.



Figur 10
Utvikling i levetidskostnader for årene 2022, 2025 og 2030 for tippbiler med og uten henger, ved ulike energiteknologi

Levetidskostnadene for batterielektriske tippbiler uten henger er i dag høyere enn for både diesel- og HVO-drift, men forskjellen med særlig HVO er i dag mindre for tippbiler med henger. Det skyldes høyere energiforbruk per km (og dermed høyere besparelser ved overgang til elektrisk) samt den høyere årlige kjørelengden som er lagt til grunn ved kjøring med henger. Ved forutsetningene om særlig utvikling i investeringskostnader og energipriser som er lagt til grunn her, er batterielektrisk drift ventet å gi lavere levetidskostnader enn både HVO- og dieseldrift i 2025 og for både tippbiler med og uten henger. For 2030 viser figuren betydelige kostnadsbesparelser ved batterielektrisk drift, som i hovedsak skyldes store ventede reduksjoner i kapitalmerkostnadene.

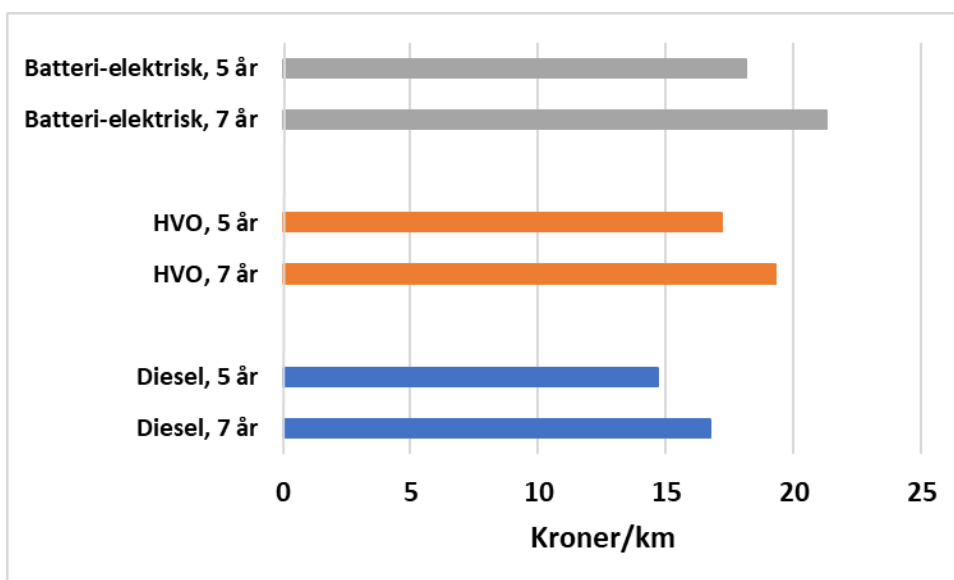
Figur 11 viser levetidskostnader for tippbiler uten henger i dagens situasjon, og eierskapskostnader per km ved lavere/høyere årlig kjørelengde.



Figur 11
Levetidskostnader i kr/km for tippbiler i 2022, ved ulike energiteknologi og ulike årlige kjørelengder

Figuren illustrerer tydelig viktigheten av bruksintensitet for konkurransedyktigheten til de ulike energiteknologiene. For alle energiteknologiene går kostnadene per km ned jo mer kjøretøyene brukes ettersom faste kostnader fordeles over flere kilometer. For batteri-elektriske kjøretøyer er denne nedgangen større grunnet den særdeles høye investeringskostnaden og de store besparelsene per kilometer kjørt. Figuren illustrerer for eksempel at ved høye årligere kjørelengder nærmer batterielektriske tippbiler uten henger seg allerede i dag konkurransedyktighet mot HVO-drift.

I Figur 12 illustreres til slutt effekten av å forutsette en femårs bruksperiode med vanlig restverdi for kjøretøyer med forbrenningsmotor og noe (men usikkerhetsnedjustert) restverdi for batterielektriske kjøretøyer, sammenliknet med å forutsette sjuårs bruksperioder med full avskrivning (null restverdi) for både diesel-, HVO- og batterielektrisk drevne kjøretøyer. I figuren framkommer det at kostnadene per km er noe høyere for alle energiteknologiene når kjøretøyet brukes og avskrives fullt over sju år, men at forskjellen er størst for batterielektriske kjøretøyer. Det vil si at omfanget på restverdien, grunnet den høyere opprinnelige innkjøpskostnaden, er av større betydning for konkurransedyktigheten til batterielektriske kjøretøyer.



Figur 12
Levetidskostnader i kr/km for tippbiler uten henger i 2022, ved ulike energiteknologi og ved henholdsvis femårs analyseperioder med vanlig restverdi for kjøretøy med forbrenningsmotor og noe (usikkerhetsnedjustert) restverdi for batteri-elektriske kjøretøyer, og sjuårs analyseperioder med full avskrivning (null restverdi) for samtlige energiteknologier

Kostnadsanalyser for anleggsmaskiner

Det er tidligere gjennomført kostnadsanalyser for gravemaskiner gjennom forskningsprosjektet på nullutslippsgravemaskin (ZED) (22). Følgende analyser bygger videre på resultatene fra ZED-prosjektet. Kostnadsanalysene er gjennomført for en liten, medium og stor gravemaskin som tilsvarer 8,5 tonn, 17,5 tonn og 38 tonn. Analysen omfatter ikke anleggsmaskiner under 8,5 tonn. Elektriske gravemaskiner kan ha forskjellige kombinasjoner av løsninger for framdrift: kun batteri, kun kabel, kombinasjon av batteri og kabel. I denne analysen er det antatt at en liten gravemaskin kun har batteri, en medium gravemaskin har en kombinasjon av batteri og kabel, mens en stor gravemaskin kun har kabel. Anslått effekt og batteristørrelse vises i Tabell 5.

Tabell 5

Oppsummering av hovedparametre for liten, medium og stor gravemaskin

Maskinstørrelse	Liten	Medium	Stor
Energiløsning	Batteri	Batteri + kabel	Kabel
Vektklasse	8,5 t–16 t	16 t–23 t	> 23t
Anslått batteristørrelse/effekt	> 100 kW	70–260 kW	> 260 kW

Investeringskostnad

Investeringskostnadene for en liten, medium og stor gravemaskin i dagens marked baserer seg på ZED-prosjektet og er oppdatert etter intervjuer og arbeidsverksted. Investeringskostnaden for en diesel- og HVO-maskin er anslått å være den samme, men kostnaden for elektrisk maskin ligger på rundt tre ganger investeringskostnaden av en dieselmaskin (se Tabell 6). For framtidsscenarioene er det antatt at elektriske gravemaskiner blir relativt billigere sammenliknet med en dieseldrevet gravemaskin. Basert på intervjuer og et arbeidsverksted med markedet er det vanskelig å si noe nøyaktig om denne utviklingen, men det er enighet om at prisene vil reduseres framover. Derfor er det antatt at prisene reduseres til å være 2,5 ganger så dyr som en dieseldrevet gravemaskin i 2025 og 1,9 ganger så dyr i 2030 for en liten og medium maskin. For en stor gravemaskin ligger investeringskostnaden i dag noe lavere enn for en liten og medium maskin ettersom den kun går på kabel og ikke har kostnader knyttet til batteri. Investeringskostnaden i dag ligger på ca. 2,4 ganger mer enn en dieselmaskin, og det antas at utviklingen vil være dobbelt så dyr i 2025 og 1,8 ganger så dyr i 2030. Dette er noe høyere enn det som kommer fram i rapporten til Endrava, gjort på vegne av UKE (Utviklings- og kompetansetaten i Oslo kommune) og gjennomført i 2021, men følger allikevel samme utviklingsbane (17).

Investeringskostnadene omfatter alle kostnader knyttet til innkjøp av maskinen, eventuell ombygging av maskinen og behov for annet utstyr som kabeltrommel, hurtigladere og kabler på bygge- og anleggsplassen. Kostnadene for elektrisk gravemaskin inkluderer også Enova-støtte på 40 % av merkostnaden.

Drifts- og vedlikeholdskostnader

Driftskostnadene tilsvarer kostnadene ved forbruk av diesel, HVO eller elektrisitet (se Tabell 3). Det er antatt at alle maskinene har en driftstid på 1 800 timer per år. Tabell 6 viser energibruken per gravemaskinstørrelse og per energibærer.

Tabell 6

Energibruk per gravemaskinstørrelse

		Liten (8–16 tonn)	Medium (16–23 tonn)	Stor (> 23 tonn)
Diesel	l/t	5,5	10	30
HVO	l/t	5,79	10,52	31,57
Elektrisk	kWh/t	13	28	100

Opprinnelig, i forskningsprosjektet ZED, var vedlikeholdskostnadene for elektriske gravemaskiner antatt å være noe lavere enn for dieselmaskiner ettersom det var mindre bevegelige deler og dermed mindre behov for utskifting av enkeltkomponenter. Etter noen flere år med erfaring fra vedlikehold av elektriske maskiner ser man derimot at vedlikeholdskostnadene ikke varierer så mye mellom type energibærer, ettersom maskinen uansett trenger jevnlig kontroll og vedlikehold. På bakgrunn av dette er vedlikeholdskostnadene like uavhengige av energibærer (se Tabell 7). For en liten gravemaskin er det antatt en kostnad på 26 kr/time i bruk, mens det for en medium og stor gravemaskin er antatt 33 kr/time i bruk (22).

Andre kostnader og restverdi

Det er antatt at andre kostnader knyttet til blant annet årlige forsikringer ligger på rundt 2,5 % for alle maskintyper og energibærere. Restverdien er fortsatt vanskelig å anslå for elektriske gravemaskiner ettersom de ikke har vært lenge nok på markedet til at man har kunnet skaffe erfaringstall. Derfor er det antatt samme prosent restverdi som for dieselmaskiner. For tradisjonelle dieseldrevne gravemaskiner er det antatt en restverdi på ca. 25 % av innkjøpskostnaden etter analyseperioden på seks år. Tabell 7 oppsummerer alle kostnadene for en liten, medium og stor gravemaskin i dagens situasjon (2022).

Tabell 7

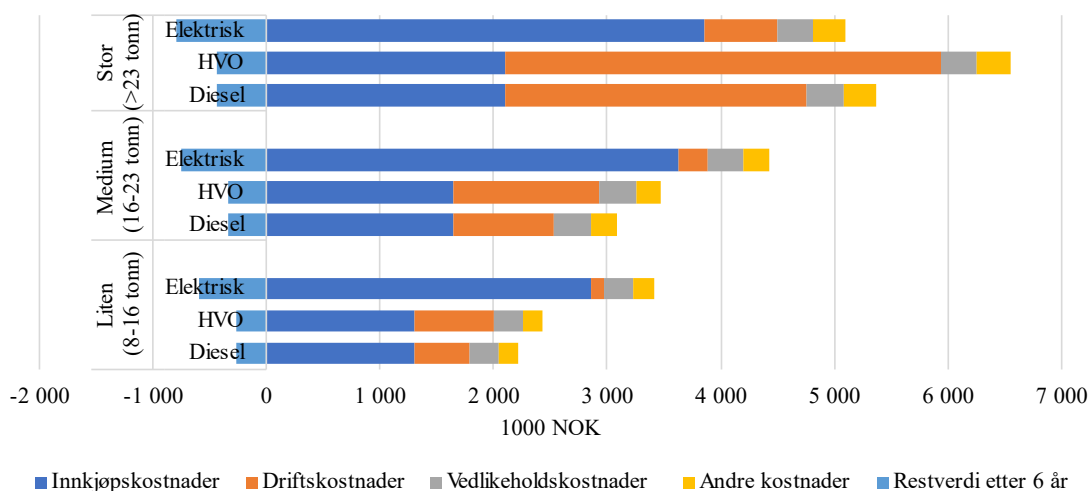
Oppsummering av kostnader for en liten (8–16 tonn), medium (16–23 tonn) og stor (> 23 tonn) gravemaskin i 2022

	Enhet	Liten Diesel/HVO	Liten Elektrisk	Medium Diesel/HVO	Medium Elektrisk	Stor Diesel/HVO	Stor Elektrisk
Investering	mNOK/maskin	1,3	2,86	1,65	3,63	2,1	3,85
Vedlikehold	NOK/år	46 800	46 800	59 400	59 400	59 400	59 400
Andre kostnader	NOK/år	32 500	32 500	41 250	41 250	52 500	52 500
Restverdi	mNOK/maskin	0,32	0,72	0,41	0,9	0,52	0,96

Resultater for kostnadsanalyse av anleggsmaskiner

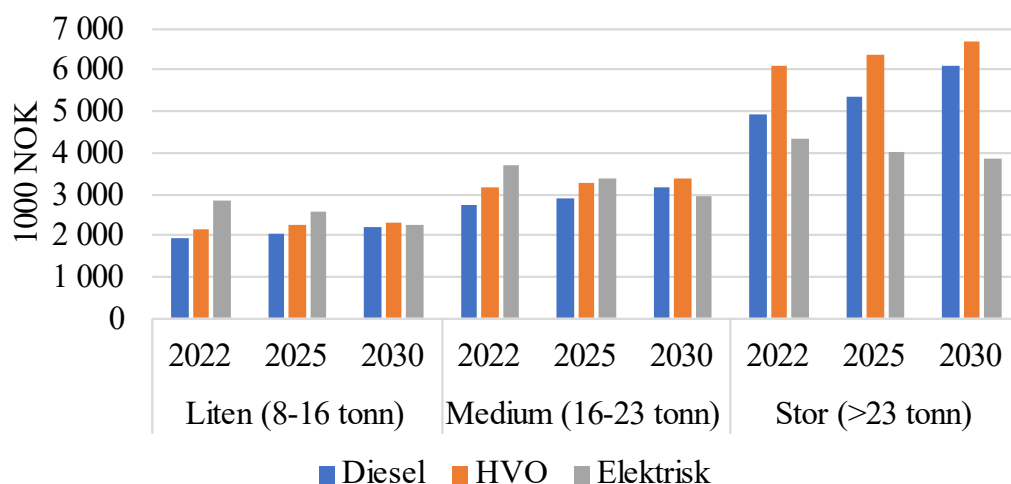
Det er gjennomført kostnadsanalyser for tre ulike størrelser av gravemaskiner – liten, medium og stor – som bygger på analyser av spesifikke maskiner utredet i forskningsprosjektet ZED. Analysene bygger på dagens kostnadsbilde for 2022 og antakelser om utviklingen i disse for 2025 og 2030. Det er også gjennomført en sensitivitetsanalyse for reduksjon eller økning i energikostnader for å se effekten av økte strømpriser eller reduserte diesel- og HVO-priser.

Figur 13 viser fordelingen av levetidskostnader for de forskjellige kostnadskategoriene (innkjøpskostnader, driftskostnader, vedlikeholdskostnader, andre kostnader og restverdien etter seks år) for de tre gravemaskintypene og tre energibærerne i 2022. For gravemaskiner som går på diesel eller HVO, varierer kostnadsposten knyttet til driften av maskinene i form av drivstoffkostnader, vedlikeholdskostnader og andre kostnader. Driftskostnaden for en liten dieseldrevet gravemaskin utgjør 41 % av de totale kostnadene, mens driftskostnadene for en stor HVO-drevet gravemaskin utgjør 68 % av totale kostnader når restverdien ikke er medregnet. For elektriske gravemaskiner er det tydelig at det er innkjøpskostnaden som er den største kostnadskategorien. Den utgjør 75 % av de totale kostnadene for en stor gravemaskin og 84 % av de totale kostnadene for en liten gravemaskin når 40 % støtte til merkostnader av maskinene er inkludert, men restverdien ikke er medregnet. Dette er gitt standard energipriser som oppgitt i Tabell 3. Utviklingen i totale levetidskostnader for en liten, medium og stor gravemaskin per energibærer er vist i Figur 14.



Figur 13

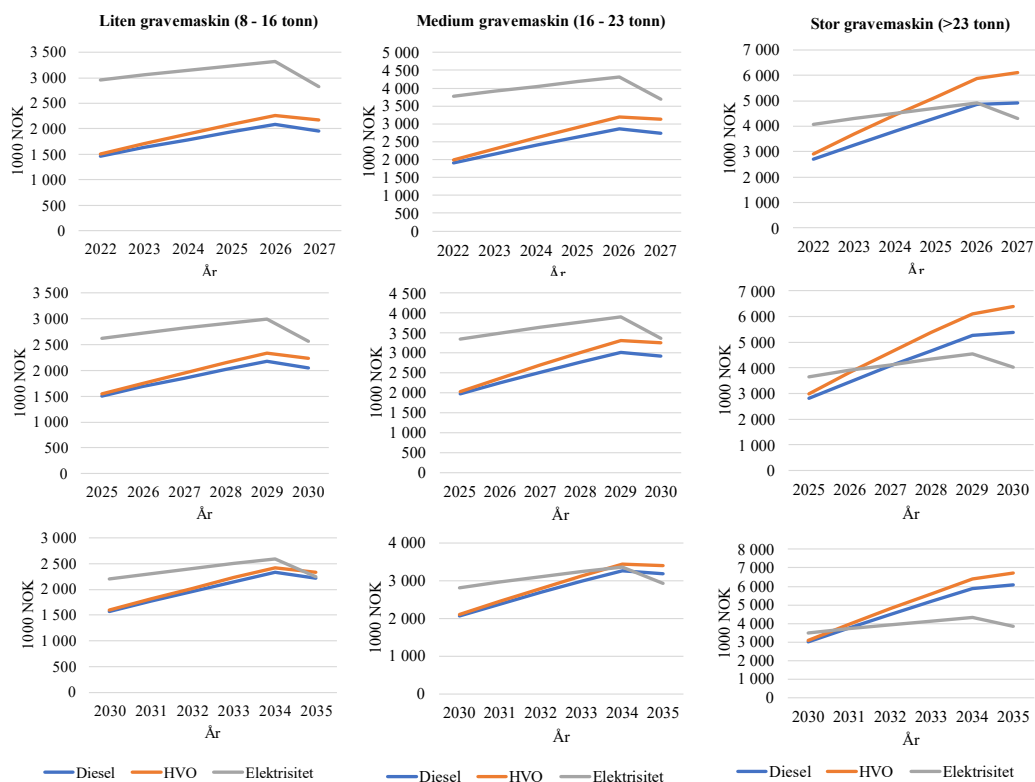
Levetidskostnader for en liten, medium og stor gravemaskin fordelt på kostnadskategorier i 2022



Figur 14
Utvikling i levetidskostnader for årene 2022, 2025 og 2030 per gravemaskinstørrelse og energibærer

Levetidskostnadene for en liten og medium elektrisk gravemaskin er en del høyere enn for både en liten dieseldrevet og en liten HVO-drevet gravemaskin i 2022 og 2025, selv inkludert støtte til 40 % av merkostnadene ved innkjøp. Imidlertid er det ventet at dette skal jevne seg mer ut ut mot 2030 ettersom elektriske gravemaskiner antas å bli serieprodusert i større grad og at batterikostnadene reduseres framover. For den store gravemaskinen er det elektriske alternativet allerede i 2022 et bedre alternativ sett i levetidsperspektivet sammenliknet med bruk av HVO og dieselalternativet. Dette er i stor grad på grunn av antakelsen om at de store elektriske gravemaskinene kun går på kabel og dermed unngår investeringskostnaden knyttet til batterier. Det fører også til at store gravemaskiner på kabel kan være konkurransedyktige på pris sett opp mot dieselalternativet i dag, gitt 40 % støtte til merkostnadene ved innkjøp.

Figur 15 viser krysningpunktet for når levetidskostnadene for en elektrisk gravemaskin blir billigere enn en gravemaskin som går på henholdsvis diesel og HVO. Den grå linjen viser levetidskostnadene for en elektrisk gravemaskin, oransje viser en HVO-drevet gravemaskin og blå linje viser en dieseldrevet gravemaskin. For en liten gravemaskin krysser ikke den grå linjen blå eller oransje linje hverken i 2022 eller 2025, og så vidt med den oransje linjen i 2030. Det betyr at investeringskostnaden ikke blir tjent inn over analyseperioden på seks år. Investering i en medium elektrisk gravemaskin i 2030 vil være likestilt med en investering i en gravemaskin som går på HVO og diesel sett over analyseperioden på seks år. For en stor gravemaskin vil det elektriske alternativet kunne tjene seg inn i løpet av analyseperioden på seks år, selv for en investering som gjøres i 2022.



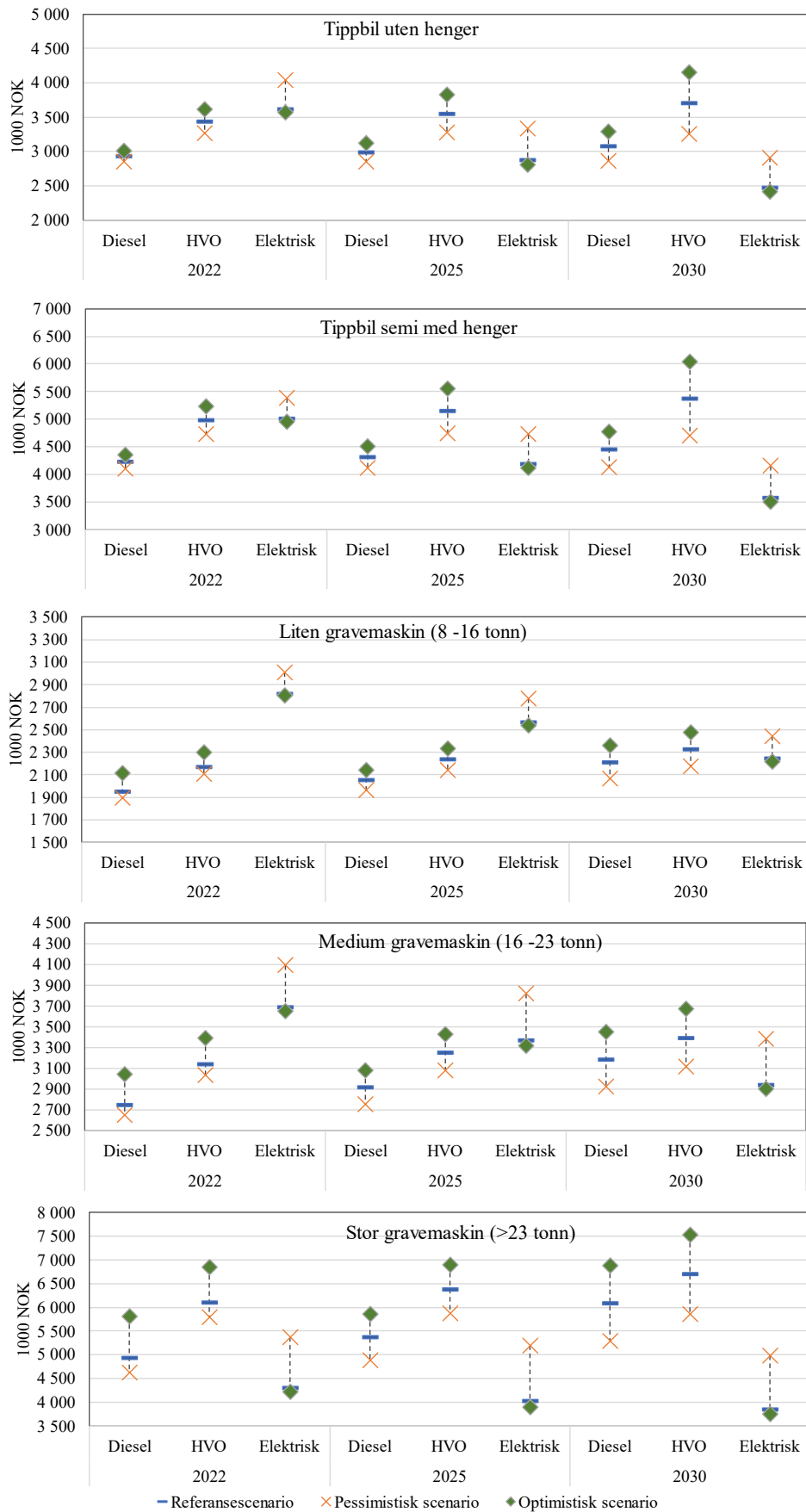
Figur 15 Kostnadsutvikling for liten, medium og stor gravemaskin for investering i 2022, 2025 og 2030

Det er flere usikkerheter knyttet til kostnadsberegningene. Investeringskostnadene i 2025 og 2030 baserer seg på at det vil bli billigere å produsere utslippsfrie alternativer, noe som impliserer at det i større grad blir serieproduksjon av maskinene og større etterspørsel utenfor Oslo kommune. Dette avhenger av markedsutviklingen. En annen stor usikkerhet er energiprisene, og spesielt CO₂-avgifter og strømpriser. For å vurdere hvordan utviklingen kan variere avhengig av energipriser er det gjennomført sensitivitetsanalyser.

Sensitivitetsanalyse av energipriser

For å vurdere effekten av endrede energipriser er det gjennomført sensitivitetsanalyse av energipriser. Det er vurdert to alternative scenarier til referansescenariet som er vist i kostnadsanalysene for gravemaskiner og tunge kjøretøyer.

1. **Pessimistisk scenario.** Elektrisitetsprisene er høye og antatt å være tre ganger høyere enn det som er angitt i Tabell 3. Det er antatt at CO₂-avgiftene ikke er så høye som angitt i Tabell 3, og dermed reduseres totalkostnaden for diesel. Det er også antatt at kostnaden for HVO reduseres med samme mengde som reduksjonen i CO₂-avgiften.
2. **Optimistisk scenario.** Elektrisitetsprisene er noe lavere enn antatt og er kun 75 % av prisene oppgitt i Tabell 3. CO₂-avgiftene blir høyere enn antatt og er 1,5 ganger så høye som det som er angitt i Tabell 3, og dermed øker dette totalkostnadene for diesel. Det er også antatt at kostnaden for HVO øker med samme mengde som økningen i CO₂-avgiften.



Figur 16
Sensitivetsanalyse for endringer i energipriser for tippbil uten henger, tippbil semi med henger og liten, medium og stor gravemaskin og periodene 2022, 2025 og 2030

Sensitivitetsanalysen for tippbiler viser at ved optimistisk scenario (lavere strømpriser og høyere diesel- og HVO-kostnader) ligger levetidskostnadene for elektriske tippbiler relativt nær kostnadene for tippbiler med HVO-drift allerede i dag, men fortsatt vesentlig høyere enn ved dieseldrift. Med kostnadsutviklingen som er forutsatt mot 2025, gir elektrisk drift lavere levetidskostnader enn HVO-drift, bortsett fra i pessimistisk scenario hvor levetidskostnadene for de to teknologiene er omtrent like. Også sammenliknet med vanlig dieseldrift kan elektrisk drift i 2025 være konkurransedyktig, bortsett fra i pessimistisk scenario. Med kostnadsutviklingen som er forutsatt mot 2030, vil elektrisk drift i 2030 være vesentlig billigere enn HVO-drift, selv i pessimistisk scenario, og være billigere (eller i pessimistisk scenario ha omtrent lik levetidskostnad) versus vanlig dieseldrift.

Sensitivitetsanalysen for gravemaskiner viser at ved optimistisk scenario (lavere strømpriser og høyere diesel- og HVO-kostnader) er levetidskostnadene for en liten elektrisk gravemaskin relativt nær kostnadene for en HVO-drevet gravemaskin over analyseperioden på seks år i 2025 og kan bli konkurransedyktig på pris opp mot både HVO- og dieseldrevet gravemaskin i 2030. For medium gravemaskiner er en elektrisk gravemaskin konkurransedyktig med en HVO-drevet gravemaskin allerede i 2025 med det optimistiske scenarioet. Ved referansescenarioet og det optimistiske scenarioet er en medium elektrisk gravemaskin konkurransedyktig også med dieselalternativet i 2030. For store gravemaskiner var allerede det elektriske alternativet konkurransedyktig med både HVO og diesel med referansescenarioet i 2022. Her ser man at ved det pessimistiske scenarioet (høyere strømpriser og lavere diesel- og HVO-priser) vil ikke den store elektriske gravemaskinen være konkurransedyktig med dieselvarianten før i 2030.

Merkostnader for bygge- og anleggsplasser

Basert på kostnadsanalysene gjennomført for tippbil uten henger, tippbil semi med henger og liten, medium og stor gravemaskin er det utarbeidet merkostnader ved overgangen til elektrisk bygge- og anleggsplass. Det er flere kostnadselementer som ikke inngår i den kvantitative analysen, ettersom det ikke foreligger erfaringstall. Dette gjelder blant annet overgangen til utslippsfri byggtørk og oppvarming og utbygging av energinettet (både elektrisitetsnettet og fjernvarmenettet). Gjennom intervjuene og spørreundersøkelsen kom det fram at merkostnaden for drift av en utslippsfri bygge- og anleggsplass sammenliknet med en tradisjonell bygge- og anleggsplass er usikker. Respondentene svarte alt fra 0–5 % merkostnad opp til 41 %. For byggtørk og oppvarming anslås det derimot ikke at det vil være store merkostnader så lenge det planlegges godt i tidlig fase av prosjektene. Basert på kalkyler for bygg og anlegg fra *Norsk prisbok* ligger felleskostnadene, som blant annet inkluderer rigging og drift av byggeplass, på ca. 8 % av den totale kostnaden for et byggeprosjekt (23). For anleggsprosjekter antas det at denne andelen vil være noe større, og fra dialogen med markedet kan det komme opp mot 20 % av totalkostnadene.

Merkostnadene som blir presentert i denne rapporten, vil dermed utgjøre en stor andel av den totale merkostnaden fordi både drift av anleggsmaskiner og drift av tunge kjøretøyer er inkludert. Den største usikkerheten vil være knyttet til anleggsbidrag som kan komme som følge av behov for utbygging av energinettet, men det antas at dette kan unngås i stor grad gjennom god planlegging i tidlig fase.

Tabell 8 viser merkostnadene i kroner per kWh forbruk ved overgangen fra diesel til elektrisk og fra HVO til elektrisk for alle maskintypene det er gjennomført kostnadsanalyse for. Verdiene inkluderer usikkerhetsanalysen knyttet til endringer i energipriser som vist i Figur 16. Verdiene vises for oppstart av prosjektet i 2022, 2025 og 2030. Ved oppstart i 2022 er de fleste verdiene positive, som betyr at det er en merkostnad ved å gå fra diesel- eller HVO-drift til elektrisk drift. Dette endres gradvis, og i 2025 og 2030 er merkostnadene redusert, og mot 2030 kan det i flere tilfeller også være reduserte kostnader ved elektrifisering.

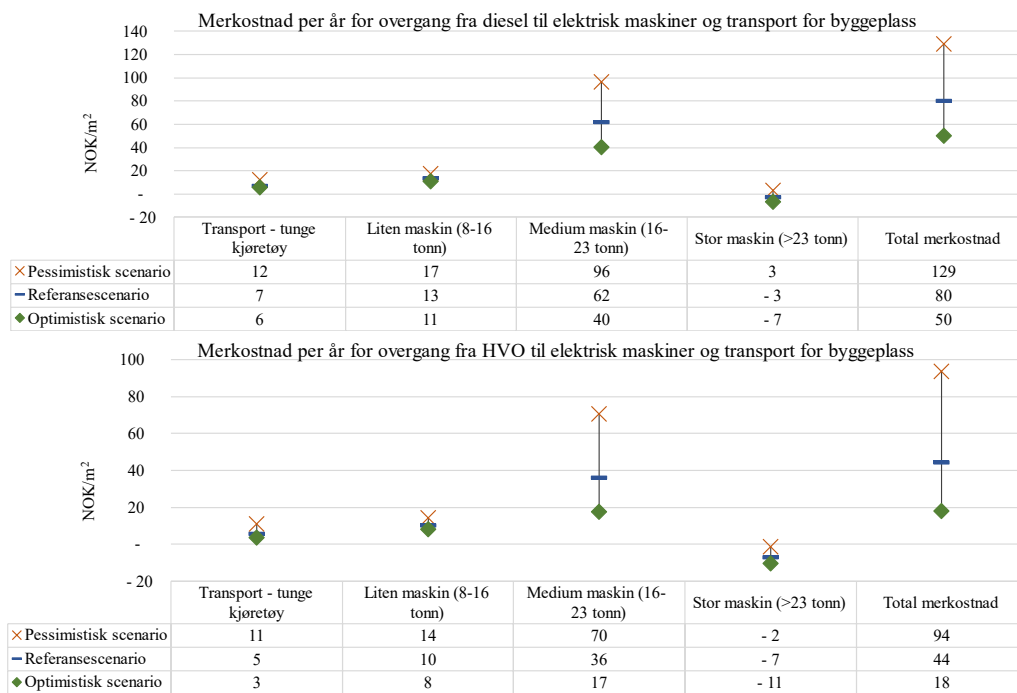
Tabell 8

Merkostnad per kWh ved overgang til elektrisk framdrift sammenliknet med diesel og HVO for alle maskintyper og kjøretøyer for 2022, 2025 og 2030

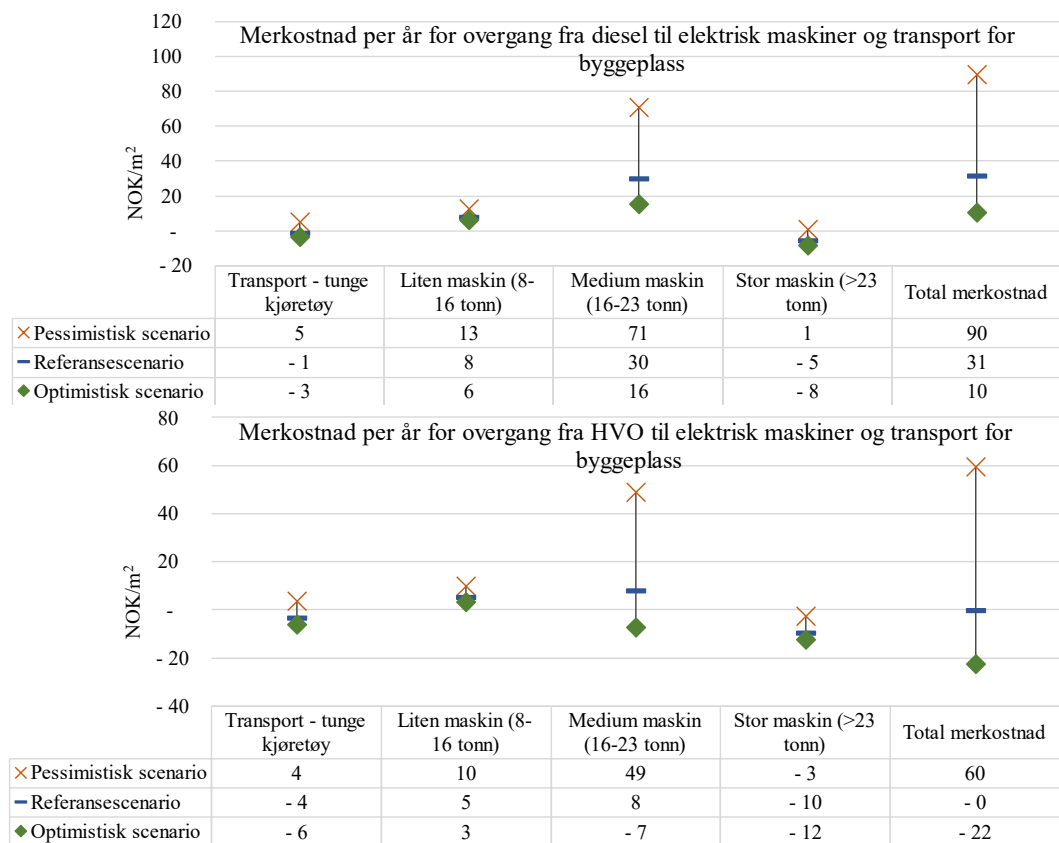
Merkostnad i kr/kWh		2022	2025	2030
Liten gravemaskin	Diesel til elektrisk	[4,9] - [8,0]	[2,8] - [5,8]	[-1,0] - [-2,6]
Liten gravemaskin	HVO til elektrisk	[3,6] - [6,4]	[1,5] - [4,5]	[-1,9] - [-1,9]
Medium gravemaskin	Diesel til elektrisk	[2,0] - [4,8]	[0,8] - [3,5]	[-1,8] - [-1,5]
Medium gravemaskin	HVO til elektrisk	[0,9] - [3,5]	[-0,4] - [2,4]	[-2,5] - [0,9]
Stor gravemaskin	Diesel til elektrisk	[-2,1] - [-1,0]	[-2,5] - [0,4]	[-4,0] - [-0,4]
Stor gravemaskin	HVO til elektrisk	[-3,4] - [-0,5]	[-3,9] - [-0,9]	[-4,9] - [-1,1]
Vanlig tippbil	Diesel til elektrisk	[1,94] - [4,19]	[-1,08] - [1,66]	[-3,08] - [0,15]
Vanlig tippbil	HVO til elektrisk	[1,20] - [3,67]	[-1,96] - [1,15]	[-4,15] - [-0,33]
Tippbil med henger	Diesel til elektrisk	[1,44] - [3,02]	[-0,92] - [1,46]	[-3,00] - [0,06]
Tippbil med henger	HVO til elektrisk	[0,7] - [2,51]	[-1,80] - [0,95]	[-4,07] - [-0,42]

Det er gjennomført energiberegninger for to eksempelprosjekter: ett byggeprosjekt og ett anleggsprosjekt. Basert på disse energiberegningene er det gjennomført analyse av merkostnadene for et byggeprosjekt og et anleggsprosjekt. Merkostnadene for byggeprosjektet vises i kroner per kvadratmeter bygg (NOK/m²), mens merkostnadene for anleggsprosjektet vises i kroner per kontraktsverdi i millioner kroner (NOK/mNOK). Merkostnadene baserer seg på merkostnadene per kWh for forskjellige maskintyper og inkluderer sensitivitetsanalysen knyttet til energipriser.

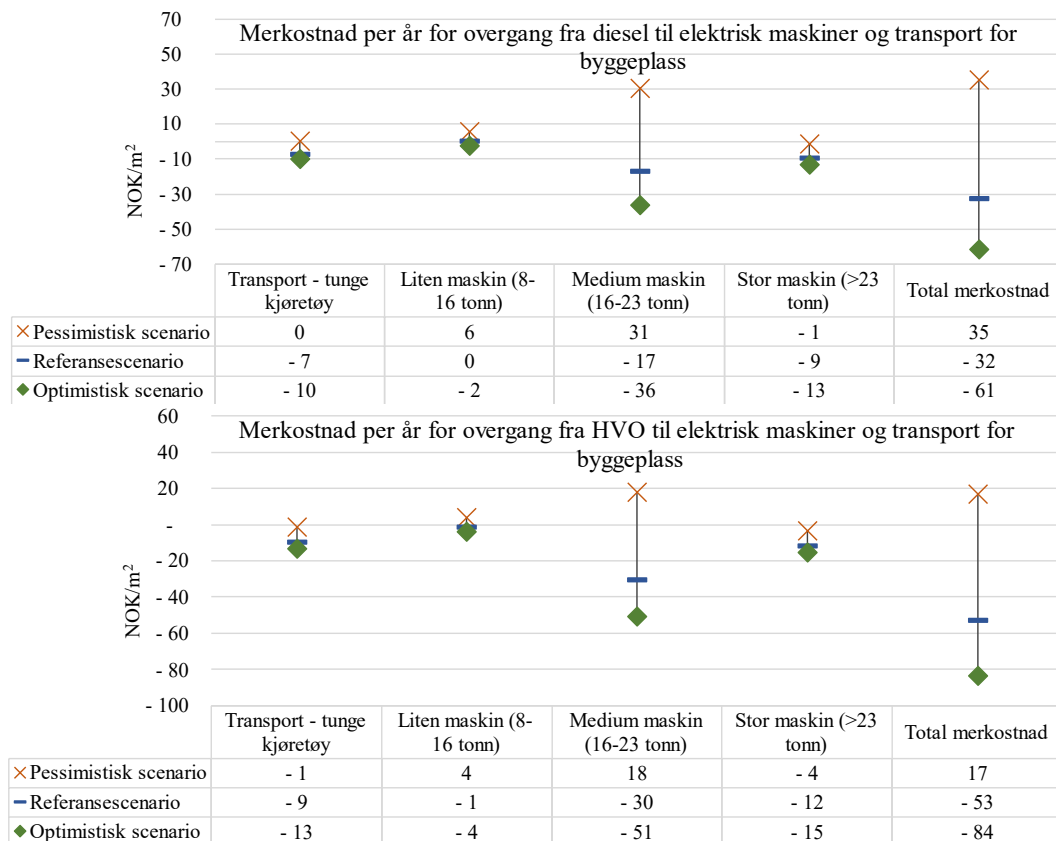
Beregnete merkostnader for en eksempelbyggeplass per maskintype og totalt for driften av byggeplassen gitt oppstart i 2022, 2025 og 2030 vises henholdsvis i Figur 17, Figur 18 og Figur 19. Til sammenlikning ligger byggekostnadene for en barneskole på over 25 000 kr/m², men total kostnadsramme kan være på over 37 000kr/m² (23). Dette vil si at for pessimistisk scenario i 2022, hvor merkostnaden er beregnet til å være rundt 129 kr/m², utgjør dette under 1 % av den totale kostnadsrammen til prosjektet. Det vil også kunne komme andre merkostnader som ikke er vurdert i denne analysen, for eksempel behov for tiltak knyttet til strømforsyning som anleggsbidrag til nettleverandør ved behov for utbygging, eller kostnader knyttet til mobile strømforsyningsløsninger som batteribanker.



Figur 17
Merkostnad for eksempel-byggeprosjekt per år ved overgang fra diesel og HVO til elektriske anleggsmaskiner og tungtransport. Basert på 2022-verdier



Figur 18
Merkostnad for eksempel-byggeprosjekt per år ved overgang fra diesel og HVO til elektriske anleggsmaskiner og tungtransport. Basert på 2025-verdier

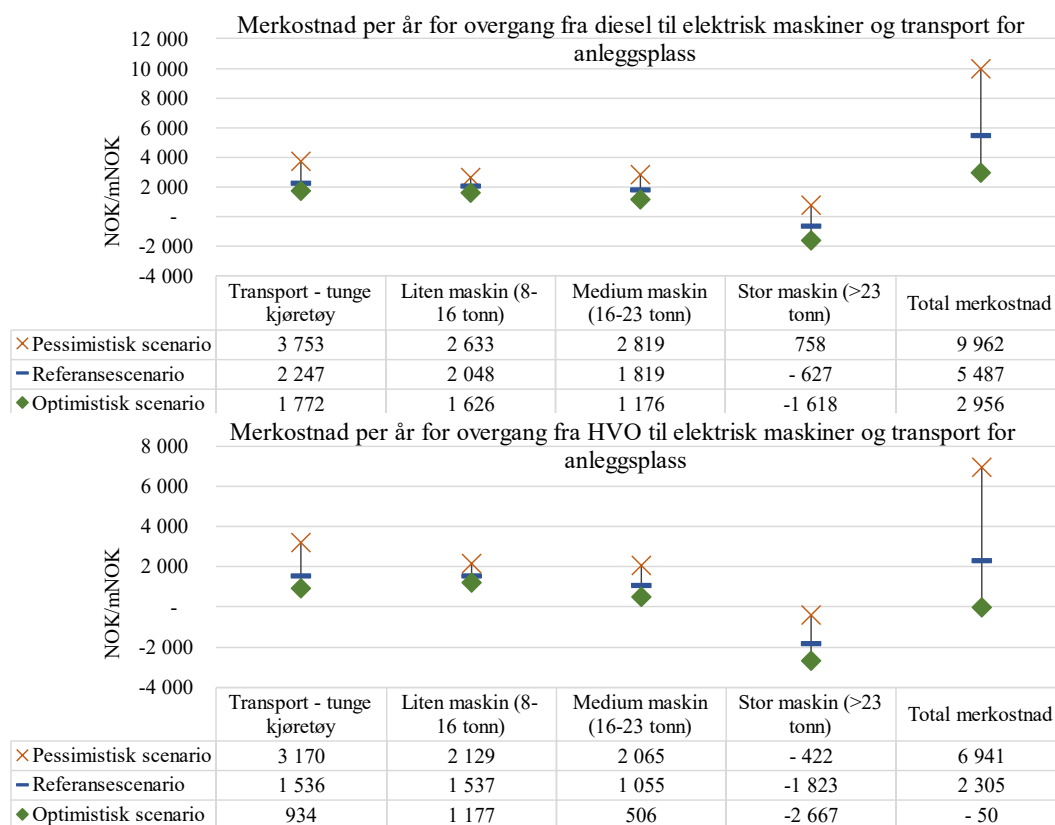


Figur 19

Merkostnad for eksempel-byggeprosjekt per år ved overgang fra diesel og HVO til elektriske anleggsmaskiner og tungtransport. Basert på 2030-verdier

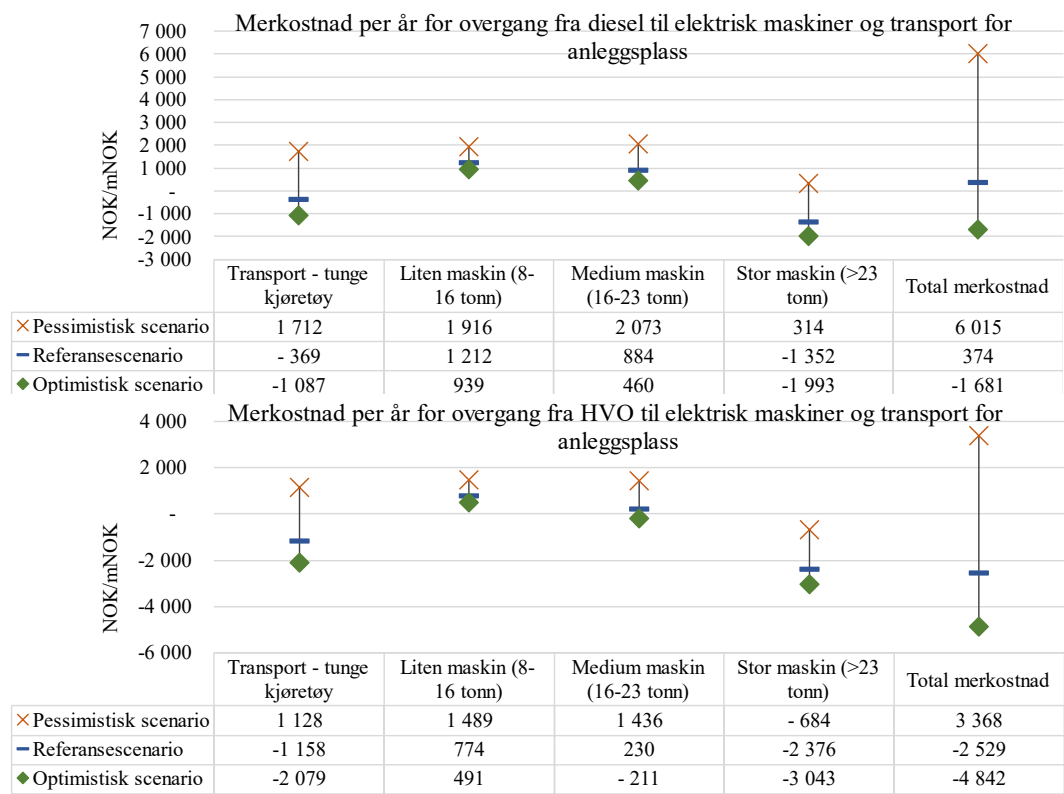
I 2022 og 2025 vil det fortsatt være en merkostnad ved å gå fra diesel og HVO til en helt elektrisk driftet byggeplass. I 2030 er det betydelig større usikkerhet i verdiene, men gitt de rette prisvilkårene og utvikling i markedet, kan en elektrifisert byggeplass være konkurransedyktig med både en byggeplass som går på HVO og en som går på diesel.

Beregnete merkostnader for en eksempel-anleggsplass per maskintype og totalt for driften av anleggsplassen gitt oppstart i 2022, 2025 og 2030, vises i henholdsvis Figur 20, Figur 21 og Figur 22.

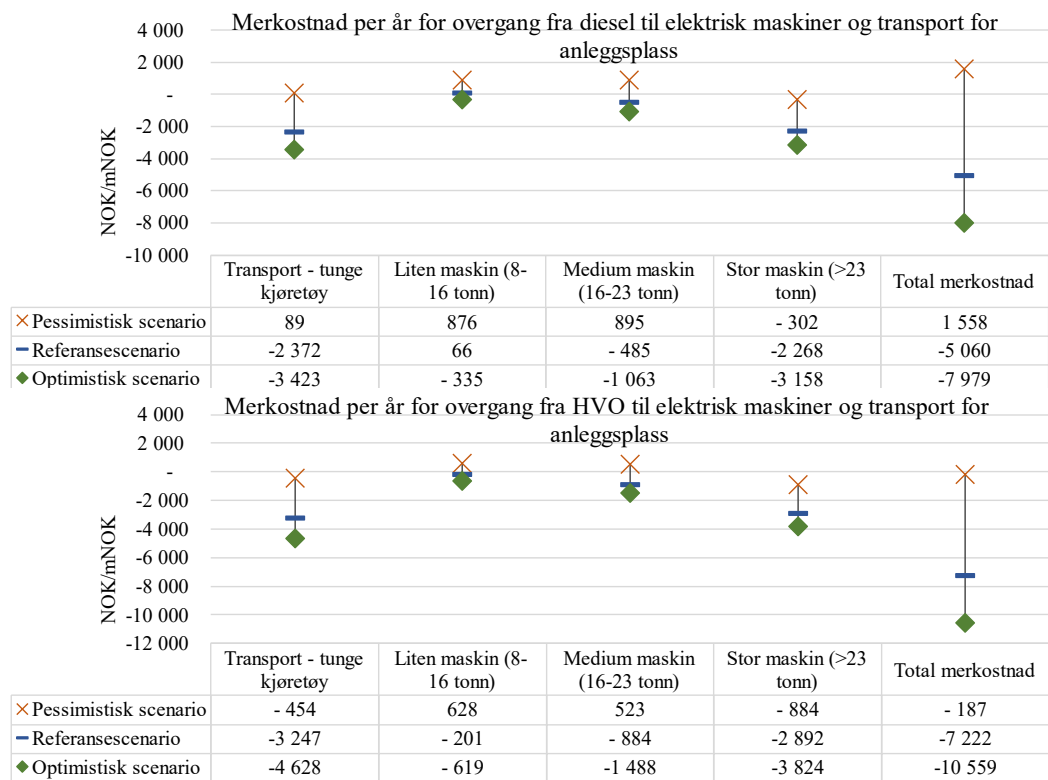


Figur 20
Merkostnad for eksempel-anleggsprosjekt per år ved overgang fra diesel og HVO til elektriske anleggsmaskiner og tungtransport. Basert på 2022-verdier

I 2022 vil en helt elektrifisert anleggsplass medføre merkostnader både sammenliknet med bruk av diesel og med HVO. I 2025 vil det ved optimistisk scenario være mulig å få en elektrisk anleggsplass til å være på omtrent samme kostnadsnivå som en byggeplass som benytter diesel. For 2030-scenarioet er det kun i det pessimistiske scenarioet med høye strømpriser og lave CO₂-avgifter at det vil være merkostnad knyttet til en elektrifisert anleggsplass sammenliknet med bruk av diesel.



Figur 21 Merkostnad for eksempel-anleggsprosjekt per år ved overgang fra diesel og HVO til elektriske anleggsmaskiner og tungtransport. Basert på 2025-verdier



Figur 22 Merkostnad for eksempel-anleggsprosjekt per år ved overgang fra diesel og HVO til elektriske anleggsmaskiner og tungtransport. Basert på 2030-verdier

Markedsanalyser

For å vurdere utviklingen av kostnader og tilgjengelighet på maskiner og utstyr til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser har vi kartlagt markedstrender gjennom spørreundersøkelser og intervjuer av relevante aktører (for eksempel entreprenører, maskinleverandører, energileverandører og bransjeorganisasjoner). Markedsanalysen brukes til å svare ut forventninger om hvordan investeringskostnadsutviklingen og tilgjengeligheten vil være fram mot 2025 og 2030 for:

- energiforsyningsløsninger
- byggtørk og oppvarming
- utslippsfrie anleggsmaskiner
- utslippsfrie transportkjøretøyer

Innspill fra markedsdialogen

Markedsdialogen ble utført gjennom intervjuer med relevante aktører, arbeidsverksted og et spørreskjema som gikk bredere ut. Oslo har et mål om at den kommunale bygge- og anleggsvirksomheten skal bli utslippsfri i 2025. Hele bygge- og anleggsvirksomheten i byen skal være utslippsfri i 2030. Ut fra intervjuene tror de som er mest positive, at Oslo kommune når sine mål innen 2025 og 2030, med noen få unntak. Det er få som tror at det vil være mulig å nå målet om 100 % utslippsfritt i 2030, da det fortsatt er mange typer anleggsmaskiner som ikke har begynt overgangen til utslippsfritt. Det ser ut til å være tro på at det vil være infrastruktur og gravemaskiner tilgjengelig for etterspørselen i Oslo i 2025, men at det ikke vil være tilstrekkelig tilgang på andre maskiner som traktorer, dumpere og hjullastere, som det ikke finnes løsninger for i dag. Løsninger for utslippsfri transport vil heller ikke være tilstrekkelig på plass innen 2025, mener informantene. Mange tror at hydrogenløsninger ikke vil være på markedet i det hele tatt i 2025, og også i liten grad i 2030, mens andre har større tro på hydrogenløsninger. Det ser ut til å være liten tro på helelektrifisering, men at det heller må bli en energimiks hvor fjernvarme, hydrogen og biogass i større grad kommer på banen, spesielt der det ikke er elektrisitet og infrastruktur tilgjengelig. Hybridløsninger som en mellomløsning virker ikke å være et aktuelt alternativ. Det argumenteres imidlertid for at det er enklere å få til fossilfritt, og at dette tross alt vil være bedre enn ingenting.

Store produsenter som Volvo har begynt å produsere utslippsfrie løsninger for større gravemaskiner med over 8 tonn egenvekt, men det vil ikke være serieproduksjon i 2025, og noen påpeker at Volvo går gradvis over til utslippsfritt, via fossilfritt, og at dette også vil være tilfelle etter 2030. Mindre anleggsmaskiner (under 8 tonn) er satt i serieproduksjon av flere store produsenter, men for de store maskinene foregår spesialproduksjon i mindre volumer. Med en tredoblet CO₂-pris mener noen at Volvo og Scania kan nå paritet allerede i 2025. Likevel ser det ut til å være større tro på paritet, både for kjøretøyer og anleggsmaskiner, innen 2030. Som regel tar det to til tre år fra en maskin blir introdusert til den er kommersielt tilgjengelig. Mange modeller vil derfor ikke være klare for salg i 2025. Flere tror det er innenfor rekkevidde at nesten hele markedsandelen (nye investeringer) er utslippsfritt i 2030. Likevel er det forventninger om at det fremdeles vil være behov for mye HVO-innblanding for et stort antall eksisterende kjøretøyer. Avskrivningstiden er 5–6 år, men maskinene kan leve mange år på ettermarkedet.

Når det gjelder betydning for markedet og verdikjeden, er det bred enighet om at omstillingen krever nettutbygging, både for fjernvarme og elektrisitet, og at det må komme på plass infrastruktur for lading av tungtransport. Tilgjengelig infrastruktur for energitilgang framstår som en av de mest kritiske parametrene. Flere maskinleverandører melder seg på. Dette framstår som svært viktig, for skal man nå utslippsfritt, må markedet gå fra ombygging til serieproduksjon. Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser åpner også opp for nye forretningsmodeller og forretningsområder, for eksempel løsninger for energitilgang, datainnsamling, databehandling, analyse og styring. En annen interessant markedsutvikling er at det ser ut til å bli mer og mer utleiemaskiner framfor at entreprenører eier disse selv.

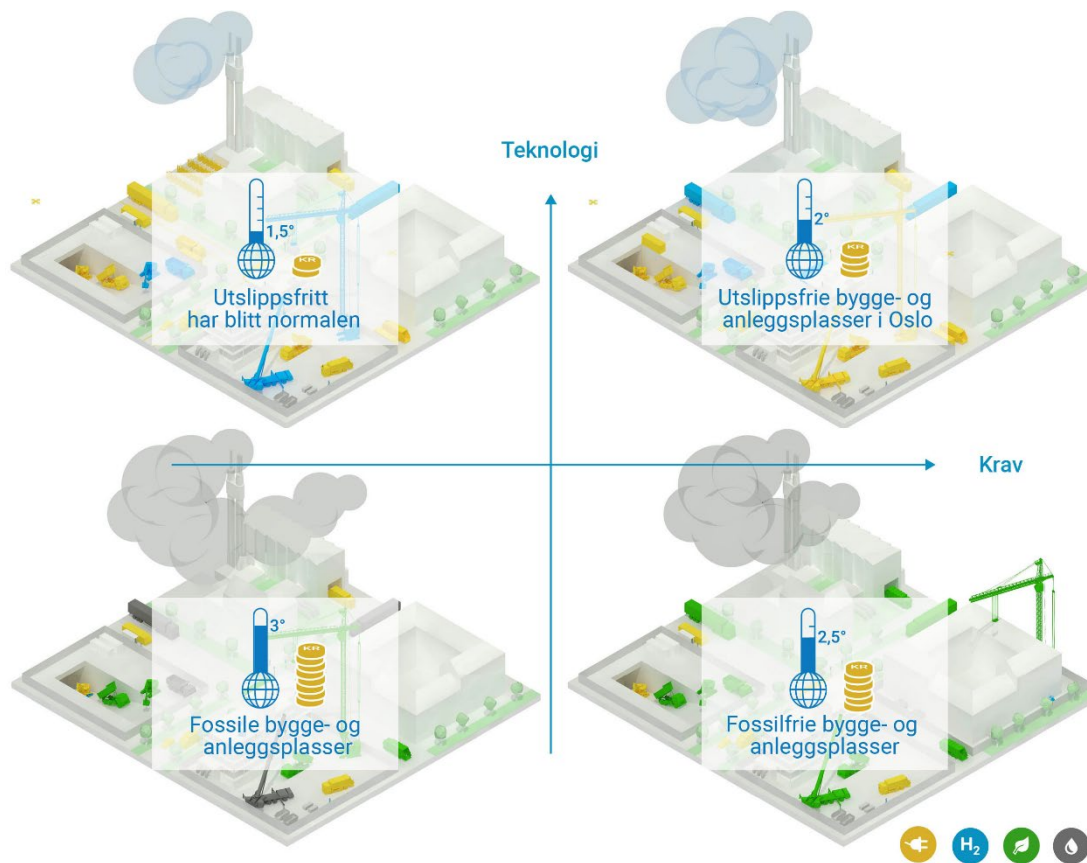
Utviklingsscenarier

For å si noe om utsiktene for utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo i 2030 har vi valgt scenario-prosess som metode. Scenario-prosess er en metode som er mye brukt i ledelsesfaget (24), men kan anvendes på en rekke problemstillinger i ulike sektorer. Det er en egnet metode når fremtiden kan se radikalt annerledes ut enn nåtiden. Metodikken går ut på å samle et knippe aktører som er relevante for problemstillingen. Ved hjelp av dialog kom aktørene fram til viktige barrierer, drivkrefter, og mulige framtidbilder. Dialogen er åpen for nye tanker og skal lokke fram kreativitet. Framtidbildene skal likevel være sannsynlige. Metodikken tvinger oss vekk fra å danne utviklingsløp kun på bakgrunn av en historisk trend. Usikkerhet er kjernen i metodikken, og driverne er utgangspunkt for scenarioene. Driverne skal være skalerbare og minst mulig avhengige av hverandre fordi de skal danne et scenario-kryss som gir fire scenarier. Framtidbildene beskrives gjennom drivkreftene som er identifisert. Scenariene er ikke et tall, for eksempel 0 i netto CO₂-utslipp eller 2,5 °C temperaturstigning. Scenariene utgjør framtidfortellinger om hvordan for eksempel en sektor vil se ut en gang i fremtiden. Scenariometodikken inkluderer ofte også drøfting av mulige utviklingsløp som kan ende i disse scenariene (24). Denne metoden har eksempelvis blitt brukt i SINTEF-rapportene *Framsikt 2050* (25) og *Gull i grønne skoger* (26).

Scenariobeskrivelsene er i dette arbeidet basert på intervjuer med relevante aktører. Dette ble fulgt opp av en spørreundersøkelse, og deretter et arbeidsverksted hvor barrierer, drivkrefter, og framtidbilder ble diskutert. I dette studiet er framtidbildet "Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo i 2030". Driverne som ble valgt til scenariokrysset, var strenge/gode krav og teknologiutvikling. Kravene er ment som Oslo kommunes krav, mens teknologiutviklingen regnes som en global størrelse. Figur 23 viser identifiserte drivkrefter som påvirker omstillingen til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser. Hovedparametrene er uthevet.



Figur 23
Parameterliste over drivkrefter som påvirker utviklingen



Figur 24

Scenariokryss med fire ulike scenarier som vurderer effekten av krav fra Oslo kommune og tilgjengelighet av utslippsfrie løsninger fram mot 2025 og 2030

I scenarieret "Utslippsfritt har blitt normalen", som ligger øverst til venstre for scenariokrysset, stilles det lite krav fra Oslo kommunes side, og det er en rask global teknologiutvikling. I scenarieret "Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo" stiller Oslo kommune strenge og gode krav og det er rask teknologisk utvikling. I scenarieret "Fossilfrie bygge- og anleggsplasser" stiller Oslo kommune strenge krav, samtidig som det er lav teknologisk utvikling. I det fjerde og siste scenarieret "Fossile bygge- og anleggsplasser" stiller Oslo kommune få krav og teknologiutviklingen er lav. Vi vil i det følgende tegne framtidbildene ved å beskrive scenarierene nærmere.

Utslippsfritt har blitt normalen



Figur 25
Scenario 1 – Utslippsfritt har blitt normalen

Utslippsfritt har blitt den nye normalen, og vi ligger an til å nå 1,5-gradersmålet. En nasjonal koordinering med strenge krav og støtteordninger i markedene som har hengt etter, har ført til høy teknologivekst i dette scenarioet. TEK30 krever utslippsfrie bygge- og anleggsplasser på nasjonalt nivå, så Oslo kommune har ikke lenger behov for å stille strenge krav til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser lokalt. Det skjer av seg selv. Teknologitvillingen har bidratt til lavere kostnader og stigende etterspørsel etter utslippsfrie løsninger. Oslo kommune har fått drahjelp fra utlandet, blant annet gjennom en høy CO₂-pris og at EU-taksonomien har fått fotfeste. Den globale utviklingen har gitt serieproduksjon av maskiner og utstyr en utslippsfri bygge- eller anleggsplass trenger. Utslippsfrie anleggsmaskiner og mindre kjøretøyer er nå kostnadseffektive. Tungtransporten er delvis elektrifisert, og batteri- eller hydrogenelektrisk tungtransport blir stadig vanligere å se på veiene, selv om kostnadene fremdeles er høye sammenliknet med biodrivstoff. Det tas også i bruk biogass og hydrogen på bygge- og anleggsplasser, og i størst grad utenfor byene.

Infrastruktur for kraftforsyning til bygge- og anleggsplasser og lading av masse-, avfalls- og materialtransport er på plass i Oslo og områdene rundt. Det bygges også ut elektriske veier på enkelte innfartsårer til Oslo. Fjernvarmenettet har hatt en storstilt utbygging, både i Oslo og på de fleste tettstedene i Norge. Fossil spisslast for fjernvarme er erstattet med biogass, den øvrige biobrenselbruken er minimal, og avfallsandelen har økt i fjernvarmeproduksjonen. Fokuset på sirkulærøkonomi har også økt utnyttelsen av overskuddsvarme fra industrien, som blant annet brukes til fjerdegenerasjons fjernvarme. På grunn av et stort løft på energieffektivisering, og en energimiks med fjernvarme, biogass og hydrogen, er kraftprisen forholdsvis lav.

Nye maskinleverandører, utstørsleverandører og tjenester knyttet til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser har meldt seg på i markedet, også i Norge og i hovedstadsområdet. Det finnes mange gode løsninger for å hente inn og analysere data, og å styre energibruken effektivt. Dessuten er hele

byggeprosessen, fra tidlig planleggingsfase til drift, standardisert og går friksjonsfritt. Alt i alt er det godt tilrettelagt for at bygge- og anleggsbransjen og tilknyttede næringer i Oslo kan omstilles til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i dette scenarioet.

Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo



Figur 26. Scenario 2 – Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo

Osloregionen har, sammen med de største byene i Norge og noen internasjonale storbyer, nådd målet om utslippsfrie bygge- og anleggsplasser. Energieffektive løsninger og bedre logistikk har bidratt til at hele verdikjeden er utslippsfri. Ellers i landet og i EU er man på vei til å oppnå utslippsfrie bygge- og anleggsplasser, men er ikke kommet helt i mål. Både EU og tettsteds-kommuner i Norge går i retning av fossilfritt som mellomløsning før utslippsfritt. Det innebærer en høy etterspørsel etter biodrivstoff og et utslippsnivå som tilsvarer en gjennomsnittlig temperaturstigning på to grader.

På grunn av den trege globale markedsutviklingen og for å beholde sitt fyrstårn-rykte opprettholder Oslo kommune sine strenge krav i 2030. Kravene utformes i tett dialog med markedet og verdikjeden, men det stilles strenge krav både ved offentlige anskaffelser og i plansystemet, og det stilles krav til private utbyggere. Det er også skrudd på kravene, slik at det stilles krav til brukstid på maskinene. Videre er kravene koordinert med de største byene og kommunene i hovedstadsregionen, men resten av landet og Europa henger etter. Likevel jobbes det i Norge med en nasjonal plan for energiforsyning, slik at hele bygge- og anleggsbransjen i Norge skal bli utslippsfri. Utforming av disse planene inkluderer fleksible og tilpassede løsninger for energiforsyning og samarbeidsmodeller for fjernvarme-, elnett og fiberutbygging.

Den noe trege globale markedsutviklingen gir et relativt høyt kostnadsnivå sammenliknet med scenarioet "Utslippsfritt har blitt normalen". Samtidig er CO₂-prisen høy. Utslippsfrie maskiner og kjøretøyer er tilgjengelig, og størsteparten av nyinnkjøp er utslippsfritt, men prisene på utslippsfrie anleggsmaskiner er fremdeles forholdsvis høye. Det finnes noe elektrisk tungtransport, og selv de tyngste

anleggsmaskinene går på batterier. Det finnes også hydrogen- og hybridløsninger, som er noe mer kostnadseffektive enn batteriløsninger for de største maskinene og kjøretøyene. Det er storproduksjon av biogass fra landbruket, som dekker kjøretøybehovet i byene. For anleggsprosjekter er det kun tunnelprosjektene som greier å være utslippsfrie utenfor byene, og dette er takket være kabelløsninger. Det er nemlig infrastruktur tilgjengelig for både lading og energitilgang i hovedstadsregionen og de største byene som Trondheim og Bergen. Dette gjelder både el og fjernvarme. Trådløs lading er introdusert, men det er fremdeles et nisjekonsept som er på pilotstadiet og er forbundet med høye kostnader.

Til tross for en litt treg global utvikling og relativt høye kostnader ser man en global trend mot utslippsfrie bygge- og anleggsplasser, hvor de største byene i USA og Europa etterspør løsninger for utslippsfri byggeprosess, og konseptet utslippsfrie bygge- og anleggsplasser har blitt introdusert i Kina og India. Vi ser derfor en markedsoptimisme og investeringsvilje, og tro på at investeringskostnadene vil gå ytterligere ned. Videre har Oslo bevist å ha lykket med å standardiserte løsninger, planlegging og anskaffelsesprosess, og det ventes at resten av Norge og EU kommer etter. Nettselskapet har blitt en veldig attraktiv arbeidsplass, og det ansettes stadig flere klima- og miljøkonsulenter som bidrar med utslippsregnskap, analyse og optimering. Det tilbys stadig nye løsninger for energieffektivisering og innsamling og analyse av data. Sirkulærøkonomi prioriteres høyt, og det er et voksende sekundærmarked for utslippsfrie maskiner og kjøretøyer. Oppsummert ser vi at det blir stadig lettere for bygge- og anleggsbransjen og tilknyttede næringer å omstille seg til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser, etter noen tunge omstillingsår i dette scenarioet.

Fossilfrie bygge- og anleggsplasser



Figur 27. Scenario 3 – Fossilfrie bygge- og anleggsplasser

Det er fremdeles høye utslipp nasjonalt fordi det ikke finnes teknologi som imøtekommer kravene. Prosjektene som lykkes med å være utslippsfrie, anses fremdeles som fyrstårnprosjekter. De minste bygge- og anleggsprosjektene kan som regel gjennomføres utslippsfritt i Oslo, men til en høy kostnad.

På grunn av lav tilgang på maskiner, må mange søke om avvik fra kravene, og for større anleggsprosjekter er det vanlig at det gis unntak. I praksis har Oslo derfor oppnådd fossilfrie bygge- og anleggsplasser, men ikke utslippsfrie i dette scenarioet.

Kun maskiner under 20 tonn og varebiler er elektrifisert, og disse er det en lav etterspørsel etter globalt og nasjonalt. Det gir liten tilgang på maskiner. Ombygging av dieseldrevne maskiner er fremdeles normalen, og vi har ingen serieproduksjon av utslippsfrie anleggsmaskiner på det globale markedet. Ombyggingskapasiteten har økt i Norge, men det er et høyt kostnadsnivå. Det leveres mindre maskiner uten motor fra produsentene, men til en høy pris. De større maskinene leveres med dieselmotorer som det er vanskelig å få omsatt i markedet.

Biogass og hydrogen er tilgjengelige løsninger for masse- og avfallstransporten, men det er forbundet med svært høye kostnader, og det er fremdeles store utfordringer knyttet til sikkerhet og logistikk for hydrogenelektriske løsninger. Det er nettilknytning til bygge- og anleggsplasser i Oslo, men lade-stasjoner for masse- og avfallstransport er lite utbygd. Fjernvarmeutbygging har kun skjedd i de største byene i Norge.

De høye kostnadene har medført at det er få entreprenører som kan legge inn tilbud på anbudene. Det tilbys utleiemaskiner, men fordi det globale bildet viser minimal bruk av store elektriske maskiner, er det stor usikkerhet knyttet til andrehåndsmarkedet. De andre byene i Norge har heller ikke klart å følge opp. Eksemplet fra Oslo ser faktisk ut til å bremse utviklingen, og andre byer vegrer seg for å komme etter. Videre ser vi en økt fragmentering i markedet, og det oppstår ofte spente situasjoner mellom entreprenørene og byggherre da manglende teknologi skaper rom for tolkning, kreative løsninger og omgåelse av kravene. Oslo kommune spiller en mindre rolle som samlende aktør, da de har mistet troverdighet ved å gi unntak fra kravene. Oslos drivende kraft er dermed svekket.

Det høye kostnadsnivået og mangel på maskiner har utløst et stort behov for å tilby tilskuddsordninger ved siden av kravene. Samtidig har det høye kostnadsnivået kombinert med strenge krav ført til at rehabilitering og ombruk har kommet i fokus framfor nybygg. Dessuten har tiltakene i Oslo gitt aktørene knyttet til bygge- og anleggsprosjekter i Oslo et forsprang. Med den trege markedsutviklingen har imidlertid ikke aktørene i bygge- og anleggsbransjen og tilknyttede næringer noen umiddelbar fordel av dette. Omstillingen til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser møter kraftig motvind i dette scenarioet.

Fossile bygge- og anleggsplasser



Figur 28. Scenario 4 – Fossile bygge- og anleggsplasser

Norge har ikke maktet å redusere klimagassutslippene tilstrekkelig, og skuta styres mot en gjennomsnittlig temperaturøkning på tre grader. Byggenæringen i Europa og verdensbyene står på stedet hvil, for kostnadene blir for høye. Grønn giv i Europa virker nå som en fjern idé. Engasjementet rundt grønn omstilling har falmet, og det nye målet for Oslo kommune er fossilfrie bygge- og anleggsplasser innen 2050. Dette har nærmest frakoblet dialogen Oslo kommune tradisjonelt har hatt med markedet og verdikjeden. Verken myndighetene eller sluttbrukerne våger å stille krav til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser. Det finnes enkelte pilotprosjekter, hovedsakelig i regi av offentlige aktører, som bruker ombygde anleggsmaskiner og elektriske varebiler til tilnærmet fossilfrie bygge- og anleggsprosjekter i Oslo, men de vies ikke mye oppmerksomhet.

Nasjonalpolitisk prioriteres markedssegmentene med høyest utslippspotensial, som CCS og sjøtransport. Utvikling i hele transportsektoren er likevel på pilotstadiet. Hydrogen og biogass er fremdeles nisjer, og man ser ikke for seg serieproduksjon av utslippsfrie tunge lastebiler før 2040. Sekundærmarkedet for utslippsfrie maskiner og kjøretøyer er nisjemarkeder, og det er stor etterspørsel etter biodrivstoff, som har presset opp prisen. Det er lite utbygging av infrastruktur for energiforsyning utover ladestasjoner for elbiler. Dette gjelder både utbygging for lading av tungtransport og fjernvarme. Man merker at batterikomponenter har blitt mangelvare, og at kostnadene derfor ikke synker like raskt lenger. De store batteriene som er tilpasset bygg- og anlegg og tungtransport på land og skip, har ikke hatt samme gevinst i levetid som elbilbatteriene har vist. På grunn av en endret sikkerhetssituasjon i Europa er markedsusikkerheten stor, energiprisene høye, og en vedvarende leveringskrise har gitt høye stål- og trelastpriser. For å redusere kostnadene på sikt satses det stort på energieffektivisering, rehabilitering og ombruk, men offentlige utgifter til støtteordninger er skyhøye. Aktører i byggebransjen som fremdeles har FoU-kapasitet, har nå begynt å se på konstruksjoner tilpasset et liv på månen. I dette scenarioet nærmer vi oss derfor en fallitterklæring fra ikke bare bygge- og anleggsbransjen, men hele verdenssamfunnet.

Konklusjon

Denne konsekvensutredningen har sett på overgangen til en utslippsfri byggeprosess i Oslo i 2022 og fram mot 2025 og 2030. Det er gjennomført energi- og effektberegninger for to eksempelprosjekter – ett byggeprosjekt og ett anleggsprosjekt. Videre er det gjennomført kostnadsanalyser for tre forskjellige størrelser av gravemaskiner og to forskjellige typer tunge kjøretøyer, og merkostnader for elektrifisering er analysert. På bakgrunn av energiberegningene og merkostnadsanalysene er det anslått merkostnader knyttet til elektrifisering av et eksempel-byggeprosjekt og et eksempel-anleggsprosjekt.

Energi- og effektberegninger

Analysen basert på energibruksdata fra noen av de aller første utslippsfrie bygge- og anleggsplassene i Oslo bekrefter hovedtrekk fra tidligere analyser fra DNV GL, blant annet når det gjelder energiforbruk og effektbehov knyttet til gjennomføring av prosjektene. Strømforbruket er svært avhengig av hvilke anleggsmaskiner og kjøretøyer som brukes, hva de brukes til og hvor mye de kjøres. Data er derfor hentet inn for seks ulike bygge- og anleggsplasser i Osloområdet som enten nylig er bygget eller er under utbygging. I tillegg har SINTEF data for to byggeprosjekter som kan brukes i datainnsamlingsgrunnlaget. All informasjonen er brukt for å velge ut en tenkt 100 % elektrisk byggeplass og en tenkt 100 % elektrisk anleggsplass.

Per dags dato foregår ikke lading av ekstern transport på bygge- og anleggsplasser, og det er lite utbygge muligheter for lading av tungtransport. I referansescenariotet foregår derfor all hurtiglading på anleggsområdet. Et middelsscenario bygger videre på referansescenariotet, men det gjøres noe optimering på de mest krevende byggeaktivitetene og prosjektfasene. Noen eksempler er at anleggsmaskiner med ulike teknologiløsninger (kabel og batteri) blir brukt, samt at lunsjpausene skjer puljevis for å unngå at alle lader samtidig. Det er også noe optimering av transportlogistikk. Optimalscenariotet bygger videre på middelsscenarioet, og drift av anleggsområdet er i høy grad optimalisert.

Resultatene viser at den mest energikrevende byggefasen er grunnarbeid etterfulgt av råbygg og riving. Energibruk av anleggsmaskiner er innenfor tilgjengelig effekt, og ved noen justeringer av ladepauser og type teknologi (batteri, kabel eller kabel-batteri) er effektproblemstillingen for anleggsmaskinene løst etter våre beregninger. Dette blir mer utfordrende hvis man også skal ha nok tilgjengelig effekt for transportlading.

Våre analyser viser at god planlegging og aktiv tilrettelegging for bruk av utslippsfrie maskiner har stor betydning for effektbehov på byggeplassen. Med mest mulig effektiv utnyttelse, styring og forvaltning av tilgjengelig strømforsyning vil et typisk bygge- og anleggsprosjekt klare å redusere ukentlig topplast.

Kostnadsanalyser

Kostnadsanalysene viser at elektrifisering av bygge- og anleggsplasser vil kunne medføre merkostnader for prosjektet både i 2022 og i 2025. Avhengig av markedsutvikling og energipriser vil elektriske bygge- og anleggsplasser kunne være konkurransedyktige på pris i 2030. Gitt en markedsutvikling som beskrevet i scenariotet "Utslippsfritt har blitt normalen" og relativt lave/normale elektrisitetspriser og høye CO₂-avgifter på diesel kan elektriske bygge- og anleggsplasser være helt konkurransedyktige på pris i 2030 sammenliknet med dieseldrift. Noen kostnadselementer er ikke kvantitativt analysert og vil kunne påvirke bildet. Det gjelder spesielt kostnadene knyttet til nettutbygging (både elektrisitet og fjernvarme) og eventuelt behovet for lokal energitilgang som batterier eller hydrogen.

Investeringskostnadene kan tjenes inn gjennom driften av maskinene ved at elektrisitetskostnadene er lavere enn kostnadene for diesel og HVO. Dette gjelder både lavere elektrisitetskostnader, men også at det er høyere energieffektivitet ved elektrisk drift. Gitt dagens situasjon med høye strømpriser og høye investeringskostnader (og, særlig for transportkjøretøy, begrenset rekkevidde), kan det derimot være vanskelig å tjene inn den økte investeringskostnaden over bruksperioden. Et fungerende ettermarked vil også være viktig for investeringsviljen. Det er eiere av maskinene og kjøretøyene som må ta den initiale økte investeringskostnaden, og prosjektene som får gevinsten ved lavere driftskostnader. Dette dekkes inn gjennom forskjellige driftsmodeller, for eksempel gjennom utleiepriser. Det er antatt at investeringskostnadene vil reduseres i perioden fram mot 2025 og 2030 på bakgrunn av en reduksjon i

komponentkostnader (for eksempel batteri, elmotor og andre komponenter) og at elektriske kjøretøyer og maskiner i større grad blir serieprodusert. Det er antatt at det vil ta noe lenger tid før maskinene som benytter større batterier, vil bli lønnsomme ettersom investeringskostnaden blir relativt høyere. Maskiner som går på kabel, krever lavere investeringskostnad og vil dermed bli tidligere konkurransedyktig på pris. Derimot kan maskiner på kabel ha andre logistikkutfordringer på byggeplass.

Investeringer knyttet til overgang til utslippsfri byggørk og oppvarming er ikke antatt å være så store så lenge prosjektene planlegger for dette i tidlig fase av prosjektet og involverer de rette aktørene. Investeringer knyttet til nettutbygging (elektrisitet og fjernvarme) kan føre til merkostnader for prosjektet, men det er antatt at også her vil tidlig planlegging og optimalisering av bygge- og anleggsplassen kunne forhindre behovet for investering i økt nettutbygging. Ved behov for utbygging av nettet er det bygge- og anleggsprosjektet som i utgangspunktet tar merkostnaden knyttet til anleggsbidraget. Andre alternativer for nettutbygging er lokale energiløsninger som batteribankers, hydrogenbanker etc. Merkostnadene knyttet til dette er ikke vurdert i denne rapporten.

Markedsutvikling og scenarioanalyse

Basert på en spørreundersøkelse, intervjuer og et arbeidsverksted med kommunen og relevante aktører i markedet er det utarbeidet et scenariokryss med fire scenarioer for utviklingen mot utslippsfri byggeprosess i Oslo kommune. Disse fire scenarioene er "Utslippsfritt har blitt normalen", "Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo", "Fossilfrie bygge- og anleggsplasser" og "Fossile bygge- og anleggsplasser". De fire scenarioene er ingen forutsigelse, men illustrasjoner på hvordan situasjonen kan være i 2030, avhengig av utviklingen på noen sentrale dimensjoner. Noe av denne utviklingen kan Oslo kommune og andre aktører påvirke, for eksempel gjennom hvilke krav som stilles, mens noe av utviklingen også avhenger av større globale trender og aktører, som teknologiutvikling. Hvert scenario illustrerer et mulig utfall som man både kan arbeide for eller mot, og som man kan forberede seg på å håndtere.

Driverne global teknologiutvikling og krav fra Oslo kommune utgjør bakteppet for de fire scenarioene. I scenarioet "Utslippsfritt har blitt normalen" har innstramning av EUs klimapolitikk og mer aktiv nasjonal virkemiddelbruk, for eksempel gjennom målrettede tilskudd, avgifter og reguleringer, sammen med rask teknologiutvikling ført til at utslippsfrie løsninger serieproduseres og er tilgjengelig for bygge- og anleggssektoren, slik at bygge- og anleggsplassene i Oslo kommune så vel som mange bygge- og anleggsplasser nasjonalt og i EU er utslippsfrie. I scenarioet "Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo" når Oslo kommune sitt mål om utslippsfrie bygge- og anleggsplasser innen 2030. Det oppnås takket være rask teknologiutvikling og gjennom å fortsette å stille strenge krav. I dette scenarioet er det litt høyere utslipp og kostnader fordi resten av landet og EU henger litt etter, selv om de også beveger seg mot utslippsfrie bygge- og anleggsplasser. I scenarioet "Fossilfrie bygge- og anleggsplasser" har ikke teknologiutviklingen vært rask nok til at Oslo kommune når sine mål om utslippsfrie bygge- og anleggsplasser, og bygge- og anleggsplassene er i praksis fossilfrie, men ikke utslippsfrie. Det gis unntak til krav, og resten av Norge og EU henger etter. Dette scenarioet har høyere kostnader, høyere utslipp og høyere etterspørsel etter biodrivstoff. I scenarioet "Fossile bygge- og anleggsplasser" har Oslo kommune gått bort fra strenge krav. Teknologien er ikke på plass, og nasjonalt prioriteres andre sektorer med større potensial til utslippskutt enn det som foregår innenfor byggegjerdet. I dette scenarioet er det høye kostnader, høyest utslipp, og høy etterspørsel etter biodrivstoff.

Tabell 9 oppsummerer konsekvensene for energi- og effektbehov, merkostnader, CO₂-utslipp, forbruk av biodrivstoff og utsiktene for verdiskaping og sysselsetting i en bygge- og anleggsbransje med tilknyttede næringer i Oslo-regionen som skal konvertere til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i de ulike scenarioene. Ved hjelp av en skala fra én til fire (markert som + i tabellen) anslås hvor stor konsekvens de forskjellige scenarioene vil ha på områdene listet opp. Det vil være større energi- og effektbehov i scenarioet "Utslippsfritt har blitt normalen" og "Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo". Det vil være høyest merkostnader i scenarioet "Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo", men klimagassutslippene vil være lavest for "Utslippsfritt har blitt normalen" og høyest for "Fossile bygge- og

anleggsplasser". Forbruket av biodrivstoff vil naturlig være høyest i "Fossilfrie bygge- og anleggsplasser". Verdiskaping og sysselsetting i bedriftene som skal omstilles, er antatt å korrelere med kostnadsnivået for utslippsfrie løsninger.

For det optimale scenarioet "Utslippsfritt har blitt normalen", vil energi- og effektbehovet naturlig nok være høyere enn for fossilfrie og fossile bygge- og anleggsplasser ettersom det er et økt press på strømmettet. Likevel vil behovet for energi og effekt være noe lavere enn i scenarioet "Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo" ettersom det er bredere involvering av bransjen og flere teknologiske løsninger som både effektiviserer bygge- og anleggsplassdriften og avlastet strømmettet mer effektivt. Det er også antatt at merkostnadene vil være lavere enn i de andre scenarioene ettersom det har etablert seg et marked for utslippsfrie løsninger som er konkurransedyktige på pris med både fossilt og fossilfritt. Videre er det stor grad av serieproduksjon, og pilotens tid er til dels over. For Oslo kommune vil klimagassutslippene trolig være like lave for scenarioene "Utslippsfritt har blitt normalen" og "Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo", men ettersom resten av Norge og Europa også innfører utslippsfrie løsninger, vil effekten av utslippskutt ut over Oslo kommune være betydelig større.

Tabell 9
Oppsummering av konsekvenser innenfor hvert utviklingsscenario

	Utslippsfritt har blitt normalen	Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo	Fossilfrie bygge- og anleggsplasser	Fossile bygge- og anleggsplasser
Energi- og effektbehov	+++	++++	++	++
Merkostnader	+	++	+++	++++
Klimagassutslipp	+	++	+++	++++
Biodrivstoff-forbruk	+	++	++++	+++
Verdiskaping og sysselsetting	++++	+++	++	+

Energi- og effektbehov: Få kryss indikerer lavere energi- og effektbehov – Merkostnader: Få kryss indikerer lavere merkostnader for utslippsfrie løsninger – Klimagassutslipp: Få kryss indikerer lavere klimagassutslipp – Biodrivstoff-forbruk: Få kryss indikerer lavere forbruk av biodrivstoff – Verdiskaping og sysselsetting: Få kryss indikerer lavere verdiskaping og sysselsetting innenfor den delen av bransjen som skal ta i bruk utslippsfrie løsninger

Oslo kommune har vist seg å være en viktig drivkraft i utviklingen mot utslippsfrie bygge- og anleggsplasser. Det belyser viktigheten av den lokale innkjøpsmakten. Likevel er det viktig at resten av landet og Europa ikke blir hengende for langt etter. Å stille krav til løsninger som er lite tilgjengelige og kostbare, kan ha en stor negativ effekt på bygge- og anleggsnæringen og tilknyttede bransjer i Oslo-regionen som skal omstilles. Å ha et systemperspektiv, for eksempel ved å koordinere utbygging av el- og fjernvarmenett og at det blir lagt til rette for dette før bygge- og anleggsprosjektene starter, kan bidra til å redusere kostnadene.

Denne utredningen viser betydelige merkostnader ved å bygge utslippsfritt, trolig langt opp mot 2030, og kanskje også senere. Det understreker behovet for nasjonale reguleringer og økonomiske insentiver i en overgangsperiode, til utslippsfrie løsninger er konkurransedyktige. Videre er det behov for nasjonal koordinering av krav, samtidig som at påtrykk fra EU er avgjørende. Det vil også trolig være behov for å skru på eksisterende støtteordninger, for eksempel at tilskudd til etablering av ladestasjoner skal baseres på beregnet antall brukere, ikke at én ladestasjon regnes som én bruker. Det er et behov for utbygging av ladestasjoner for tungtransport, og ytterligere økonomiske insentiver kan bidra til å bryte ned høna- eller egget-barrieren som ser ut til å forsinke utbyggingen.

Energiberegningene viser et økt energi- og effektbehov, men at dette kan reduseres betydelig gjennom smart energibruk og smarte løsninger. Vi anbefaler at Oslo kommune fortsetter å presse på for registreringsplikt for anleggsmaskiner. Et best mulig datagrunnlag vil bidra til optimalisert drift. Dette bør skje kombinert med en betydelig økt nasjonal satsing på energieffektivisering.

Utviklingen mot utslippsfrie bygge- og anleggsplasser er avhengig av teknologiutviklingen. Løsninger for gravemaskiner har kommet langt, mens det fremdeles finnes få løsninger for tungtransport, dumpere og hjullastere. Det trengs videre utvikling i batteriteknologi. Samtidig kan en miks av energibærere gjøre markedet mindre sårbart for svingninger i energiprisene. En bredere satsing på forskning innenfor

hydrogen, ammoniakk, biogass og syntetisk drivstoff vil kunne føre til en raskere implementering av utslippsfrie bygge- og anleggsplasser utenfor byene og i land med høyere fossilandel og høye elpriser.

Referanser

1. Oslo kommune. Klimastrategi for Oslo mot 2030. Oslo; 2020.
2. Wiik MK, Fjellheim K, Gjersvik R. Erfaringskartlegging av krav til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser. Oslo, Norway: SINTEF Academic Press; 2022. Report No.: 86.
3. Oslo kommune. Standard klima- og miljøkrav til Oslo kommunes bygge- og anleggsplasser. 2020.
4. Oslo kommune. Fossil- og utslippsfrie bygge- og anleggsplasser. Kommune revisjonen - integritet og verdiskaping [Internet]. Oslo, Norway; 2022 p. 71. Report No.: 1. Available from: <https://www.oslo.kommune.no/getfile.php/13437727-1643728487/Tjenester%20og%20tilbud/Politikk%20og%20administrasjon/Budsjett%2C%20regnskap%20og%20rapportering/Rapporter%20fra%20Kommunerevisjonen/Rapporter%20fra%20Kommunerevisjonen%202022/1-2022%20Fossil-%20og%20utslippsfrie%20bygge-%20og%20anleggsplasser.pdf>
5. Norsk Fjernvarme. Fjernkontrollen [Internet]. 2021. Available from: <https://www.fjernkontrollen.no/>
6. Standard Norge. prNS3770 Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser. prNS3770 2022.
7. BigBuyers | Zero-emission construction sites [Internet]. [cited 2022 Mar 18]. Available from: <https://bigbuyers.eu/working-groups/zero-emission-construction-sites>
8. C40 Cities - A global network of mayors taking urgent action to confront the climate crisis and create a future where everyone can thrive. [Internet]. C40 Cities. [cited 2022 Apr 1]. Available from: <https://www.c40.org/>
9. C40 Cities launch Clean Construction Coalition to halve emissions from global built environment sector by 2030 [Internet]. C40 Cities. [cited 2022 Apr 1]. Available from: <https://www.c40.org/news/clean-construction-coalition-halve-emissions-2030/>
10. Hovi IB, Mjøsund CS, Bø E, Pinchasik DR, Grønland SE. Logistikk, miljø og kostnader: Kjøretøydata som grunnlag for forskning, transportplanlegging og forbedringsarbeid. 2021. Report No.: 1861/2021.
11. Davidsson S, Dugstad E. Potensialet for utslippsreduksjon ved fossil- og utslippsfrie bygge- og anleggsplasser. DNV-GL; 2018. Report No.: 2018-0367, Rev. 1.
12. Plan, bygg og eiendom (PBE). Methodenotat - utbygging i Oslo 2010-2030. Oslo, Norway: Plan, bygg og eiendom (PBE), Oslo kommune; 2021.
13. Byggenæringens Landsforening. BNL - markedsrapport 2021-1: Oppsummering. Bygge- og anleggsmarkedet 2021-2023. online: BNL; 2021. (BNL - markedsrapport). Report No.: 2021-1.
14. Byggfakta. Kommunerapporten 2019. online: Byggfakta; 2019 Mai p. 20.
15. SSB. Produksjonsindeks for bygge- og anleggsvirksomhet. online: SSB; 2022. Report No.: 03165.
16. Fasting GM, Lie AØ, Davidsson S, Dugstad EM. Utslippsfrie byggeplasser. 1st ed. Høvik, Norway: DNV GL; 2017 p. 21. (GL D, editor. Fossilfrie og utslippsfrie byggeplasser).
17. Liverød Ø, Vandenbussche V, Guillaumet P, Rambech E. Utskiftningsplan for maskiner. Rapport til utviklings- og kompetanseetaten, Oslo kommune. 2021 p. 45.
18. NS3454: 2013. Life cycle costs for construction works - Principles and classification. Oslo, Norway: Standard Norge; 2013.
19. SSB. Konjunkturtendensene [Internet]. 2021. Available from: <https://www.ssb.no/nasjonalregnskap-og-konjunkturer/konjunkturer/statistikk/konjunkturtendensene>
20. Pinchasik DR, Figenbaum E, Hovi IB, Amundsen AH. Grønn lastebiltransport? Teknologistatus, kostander og brukererfaringer. Oslo, Norway: TØI; 2021. Report No.: 1855/2021.

21. Grønland SE. Kostnadsmodeller for transport og logistikk - basisår 2016. Oslo, Norway: TØI; 2018 p. 66. Report No.: 1638/2018.
22. Wiik MK, Haukaas NO, Ibsen JI, Lekanger R, Thomassen R, Sellier D, et al. Nullutslippsgravemaskin. Læringsutbytte fra elektrifisering av anleggsmaskiner. SINTEF Fag rapport nr. 56. ISBN: 978-82-536-1668-1 [Internet]. 2020 [cited 2021 Sep 10]. Available from: https://www.sintefbok.no/book/index/1252/nullutslippsgravemaskin_laeringsutbytte_fra_elektrifisering_av_anleggsmaskiner
23. Norconsult Informasjonssystemer AS, Bygghanalyse AS. Norsk prisbok [Internet]. Sandvika: Norconsult Informasjonssystemer AS; 2017. Available from: <http://www.norskprisbok.no/Home.aspx>
24. Bowman G, MacKay RB, Masrani S, McKiernan P. Storytelling and scenario process: Understanding success and failure. *Technol Forecast Soc Change*. 2013;80(4):735–48.
25. SINTEF. Framsikt 2050. Hvordan ser framtidens bygg- og anleggsnæring ut? [Internet]. Oslo, Norway: SINTEF Academic Press; 2020 p. 33. Available from: <https://www.sintef.no/contentassets/ccf2bfe7339a4a75af3a5a8bfafdccff/framsikt-2050-rapport.pdf>
26. Hatling M, Vik LH, Sandberg E. Gull i grønne skoger? Analyse av muligheter innen bioøkonomi i Innlandet 2050 [Internet]. Oslo, Norway: SINTEF; 2018 p. 45. Report No.: 0116. Available from: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2579100/gull-i-gronne-skoger.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Vedlegg A: Intervjuguide

Intervjuguide - Konsekvensutredning av utslippsfri bygge- og anleggsplass i Oslo

Som vi skrev i forespørselen: Dette er et prosjekt som SINTEF og TØI gjør på oppdrag fra Oslo kommune, klimaetaten. Vi skal undersøke konsekvensene av en gradvis overgang til utslippsfri gjennomføring av byggeprosesser i Oslo, frem mot 2025 og 2030. Blant annet vil vi vurdere energibruk energiforsyning, tilgang på og drift av anleggsmaskiner, byggtørk og oppvarming, og utslippsfri transport. Og vi vil snakke om aktører, rammebetingelser, marked, økonomi og praktiske forhold. Ut fra alt dette så skal vi utvikle noen scenarier.

Vi gjør notater fra intervjuet, som vi sender tilbake til deg for gjennomlesning og innspill. Ingen direkte sitater vil bli brukt i rapporten uten at vi har sjekket med deg. Og vi vil også verifisere informasjonen vi får fra deg før vi ferdigstiller rapporten. "Du vil når som helst kunne be om at dine innspill trekkes fra studien. Godkjenner du bruken av informasjonen slik vi har beskrevet det?"

Introspørsmål: Kan du fortelle kort om ditt selskap, og din rolle i selskapet?
Hvordan er dere engasjert i utslippsfrie byggeplasser?

1 Energiforsyning

- Hvilke alternative løsninger finnes for energiforsyning i byggefasen?
- Hvilke vesentlige fordeler eller ulemper eller eventuelle merkostnader er knyttet til utslippsfri energiforsyning til byggeplassen?
- Hvordan kan disse fordelene, ulempene og eventuelle merkostnader forventes å utvikle seg frem mot 2025 og 2030?

2 Utslippsfrie anleggsmaskiner

- Hvilke merkostnader er knyttet til bruk av utslippsfrie alternativer fremfor biodrivstoff og fossilt drivstoff?
- Hvordan kan dette forventes å utvikle seg frem mot 2025 og 2030?
- Hvor mye av de totale utbyggingskostnadene utgjør disse merkostnadene?
- Hvordan kan markedsandelen/tilgjengelighet i Osloregionen for utslippsfrie anleggsmaskiner forventes å utvikle seg mot 2030?
- Hvordan påvirker dette næringsaktørene, nasjonalt og internasjonalt?
- Hvor mange maskiner bør være i omløp, og når kan vi forvente at man har oppnådd dette antallet?
- Hvilke forhold vil påvirke kostnadsutviklingen?
- Hvordan vil disse forholdene utvikle seg frem mot 2025 og 2030?

3 Utstyr til byggtørk og oppvarming

- Hvilke alternative løsninger finnes for byggtørk og oppvarming i byggefasen?
- Hvilke merkostnader er knyttet til bruk av utslippsfritt utstyr til byggtørk og oppvarming i byggefasen?
- Hvordan kan dette forventes å utvikle seg frem mot 2025 og 2030?

4 Utslippsfri transport

- Hvilke forhold vil påvirke kostnadsutviklingen?
- Hvordan vil disse forholdene utvikle seg frem mot 2025 og 2030?
- Hvor stor andel av de samlede utbyggingskostnadene utgjør merkostnadene knyttet til bruk av utslippsfri transport innenfor og til og fra bygge- og anleggsplassen?
- Hvordan kan dette forventes å utvikle seg frem mot 2025 og 2030?
- Hvordan kan markedsandelen for utslippsfri transport til og fra bygge- og anleggsplass forventes å utvikle seg frem mot 2030?
- Hvor mange utslippsfrie lastebiler bør være i omløp for at det skal oppnås utslippsfri transport til og fra alle bygge- og anleggsplasser i Oslo?

g) Når kan vi forvente at vi har oppnådd dette antallet?

Mer generelle spørsmål:

- Hvordan jobber du/din organisasjon med utslippsfrie bygge- og anleggsplasser?
- Hvilke andre faktorer enn kostnader påvirker/kommer til å påvirke valg av utslippsfrie alternativer fremfor bio-/fossilt drivstoff? (For din virksomhet? For prosjekter? Generelt?)
- Hvordan vurderer du markedet for utslippsfrie løsninger for bygg- og anleggsplasser?
 - o Stikkord:
 - Tilgjengelighet
 - Teknologisk utvikling
 - Modenhet
 - Potensial
 - Etterspørsel
 - Eksisterende løsninger
 - Muliggjørere/tilretteleggere
 - Drivere
 - Barrierer
 - Muligheter
 - Styrker
 - Svakheter
 - Hovedusikkerheter
- Er det land du vil trekke frem som foregangsland?
- Kan du nevne eksempler på aktører, nasjonale og internasjonale, som fremmer utslippsfrie bygg- og anleggsplasser?
- Hvilke typer aktører mangler?
- Hvilke forventninger har du til fremtidige forretningsmodeller og aktører, og hvordan innretter din organisasjon seg til dette?
- Hva er de lavest hengende fruktene for å få lønnsomhet?
- Hvilke rammevilkår mener du står i veien for å utvikle og ta i bruk løsninger for utslippsfrie bygg- og anleggsplasser?
 - Regulatoriske
 - Økonomiske
 - Organisatoriske
 - Samfunnsmessige
- Har du forslag til en alternativ utforming av rammebetingelse?
- Hvilke typer insentiver brukes i dag for overgang til elektriske? Hvilke andre typer insentiver bør brukes for raskere implementering?
- Hva skal til for å realisere målet om utslippsfri bygge- og anleggsvirksomhet i Oslo kommune innen 2030?

Vedlegg B: Spørreundersøkelse om utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo

Spørreundersøkelse om utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo

Denne spørreundersøkelsen er et ledd i et prosjekt som SINTEF og TØI gjør på oppdrag for klimaetaten i Oslo kommune. Vi skal undersøke konsekvensene av en gradvis overgang til utslippsfri gjennomføring av byggeprosesser i Oslo frem mot 2025 og 2030. Vi vil blant annet vurdere energibruk, energiforsyning, tilgang på og drift av anleggsmaskiner, byggtørk og oppvarming, og utslippsfri transport.

Vi ønsker her svar på spørsmålene i forhold til hva du tror og mener. Hvis spørsmålene ikke er relevant for deg eller ditt firma unnlater du å svare på dem.

Det er frivillig å delta i spørreundersøkelsen. Hvis du velger å delta, kan du når som helst trekke samtykket tilbake uten å oppgi noen grunn. Alle dine personopplysninger vil da bli slettet. Det vil ikke ha noen negative konsekvenser for deg hvis du ikke vil delta eller senere velger å trekke deg. Vi vil bare bruke opplysningene om deg til formålene vi har fortalt om i dette skrivet. Vi behandler opplysningene konfidensielt og i samsvar med personvernregelverket.

Det vil ta omtrent 10 minutter å fullføre undersøkelsen.

* Obligatorisk

1. Vi behandler opplysninger basert på ditt samtykke. Jeg samtykker til at mine svar behandles frem til prosjektet er avsluttet. *

Ja

Nei

2. Hva er navnet på bedriften du er ansatt i?

3. Hvilken bransje tilhører bedriften din (flere valg mulig)? *

Byggetreprenrør

Maskinleverandør

Transport

Maskinutleie

Byggherre

Energidistribusjon

Energiproduksjon

Energilagring

Eiendom

Avfall og gjenvinning

Rådgivning

Annet

4. Hva er din rolle i bedriften?

5. I hvilken grad vil det være nok tilgjengelige **utslippsfrie anleggsmaskiner** til å oppnå utslippsfrie **kommunale** bygge- og anleggsprosjekter i Oslo i **2025**?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Ikke sannsynlig i det hele tatt

Svært sannsynlig

6. I hvilken grad vil det være nok tilgjengelige **utslippsfrie anleggsmaskiner** til å oppnå at **både offentlige og private** bygge- og anleggsprosjekter i Oslo kan bli utslippsfrie i **2030**?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Ikke sannsynlig i det hele tatt

Svært sannsynlig

7. I hvilken grad vil det være nok tilgjengelige **tunge kjøretøy** til å oppnå utslippsfri **til- og fra-transport** til **kommunale** bygge- og anleggsprosjekter i Oslo i **2025**?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Ikke sannsynlig i det hele tatt

Svært sannsynlig

8. I hvilken grad vil det være nok tilgjengelige utslippsfrie **tunge kjøretøy** til å oppnå at **til- og fra-transport** til **både offentlig og private** bygge- og anleggsprosjekter i Oslo kan bli utslippsfrie i **2030**?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Ikke sannsynlig i det hele tatt

Svært sannsynlig

9. I hvilken grad vil det være nok tilgjengelig **elektrisitet** til å oppnå at **alle kommunale** bygge- og anleggsplasser i Oslo er utslippsfrie i **2025**?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Ikke sannsynlig i det hele tatt

Svært sannsynlig

10. I hvilken grad vil det være nok tilgjengelig **elektrisitet** til at **alle** bygge- og anleggsprosjekter i Oslo er utslippsfrie i **2030**?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Ikke sannsynlig i det hele tatt

Svært sannsynlig

3/15/2022

11. Har du andre kommentarer eller tilleggsinformasjon knyttet til måloppnåelse for Oslo kommune mot 2025 og 2030? (F.eks. hvilke type kjøretøy og maskiner som ikke vil være tilgjengelig, hvilke områder det er størst risiko for at ikke blir utslippsfritt etc.)

12. Basert på din vurdering, i hvilket år vil alle anleggsmaskiner på bygge- og anleggsplasser i Oslo kommune være utslippsfrie?

13. Basert på din vurdering, i hvilket år vil alle tunge kjøretøy til og fra bygge- og anleggsplasser i Oslo kommune være utslippsfrie?

3/15/2022

14. Hvor stor andel av kostnadene knyttet til **drift av bygge- og anleggsplassen** utgjør **merkostnadene** for en utslippsfri bygge- og anleggsplass sammenlignet med en tradisjonell bygge- og anleggsplass?

	0-5 %	6-10 %	11-15 %	16-20 %	21-30 %	31-40 %	Over 41 %
ved bruk av utslippsfrie anleggsmaskiner?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ved bruk av utslippsfri transport innenfor og til og fra bygge- og anleggsplassen?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ved bruk av utslippsfri byggtørk og oppvarming?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

15. Ranger de viktigste **driverne** for å oppnå utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo kommune i 2030 (viktigst øverst) *

Teknologiutvikling

Støtteordninger

Krav og reguleringer

Tilgang på maskiner og andre utslippsfrie løsninger

Erfaring og kompetanse

Serieproduksjon

Omdømme

Grønn omstilling

3/15/2022

16. Ranger de viktigste **barrierene** som kan hindre at vi oppnår utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Oslo kommune i 2030 *

Energi-infrastruktur

Teknologiutvikling

Kostnader

Støtteordninger

Krav og reguleringer

Tilgang på maskiner og andre utslippsfrie løsninger

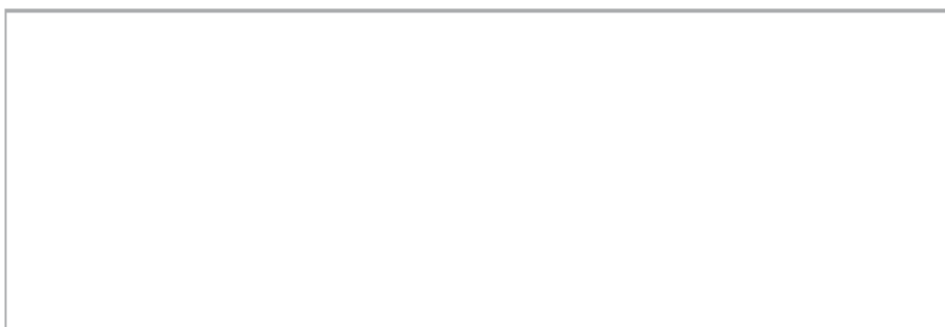
Erfaring og kompetanse

Serieproduksjon

Tilgjengelig areal

HMS-utfordringer med ny teknologi

17. Er det andre drivere og/eller barrierer du mener er viktige?



3/15/2022

Utslippsfri byggeprosess i Oslo

KONSEKVENsutREDNING

Oslo kommune har som mål at bygge- og anleggsvirksomheten i Oslo skal være utslippsfri i 2030. I denne rapporten har vi undersøkt konsekvenser av en gradvis overgang til utslippsfri gjennomføring av byggeprosesser i Oslo. Rapporten ser på energibruk og energiforsyning på og til/fra byggeplass, kostnadsanalyser, markedsanalyser og vurderer forskjellige utviklingsscenarioer. Vi har utredet i hvilken grad utslippsfrie anleggsmaskiner og kjøretøyer er allment tilgjengelig i det lokale markedet i og rundt Oslo, herunder om bruk av slikt utstyr medfører vesentlig ulempe eller merkostnader for utbygger og hvordan dette forventes å utvikle seg fram mot 2030. For å identifisere hvordan Oslo kommune kan legge til rette for ønsket utvikling med effektive virkemidler har vi etablert framtidsscenarioer for utviklingen av utslippsfrie løsninger for bygge- og anleggsplasser fram mot 2025 og 2030.

Rapporten er utarbeidet av SINTEF og TØI på oppdrag fra Oslo kommune ved Klimaetaten.