

Simen Lycke Kjøllmoen

Bærekraftig anleggsdrift

Maskindata som beslutningsgrunnlag for miljøtiltak for anleggsmaskiner

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk / Digitale byggeprosesser.
Veileder: Erling Onstein

Juni 2020

Simen Lycke Kjøllmoen

Bærekraftig anleggsdrift

Maskindata som beslutningsgrunnlag for miljøtiltak
for anleggsmaskiner

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk / Digitale byggeprosesser.
Veileder: Erling Onstein
Juni 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Norge har gjennom *Parisavtalen* og *Klimaloven* forpliktet seg til å redusere klimagassutslippene med opptil 50% innen 2030. For å nå dette målet, må alle aktører i alle bransjer gjøre sin del av jobben. Miljøhensyn blir stadig viktigere og bruk av ny teknologi er avgjørende for at aktører skal være og forbli konkurransedyktige. Bygg- og anleggssektoren står for om lag 15% av Norges klimagassutslipp, og har derfor et stort ansvar i å redusere klimagassutslippene fra sine prosjekter. For å klare å oppnå nødvendige reduksjoner i prosjektene, må aktørene identifisere de mest vesentlige tiltakene og vurdere disse, slik at man ser til at de tiltak som blir iverksatt gir best mulig effekt i forhold til kostnader.

Omtrent 1/3 av klimagassutslippene fra et anlegg kommer fra anleggsmaskinene. All informasjon som samles inn fra en anleggsmaskin kalles «maskindata». I denne masteroppgaven stilles problemstillingen: «Kan maskindata bidra til å identifisere vesentlige tiltak for å redusere klimagassutslipp fra anleggsmaskiner?».

For å belyse problemstillingen, stiller oppgaven fire forskningsspørsmål: 1. Hvilke tiltak for å redusere klimagassutslipp fra veganlegg er i dag dokumentert i Norge? 2. Hvordan beregnes baseline for klimagassutslipp fra anleggsmaskiner? 3. Hvordan kan det planlegges og tilrettelegges for innsamling av maskindata? 4. Hvordan kan maskindata brukes for å beregne klimagassutslipp fra anleggsmaskiner? Hvordan kan beslutningstaker bruke slike beregninger for å redusere klimagassutslipp?

For å belyse forskningsspørsmålene, brukes det i oppgaven ulike metodiske tilnærminger: litteraturstudier, intervjuer og en casestudie.

Opgaven viser at det er viktig å sette inn tiltak for å redusere klimagassutslipp i tidlige prosjektfaser, fordi det er da man velger konsepter og bestemmer rammer for gjennomføring som er avgjørende for slike reduksjoner. En metode for beregning av baseline for klimagassutslipp fra anleggsmaskiner er Statens Vegvesens regneverktøy VegLCA. Gjennomgangen av metoden indikerer at det er en rekke antakelser ved slike beregninger. Oppgaven viser også at innsamling og bruk av maskindata forutsetter konkrete og tydelige målsetninger, rammeverk og planer for gjennomføring. Casestudiet viser hvordan innsamling av maskindata kan gjøres i praksis og hvordan maskindata kan brukes for å vurdere sammenhenger mellom arbeidet maskinen utfører og klimagassutslippene. Bruken av maskindata kan bidra til å gi beslutningstakere et bedre beslutningsgrunnlag når det skal vurderes og iverksettes tiltak for å redusere klimagassutslippene fra anleggsmaskiner.

Samlet sett viser oppgaven at maskindata kan bidra til å identifisere vesentlige tiltak for å redusere klimagassutslipp fra anleggsmaskiner. Temaet maskindata skaper mye engasjement i bransjen, men potensialet er i dag uforløst.

Abstract

Environmental considerations are becoming increasingly important. In line with the Paris Agreement and the Norwegian Climate Change Act, Norway has committed itself to reduce its greenhouse gas emissions with up to 50% by the year 2030. To reach the ambitions for sustainable development, all parties in all sectors of society must contribute. The building and construction industry accounts for approximately 15% of the total amount of greenhouse gas emissions in Norway. This gives the industry a particular responsibility for sustainable development in the future. In order for this sector to achieve the necessary reductions in greenhouse emission, essential measures towards cost effective development must be identified and considered.

On a construction site, about 1/3 of the greenhouse gas emissions derive from the use of construction machines. Information that can be gathered from a construction machine is called "machine data". The main issue in this master thesis is: "How can machine data be used to identify and evaluate the measures that are significant in reducing greenhouse gas emissions from construction machines?"

This issue is related to four research questions: 1. Which measures can be implemented to reduce greenhouse gas emissions from road constructions? 2. How can a base line for greenhouse gas emissions be calculated? 3. How can the collection of data from construction machines be planned and facilitated? 4. How can data from construction machines be used for calculating greenhouse gas emissions from these machines? How can such calculations be used to reduce greenhouse gas emissions?

In order to illuminate these research questions, this thesis has used different methodological approaches: literature studies, interviews and a case study.

The thesis shows the importance of implementing measures to reduce greenhouse gas emissions at an early project stage, because that is when concepts are chosen and frames for implementation are decided. One method for calculating a base line for greenhouse gas emissions from construction machines is to use the calculation tool VegLCA, developed by Statens vegvesen (The Norwegian Road Administration). A closer study of this approach indicates that the tool is based on a number of assumptions. The thesis also shows that the collection and use of construction machine data relies on specific and clear aims, frames and plans. The case study shows how collection of data from the field can be carried out. The study also shows how such data can be used to evaluate the relations between machines' work processes and greenhouse gas emissions. The use of specific data can thereby contribute to a better basis for decisions directed at reducing greenhouse gas from construction machines.

In sum, the thesis indicates that data from construction machines can contribute to the identification of what measures that are especially important in reducing greenhouse gas from construction machines. There is a considerable amount of interest related to data from construction machines, but the potential for the use of such data has not yet been fully released. The findings in this master thesis show that machine data can be used to identify the most significant measures in order to reduce greenhouse gas emissions from construction machines. Machine data as a topic seem to create much engagement in the industry, but today the potential for use are untapped.

Forord

Denne masteroppgaven gjennomføres som et avsluttende arbeid på masterstudiet i Digitale Byggeprosesser ved Norges Tekniske og Naturvitenskapelige Universitet (NTNU) avdeling Gjøvik. Oppgaven har som formål å vise hvordan digital informasjon om anleggsmaskiners prestasjoner (maskindata) kan høstes og brukes for å vurdere ulike tiltak for å redusere klimagassutslippene fra anleggsmaskinene. Funnene i oppgaven er basert på en litteraturstudie, en casestudie og intervjuer.

Gjennom hele min skolegang har jeg vært opptatt av, og interessert i, offentlige debatter og medieomtaler som omhandler bygg- og anleggsbransjen. De senere år har spesielt miljø- og klimadebatten skapt store og opphetede diskusjoner. Min oppfattelse har vært at debatten i stor grad bygger på mye synsing og antakelser. Jeg har derfor gått inn i arbeidet med masteroppgaven med et ønske om å lære mer om hva vi vet og hva vi ikke vet om miljø- og klimaspørsmål knyttet til veibygging.

I juni 2020 samtidig med at jeg har ferdigstilt denne mastergradsoppgaven, har Nye Veier AS annonsert at CEEQUAL skal bli inkludert i alle prosjekter og Statens vegvesen har lagt frem en rapport med 93 tiltak som kan gjøres for å redusere klimagassutslipp fra veganlegg. Dette viser at miljøspørsmål virkelig er noe som er i vinden i bransjen.

Arbeidet med masteroppgaven har vært veldig lærerikt. Jeg har vært heldig, og har gjennom hele perioden jeg har arbeidet med oppgaven møtt stor velvillighet til å dele av personlig kunnskap og erfaringer. Oppgaven har også gitt meg anledning til å treffe og prate med en rekke personer som alle har vært veldig entusiastiske og gledelig delt av sin erfaring og kunnskap.

Jeg vil spesielt takke Ketil Søyland fra Norconsult for bidrag til masteroppgaven. Hans kunnskap og kontaktnett har vært uvurderlig for å kunne lykkes med å gjennomføre arbeidet med denne oppgaven. En stor takk rettes også til veileder Erling Onstein fra NTNU. Han har alltid vært tilgjengelig når jeg har hatt spørsmål, og har gjennom regelmessige møter bidratt med spørsmål og innspill rundt temaer og oppbygning av oppgaven som har bidratt til bedre refleksjon for meg.

Videre vil jeg takke Knut Ollendorff fra Feiring Bruk for å tilgang til maskindata til casestudiet og samtaler om hvordan de bruker slik data. Jeg vil også takke Sigve Pettersen fra Fremby. Sigve har alltid vært tilgjengelig for en prat og har bidratt til å belyse spørsmål jeg har hatt angående innsamling av maskindata. Uten denne kontakten, kunne jeg ikke gjort casestudien.

Jeg ønsker også å rette en takk til øvrige informanter for refleksjoner og innspill som har bidratt til å gjøre oppgaven mer relevant med hensyn til bransjens utfordringer. Til slutt vil jeg også takke familien for all støtte.

Hosle, 9. Juni 2020, Simen Lycke Kjøllmoen

Innhold

Sammendrag	v
Abstract	vi
Forord	vii
Innhold	viii
Figurliste	x
Tabelliste	xi
Forkortelser	xii
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Mål og forskningsspørsmål	3
1.3 Disposisjon	4
2 Metode	5
2.1 Litteraturstudie.....	5
2.2 Intervjuer	6
2.3 Casestudie	8
2.4 Forskerrollen ved interjuer og casestudie.....	8
2.5 Etske hensyn ved intervjuer og informasjonsinnsamling.....	9
2.6 Avgrensninger.....	9
3 Teoretiske perspektiver.....	11
3.1 Faser i byggeprosessen	11
3.2 Tiltak for å redusere klimagassutslippene gjennom byggeprosessen	13
3.2.1 Steg 1: Behov	13
3.2.2 Steg 2: Program og konseptutvikling	13
3.2.3 Steg 3: Bearbeiding av konsept	15
3.2.4 Steg 4: Detaljprosjektering	16
3.2.5 Steg 5: Produksjon og leveranser	18
3.2.6 Steg 6-8	20
3.3 Livssyklusvurdering.....	20
3.4 Lovverk knyttet til innsamling av maskindata	24
3.5 Datasystemer i anleggsmaskiner	25
3.6 Innovasjon som metode for vurdering av tiltak.....	27
3.7 Nytte-kostnadsanalyser	28
3.8 Energibærere	29
3.9 Innsamling av maskindata	29
4 Beregning av klimagassutslipp	31
4.1 Eksempel på beregningsmetode: VegLCA.....	31

4.2	Dokumentasjon for beregningsmetoden VegLCA	35
5	Tilrettelegging for bruk av maskindata	37
5.1	Trinn 1: Innkjøp av maskiner og sensorer	37
5.2	Trinn 2: Infrastruktur for å samle inn data	37
5.3	Trinn 3: Overføring av data fra server til bruker	38
5.4	Trinn 4: Presentasjon av data	38
5.5	Trinn 5: Videre bruk av dataene	39
5.6	Eierskap til maskindata.....	39
6	Casestudie: Feiring bruk	40
6.1	Innledning: Om Feiring Bruk og Fremby	40
6.2	Innsamling og analyse av maskindata fra Feiring Bruk.....	42
6.2.1	Innsamling av maskindata fra Feiring Bruk.....	43
6.2.2	Valg av analyseperiode for casestudiet	43
6.2.3	Valg av maskindata til casestudiet.....	43
6.2.4	Gjennomføring av analyse av maskindata	44
6.2.5	Resultat av datainnsamling og -analyse	46
6.3	Usikkerheter ved resultatet i casestudien	50
6.3.1	Sammenligning av resultater, forskjeller mellom faktorene	50
6.3.2	Usikkerheter for beslutningstaker.....	51
6.3.3	Feilkilder i casestudien.....	52
6.4	Anbefalinger basert på casestudien	53
7	Diskusjon	54
7.1	VegLCA som metode for beregning av klimagassutslipp fra anleggsmaskiner.....	54
7.1.1	Muligheter og uforfringer ved beregningsmetoden.....	54
7.1.2	Faktorer utenfor systemgrensen til VegLCA	55
7.2	Diskusjon om innsamling av maskindata.....	56
7.2.1	Eierskap og deling av maskindata	56
7.2.2	Rammeverk for innsamling av maskindata	57
7.2.3	Tilrettelegging for bruk av maskindata i byggeprosessen	60
7.3	Maskindata som metode for beregning av klimagassutslipp.....	64
7.3.1	Maskindata for vurdering av klimagassreducerende tiltak.....	64
7.3.2	Effekten av bevisstgjøring	66
8	Konklusjon	67
	Videre arbeid	70
	Referanser.....	71
	Vedlegg.....	77

Figurliste

Figur 1: FNs 17 bærekraftsmål.	1
Figur 2: <i>Neste Steg</i> med åtte prosesstrinn (Bygg21, 2016).	12
Figur 3: Ulike aktiviteter i en byggefase og hvilke standarder som gjelder for de forskjellige aktivitetene (Fufa, Mellegård og Wiik, 2018).	22
Figur 4: Prosesstadier i en livssyklusvurdering iht. NS-EN ISO 15643:2010	23
Figur 5: Eksempel på maskinstyring (Haukås, 2018).	25
Figur 6: Dataflyt for maskinstyring (Lerbak, 2018).	26
Figur 7: Prioriteringer i tiltak for å kutte i klimagassutslipp (Asko, ukjent år).	29
Figur 8: Eksempel på en prosess beskrevet i prosesskode 2. Bildet er et skjermutklipp fra (Statens vegvesen, 2018b).	31
Figur 9: Posten fra prosesskoden vist i VegLCA med mengder fylt inn.	32
Figur 10: Beregnede mengder diesel for anleggsmaskiner og massetransport for 1000 kubikkmeter skjæring på et 10 km langt anlegg.	32
Figur 11: Beregnede klimagassutslipp fra eksempelet.	33
Figur 12: Beregningsfaktorer brukt i VegLCA for anleggsmaskiner.	33
Figur 13: Dokumentasjon for beregningsfaktorer brukt i VegLCA.	33
Figur 14: Beregningsfaktorer brukt i VegLCA for massetransport.	34
Figur 15: Utslippsfaktoer brukt i VegLCA.	34
Figur 16: Prosessflyt for tilrettelegging for bruk av maskindata	37
Figur 17: Dataflyten Fremby ønsker å tilrettelegge for med sin løsning. Kilde: Sigve Pettersen, Fremby	41
Figur 18: Fremby sin presentasjon av maskindata i PowerBI. Kilde: Sigve Pettersen, Fremby	42
Figur 19: Hjullasternes drivstofforbruk og driftstimer per dag i analyseperioden.	58
Figur 20: Skjermbilde fra datasettet for maskinstatus fra casestudiet.	59

Tabelliste

Tabell 1: Oversikt over de forskjellige informantene som har bidratt til masteroppgaven.	6
Tabell 2: Tidsaspekter i en livssyklusvurdering.	21
Tabell 3: Oversikt over maskinene som har blitt inkludert i analysen.....	44
Tabell 4: Oversikt over spesifikasjoner for maskinene i analysen.	44
Tabell 5: Oversikt over innsamlet data for gravemaskinen CAT 325F XE.	46
Tabell 6: Innsamlet data for hjullasteren Volvo L180H.....	47
Tabell 7: Innsamlet data for hjullasteren Volvo L260H.....	47
Tabell 8: Innsamlet data for hjullasteren CAT 972M.	47
Tabell 9: Innsamlet data for hjullasteren CAT 980M.	48
Tabell 10: Faktisk og beregnet dieselforbruk for gravemaskinen Cat 352F XE	49
Tabell 11: faktisk og beregnet dieselforbruk for hjullasterne inkludert i casestudien	49

Forkortelser

API	Application programming interface
CEEQUAL	Civil Engineering Environmental Quality Assessment and Award Scheme
CO ₂ -e	Karbondioksid-ekvivalent
CSV	Comma-separated values
EFTA	European Free Trade Association / det europeiske frihandelsforbund
EPD	Produktdatablad
EU	Europeiske Union
GDPR	General Data Protection Regulation / Personvernforordningen
GIS	Globalt informasjonssystem
GLONASS	Globalnaja navigasjonssystem sputnikovaja Sistema / globalt navigasjonssatelittsystem
GPS	Global Positioning system
JSON	JavaScript Object Notation
LCA	Life cycle analysis / Livssyklusvurdering
NOU	Norges offentlige utredninger
SVV	Statens vegvesen
TBM	Tunellboremaskin
VegLCA	Livssyklusanalyse for veg
XML	Extensible markup Language

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Verden er i dag i en stadig endring. Klimaet blir varmere, befolkningen øker og nye sykdommer sprer seg som pandemier på tvers av kontinenter. Samtidig skapes nye arbeidsplasser, ny teknologi blir tilgjengelig og verdens befolkning samhandler på en måte som aldri har blitt gjort før.

For å møte de nye utfordringene, har FN utarbeidet 17 bærekraftsmål. Disse målene viser hvordan landene skal arbeide for å skape en bærekraftig fremtid for de kommende generasjoner. Figur 1 viser bærekraftsmålene¹, det er særlig mål «13 stoppe klimaendringene» som er relevant for denne oppgaven.



Figur 1: FNs 17 bærekraftsmål.

Brundtlandkommisjonen beskrev i 1987 bærekraftig utvikling som noe som skal «sikre behovene i dag uten å gå på akkord med kommende generasjoners muligheter til å dekke sine behov», og samtidig skal «utnyttelsen av ressurser, styring av investeringer, teknologisk utvikling og institusjonelle endringer tilpasses både dagens og fremtidens behov». (Brundtland *et al.*, 1987)

Norge har som en del av FN sluttet seg til målene om en bærekraftig utvikling. Mange vil hevde at utviklingen de siste tiårene ikke har vært bærekraftig. For å lykkes med en

¹ Beklager at enkelte figurer kan komme dårlig ut på trykk. Henviser i disse tilfeller til den digitale utgaven av denne rapporten.

bærekraftig utvikling, vil et viktig bidrag fra ingeniører være å utvikle og ta i bruk ny teknologi og nye arbeidsmetoder.

Et viktig arbeid for å få bærekraftig utvikling, er å redusere klimagassutslippene. Klimagassene omfatter gasser som påvirker jordens atmosfære og dermed spiller inn på klimaet på jorden. Klimagassene omfatter karbondioksid, lystgass, metan, fluorkarboner, lystgass og vanndamp (Bryhni, 2019). Utslipp av klimagasser måles med en funksjonell enhet, CO₂-ekvivalent (også forkortet CO₂-e) (Olerud og Lahn, 2020).

Dersom verden ikke lykkes med å redusere utslippene av klimagassene, vil det ha store negative konsekvenser på jorden (Pachauri *et al.*, 2014). Det er derfor viktig at alle land og alle aktører gjør sin del av oppgaven med å redusere klimagassutslippene.

Brunstad (2008) skriver i artikkelen *Å planlegge for store samfunnsomveltninger: Paradigmeanalyse som fremsynsmetode* om hvordan samfunnet i dag tar inn over seg forandringer. Utviklingen de siste hundre årene kan beskrives med et sterkt fokus på økonomisk vekst basert på fossil energi. Samfunnet er i dag i en dreining mot det som beskrives som «grønn hypereffektivitet». Dette innebærer at samfunnet ønsker å jobbe på samme måte som før, ved hjelp av samme type verktøy, men med bruk av mer miljøvennlig energi. Samtidig vil en overgang til en økologisk balanse, der utviklingen er bærekraftig, være utfordrende og kreve et paradigmeskifte som endrer økonomiske, politiske og sosiale rammer i verden.

I Norge er hensyn til miljø og klima hjemlet i lov ved blant annet *Klimaloven*. *Klimaloven* beskriver en forpliktelse om at norske utslipp av klimagasser innen 2030 skal være redusert med 40 % sammenlignet 1990. Regjeringen har også en enda mer ambisiøs målsetning med 50-55 % reduksjon i klimagassutslippene (Klima- og Miljødepartementet, 2020)

Miljødirektoratet (2020) har i rapporten *Klimakur 2030: tiltak og virkemidler mot 2030* kartlagt og dokumentert klimagassutslipp og utslippsreduksjonspotensiale fra forskjellige bransjer og sektorer i Norge. Bygg- og anleggsbransjen står for om lag 15 % av de nasjonale klimagassutslippene (Asplan Viak, 2019), og har med det store potensialer for å bidra til redusere utslippene i landet. Blant annet nevnes det i *Klimakur 2030* at tiltak for anleggsmaskiner alene kan redusere de totale utslippene i Norge med 4 %.

Nyhetsoppslag viser hvor viktig klima- og miljøhensyn er for å få støtte for å gjennomføre store infrastrukturprosjekter (Gulowsen, 2019). Dette understrekes i en spørreundersøkelse gjennomført av Kantar TNS (2018) som viser at nesten hele Norges befolkning mener at vi har en stor og viktig oppgave med å redusere utslippene av klimagasser.

Transportvaneundersøkelser viser at majoriteten av befolkningen benytter seg av bil som transportmiddel (Kantar TNS, 2018). Norge er et langstrakt land med befolkning som bor spredt. Dette betyr at veier og samferdselsinfrastruktur er, og forblir, en svært viktig del av den norske infrastrukturen i dag og i fremtiden.

Offentlige byggherrer som Statens Vegvesen og Nye Veier AS, er i ansvarlige for majoriteten av utbyggingen av veier. Dette er aktører som har mandat som ikke bare er å skape samfunnsøkonomiske prosjekter, men også stimulere til en bærekraftig utvikling slik at deres virke har støtte i befolkningen og ivaretar viktige samfunnshensyn.

Med en stat og offentlige aktører som stiller stadig strengere krav til miljø- og klimaprestasjon i sine prosjekter, følger krav om ny praksis for de private aktørene som

gjennomfører samferdselsprosjekter. Det har derfor også blitt en omdømmesak for bedrifter å vektlegge miljø- og klimahensyn i virksomhetenes egen drift og i utvikling av bygg- og anleggsprosjekter.

Utviklingen av datamaskiner og økt prosessorkapasitet vil kunne være viktige bidragsyttere i omstillingen verden står overfor. Slik teknologi vil åpne for nye verktøy som kan bidra til en mer effektiv og miljøvennlig utvikling i en rekke bransjer.

1.2 Mål og forskningsspørsmål

Brundtlandkommisjonens perspektiver på bærekraft har fått stadig større gjennomslag globalt og nasjonalt. Denne oppgaven belyser tematikken ved å se på ett område, vegbygging med særlig vekt på klimagassutslipp fra anleggsmaskiner.

Med nye krav til prosjekter og utvikling av ny teknologi, står bygg- og anleggsbransjen foran en rekke utfordringer og muligheter i de kommende årene. Denne masteroppgaven undersøker hvordan anleggsbransjen i sitt arbeide med å utvikle veganlegg kan tatt inn over seg de endringene samfunnet står overfor. Problemstillingen er som følger:

- Kan maskindata bidra til å identifisere vesentlige tiltak for å redusere klimagassutslipp fra anleggsmaskiner?

For å besvare problemstillingen, har det i denne masteroppgaven blitt tatt utgangspunkt i følgende fire forskningsspørsmål:

1. Hvilke tiltak for å redusere klimagassutslipp fra veganlegg er i dag dokumentert i Norge?
2. Hvordan beregnes baseline for klimagassutslipp fra anleggsmaskiner?
3. Hvordan kan det planlegges og tilrettelegges for innsamling av maskindata?
4. Hvordan kan maskindata brukes for å beregne klimagassutslipp fra anleggsmaskiner? Hvordan kan beslutningstaker bruke slike beregninger for å redusere klimagassutslipp?

Den innledende litteraturgjennomgangen som kartla forskjellige tiltak som kan gjøres gjennom hele levetiden til prosjektet blir det indikert at det i dag i liten grad benyttes digitale verktøy for å redusere klimagassutslippene fra vegprosjekter.

Funnene i litteraturstudiet, og anslagene fra *Klimakur 2030*, indikerer at det er et stort uforløst potensial for å redusere klimagassutslipp fra anleggsmaskiner som benyttes i forbindelse med bygging av veganlegg. I dette potensialet ligger en rekke antakelser og lite konkrete fakta om hvordan maskinene faktisk jobber, drivstofforbruk og hvilke effekter ulike klimagassreducerende tiltak vil kunne ha.

Gjennom samtaler med eksperter i bransjen, har det blitt identifisert at når ulike tiltak for å redusere klimagassutslippene skal vurderes, brukes det generiske beregningsfaktorer for å beregne en baseline som effektene av tiltaket kan sammenlignes med.

Anleggsmaskiner har i dag en rekke sensorer og datasystemer som overvåker hvordan anleggsmaskinen presterer. Slik data som inneholder informasjon om maskinens arbeid kalles videre «maskindata». For at maskindata skal kunne høstes, krever det planlegging og infrastruktur. Ethvert prosjekt er avhengig av god planlegging for å lykkes.

Dersom man lykkes med innsamlingen av maskindata, vil det åpne nye muligheter. Dette gjelder for alle aktører i prosjektene, herunder byggherre, rådgiver og entreprenør.

1.3 Disposisjon

For å besvare problemstillingen og forskningsspørsmålene tar denne masteroppgaven for seg en rekke temaer. Dette kapitlet tar kort for seg masteroppgavens oppbygning.

Den første delen av masteroppgaven gir en generell innledning til oppgavens tema (kapittel 1) og gjennomgår de ulike metodene som er blitt brukt (kapittel 2).

Kapittel 3 er knyttet til det første forskningsspørsmålet. Det tar for seg teoretisk. Først gjennomgås fasene i byggeprosessen og ulike tiltak som kan gjøres for å redusere klimagassutslipp blir kartlagt. Videre beskrives rammer for livssyklusvurderinger, lovverk, datasystemer, innsamling av maskindata og vurdering av tiltak for å redusere klimagassutslipp.

Kapittel 4 og 5 er knyttet til det andre og tredje forskningsspørsmålet. Kapitlet beskriver gjennomføring av casestudien og viser hvordan maskindata kan samles inn i praksis og hvordan slike data kan brukes for å beregne klimagassutslipp fra anleggsmaskiner.

Kapittel 6 er knyttet til det fjerde forskningsspørsmålet. Kapitlet beskriver gjennomføring av casestudien og viser hvordan maskindata kan samles inn i praksis og hvordan slike data kan brukes for å beregne klimagassutslipp fra anleggsmaskiner.

Kapittel 7 gir en diskusjon av oppgavens metoder for beregning av klimagassutslipp fra anleggsmaskiner, innsamling av maskindata og praktisk anvendelse av maskindata. Diskusjonen tar for seg muligheter og begrensninger som har blitt identifisert i casestudiet, litteraturgjennomgangen og intervjuer.

Avslutningsvis i kapittel 8 følger konklusjonen for problemstillingen og forskningsspørsmål, og det blir pekt på muligheter for videre forskning.

2 Metode

Forskningsmetoder beskriver planer og rammer for hvordan vitenskapelig forskning skal gjennomføres. Forskning kan gjennomføres med en kvalitativ metode som innebærer observasjoner og utspøringer, eller med en kvantitativ metode som innebærer å kvantifisere og utarbeide et statistisk grunnlag. Forskningsmetoden kan også baseres på metodetriangulering, som betyr at både kvalitative og kvantitative undersøkelser blir gjennomført. (Grønmo, 2020)

Denne oppgaven består av både kvalitativ og kvantitativ datainnsamling. Den kvalitative datainnsamlingen har blitt gjort gjennom å kartlegge eksisterende kunnskap gjennom intervjuer og litteratursøk og -gjennomgang. Funnene fra de kvalitative undersøkelsene har blitt testet i et kvantitativt casestudium, der funnene har blitt brukt i praksis.

Metodekapittelet tar for seg det teoretiske rammeverket for de metoder som har blitt brukt til datainnsamling, og hvordan undersøkelsene i praksis ble gjennomført.

2.1 Litteraturstudie

Bakgrunnen for oppgaven er en undring om rundt hvordan det arbeides for å redusere klimagassutslipp forårsaket fra veganlegg, og hvor det kan etableres ny kunnskap for å forbedre dette arbeidet. Innledende litteratursøk ble initiert høsten 2019 i forbindelse med fordypningsoppgave på studiet og videreført våren 2020 i forbindelse med masteroppgaven.

Det første steget i arbeidet med denne litteraturstudien var å vurdere ulike kilder (Rowley og Slack, 2004). En rekke forskjellige kilder ble gjennomgått. Hovedkilden til informasjon som ble valgt var publiserte rapporter og artikler. Denne type kilder oppgir informasjon om forfatter og henviser til dokumentasjon for påstander og informasjon, noe som underbygger at innholdet i kilden er troverdig.

I forbindelse med litteraturstudiet ble det tatt utgangspunkt i rapporter og artikler som var å finne på hjemmesidene til Statens vegvesen. Dette ble valgt som utgangspunkt da rapporter og artikler herfra i stor grad kan forventes å være knyttet til forsknings- og utviklingsprosjekter for vegsektoren og relevante for norske forhold. Søkeordene som ble brukt, var «miljø», «klima», «anlegg», «veganlegg» og «vegbygging».

For å ha en tydelig struktur for oppgaven, ble stegnormen *Neste Steg* av Bygg21 (2016) valgt som rammeverk. Denne beskriver byggeprosessen i kronologisk rekkefølge, fra tidlig idéfase til avvikling.

Neste Steg ga også utgangspunkt for ytterligere litteratursøk ved at søkeordene «miljø» og «klima» ble kombinert med stikkord som beskrev ulike prosesser i *Neste Steg*. Disse søkene ble gjort både på norsk og engelsk. I dette litteratursøket ble søkemotoren *EngineeringVillage* og SVV sin nettside brukt.

2.2 Intervjuer

I arbeidet med denne masteroppgaven har det blitt gjennomført en rekke samtaler og intervjuer. Intervjuene har lagt grunnlaget for fremstillingen av bransjerelaterte aspekter ved bærekraft i denne oppgaven. De har også bidratt for å identifisere viktige temaer og problemstillinger ved planlegging, gjennomføring og evaluering av bruken av anleggsmaskiner og maskindata for å støtte en bærekraftig utvikling.

Alle intervjuene har blitt gjennomført som samtaler. Dette er ifølge Lotherington (1990) en metode som er godt egnet for å kartlegge hva informanten mener er viktige poenger, i tillegg til at det gir en fortrolighet mellom forsker og informant som kan bidra til en mer åpen dialog slik det har vært ønsket i denne oppgaven. På denne måten ble intervjuene gjennomført slik at informanten følte trygghet til å dele sin kunnskap, erfaringer og meninger.

Intervjuene har i utgangspunktet hatt to tilnærminger. Den første tilnærmingen har vært faktisk der både forsker og informant har hatt som formål å dele kunnskap og erfaringer. Den andre tilnærmingen har vært diskursiv, der det har blitt lagt opp til diskusjoner med formål om å belyse forskningsspørsmålene som stilles i masteroppgaven. (Drageset og Ellingsen, 2010)

For å komme i kontakt med informanter, ble ekstern veileder, Ketil Søyland, kontaktet. Via de første informantene identifisert av Søyland ble det anbefalt ytterligere kontakter som kunne bidra som informanter. Underveis i prosessen var det enkelte som mente de ikke hadde noe å bidra med, men som ga forslag til bedre egnede informanter. Slik ble det satt sammen et utvalg som til sammen kunne gi et godt innblikk i oppgavens problemstilling og forskningsspørsmål.

Valget av informanter påvirker resultatet av intervjuene. Hensikten med utvalget i denne oppgaven har vært å få med forskjellige aktører fra ulike ledd i verdikjeden. Utvalget er gjort med henblikk på å øke forståelsen for oppgavens tema og forskningsspørsmål slik Andersen (2019) beskriver det. Utvalget er med dette ikke representativt i statistisk forstand, og resultatene kan ikke brukes som statistisk grunnlag for kvantitative analyser. Men, denne type intervjuer gir kvalitativ type informasjon for arbeidet.

En anonymisert oversikt over informantene som har bidratt kan sees i tabellen under.

Tabell 1: Oversikt over de forskjellige informantene som har bidratt til masteroppgaven.

Informantens rolle	Type aktør	Møteform
Prosjektleder bærekraft	Rådgiver	Telefon, nettmøter og fysisk
Daglig leder	Teknologileverandør	Nettmøter og fysisk
Daglig leder	Produksjonsbedrift	Telefon, nettmøter og fysisk
Prosjekteringsleder	Entreprenør	Telefon
Logistikkplanlegger	Maskinutleiefirma	Fysisk
Flåteleder	Maskinutleiefirma	Fysisk
Senioringeniør	Byggherre	Nettmøter
Rådgiver	Direktorat	Nettmøter
Rådgiver miljø og klima	Rådgiver	Fysisk

I tillegg til informantene som listes, ble det i forbindelse med samlingsforumet *Grønn Anleggssektor*² gjennomført mer uformelle samtaler med representanter fra en rekke forskjellige aktører, inkludert byggherrer, entreprenører og rådgivere. På samlingsforumet ble foreløpige funn fra litteraturstudiet og intervjuene presentert og diskutert i etterkant. De tilstedeværende ble oppfordret til å dele synspunkter og vinklinger de mente var relevante å inkludere i oppgaven. Dette ga en god anledning til å forankre påstandene som fremmes blant flere aktører i bransjen og samtidig sikre relevans.

For alle intervjuene ble det opprettet kontakt per e-post, og avtalt tidspunkt for senere samtale. Varigheten av intervjuene ble beregnet til å ta mellom 30 og 60 minutter. Dette var også den tiden som ble brukt ved gjennomføringen av intervjuene.

Det ble ikke utviklet en omfattende intervjuguide eller spørsmålsliste, men et standardisert opplegg for gjennomføring. Intervjuene startet med en kort redegjørelse for oppgaven og deretter et åpent spørsmål som la til rette for videre drøfting og diskusjon. Et eksempel på et slikt spørsmål er «hvordan beregner dere i dag anleggsmaskinenes klimagassutslipp?». Deretter var det på forhånd satt opp en liste med temaer informantene ble bedt om å kommentere. Disse var basert på litteraturstudiet og tidligere intervjuer, som for eksempel «bransjens modenhet for maskindata» og «dagens metode for klimagassberegninger for anleggsmaskiner». Det ble også stilt oppfølgingsspørsmål der informantens svar åpnet for nye spørsmål og diskusjoner.

² Grønn anleggssektor er et bransjesamarbeid der det legges opp til gjennomføringen av samarbeidsforum med ujevne mellomrom. For mer info, se hjemmesiden: <https://www.sintef.no/projectweb/gronn-anleggssektor/>

2.3 Casestudie

En av målsetningene i denne oppgaven er å undersøke om maskindata kan bidra til å gi bedre beregninger av klimagassutslipp. Som det fremgår av kapitlet om Beregning av klimagassutslipp, er det en rekke faktorer som må vurderes i slike beregninger. Ved å begrense beregningene til ett enkelt case, er det imidlertid mulig å gjøre en mer eksplorerende undersøkelse som eventuelt kan følges opp med en bredere datainnsamling ved en senere anledning.

Denne fremgangsmåten er i tråd med hvordan casestudier vanligvis gjennomføres, ved at man studerer et enkeltfenomen eller en enkelt virksomhet og bruker dette som bidrag til å forstå det store bildet bedre. Casestudiet er derfor, som de fleste andre kvalitative forskningsmetoder, lite egnet til å generalisere. Metoden kan bidra til økt innsikt og eventuelt til utvikling av hypoteser som senere kan testes med bruk av kvantitative studier (Wæhle, Dahlum og Grønmo, 2020).

Denne masteroppgaven har hatt to kriterier for valg av case: det første kriteriet er at det skal være en bedrift som disponerer anleggsmaskiner. Det andre kriteriet er at virksomheten skal være villig til å dele maskindata med forfatteren.

Det er en mange virksomheter som disponerer anleggsmaskiner. Utfordringen var å finne en virksomhet som var villig til å dele maskindata i tidsperioden for arbeidet med masteroppgaven. Valget av case ble derfor begrenset til den eneste virksomheten som møtte begge kriterier. Den praktiske gjennomføringen av casestudiet beskrives i kapittel 6 Casestudie: Feiring bruk.

2.4 Forskerrollen ved interjuer og casestudie

«Vi kan aldri bli kvitt vår bakgrunn og våre erfaringer, og ingen forståelse kan starte helt objektivt» (Sander, 2019). I dette ligger at man som forsker alltid vil være påvirket av kunnskap og erfaringer (bias) man har fra tidligere. Ny kunnskap kan endre forståelsen for hvordan man vil innrette seg overfor ny kunnskap på et senere tidspunkt. En slik bias vil derfor alltid være viktig å være bevisst og vurdere i forbindelse med forskningsarbeid for å øke fortroligheten til forskningen.

Forfatteren har akademisk bakgrunn fra bachelorstudiet innen byggeteknikk og masterstudiet innen digitale byggeprosesser. I tillegg har forfatteren erfaringer fra bygg- og anleggsprosjekter gjennom tre ulike sommerjobber.

Denne bakgrunnen gir forfatteren en grunnleggende forståelse av hvordan anleggsprosjekter gjennomføres og hvilke hensyn som tas for å tilrettelegge for gjennomføringen av prosjekter. Det er også verdt å nevne at forfatteren er interessert i miljøtematikk og har over en lengre periode fulgt med på den offentlige debatten som omhandler miljøspørsmål for ulike bransjer.

Bakgrunnen til forfatteren omhandler med dette i liten grad arbeider spesifikt med anleggsmaskiner, maskindata eller miljøutfordringer i anleggsbransjen. Samtidig er interessen for miljøspørsmål noe som kan gjøre at funn og diskusjoner rundt dette tema påvirkes.

For at forfatterens bias ikke skal påvirke forskningen som har blitt gjort, har forfatteren i intervjuene, så langt det er mulig, forsøkt å stille seg åpen til alle meninger og påstander

fra informantene. Samtidig har det gjennom samtalene blitt forsøkt å ikke stille førende spørsmål eller ilegge spørsmålene eller tolkningene en personlig agenda.

I arbeidet med litteraturstudiet og med å vurdere innsamlet informasjon vil en bias kunne påvirke de konklusjoner som trekkes. For å sikre at forfatterens bias ikke har påvirket hvilke, og innholdet i, argumenter og påstander som fremmes, har disse derfor blitt presentert for flere av informantene som har bidratt i oppgaven. Det har også blitt etterspurt tilbakemeldinger og innspill fra informantene, slik at innholdet så langt det er mulig har blitt vurdert av flere personer.

2.5 Etske hensyn ved intervjuer og informasjonsinnsamling

Informantene som har deltatt kan være bundet av lojalitet eller restriksjoner i sin virksomhet. Dette kan medføre at de ikke kan være så åpne som de ønsker eller forteller ting de ikke vil at skal kunne bli gjenfortalt. Som forsker bør man derfor gjøre etiske vurderinger om informasjon som inkluderes i forskningen. (Forsberg, 2015)

Gjennom intervjuene ble det oppfattet at informantene svarte fritt på spørsmålene, og det forekom ikke situasjoner der informanten virket ubekvem eller måtte avstå fra å svare på spørsmål som ble stilt eller dele informasjon om temaene som har blitt diskutert.

Samtidig kan svarene fra informantene gi indikasjoner om prosjekter de arbeider med. Dette kan være informasjon fra prosjekter virksomheten ikke ønsker å dele. Informasjon informantene deler kan derfor, ubevisst, kan være av en karakter virksomheten ikke ønsker å dele. Samtidig har det ikke blitt oppfattet at noe som har blitt diskutert har vært av sensitiv karakter.

Informantene har ikke blitt opplyst på forhånd om hvor mye av deres innspill skulle brukes i selve masteroppgaven.

Informantene har, med tre unntak, blitt anonymisert. Unntakene er Ketil Søyland fra Norconsult, Knut Ollendorff fra Feiring Bruk og Sigve Pettersen fra Fremby. Disse tre har vært spesielt viktige bidragsyttere for kunnskap og innhold i arbeidet med denne masteroppgaven.

Innsamlede data til casestudiet som har blitt gjennomført i denne masteroppgaven, kan av noen kunne kategoriseres som forretningssensitiv informasjon. Maskindataene som vises i kapittelet om casestudiet er derfor delvis anonymisert, slik at de ikke kan spores tilbake til en spesifikk maskin eller lokasjon. For å sikre at den informasjonen ikke går ut over hva samarbeidsbedriften ønsker, har casestudiet blitt oversendt en representant i bedriften som har hatt mulighet til godkjenne innholdet (se mer i kapittel 2.3 Casestudie). Samtidig har det, av hensyn til Feiring Bruk, blitt valgt å ikke publisere datasettene brukt i casestudiet.

2.6 Avgrensninger

Denne masteroppgaven har klimagassutslipp fra anleggsmaskiner som hovedtema. Det vil være mulig å undersøke en rekke forskningsspørsmål angående både klimagassutslipp, anleggsmaskiner og kombinasjonen av disse. For at funnene i oppgaven i størst mulig grad skal være gjennomførbare og anvendbare, er det derfor nødvendig å gjøre noen avgrensninger.

Gjennom arbeidet med litteraturstudiet har de vesentlige kilder til klimagassutslipp knyttet til et anlegg blitt kartlagt. Disse er produksjon av materialer som asfalt, betong og armering, transport av masser og materialer, og bruk av anleggsmaskiner.

Masteroppgaven og litteraturstudiet har rettet fokus mot tiltak som gjøres før veganlegget settes i drift. Forhold som bruk av bruk og vedlikehold av veganlegget er ikke tatt med i oppgaven.

Produksjonen av asfalt, betong og armering medfører betydelige klimagassutslipp (Hammervold *et al.*, 2009). Tiltak for å redusere materialenes klimagassutslipp har blitt kartlagt i litteraturstudiet. Gjennomførbarhet, faktiske effekter og kost/nytte-vurderinger for de spesifikke tiltak har ikke blitt undersøkt nærmere. Tiltak rettet mot disse kildene har blitt kartlagt, men inngår ikke i de videre drøftingene i oppgaven.

I forbindelse med transport av varer og produkter vil mange maskiner bevege seg ut og inn av anlegget. Til disse oppgavene brukes blant annet lastebiler og betongbiler. Basert på samtaler med ekstern veileder, kan det konkluderes med at det finnes lite oversikt over klimagassutslipp knyttet til slik type transport, og at derfor er store usikkerheter vedrørende denne utslippskilden i klimagassbudsjettene. Problemstillinger og tiltak som kan gjøres for å redusere utslippene fra transport til og fra anlegget, har ikke blitt vurdert nærmere. Dette er arbeid som anbefales inkludert i senere forskning.

På et anlegg er det mange forskjellige maskiner som arbeider og beveger seg. Disse omfatter blant annet maskiner som gravemaskiner, dumpere, lastebiler, heisekraner, mobilkraner, borerigger, hjullastere, aggregat for oppvarming eller produksjon av strøm, kompressorer, veghøvlere, valser, bulldosere, asfaltutleggere og personbiler. I forbindelse med gjennomgangen av dokumentasjon som ligger til grunn for beregningsfaktorer i VegLCA, var det for enkelte av maskinene ikke tilgjengelig dokumentasjon. Gjennomgangen begrenser seg derfor til de maskintypene der dokumentasjon var tilgjengelig.

3 Teoretiske perspektiver

Dette kapittelet svare på oppgavens første forskningsspørsmål: «Hvilke tiltak for å redusere klimagassutslipp fra veganlegg er i dag dokumentert i Norge?». Her kartlegges tiltak som er dokumentert som kan redusere klimagassutslippene fra veganlegg. Slike tiltak kan iverksettes allerede første dag noen får en idé om å bygge en vei, når veien bygges, eller når veien skal rives og anlegget avvikles.

I det følgende presenteres teoretiske perspektiver på byggeprosessen basert på litteraturstudier. Det omfatter faser, klimagasstiltak, livssyklusanalyser, innovasjonsprosesser og maskindatainnsamling.

3.1 Faser i byggeprosessen

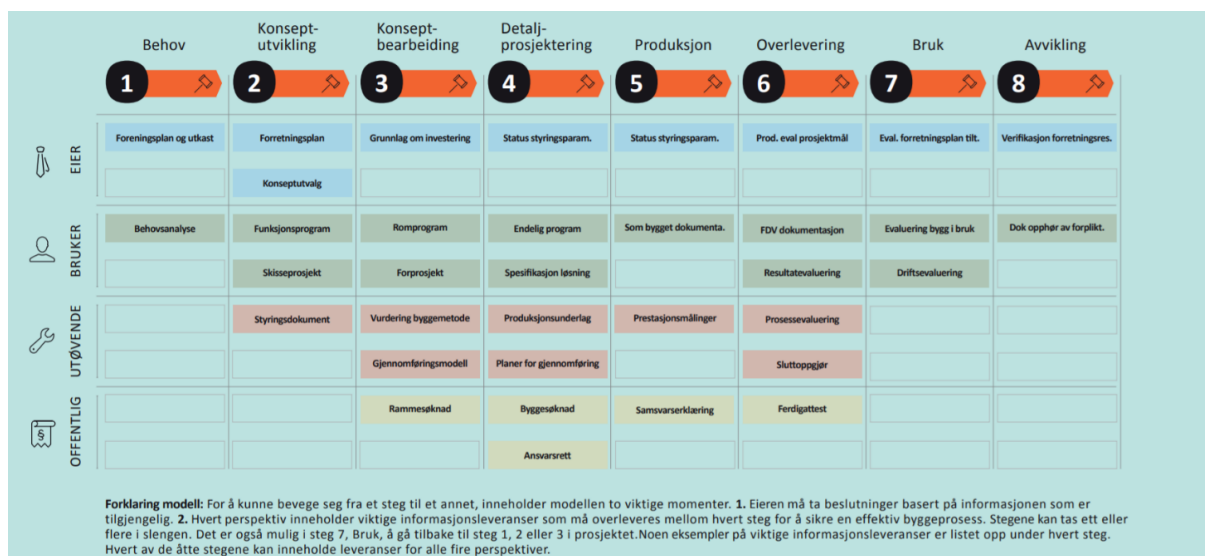
«Et prosjekt er et tiltak som har et avgrenset omfang, og gjennomføres én gang for å nå et gitt mål innenfor en gitt tids- og ressursramme» (Rolstadås, 2020). Planlegging og bygging av et veganlegg gjennomføres som ett eller flere prosjekter. Prosessen med å bygge et anlegg går gjennom en rekke steg fra tidlig idéfase til avvikling av anlegget.

Gjennom byggeprosessen er det en rekke viktige beslutninger som må tas, som alle kan ha påvirkning på klimagassutslippene som anlegget medfører. For å kunne vurdere hvor hensyn må tas og hvor forskjellige tiltak kan og bør vurderes og iverksettes og vurderes, er det viktig å forstå de forskjellige stegene og hva disse innebærer.

For å beskrive de forskjellige stegene, tas det utgangspunkt i en fasenorm utarbeidet av Bygg21 (2016) kalt *Neste Steg*. Hvert av stegene omfatter forskjellige prosesser og aktiviteter, og danner en output som brukes som beslutningsgrunnlag før en går til neste steg. En sammenfatning fasenormen er vist i Figur 2.

Fasenormen *Neste Steg* tar utgangspunkt i fire perspektiver for å sikre at alle involverte parters interesser blir ivaretatt. De fire perspektivene er:

- Eierperspektivet: dette er den aktøren som eier prosjektet eller tiltaket. Eieren vil ha økonomisk insentiv for å utnytte markedspotensialet og tjene penger.
- Brukerperspektivet: brukeren er den som skal bruke tiltaket. Det er behovet til denne aktøren som tiltaket skal være en løsning for.
- Utøvende perspektiv: utførende er ansvarlig for gjennomføringen av prosjektet, for eksempel en entreprenør.
- Offentlig perspektiv: dette er aktøren som skal ivareta interessene til fellesskapet, bestående av myndigheter, berørte naboer og andre tredjeparter som ikke nødvendigvis er direkte brukere.



Figur 2: Neste Steg med åtte prosesstrinn (Bygg21, 2016).

Det første steget beskrevet i *Neste Steg* er kartlegging av behov. Steget initieres av en eier som undersøker behov for å løse et problem, eller en bruker som har et problem den ønsker løst.

Det andre steget er utvikling av konsept. Her skal ulike muligheter og alternativer undersøkes med hensyn til kostnader, omfang og hvor godt alternativene dekker behov.

Steg tre er bearbeiding av konseptet. I dette steget skal det utarbeides et skisseprosjekt som beskriver ulike løsninger som benyttes i det valgte konseptet. Gjennomførbarheten til prosjektet skal også undersøkes i dette steget.

Fjerde steg er detaljprosjektering. Her skal det utarbeides detaljerte planer for hvordan prosjektet skal gjennomføres. Disse planene er utgangspunktet for utførelse.

Det femte steget innebærer produksjon. Entreprenøren bygger og ferdigstiller i dette steget prosjektet etter de planer som er utarbeidet i detaljprosjekteringen.

Videre skal prosjektet overleveres i steg seks. Overleveringen skal omfatte både bygningen/anlegget og dokumentasjon for forvaltning, drift og bruk av prosjektet.

Steg syv er bruk av objektet. Gjennom dette steget skal brukeren benytte seg av de løsninger og muligheter som er gitt av prosjektet. Samtidig skal objektet vedlikeholdes og driftes slik at det bevarer funksjonalitetene som dekker behovet.

Det siste steget, steg åtte, er avvikling av objektet. I dette steget dekker ikke objektet lengre eksisterende behov, eller det har forfalt slik at det ikke lengre er lønnsomt å renovere. Eieren vil da rive eller selge objektet videre.

I denne oppgaven er det fokus på de fem første stegene, frem til og med produksjon, steg 5.

3.2 Tiltak for å redusere klimagassutslippene gjennom byggeprosessen

Her er tiltakene presentert hvert av stegene frem til og med produksjonsfasen.

3.2.1 Steg 1: Behov

Det første steget i byggeprosessen omfatter kartlegging av behov og ett eller flere problemer prosjektet/anlegget skal løse. Funnene som gjengis her retter seg mot kartlegging av behov for et veganlegg som dermed påvirker klimagassutslippene senere i prosjektgjennomføringen.

Hammervold *et al.* (2009) og Fufa, Mellegård og Wiik (2018) har vist at bygg- og anleggsprosjekter medfører vesentlige utslipp av klimagasser. Dermed vil det å skape enighet om at det ikke er behov for å gjennomføre prosjektet i seg selv være et vesentlig tiltak for reduksjon av klimagassutslipp.

Samfunnet er i endring, og prosjekter som har vært under planlegging over lang tid risikerer å møte motstand som det ikke var da prosjektet ble initiert. Dette kan eksemplifiseres med motstanden mot ny E18 vestkorridoren (Gulowsen, 2019) og motstand mot utbygging av vindmøller (Trana, Sae-Khow og Nilsen, 2019). Virksomheten, etaten eller gruppen som er ansvarlig for gjennomføringen av prosjektet bør derfor kartlegge og undersøke behov for fremtiden. Dette innebærer å undersøke ulike scenarier for endringer i samfunnsdebatten og mulige utfordringer som kan bli relevante, innen overskuelig framtid. Når man realiserer noe som er planlagt over lang tid, er det derfor viktig å oppdatere rammebetingelsene.

En foreløpig forretningsplan bør foreligge etter steg 1 i byggeprosessen. Denne planen bør angi en idé og strategi. Fremtidige scenarier bør være inkludert i disse vurderingene. For eksempel vil valg av energibærer for anleggsmaskiner medføre ulike behov for infrastruktur til anlegget.

Et mulig scenario er at det ønskes overgang fra veg til skinnegående transport. Dette vil kunne redusere behovet for å bygge ut veganlegg og samtidig øke behovet for jernbaneutbygging. Hvilke transportmidler som velges, vil påvirke klimagassutslippene. Bardal, Gjertsen og Reinart (2019) viser at valg av transportmidler kan styres politisk. Et eksempel på dette er Oslo der egne klimagassbudsjett blir utarbeidet for byen (Steen, 2019). Samtidig er det politisk bestemt at alle nye veganlegg i byområder skal ha dokumenterte tiltak for å hindre ytterligere vekst i biltrafikken. Dette nullvekstmålet omfatter alle typer kjøretøy som benytter seg av veien (Samferdselsdepartementet, 2017).

Statens økonomiske situasjon vil kunne påvirke prosjektet. Dersom den økonomiske situasjonen til staten er på oppadgående kurs, vil det investeres mindre i infrastruktur. (Hoen, 2019) Dersom det investeres mye, vil det være liten konkurranse mellom aktørene for gjennomføring av prosjektet. Dette kan tenkes at dette kan medføre reduserte krav til tiltak aktøren skal gjennomføre for å vinne konkurransen.

3.2.2 Steg 2: Program og konseptutvikling

Prosjektet skal i steg 2 konkretiseres. Målsetninger og rammer for prosjektet skal bestemmes. Litteraturen som har blitt gjennomgått viser at det i dette steget kan gjøres vurderinger for konsept som i stor grad vil påvirke klimagassutslippene fra veganlegget.

Et prosjekt kan ha som målsetning å redusere reisetid, øke kapasiteten på en reisestrekning eller bedre standarden på veggen. En annen type målsetning kan være å gjennomføre tiltak som bidrar til reduserte klimagassutslipp fra prosjektet. Brodal (2019) og Bjerga (2018) beskriver forskjellige målsetninger for tiltak Statens Vegvesen kan inkludere i konkurransegrunnlag for å redusere klimagassutslipp. Et tiltak som beskrives er gjennomføringen av klimapiloter som er foregangsprosjekter der nye løsninger testes ut. Det å gjennomføre en klimapilot kan i seg selv være en målsetning for prosjektet. En annen målsetning kan være å tallfeste et mål om klimagassutslipp fra et prosjekt i forhold til et referanseprosjekt.

Suksesskriterier kan benyttes for å evaluere hvorvidt målsetningene oppnås. Eksempler på miljørelaterte suksesskriterier kan være å benytte resirkulert materiale, benytte seg av en gitt andel nullutslippsmaskiner, eller bruke mindre drivstoff sammenlignet andre prosjekter. Suksesskriteriene kan være delmålsetninger og de skal underbygge den overordnede målsetningen (Haugland, 2014).

Konseptalternativer skal også utredes i denne fasen. Alternativer for konseptet for et veganlegg kan ved en fjordkryssing være å bygge en bru, iverksette fergedrift, legge veggen rundt eller bygge tunell. En casestudie gjort av Hammervold *et al.* (2009) viste at alternativet med minst utslipp av klimagasser (veg rundt fjorden) medførte 63% lavere klimagassutslipp enn alternativet med mest utslipp (ferge). Samtidig ville byggingen av en ny bru kunne øke trafikken. Dette vil gjøre fergetrafikk på samme strekning overflødig, og på denne måten redusere de totale klimagassutslippene (Strand *et al.*, 2009). Slike ringvirkninger er derfor viktig at hensyntas i vurderingene. Andre konseptalternativer som kan vurderes, er antall felter veggen skal ha. En økning i antall felter medfører en betydelig økning i klimagassutslippene (Strand *et al.*, 2009).

En rapport av Strand *et al.* (2009) tar for seg hvordan klimagassutslippene fra en vegstrekning varierer dersom det bygges nytt eller vedlikeholdes. Eksempelvis vises det at bygging av en ny vei ofte vil medføre endring i vertikalkurvatur, noe som kan redusere klimagassutslipp i bruksfasen. Videre viser rapporten at bygging av nye anlegg øker trafikken og at nye veier med høyere fartsgrenser medfører økte klimagassutslipp. Samtidig konkluderer rapporten med at som regel vil bygging av ny vei medføre økte klimagassutslipp.

Arealbeslag som følge av vegbygging, der jordbruk, utmarksbeiter og skogbruk blir erstattet av veganlegg medfører økninger i klimagassutslipp da naturen er en viktig bidragsyter for lagring av klimagasser (IPCC, 2019; Hammervold, 2015). Oppgradering, økning av antall felt og bygging av nye veier vil medføre økte beslag av arealer og er derfor en faktor som må vektlegges når konseptet skal vurderes. Hvordan arealbeslag påvirker klimagassutslippene, vil også senere kunne brukes i beslutningsgrunnlaget når konsept skal velges i steg 3.

En statusrapport utarbeidet av Rådgivende ingeniørers forening (2019) viser at nesten halvparten av alle fylkesveier (42 %) og kommunale veier (46 %) har en ikke-tilfredsstillende tilstand. For alle disse veiene bør det vurderes om det skal bygges nytt, vedlikeholdes eller oppgraderes.

Over halvparten av alle nordmenn har bil som sitt primære transportmiddel (Statens Vegvesen, 2018a). Hvordan personer reiser er noe som påvirker hvilke behov det vil være for infrastrukturprosjekter. Bardal, Gjertsen og Reinart (2019) har vist at reisevaner i stor grad er påvirket av politiske planer for hvordan befolkningen skal bevege seg. Det

er ikke alltid samsvar mellom faktisk behov og det behov det politisk er planlagt for. En vurdering hvordan behovet vil utvikle seg over tid er derfor viktig når konsept skal velges.

Når steg 2 av byggeprosessen er over, skal vurderinger av konseptvalg foreligge. Som det fremgår av gjennomgått litteratur, vil konseptvalget i stor grad påvirke klimagassutslippene fra prosjektet. Det er derfor viktig at det blir gjort et tilstrekkelig arbeid med program- og konseptutvikling i denne fasen.

3.2.3 Steg 3: Bearbeiding av konsept

Gjennom bearbeiding av konseptet i steg 3 skal konseptet konkretiseres og de aktuelle løsningene beskrives. Funnene som beskrives for dette steget indikerer at miljøperspektiver må vektlegges tilstrekkelig i konsekvensanalyser.

En viktig del av steg 3 omfatter utarbeidelsen av en konsekvensanalyse. For et veganlegg skal dette skje i henhold til Statens vegvesens håndbok *H140 konsekvensanalyser*. Til denne håndboken foreligger også en veileder, *V712*. For håndboken og veilederen har SVV utarbeidet en programvare kalt EFFEKT.

Programvaren EFFEKT brukes for å vurdere forskjellige alternativer mot hverandre. Programmet tar utgangspunkt i prissatte poster for forskjellige aspekter. Dette inkluderer hensyn til miljø. Rugset (2010) konkluderer i sin masteroppgave at miljøpåvirkningene blir undervurdert ved bruk av EFFEKT. Dette kan indikere at miljøaspektet i konsekvensanalyser ikke blir tilstrekkelig belyst.

Som en del av konsekvensutredningene, kan klimagassbudsjett utarbeides for å vurdere klimagassutslipp fra alternativene. Detaljeringsgraden i denne fasen er lav, noe som medfører at det er store usikkerheter ved disse innledende beregningene. I arbeidet med prosjektet E39 Herdal – Røyskår påpeker Norconsult (2020) at når detaljeringsgraden videre i byggeprosessen øker, vil det medføre at det beregnede klimagassutslippet også øker. Det samme har blitt vist gjeldende for jernbaneprosjekter (BaneNor, 2018; 2019).

Som et miljøtiltak vil det dermed være viktig å undersøke effektene av de forskjellige alternativene på en måte som vektlegger miljøaspektet korrekt. Samtidig må ønskede og uønskede effekter av tiltaket vurderes med tanke på samfunnsutvikling.

Etter *Klimaloven* og *Plan- og bygningsloven* er kommunene pliktige til å arbeide med å redusere klimautslipp. Samtidig har Regjeringen vedtatt statlige forventninger til kommunenes planarbeider. Dette gjør at arbeidet i en kommune skal bidra til en mer bærekraftig utvikling. Dette omfatter å skape vekstkraftige regioner og lokalsamfunn som er tilpasset klimaendringer. Utviklingen skal legge til rette for bedre utnyttelse av kollektivtransport, økt vektlegging av regionale løsninger, og bedre utnyttelse av arealer i byområder. (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2019)

For å følge opp det lokale ansvaret, har flere kommuner laget miljøprogram for kommunen. Et eksempel på en slik kommune er Bærum. I miljøprogrammet til Bærum kommune slår de fast at de ønsker å være en «klimaklok» kommune. For å oppnå dette, skal kommunen kjennetegnes ved tilrettelegge for «innbyggerinitiativ» og «grønn konkurransekraft», og samtidig være en «teknologisk spydspiss». (Bærum Kommune, 2018) Dette legger føringer for veg- og transportplanlegging i kommunen.

Når kontraktsform for anleggsprosjektet skal bestemmes, skal det tas en rekke hensyn. I en masteroppgave av Pedersen og Hansen (2012) beskrives det hvordan kommunale

kontraheringer ofte skjer på grunnlag av tidligere erfaringer og kultur. Samtidig har det blitt vist at tydelige definisjoner og klargjøring av krav til miljøhensyn i konkurransegrunnlag er viktig for å oppnå gode resultater på miljø (Meziani, 2018). For å oppnå riktig vektlegging av miljø og klima, er det, uavhengig av entreprisreform, avgjørende at den valgte entreprisformen tilrettelegger for en åpenhet som tillater forbedringsarbeid gjennom hele prosjekteringsperioden, uten at det oppstår konflikter (Nielsen, 2019).

Som en del av underlaget for kontrahering, skal det inkluderes krav om prestasjon med tanke på miljøet. I presentasjoner av Bjerga (2018) og Brodal (2019) vises det hvordan Statens vegvesens utviklingsprogram KraKK³, legger til rette for å inkludere miljøaspekter i konkurransegrunnlag.

I KraKK presenteres fire forslag til tiltak. Det første tiltaket er å innføre krav til miljødeklarasjon for betong, slakkarmering og asfalt. Videre foreslår de bonusordninger slik at det skal være insentiv for å redusere utslipp i forbindelse med produksjon og bruk av disse materialene. Det er også trukket frem at det er viktig med et system for budsjett og regnskap som hensyntar klima, et eksempel på et slikt system er VegLCA. Til slutt trekkes det også frem at klimapiloter vil være viktige foregangsprosjekter for å undersøke hva og hvordan miljøtiltak kan brukes i prosjekter. Et slikt foregangsprosjekt som benytter seg av incentivordninger er iverksatt der tilbyderne får 2 kroner og 50 øre per liter biodrivstoff som brukes i produksjonen.

I KraKK nevnes også forskjellige krav som kan stilles til maskiner og kjøretøy for å redusere utslippene av klimagasser. Et tiltak vil være å kun benytte seg av batteridrevne personellkjøretøy og lette varebiler. Ved tunneldriving kan det også benyttes batterielektrisk drift av ventilasjonen og de forskjellige arbeidene som gjennomføres med stuff, boring, betonginnsprøyting og injeksjon.

Antall felter, kryss, avkjøring og belysning og smalere vegbredde vil kunne medføre redusert materialbruk som videre reduserer klimagassutslippene. Dette er konseptuelle avgjørelser som må tas før prosjektet når fasen med detaljprosjektering. Nye Veier AS uttalte i 2016 at slike konseptvurderinger kan redusere kostnadene med rundt 15 % (Bentzrød, 2016), noe som også kan tenkes vil medføre store reduksjoner av klimagassutslipp.

Produksjon og bygging av konstruksjonene i anlegget står for betydelige utslipp av klimagasser. Når konsept skal bestemmes for konstruksjonene, må også byggematerialer bestemmes. Det har over lengre tid vært debatt om hva som er det mest klimavennlige materialet å bruke. I en rapport utarbeidet på oppdrag fra Betongelementforeningen, fant Rønning *et al.* (2019) at det for en mindre huskonstruksjon var mest klimavennlig å benytte trevirke som byggemateriale, mens det for større en større konstruksjon, med 16 eller flere etasjer, ikke var forskjell på materialene betong og tre. Samtidig konkluderes det at hva som er mest gunstig, bør vurderes for hvert nytt tilfelle. Dette kan tenkes også er overførbart til brukonstruksjoner, slik at materialvalg er en viktig faktor som må vurderes for prosjektet.

3.2.4 Steg 4: Detaljprosjektering

Gjennom detaljprosjekteringen skal modenheten til prosjektet økes til et nivå nødvendig for å kunne igangsette produksjon. Konseptet er i dette steget valgt. Følgelig omhandler

³ Forkortelse for «klimakrav i konkurransegrunnlag og kontrakter»

litteraturen tiltak som kan gjøres i detaljprosjekteringen, som optimalisering av de forskjellige bestanddelene til anlegget.

Materialene og produksjonen av konstruksjonene i et anleggsprosjekt står for betydelige utslipp av klimagasser. Klimafotavtrykket til konstruksjonene kan gjennom detaljprosjekteringen reduseres vesentlig gjennom produksjonsvalg og optimalisering av konstruksjonene.

I en studie av gjort av Søyland (2017) har det blitt vist at konstruksjonsmessige valg kan redusere klimagassutslippene i forbindelse med konstruksjoner i veganlegg betydelig. Viktige valg som påvirker klimagassutslippene er valg av type konstruksjon, produksjonsmetode og utforming for konstruksjonen.

En bru kan bli bygget og produsert på byggeplassen der den skal være, eller den kan bli prefabrikert på en annen lokasjon før den flyttes og monteres på riktig sted på anlegget. Plassbygget bru har gjerne en noe høyere bestandighet, samtidig kan det å benytte en prefabrikert løsning medføre en 10 % reduksjon av klimagassutslipp sammenlignet med plassbygget grunnet redusert materialbruk.

Valg av bruløsning og utformingen av brua vil være viktig. Ved å redusere bruspenet, vil materialbruken kunne reduseres betraktelig. Dersom man erstatter en platebru med bjelkebru, vil man kunne redusere klimagassutslippene med 1/3 som følge av lavere materialbruk. Et annet tiltak for å redusere materialbruken, er å avrunde kantene på sidene av brua. Mer avanserte beregninger ved hjelp av ny teknologi vil også kunne bidra til å utforme mer optimale konstruksjoner, noe som sammenlignet med gammel teknologi med håndtegninger kan bidra med å kutte 1/3 av utslippene.

For tunneler vil valg av portal ved tunnelmunning påvirke utslippene av klimagasser. En lengre portal medfører mer bruk av materialer og uttak av masser, og følgelig høyere utslipp av klimagasser enn en kortere portal. Samtidig vil en tunnel der terreng føres ned mot munningen medføre økt bruk av betong i portalkonstruksjonen i forhold til en løsning der terrenget avsluttes med et vertikalt påhugg.

Armeringsjern er en betydelig utslippsfaktor. Armeringsjern er stål med jern- og karbonlegering for å øke styrken på jernet. (Bramslev og Hagen, 2016) Ved å redusere bruken av armering gjennom å optimalisere bruken og gjøre andre valg, kan denne utslippskilden reduseres. Et eksempel kan være å bruke T-hoder fremfor skjærarmering.

Den prosjekterte levetiden til et anlegg vil påvirke klimafotavtrykket. En konstruksjon med lengre levetid vil kreve mindre vedlikehold, samtidig som den med stor sannsynlighet ikke vil dekke fremtidige behov (Søyland, 2017). Asfalten som benyttes kan dimensjoneres for lengre levetid, noe som kan bidra til å redusere klimagassutslipp i senere faser for prosjektet (Bragstad, 2014). Økt levetid for stål og betong krever mer energi i produksjonen, noe som øker klimagassutslippene i produksjonsfasen. Balansegangen mellom levetid og energibruk ved produksjon bør derfor vurderes.

Oppbyggingen av en tofeltsvei kan bestå av opp mot 50 tonn stein per meter vei (Rise, 2019). En stor del av arbeidet under byggingen av et infrastrukturanlegg omfatter derfor flytting av masser. I steg 4 av prosjektet skal denne massetransporten planlegges. Rapporten *Kortreist stein* av Rise (2019) dokumenterer forskjellige tiltak som kan gjøres for å redusere utslipp i forbindelse med massetransporten. De følgende tre avsnittene bygger på funnene i denne rapporten.

For å redusere transportavstanden, understrekes viktigheten av å kartlegge grunnforholdene tidlig i planleggingsperioden. På denne måten kan entreprenøren planlegge skjæringer, fyllinger og øvrig massebalanse på anlegget på en best mulig måte.

Ofte vil stein som hentes ut ikke være av tilfredsstillende kvalitet til å bli brukt i veioppbygningen nær der den har blitt hentet ut. Rapporten anbefaler i slike tilfeller at det brukes tilsetningsstoffer som kan bedre styrkeegenskapene. I andre tilfeller der steinen gjennomgår en knuseprosess, kan metodene for å måle styrkeegenskapene gjøre at steinen klassifiseres feil. Endring av testmetoder kan dermed være et verktøy som bedre dokumenterer steinens kvalitet og samtidig gjør at en større andel av uthentet masse kan brukes lokalt.

Videre trekkes det frem utfordringer ved bruk av tunnelboremaskiner (TBM). Denne type tunneldriving medfører at steinen som hentes ut har en geometrisk form lik et flak, og at massen har en høy andel finstoff. Dette gjør at denne massen i liten grad kan brukes i veioppbygningen eller til andre nyttige formål. Videre er disse massene etter betongstandardene ikke godkjent som tilslag i betong, selv om det har blitt vist at betongens styrkeegenskaper er tilstrekkelige. Stein hentet fra sprengning og boring har bedre egenskaper og har lenge blitt brukt på anlegg. Metode for tunneldriving og hvordan masser fra tunnelen skal brukes er derfor viktige hensyn å ta i forbindelse med planleggingen av gjennomføringen.

Det er mange andre miljørelaterte forhold som bør vurderes når drivemetode skal velges. Disse blir ikke diskutert ytterligere i denne oppgaven, men er et tema som er relevant for bruken av og klimagassutslipp fra anleggsmaskiner.

3.2.5 Steg 5: Produksjon og leveranser

Gjennom steg fem skal anlegget bygges og klargjøres for å bli tatt i bruk og driftet. Når prosjektet entrer dette steget, har mange viktige avgjørelser blitt tatt, men det er fortsatt gode muligheter til å påvirke utslippene av klimagasser gjennom byggefasen.

Materialene som brukes står for vesentlige utslipp. De mest vesentlige materialene for produksjonsfasen med tanke på klimagassutslipp er asfalt, stål og betong. Tiltak som kan redusere klimagassutslippene fra disse materialene i byggefasen er dokumentert i rapporter av Bragstad (2014) (asfalt) og Søyland (2017) (armering og betong). Disse rapportenes funn ligger til grunn for tiltak for asfalt, armering og betong som nevnes videre i dette steget.

Ved å benytte resirkulert materiale i produksjonen av asfalt, armering og betong, kan klimagassutslippene reduseres betydelig. Kun 16 % av all asfalt som leveres Statens vegvesen benytter minst 10 % gjenbrukt asfalt. Ved å øke mengden resirkulert asfalt, vil klimagassutslippene fra asfaltproduksjon kunne reduseres betydelig. Resirkulering av stål i forbindelse med produksjon av armering vil også være et tiltak som kan redusere utslippene. Resirkulering av materialer bør derfor vurderes som tiltak.

Reduksjon av klimagassutslippene fra produksjon av asfalt og betong har stort potensiale. Asfaltproduksjon krever svært høye temperaturer, noe som er energikrevende. Et viktig tiltak er derfor å redusere energibehovet for oppvarming av massene som inngår i asfalten. For å gjøre dette, kan det benyttes lavtemperaturasfalt. Samtidig kan vil det å redusere fuktinnholdet redusere energibruken. Reduksjon av

fukttinnhold kan gjøres ved å skjerme tilslaget som skal i asfalten fra regn eller å vente med å knuse det til rett før produksjon av asfalten.

For betong kan det benyttes lavkarbonbetong som vil si at andelen flyveaske økes, mens andelen sement reduseres. Flyveaske er et avfallsprodukt fra industri, noe som gjør at produksjonen av flyveaske medfører betydelige utslipp av klimagasser. Det er imidlertid politisk bestemt at bruken av flyveaske skal telle positivt på miljøbudsjettet for betong da dette er et materiale som uansett vil bli produsert.

Alle disse materialene medfører behov for transport fra produksjonsområde til byggeplass. Tiltak for å redusere utslipp i forbindelse med transporten omfatter overgang til andre, mer miljøvennlige, energibærere og innfasing av nyere motorteknologi.

Hvordan materialer produseres er noe entreprenøren i liten grad kan påvirke. Bragstad (2014) og Søyland (2017) anbefaler derfor at det etterspørres produktdatablad, forkortet EPD, for disse produktene. Dette er dokumentasjon for produktene som blant annet inneholder informasjon om utslipp i forbindelse med produksjon.

Maskinene på anlegget kan stå for så mye som 30 % av utslippene fra infrastrukturprosjekter (Fasting, 2017). Oslo kommune ønsker å være en pådriver for å redusere klimagassutslippene fra disse maskinene og har derfor initiert flere pilotprosjekter med fossilfrie byggeplasser. Dette vil si at maskiner på anlegget ikke skal bruke fossile energibærere som diesel. (Steen, 2019)

Alternative energibærere kan være strøm, hydrogen eller biodiesel. I en rapport utarbeidet av Fufa, Mellegård og Wiik (2018) fremkommer det at biodiesel totalt sett ikke nødvendigvis medfører reduksjon i klimagass- og lokale utslipp. Rapporten viser at arbeidet med elektrifisering av mange maskiner har kommet langt. Samtidig er batterikapasitet en begrensende faktor. I andre tilfeller kan en elektrisk drevet maskin være tilkoblet strømforsyning. Dette krever tilkobling med ledning og kan på denne måte være upraktisk. Hydrogendrevde brenselceller trekkes frem som en teknologi som vil være aktuell for fremtiden.

For å fremme entreprenørens motivasjon for å gjøre tiltak for å redusere klimagassutslippene, har SVV annonsert innføringen av en belønningsordning. Den nye ordningen skal gjelde for prosjekter med en kostnadsramme på over 51 millioner NOK. Belønningen skal være en bonus der entreprenøren får bonus ut fra hvor mye bedre prosjektet presterer enn klimagassbudsjettet til SVV. (Sandvin, 2020)

For anleggsmaskiner foreslås det av Miljødirektoratet (2020) i rapporten *Klimakur 2030: Tiltak og virkemidler mot 2030* en rekke tiltak, som for eksempel elektrifisering av drivverk og innfasing av biodiesel. Totalt anslås det at tiltakene rettet spesifikt mot ikke-veigående maskiner og annen transport som kan være i bruk på anleggsplasser å frem til år 2030 kunne bidra til utslippskutt på 4,94 millioner CO₂-e.

For å kunne vurdere om tiltak skal gjennomføres eller ikke, er det viktig å ha en omforent grense for hva de maksimale kostnadene for tiltak som skal gjennomføres bør være. I *Klimakur 2030* benyttes verdien 1500 kr/tonn som en smertegrense for hvor mye slike tiltak bør koste for at de skal være samfunnsøkonomisk lønnsomme. I samtaler med veileder Ketil Søyland blir det bekreftet at dette er en grense også Norconsult forholder seg til, og at dette kan sees på som en norm i bransjen.

Klimakur 2030 benytter seg av innsamlede data for å vurdere effekten av en overgang fra anleggsgas til andre energibærere. Underlagsdataene er her statistikk samlet inn

fra oljeselskaper som oppgir hvem som er kjøper av dieselen. Mengden solgt anleggsdiesel har videre blitt satt i sammenheng med statistikk på salg av maskiner og diverse informasjon om disse maskinene, og den solgte dieselen har blitt fordelt på maskinene som er i bruk og omløp. Beregningene som er gjort kan dermed sees på som et gjennomsnitt for maskintypen på tvers av bransjer den brukes. Samtidig oppgir rapporten at det er en «betydelig usikkerhet knyttet til beregningen».

3.2.6 Steg 6-8

For disse stegene er det også vurdert relevant litteratur. Ettersom fokuset i oppgaven er klimagassutslippreduksjon frem til og med produksjon, er dette ikke inkludert i litteraturstudiet.

3.3 Livssyklusvurdering

For å analysere og vurdere klimagassutslipp og miljøkonsekvenser av et produkt, en del eller et helt anlegg, benyttes en metodikk kalt livssyklusvurdering (heretter betegnet «LCA⁴»). En LCA tar for seg utslippsfaktorer og aspekter for alle materialer og prosesser som er knyttet til et prosjekt, fra vugge til grav. Disse vurderingene bygger på standardene ISO 14040 og ISO 14044. (ISO, 2006b; 2006a) Disse standardene er utgangspunkt for metodebeskrivelsen for LCA i denne delen av oppgaven.

Det første stadiet i en livsløpsvurdering er produktfasen. I denne fasen skal det tas hensyn til råmaterialer som hentes fra for eksempel et steinbrudd, før det skal transporteres til og bearbeides på en fabrikk. Produktfasen slutter når produktet står klart for levering ved fabrikkporten.

Andre stadium er gjennomførings-/konstruksjonsfasen der produktet skal implementeres på byggeplassen eller anlegget. I denne fasen gjelder også transport til anlegget og eventuell mellomlagring på vei til, eller på, stedet det skal leveres. Videre skal alle prosesser og material- og energibruk som forekommer ved montering eller installasjon inkluderes i vurderingen.

Når bygget eller anlegget er ferdig og det er klart for å tas i bruk, vil det gå over i brukerstadiet. En viktig faktor i brukerstadiet er selve bruken av bygget eller anlegget. Dette kan være materialer eller elementer brukt i konstruksjonen som slipper ut stoffer som fører til miljøpåvirkning, eller utslipp fra kjøretøy som bruker anlegget. I denne fasen vil også drift og vedlikehold inkluderes. Det vil si reparasjon, vedlikehold og renovering, og all energi- og vannbruk dette medfører.

Når bruksstadiet til objektet er over, vil det være nødvendig å gjennomføre en rekke prosesser som en del av avslutningen på livsløpet. Dette omfatter dekonstruksjon eller riving av objektet. Videre skal avfall transporteres bort fra bygget eller anlegget. Til slutt skal behandlingen av avfallet vurderes. Dette inkluderer både behandling dersom avfallet kan brukes på nytt til andre prosjekter og dersom avfallet ikke kan brukes på nytt og må deponeres.

VegLCA er et verktøy for livsløpsvurdering for veganlegg utviklet av Statens vegvesen. Dette er et anerkjent verktøy som brukes for å lage klimagassbudsjett i henhold til

⁴ LCA er forkortelse for engelske «Life Cycle Analysis» som på norsk oversettes til «livssyklusanalyse».

standardmetodikk for livsløpsvurderinger. Bruk av VegLCA er et sentralt funn i denne oppgaven. Dette er beskrevet i avsnittene 4.1 Eksempel på beregningsmetode: VegLCA.

Det er også noen aspekter som ikke vil vurderes i en LCA. Dette er spesielt forskjellige fordeler og ulemper som inntreffer etter avsluttet livsløp. Dette kan være at materialer kan gjenbrukes eller medfører ytterligere miljøbelastninger når det skal deponeres. Figuren under oppsummerer de forskjellige tidsaspektene som skal inkluderes i en LCA og gir oversikt over bokstav- og tallkode for de forskjellige stadiene.

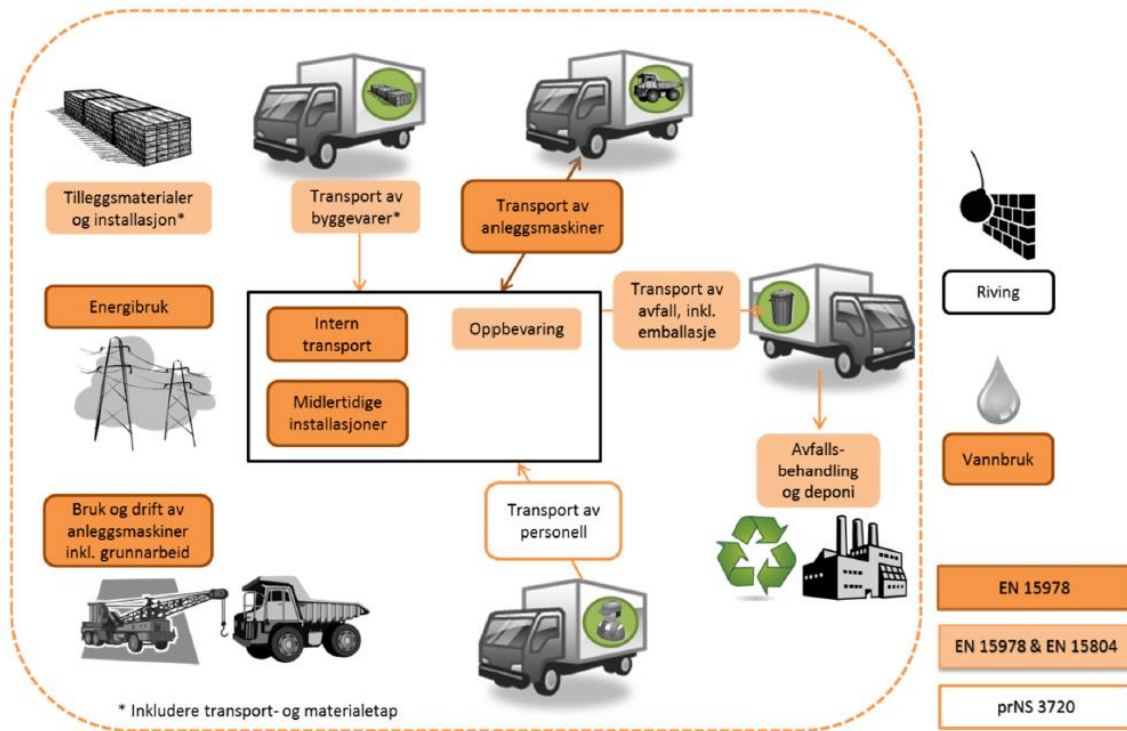
Tabell 2: Tidsaspekter i en livssyklusvurdering.

Produksjonsstadiet			Konstruksjonsstadiet		Brukerstadiet							Livssluttstadiet				Øvrig utenfor systemgrensen		
A 1	A 2	A 3	A4	A5	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	C 1	C 2	C 3	C 4	D	D	D
Råmateriale	Transport	Fremstilling	Transport til anlegg	Installasjon på anlegg	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftning	Renovering	Energibruk i drift	Vannbruk i drift	Rivning	Transport	Avfallshåndtering	Deponering	Gjenbruk	Gjenoppretting	Resirkulering

Som det fremgår av Tabell 2, er det en rekke aspekter som skal inkluderes i en LCA. For å bestemme hvilke faktorer som skal inkluderes i LCA, må det fastsettes en systemgrense. Sintef har kartlagt hvilke prosesser som gjøres på en byggeplass og hvilke standarder som kan være aktuelle for systemgrensen. De samme arbeidsprosesser og standarder vil være aktuelle for et anlegg. De aktuelle standardene er EN 15978, EN 16804 og NS 3720⁵.

⁵ På Figur 3 er denne standarden angitt «prNS 3720». Dette skyldes at standarden ikke var utgitt på det tidspunkt figuren ble utarbeidet. Standarden ble utgitt og vedtatt i 2018.

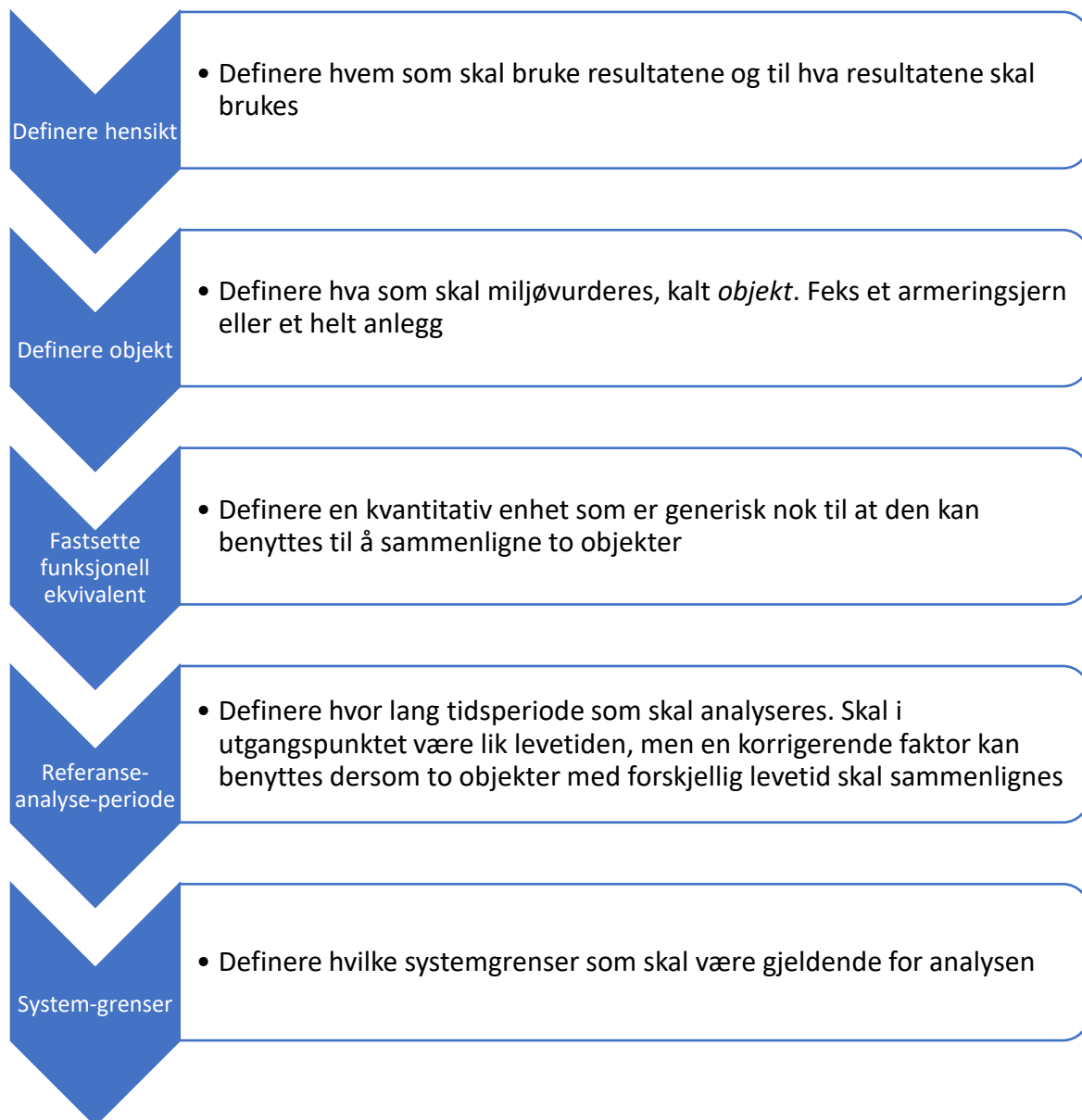
Figur 3 viser en oversikt utarbeidet av Sintef som viser hvilke standarder som vil dekke de forskjellige arbeidsprosessene på en byggeplass.



Figur 3: Ulike aktiviteter i en byggefase og hvilke standarder som gjelder for de forskjellige aktivitetene (Fufa, Mellegård og Wiik, 2018).

Denne masteroppgaven skal ta for seg anleggsmaskiner som brukes under produksjonen på anlegget. Etter NS-EN 15804 vil arbeidet som gjennomføres med anleggsmaskiner inkluderes i fase A5.

Anleggsmaskiner inngår i bruk, drift og arbeid, og dekkes av standarden EN 15978:2011 – Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygningers miljøprestasjon – Beregningsmetode. Denne standarden følger rammer gitt i NS-EN 15643:2010 – Bærekraftige byggverk - Vurdering av bygninger i et bærekraftsperspektiv. Etter sistnevnte standard skal livsløpsvurderingen omfatte en rekke prosessstadier. Figur 4 viser disse stadiene i obligatorisk rekkefølge.



Figur 4: Prosesstadier i en livssyklusvurdering iht. NS-EN ISO 15643:2010

3.4 Lovverk knyttet til innsamling av maskindata

Innsamling av maskindata kan gripe inn i maskinførernes arbeidshverdag. Derfor er *Arbeidsmiljøloven* og *Personopplysningsloven* viktige å ta hensyn til ved innsamling av maskindata fra anleggsmaskiner. Det vil også være etiske hensyn knyttet til behandlingen av maskindata som ikke dekkes av lovverket, men dette er ikke behandlet i denne oppgaven.

Som en del av det Europeiske Frihandelforbund (EFTA) plikter Norge å etterfølge lover og forordninger bestemt av den Europeiske Union (EU) (Knudsen, 2019). En av forordningene Norge derfor må innrette seg etter, er Personvernforordningen («General Data Protection Regulation», «GDPR») av 2018 (European Union, 2016). Den europeiske personvernforordningen er sikret etterfølgelse gjennom *Lov 20. desember 2018 om behandling av personopplysninger (Personopplysningsloven) kapittel 1 § 1 Gjennomføring av personvernforordningen*.

Personopplysningsloven har som formål å beskytte personvernet til enkeltindivider. Loven omfatter all informasjon som kan knyttes til spesifikke personer. Gjennom lovverket sikres klassifisering og behandling av alle data som kan kategoriseres som *Personopplysninger*. Dette omfatter informasjon som kan brukes til å identifisere personer som kjønn, personnummer, telefonnummer, adresse, politisk og religiøst ståsted og så videre. Etter forordningens § 20 har *Datatilsynet* det overordnede ansvaret for håndhevelsen av forordningen i Norge.

Innsamlede data omfatter jf. *Personvernforordningen artikkel 4 nr 1* all informasjon eller opplysninger som «direkte eller indirekte» kan benyttes til å identifisere en person. Ved innsamling av maskindata i sanntid kan det tenkes at det vil være mulig å se den spesifikke maskinens posisjon og arbeidsstatus. Dersom dette indirekte kan brukes til å knytte maskinen til spesifikke personer, vil informasjonen som samles inn falle under kategorien *persondata* og følgelig være dekket av lovverket. Dette vil trolig ofte være tilfellet, da det vil være i arbeidsgivers interesse å holde kontroll på hvilken ansatt som disponerer hvilken maskin til enhver tid som et ledd i flåtestyringen.

Etter *Personvernforordningen artikkel 2 nr. 1 og 2* vil all innsamling av persondata som skjer delvis eller helt automatisert dekkes av lovgivningen. Innsamlingen vil tenkes å kunne skje gjennom digitale plattformer som automatisk sammenstiller data og tilgjengeliggjør disse. Dermed vil mekanismen eller programvaren for innsamling også gjøre at informasjonsinnhentingen må gjennomføres i henhold til lovgivningen.

Arbeidsmiljølovens formål er å sikre et fult forsvarlig arbeidsmiljø for de ansatte. Det er også krav om samarbeid med de ansatte dersom man skal innføre ny teknologi eller nye arbeidsmetoder, som for eksempel bruk av maskindata. Innsamling av maskindata kan virke negativt på arbeidsmiljøet fordi det kan oppleves som overvåkning. Dette gjør at datainnsamlingen må ta hensyn til krav stilt i *Lov 17. juni 2005 om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern mv. (arbeidsmiljøloven)* (Edvardsen, 2014).

3.5 Datasystemer i anleggsmaskiner

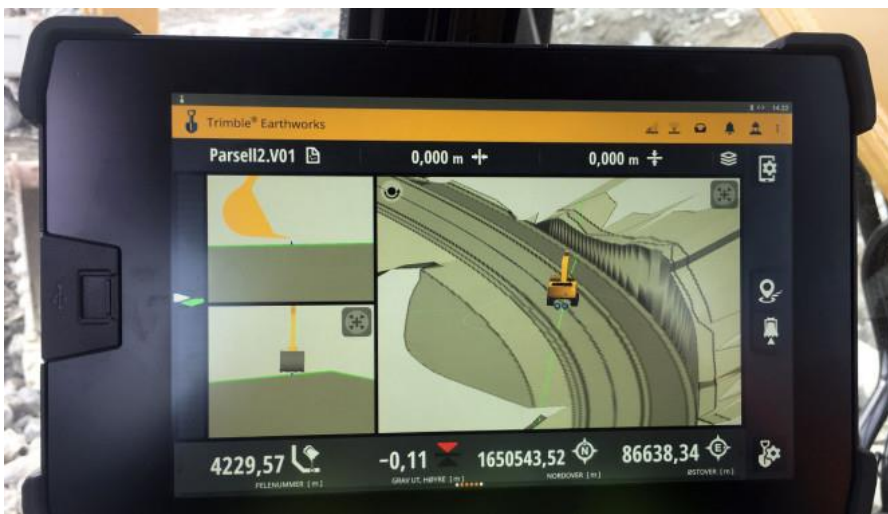
All informasjon som samles inn om anleggsmaskinens prestasjoner i drift kan inkluderes i begrepet maskindata. Informasjonen genereres av en rekke forskjellige sensorer og systemer i anleggsmaskinen. For å forstå hvilken data som kan samles inn, er det nødvendig å forstå de forskjellige systemene som logger og samler inn informasjon. Denne delen vil gi en oversikt over noen av de forskjellige datasystemene som finnes i en anleggsmaskin.

Anleggsmaskiner bruker i økende grad forskjellige datasystemer for å bedre produksjon og effektivitet. I en fremtidig situasjon kan det tenkes at disse systemene jobber sammen som ett system. I dagens situasjon er dette forskjellige systemer, og det er derfor viktig å skille mellom hva systemene inkluderer og hvilke inn- og utdata systemene bruker.

Et utbredt system er maskinstyring. Maskinstyring er en betegnelse på digitale verktøy. De mest avanserte versjonene av maskinstyring oppgis av produsenten *Prosystem* å kunne gjøre at brukeren graver 30 % raskere og samtidig mer nøyaktig (*Prosystem*, ukjent år). Maskinstyring kan brukes på forskjellige maskiner som gravemaskiner, dosere, veghøvlere og borerigger. Rundt halvparten av anleggsmaskinene som selges i Norge i dag har montert utstyr for maskinstyring. (Haukås, 2018)

Maskinstyring som verktøy har røtter tilbake til slutten av 1990-tallet da landmålingsutstyr basert på GPS og GLONASS for alvor ble tatt i bruk i bransjen. Programmet *EasyDIG* var et av de første GIS⁶-baserte systemene som ble installert i en gravemaskin. Programmet baserte seg på endimensjonal informasjon og gav føreren løpende oversikt over høyde og fall på terrenget mens den gravde. (Haukås, 2018)

I dag benyttes vanligvis maskinstyring med informasjon om tre dimensjoner. Dette gjøres ved at maskinen har en datamaskin med visningsskjerm, som er koblet til satellitter. Videre er datamaskinen koblet til en sensor på anleggsmaskinen. På denne måten får maskinføreren opp informasjon på skjermen om hvor maskinen befinner seg, høyde og posisjon på grabb eller skjær. (*Prosystem*, ukjent år) Figur 5 viser hvordan visningen for maskinstyring kan se ut i maskinen.

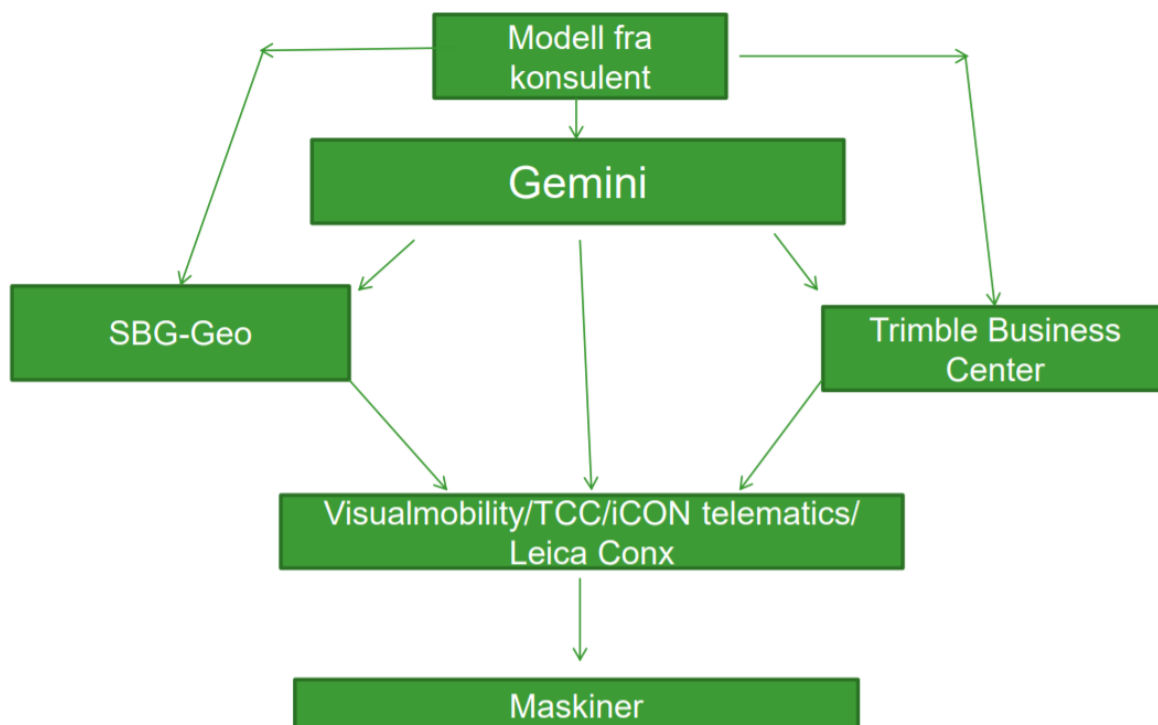


Figur 5: Eksempel på maskinstyring (Haukås, 2018).

⁶ geografisk informasjonssystem

De nyeste verktøyene for maskinstyring gjør at produksjonen blir halvautomatisert. For gravemaskiner gjøres dette ved at datamaskinen styrer bom og skuffe slik at maskinføreren kan vite at den graver til riktig dybde og til riktige posisjoner i henhold til tegninger. (Daler, 2017)

For at maskinstyringen skal fungere, er det avgjørende med inputdata. Inputdata prosjekteres i forskjellige modeller levert for eksempel av en prosjekterende rådgiver eller konsulent. Modellene inneholder stedsinformasjon og informasjon om skjæringer og fyllinger. Denne modellen overføres så til en programvare som transformerer modellen og klargjør den for maskinstyring. Modellen overføres til slutt til et visningsprogram som er installert på datamaskinen i anleggsmaskinen, slik at maskinstyringen kan brukes. Figur 6 viser dataflyten fra modell, til programvare for presentasjon til visningsprogram.



Figur 6: Dataflyt for maskinstyring (Lerbak, 2018).

Arbeid som har blitt utført av anleggsmaskinen må dokumenteres. Dette for å vise byggherre og entreprenør hvilket arbeid som har blitt gjennomført, planlegge og evaluere massehåndtering og å evaluere eget arbeid. Normalt sett gjøres dokumentasjon gjennom stikning, som krever at eget personell går rundt og måler inn punkter og geometri. Ved å bruke data fra maskinstyringen, kan ferdig geometri for arealer kartlegges og dokumenteres automatisk. (Mjøhus, 2018)

Flere maskinleverandører tilbyr tjenester hvor kjøperen (entreprenør/bruker) kan kjøpe et produkt med funksjonaliteter for å overvåke driften av anleggsmaskinene. Dette omfatter blant annet overvåking av drivstofforbruk, arbeid gjennomført av maskinen og utnyttelsesgrad. På denne måten tilbyr maskinleverandøren en infrastruktur for å dra nytte av maskindata som genereres når maskinen er i arbeid. (Volvo, ukjent år; Hitachi, ukjent år)

Anleggsmaskinene har forskjellige sensorer som overvåker maskinens drift og prestasjoner. Maskinleverandøren PonCat opplyser på sine hjemmesider at det er installert en rekke forskjellige verktøy og sensorer for å monitorere og kontrollere driften til anleggsmaskiner. Dette omfatter blant annet overvåkningssystem for hjullastere for lasting av masser, lastmålere som veier hvor mye last dumperen har lastet i planet, og mer omfattende analyseverktøy som kan brukes for å overvåke produksjonen til hjullastere og tip-trucker. (PonCat, ukjent år-a)

Sensorene er koblet mot eksterne databaser slik at produsenten eller brukeren kan få tilgang til og disponere data som genereres når maskinen er i arbeid. Hvordan et system for slik datainnsamling kan fungere, blir vist i kapittel 5 Tilrettelegging for bruk av maskindata.

I forbindelse med kartleggingen av datasystemer for anleggsmaskiner, er det også verdt å trekke frem et delvis statlig finansiert forskningsprosjekt som pågår nå og som gjennomføres av Skanska, Volvo Construction Equipment, Ditio og SINTEF. Dette er et prosjekt der kunstig intelligens skal brukes for å optimalisere flåtestyringen på et anleggsprosjekt. (Birkeland, 2020; Skanska, 2019)

Skanska opplyser i en pressemelding at det gjennom prosjektet skal benyttes data fra de forskjellige maskinene for å gjøre at maskinene i større grad samhandler og på denne måten skape en mer effektiv anleggsdrift. Dette skal oppnås ved at algoritmer behandler dataene for å optimalisere rutevalg og koordineringen av maskinene. Hvilke data som skal samles inn, hvordan det skal samles inn, og hvordan systemene skal bygges opp, er ikke oppgitt. (Birkeland, 2020; Skanska, 2019)

3.6 Innovasjon som metode for vurdering av tiltak

For å nå klimamålene, er det avgjørende at alle gjør sin del av arbeidet. Dette gjelder alle bransjer, aktører og institusjoner. For at bygg- og anleggsbransjen skal kunne gjøre sitt bidrag, vil det være nødvendig å innføre tiltak som monner. Denne teoridelen tar utgangspunkt i innovasjonsprosessen gjennomført av Norconsult (2015) i forbindelse med planlegging og miljø- og klimaoptimalisering av anleggsprosjektet Rogfast.

Innovasjon er viktig for å få frem et bredt utvalg av alternative tiltak, løsninger og forbedringer av prosess og resultat. Dette gjør igjen at man kan ha mer innsikt i ulike alternativer og et grunnlag for beslutninger.

For å kunne iverksette de riktige tiltakene, er det nødvendig med et godt beslutningsgrunnlag. For å etablere et tilstrekkelig beslutningsgrunnlag, kan det gjennomføres en prosess for å kartlegge og evaluere mulige tiltak, herunder kostnader, konsekvenser og muligheter de skaper. Videre i denne delen vil hvert av stegene i en slik innovativ prosess beskrives.

Den innledende fasen i innovasjonsprosessen omfatter idémyldring og kartlegging av alle mulige tiltak. For at denne fasen skal være vellykket, er det avgjørende at det er takhøyde for kreativ tenking og at alle forslag vies tilstrekkelige oppmerksomhet. Gjennom litteraturstudiet har det blitt identifisert en rekke tiltak som kan iverksettes, og disse kan være eksempler på tiltak som foreslås i denne fasen.

For at de forskjellige tiltakene skal kunne vurderes, må de først kategoriseres. Det kan skilles mellom konseptuelle idéer for forskjellige deler i prosjekteringen, tiltak som kan iverksettes under produksjon eller tiltak i forbindelse med bestilling av materialer og

produkter. De forskjellige kategoriene muliggjør også sammenligning av tiltak på et senere tidspunkt slik at de beste tiltakene velges.

Videre må tiltakene vektas. Denne vurderingen omfatter å se på kostnader som påløper ved å innføre tiltaket, muligheter og konsekvenser. Vektingen kan resultere i en poengsum, en vurdering eller lignende, men bør kvantifiseres slik at tiltaket kan sammenlignes med og vurderes opp mot andre aktuelle tiltak.

Når alle tiltakene har blitt vektet og fått en vurdering, må de prioriteres. Prioriteringen sier hvilke tiltak som ønskes å bli iverksatt først. De tiltak som prioriteres høyest er gjerne de tiltak som er enkle å gjennomføre, medfører lave ekstrakostnader og gir god effekt. I motsatt ende av skalaen er gjerne tiltak som teknisk er vanskelige å gjennomføre, dyre og gir liten positiv effekt.

Vektingen av miljøhensyn opp mot andre hensyn som økonomi er viktig og kan medføre dilemmaer. I delkapittel 3.7 Nytte-kostnadsanalyser vises det hvordan kostnader for miljøtiltak kan vurderes og vektas. Det vil alltid være forskjellige interesser og hensyn, og en godt definert vekting er derfor viktig for gjennomføringen av denne prosessen og for at miljøhensyn skal bli tilstrekkelig ivaretatt.

Til slutt må det tas beslutninger om hvilke tiltak som skal gjennomføres og hvilke som skal forkastes. Dette er viktige beslutninger som gjøres på grunnlag av rangeringen som har blitt foretatt og tilgjengelige ressurser. Vurderingene som ligger til grunn for rangeringene er derfor svært viktige for at de riktige tiltakene skal bli valgt.

3.7 Nytte-kostnadsanalyser

For å kunne vurdere og evaluere tiltak som kan være klimagunstige og samtidig ha en investeringskostnad som gjør tiltaket gjennomførbart, er det nødvendig å gjennomføre nytte-kostnadsanalyser. Direktoratet for økonomistyring (2018) har utarbeidet en veileder for nytte-kostnadsanalyser.

Direktoratets veileder bygger på en rekke offentlige utredninger, blant annet NOU⁷ 1997:27, 1998:16 og NOU 2012:16. Disse offentlige utredningene setter føringer for hva en nytte-kostnadsanalyse gjennomført av det offentlige skal inneholde. Dette omfatter vurderinger av alle konsekvenser, positive som negative, som blir forårsaket et tiltak som vurderes gjennomført. Slike konsekvensene kan være påvirkning på miljø og klima og direkte utgifter knyttet til tiltaket. En nytte-kostnadsvurdering kan derfor sees på som en metode for å strukturere informasjon for å danne et best mulig beslutningsgrunnlag. (Hervik *et al.*, 1998; Finansdepartementet, 2006)

For å kunne bruke en nytte-kostnadsanalyse til å vurdere om en skal gjennomføre et tiltak eller ikke, er det nødvendig med retningslinjer for hva som ansees som akseptable kostnader for et tiltak. Miljødirektoratet (2020) tar i rapporten *Klimakur 2030* utgangspunkt tre kostnadskategorier for hvert tonn CO₂-e som kuttes: <500 kr/tonn, 500-1500 kr/tonn og >1500 kr/tonn. For de rimeligste tiltakene er det primært atferdsendringer som er tiltaket, men for de dyrere tiltakene er primært innføring av ny teknologi og nye systemer som er tiltaket. Nyten av disse bestemmer hvilke som blir prioritert i prosjektet.

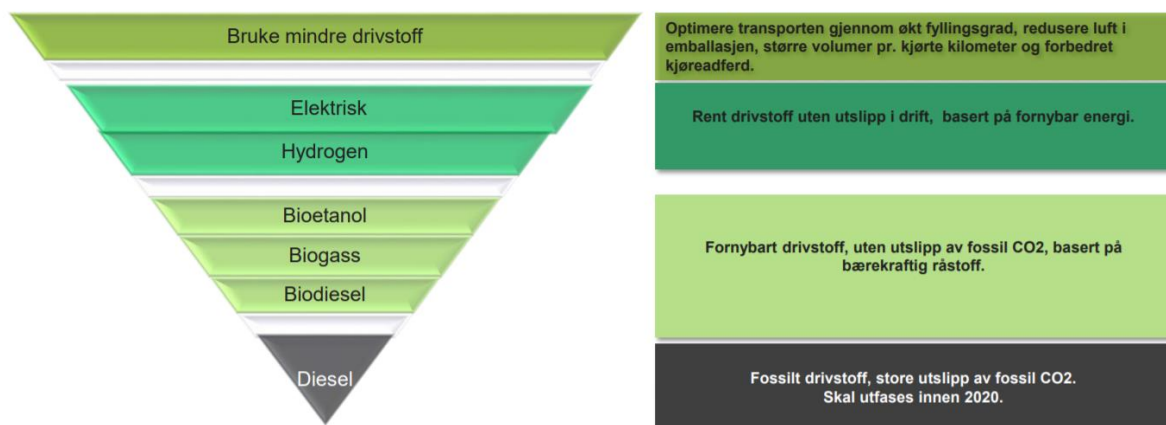
⁷ Forkortelse for «Norges offentlige utredninger»

3.8 Energibærere

Alle maskiner på anlegget benytter seg av et drivstoff, en energibærer. For maskinene på anlegget benyttes primært diesel som drivstoff. Forbrenningen av diesel står for en betydelig del av klimagassutslippene under produksjonen på anlegget. Det ligger derfor et vesentlig potensial i å optimalisere drivstoffbruken, for så å senere kunne skifte til en mer miljøvennlig energibærer.

Når det skal vurderes overgang til en alternativ energibærer, er det viktig å undersøke hvilke energibærere som fører til en størst mulig reduksjon i klimagassutslippene. For å avgjøre hvilke alternativ man velger, er det nødvendig å vurdere effekten av tiltaket og hva tiltaket koster som beskrevet i delen 3.7 Nytte-kostnadsanalyser.

Transportselskapet Asko har et eksempel på prioritering og rekkefølge av tiltak for å redusere klimagassutslippene fra transport. Først og fremst ønsker de å bruke mindre av drivstoffet de allerede bruker ved å optimalisere bruken av maskinene. Videre ønsker de å gå over til fossilfrie alternativer som strøm og hydrogen. Dernest kan det vurderes bruk av fornybare biodrivstoff som bioetanol, biogass og biodiesel. Dersom dette ikke går, er siste utvei å benytte seg av ordinær diesel.



Figur 7: Prioriteringer i tiltak for å kutte i klimagassutslipp (Asko, ukjent år).

3.9 Innsamling av maskindata

Maskindata er nyttig input til kartlegging og vurdering av tiltak for å redusere klimagassutslipp fra anleggsmaskiner. For å sikre effektiv innsamling av maskindata, er det nødvendig med datasystemer som tilrettelegger en spesifikk dataflyt.

Dataflyten ved innsamling av maskindata går gjennom to overføringer. Først overføres maskindata fra anleggsmaskinen til en server. Denne overføringen er ikke omfattet av en standard. Deretter overføres maskindataene fra serveren til et dataprogram som tillater en bruker å få tilgang til dataene. Denne overføringen er dekket av telematikkstandarden ISO/TS 15143-3:2020.

ISO/TS 15143-3:2020 tar for seg dataflyt for maskindata fra hjul- og beltegående anleggsmaskiner. Dette omfatter blant annet maskiner som gravemaskiner og hjullastere. Standarden legger føringer for hvordan datasett skal bygges opp, hvilke

maskindatapunkter som skal inkluderes, og hvordan kommunikasjon mellom server og bruker skal legges opp. Innholdet i denne standarden er oppsummert i vedlegg 1. For lastebiler på anlegg gjelder en egen standard. Denne er oppsummert i vedlegg 2.

Når en bruker skal hente ut maskindata fra serveren, forespørres det gjennom et dataprogram om spesifikk data fra en server. Serveren responderer da med et svar som inneholder de forespurte dataene. Dataprogrammet brukeren benytter seg av kalles en API⁸. API-en som benyttes når maskindata fra anleggsmaskiner skal overføres fra server til bruker, bygger på standarden ISO/TS 15143-3:2020.

⁸ API er forkortelse for application programming interface.

4 Beregning av klimagassutslipp

Det andre forskningsspørsmålet som stilles i denne oppgaven, er: «Hvordan beregnes baseline for klimagassutslipp fra anleggsmaskiner?». For å besvare dette forskningsspørsmålet, undersøker dette kapittelet metode for beregning av klimagassutslipp fra anleggsmaskiner. Videre undersøkes det hvilken dokumentasjon som ligger til grunn for beregningsmetoden.

4.1 Eksempel på beregningsmetode: VegLCA

Gjennom *Klimaloven* og byggherrer settes det i dag strenge krav til utbyggerne for å gjøre tiltak som skal redusere klimagassutslipp ved anlegg. For å kunne kvantifisere kuttene, er det avgjørende at å ha et utgangspunkt en kan gå ut i fra, et klimagassbudsjett. Et slikt utgangspunkt kan beregnes ved bruk av forskjellige programvarer og digitale verktøy. Denne delen av kapittelet tar for seg et slikt verktøy: VegLCA. Alle figurer i denne delen er følgelig hentet fra VegLCA.

Det er Statens vegvesen som har utviklet regneverktøyet VegLCA. Verktøyet er basert på LCA-metodikk for å sette opp klimagassbudsjett for anleggsprosjekt. VegLCA bygger på Vegvesenets prosesskode 1 og 2. Prosesskode 1 og 2 angir en standardisert kategorisering og hierarkisk oppbygning for hvordan et prosjekt skal beskrives og forklares for henholdsvis veganlegg (Statens vegvesen, 2018b) og bruere og kaier (Statens vegvesen, 2018c). Denne oppgaven bygger på tall og faktorer brukt i VegLCA versjon 4.04.

Figur 8 viser et eksempel på hvordan sprengstein til motfylling skal beskrives i henhold til prosesskode 1. Som det fremgår i figuren, har «Sprengt stein til motfylling» prosessnummer 26.2. Dette er en prosess på nivå tre. Dette betyr at det er tredje nivå i hierarkiet. Nivå en er «2 Hovedprosess 2 Sprengning og masseflytting» og nivå to er «26 masseflytting av sprengt stein». Bokstavene under prosessen beskriver hva prosessen omfatter, hvordan den skal utføres og hvordan mengden skal måles.

26.2 Sprengt stein til motfylling

- a) Omfatter opplasting, transport, tipping og utlegging av sprengt stein fra skjæring i linjen og eventuelle forskjæringer, inkl. masser fra rensk av skjæringssider, ned til planumsnivå i linjen, eller sidetak, til motfyllinger.
- b) Fyllmassene skal ikke inneholde snø eller is, og heller ikke stubber, røtter eller annet vegetasjonsmateriale.
- c) Motfyllinger skal bygges opp slik at nivåforskjellen mellom hovedfylling og motfylling under fyllingsarbeidet aldri overstiger den endelige høydeforskjellen som prosjektert.
- x) Mengden måles som prosjektert fast volum (målt i skjæring). Enhet: m³

Figur 8: Eksempel på en prosess beskrevet i prosesskode 2. Bildet er et skjermutklipp fra (Statens vegvesen, 2018b).

Kontrakter laget etter prosesskode 1 og 2 vil dermed inneholde all informasjon som er nødvendig for å sette opp et klimagassbudsjett i VegLCA. I eksempelet fra Figur 8, vil det anslås en mengde sprengt stein, som er målt i skjæringen, oppgitt i kubikkmeter. Dette vil videre brukes som input i VegLCA for å anslå klimagassutslipp fra den aktuelle prosessen, som vist i Figur 9. Dette gjøres for alle prosesser som er aktuelle i prosjektet, det aggregeres, og resultatet blir et klimagassprosjekt for hele prosjektet.

VEG I DAGEN			
	Samlet lengde (Veg i dagen)	-	m
			Enhet
26: MASSEFLYTTING AV SPRENGT STEIN			
26.1	Sprengt stein fra skjæring til fylling i linjen		lm3
26.2	Sprengt stein til motfylling	1 000	lm3

Figur 9: Posten fra prosesskoden vist i VegLCA med mengder fylt inn.

Figur 9, Figur 10 og Figur 11 viser et eksempel for hvordan VegLCA beregner klimagassutslipp knyttet til flytting av 1000 kubikkmeter sprengt stein, der veganlegget strekker seg over en strekning på 10.000 meter. I eksempelet er det kun mengde stein i prosess 26.1 og lengde på veien som er fylt ut. Alle andre faktorer og parametere er forhåndsdefinert. Som det fremgår i figurene, anslår VegLCA et forbruk på 1476 liter diesel for anleggsmaskiner, som tilsvarer et utslipp på 4782 kg CO₂-e, og et forbruk på 299 liter diesel for massetransporten, medfører utslipp på 1094 kg CO₂-e.

Materialkategori		Veg i dagen	
		M+U	D&V år
Asfalt	tonn	-	-
Betongelementer	tonn	-	-
Betonghvelv	m2	-	-
Grus/pukk	tonn	-	-
Kalksementstabilisering	tonn	-	-
Plasstøpt betong	m3	-	-
Plast	tonn	-	-
Plastmembran/Geosynteter	m2	-	-
Sement	tonn	-	-
Sprengstoff	tonn	-	-
Sprøytebetong	m3	-	-
Strøsalt	tonn	-	-
Stål, armering og bolter kamstål	tonn	-	-
Stål, spennarmering	tonn	-	-
Stål, konstruksjonsstål	tonn	-	-
Stål, peler	tonn	-	-
Stål, spunt	tonn	-	-
Trevirke	m3	-	-
Dieselforbruk i anleggsmaskiner	liter	1 476	-
Dieselforbruk til massetransport (beregnet for tur/retur)	liter	299	-
Elektrisitetsforbruk	kWh	-	-

Figur 10: Beregnede mengder diesel for anleggsmaskiner og massetransport for 1000 kubikkmeter skjæring på et 10 km langt anlegg.

UTBYGGING (A5)					
	Vegelement	Veg i dagen	Tunnel	Bru	Sum
Miljøpåvirkningskategori	Klima	Klima	Klima	Klima	Klima
Anleggsmaskineri		4 782	-	-	4 782
Massetransport		1 094	-	-	1 094
Elektrisitet		-	-	-	-
Sum energiforbruk		5 876	-	-	5 876
Totalt for utbygging		5 876	-	-	5 876

Inkludert direkte utslipp på byggeplass, ikke inkludert arealbruksendringer

Figur 11: Beregnede klimagassutslipp fra eksempelet.

For å gjøre disse beregningene, tar VegLCA hensyn til prosjekterte mengder masse, som multipliseres med forskjellige beregningsfaktorer, for å beregne drivstofforbruk for deretter å beregne utslippene dette medfører. Det er mulig å oppgi prosjektspesifikke verdier både for beregnings- og utslippsfaktorer. Dersom det ikke foreligger prosjektdata, benytter VegLCA standardverdier basert på nasjonale data.

Standard beregningsfaktorer brukt for anleggsmaskiner er vist på Figur 12. Disse verdiene baserer seg på funn gjort i forskjellige studier, og er noe Nye Veier og Bane NOR SF benytter seg av. En oversikt over de forskjellige studiene er vist i Figur 13.

prosjektspesifikke verdier	Brukt i beregninger	Standard	Prosjektspesifikke verdier
Diesel/el-forbruk maskineri			
Gravemaskin	0,20	0,20	liter diesel/lm3
Hjullaster	0,08	0,08	liter diesel/lm3
Lastebil	0,19	0,19	liter diesel/lm3
Brøytebil	0,54	0,54	liter diesel/km
Utgraving og planering av jordmasser	1,00	1,00	liter diesel/lm3
Utgraving og planering av steinmasser	1,10	1,10	liter diesel/lm3
Etablering av grøft	40,00	40,00	liter diesel/m
Komprimering av masser med vals	0,02	0,02	liter diesel/m2
Bærelagsstein - legging og komprimering	2,00	2,00	liter diesel/lm3
Utsprøyting av sprøytebetong	5,85	5,85	liter diesel/m3
Kalksementstabilisering	0,0036	0,0036	liter diesel/kg KC pel
Montere spunt	0,00	ikke inkludert	liter diesel/m2
Felling/rydding av skog	0,47	0,47	liter diesel/m3 felt skog
Volum av skog pr areal som skal ryddes	0,02	0,02	m3 skog/m2 areal
Rensk av skjæring	0,00	0,003	liter diesel/lm3
Drilling, sprengning i dagen	0,41	0,41	liter diesel/lm3
Pigging	0,08	0,08	liter diesel/m3
Hullboring	0,60	0,60	liter diesel/m
Kjerneboring	0,58	0,58	liter diesel/m
Fullprofilboring	62,00	62,00	kWh/m3
Påføring av klebemiddel/vedheftingsmiddel	0,00	0,0001	liter diesel/m2
Legging av asfalt	0,80	0,80	liter diesel/tonn
Riving av faste dekker	4,00	4,00	liter diesel/m2
Fresing av faste dekker	0,63	0,63	liter diesel/tonn
Massetransport (bil)	0,018	0,018	liter diesel/tkm
Massetransport (transportbånd)	0,26	0,26	kWh/tkm

Figur 12: Beregningsfaktorer brukt i VegLCA for anleggsmaskiner.

Diesel/el-forbruk maskineri	
Gravemaskin	Ecoinvent v3 Prossess 'Excavation, hydraulic digger'
Hjullaster	Strippel, H. (2001), Life Cycle Assessment of Road: A Pilot Study for Inventory Analysis.
Lastebil	Strippel, H. (2001), Life Cycle Assessment of Road: A Pilot Study for Inventory Analysis.
Utgraving og planering av jordmasser	Straume, Krogseter, NOTAT: Utredning og kravspesifikasjon til EFFERT 6.6, Del 3: Videreutvikling av Klimamodulen
Utgraving og planering av steinmasser	Straume, Krogseter, NOTAT: Utredning og kravspesifikasjon til EFFERT 6.6, Del 3: Videreutvikling av Klimamodulen
Etablering av grøft	Straume, Krogseter, NOTAT: Utredning og kravspesifikasjon til EFFERT 6.6, Del 3: Videreutvikling av Klimamodulen
Komprimering av masser med vals	Strippel, H. (2001), Life Cycle Assessment of Road: A Pilot Study for Inventory Analysis.
Bærelagsstein - legging og komprimering	Strippel, H. (2001), Life Cycle Assessment of Road: A Pilot Study for Inventory Analysis.
Utsprøyting av sprøytebetong	Kållås Iversen, O. M. (2013), Livssyklusanalyse av undersjøs tunnel og alternativt fjordkryssing.
Felling/rydding av skog	Fuglseth, M. S., (2013), Livsløpsvurdering av utbygging og utvidelse av 2-felts motorveg til 4-felts moderne motorveg.
Rensk av skjæring	Fuglseth, M. S., (2013), Livsløpsvurdering av utbygging og utvidelse av 2-felts motorveg til 4-felts moderne motorveg.
Drilling, sprengning i dagen	Kållås Iversen, O. M. (2013), Livssyklusanalyse av undersjøs tunnel og alternativt fjordkryssing.
Pigging	Kållås Iversen, O. M. (2013), Livssyklusanalyse av undersjøs tunnel og alternativt fjordkryssing.
Hullboring	Kållås Iversen, O. M. (2013), Livssyklusanalyse av undersjøs tunnel og alternativt fjordkryssing.
Kjerneboring	Kållås Iversen, O. M. (2013), Livssyklusanalyse av undersjøs tunnel og alternativt fjordkryssing.
Fullprofilboring	Hammervold, J., Grossrieder, C. (2012), Oppdatering av miljøbudsjett for Follobanen (TBM). Elektrisitetsforbruk for tunnelboremaskin er 7 000 kWh/m for tunneler med diameter 10 - 12 m.
Påføring av klebemiddel/vedheftingsmiddel	Fuglseth, M. S., (2013), Livsløpsvurdering av utbygging og utvidelse av 2-felts motorveg til 4-felts moderne motorveg.
Legging av asfalt	Straume, Krogseter, NOTAT: Utredning og kravspesifikasjon til EFFERT 6.6, Del 3: Videreutvikling av Klimamodulen
Riving av faste dekker	Fuglseth, M. S., (2013), Livsløpsvurdering av utbygging og utvidelse av 2-felts motorveg til 4-felts moderne motorveg.
Fresing av faste dekker	Fuglseth, M. S., (2013), Livsløpsvurdering av utbygging og utvidelse av 2-felts motorveg til 4-felts moderne motorveg.
Massetransport (bil)	
Massetransport (transportbånd)	Div. referanseprosjekter fra Marti Technik. http://www.marti-technik.com/en/Documents/Referenzen/Refliste_F16C3%266rderbandanlagen_en.pdf

Figur 13: Dokumentasjon for beregningsfaktorer brukt i VegLCA.

Anslått generell kjøreavstand i forbindelse med massetransport er vist i Figur 14. Disse faktorene baserer seg ikke på studier, men er antatt. For transport innad på anlegget, er det benyttet en faktor lik halve distansen til prosjektet, mens det for transport i tunnel er benyttet halve distansen på tunnelen. For de øvrige faktorene er det kun benyttet en generell antakelse og det anbefales prosjektspesifikke verdier.

prosjektspesifikke verdier	Brukt i beregninger	Standard	Prosjektspesifikke verdier
Massetransport			
Transport i linja	5,0	5,0	km
Transport til fyllplass	20	20	km
Transport til depot/lager	20	20	km
Transport til knuseverk	20	20	km
Transport verksted til brused	20	20	km
Transport fra materialtak/sidetak/tilført utenfra	20	20	km
Transport i tunnel	0,0	0,0	km

Figur 14: Beregningsfaktorer brukt i VegLCA for massetransport.

Utslippsfaktorene multipliseres med produktet av beregningsfaktorene og de prosjekterte mengdene for å beregne klimagassutslippene fra produksjonen av vegprosjektet. Utslippsfaktorene er beregnet i henhold til EN 15804 som betyr at klimagassutslipp fra alle aktiviteter fra uthenting av råvare og frem til produktet er ferdig produsert og skal forlate fabrikkporten. Utslippsfaktorene kan sees i Figur 15.

Brukt i beregninger - materialer	Klima	
		kg CO ₂ -eq
DIESEL OG ELEKTRISITET		
Diesel, B0, forbrukt i anleggsmaskin (liter), 0% biodiesel	/	3,24E+00
Forbrenning av diesel, B0, direkte utslipp, 0% biodiesel	/	2,67E+00
Diesel, B100, forbrukt i anleggsmaskin (liter), 100% biodiesel FAME	/	0,00E+00
Forbrenning av diesel, B100, direkte utslipp, 100% biodiesel FAME	/	0,00E+00
Diesel, B100, forbrukt i anleggsmaskin (liter), 100% biodiesel HVO	/	0,00E+00
Forbrenning av diesel, B100, direkte utslipp, 100% biodiesel HVO	/	0,00E+00
Materialtransport (transport av materialer inn til prosjektet)	tkm	1,65E-01
Massetransport	tkm	6,59E-02
Massetransport, helning > 5 %	tkm	2,80E-01
Massetransport, transportbånd	tkm	9,46E-03
Elektrisitet - Anlegg	kWh	2,60E-02
Elektrisitet - Drift og vedlikehold	kWh	1,20E-01
ANNET		

Figur 15: Utslippsfaktorer brukt i VegLCA.

4.2 Dokumentasjon for beregningsmetoden VegLCA

For å forstå grunnlaget for beregningene som er gjort i VegLCA, er det nødvendig å gjennomgå dokumentasjonen som ligger til grunn. Beregningsfaktorene for massetransport oppgis å være antakelser, dokumentasjonen er følgelig ikke mulig å undersøke nærmere. For anleggsmaskinene er det derimot henvisning til forskjellige rapporter. De fleste rapportene er åpent tilgjengelig via søk i NTNUs database «Oria».

Dokumentasjon for prosesser som omfatter «hjullaster», «lastebiltipp», «komprimering av masser med vals» og «bærelagsstein – legging og komprimering», er rapporten «Stripple, H. (2001), Life Cycle Assessment of Road: A Pilot Study for Inventory Analysis.» benyttet. Når dokumentasjonen for disse prosessene videre vises, henvises det derfor til funn som foreligger i rapporten av Stripple (2001). Faktorene benytter ulike benevnninger. Disse er ikke oppgitt i VegLCA, og er derfor ikke oppgitt i denne oppgaven.

En hjullaster kan benyttes til en rekke forskjellige formål på et anlegg, primært lasting og lossing. Dette kan være produkter som leveres til anlegget, eller masser som skal lastes på en lastebil for transport. For en hjullaster vil en rekke parametere spille inn på drivstofforbruket. For maskinen vil størrelse på skuffe, syklustid og effektiv arbeidstid per time være faktorer som vil påvirke utslippene. Materialet som arbeides med vil påvirke utslippene ved at densitet, friksjon og hvilken grad materialet er mulig å jobbe med, kan variere. Samtidig vil området der det arbeides påvirke utslippene ved at overflaten der maskinen kjører, stigninger, grad av planlegging som er gjort for arbeidet og førerens dyktighet varierer.

I rapporten anslås en transportdistanse på 10 meter og en effektiv arbeidstid på 50 min per time. Med dette premisset fremlegges data for en rekke forskjellige modeller levert av Volvo BM: L50B, L70B, L90B, L120B, L150 og L180. For hver av maskinene fremgår det at produksjonskapasiteten er avhengig av førerens erfaring og størrelsen på grabben som kan variere med opptil nesten 100 m³/50 min. Samtidig vises det at avhengig av grunnforholdene vil produksjonskapasiteten og drivstofforbruket for en Volvo BM L180 kunne variere mellom 520 og 370 m³/h og ha et drivstofforbruk lik henholdsvis 0,0442 og 0,0946 liter/m³. I VegLCA fremkommer det ikke hvilke antakelser eller forbehold som er gjort for å finne den endelige beregningsfaktoren som er angitt å være 0,08 liter/lm³.

Lastebiltipp, eller dumper, benyttes til å transportere masser mellom to steder. I rapporten av Stripple (2001) benyttes en eksempelmaskin, en Volvo BM model A35. Flere variable vil påvirke lastebiltippens klimagassutslipp. Når jord graves opp og lastes i dumperen, får massen ofte en lavere tetthet. I hvilken grad tettheten endrer seg, vil variere. I rapporten antas en «svellfaktor» lik 1,2. Kjøreforholdene vil også påvirke maskinens utslipp. Her skiller det mellom enkle, gjennomsnittlige og vanskelige kjøreforhold, og avhenger av områdets kurvatur og underlaget det kjøres på. Drivstofforbruket kan derfor variere fra 20 til 35 liter per time, avhengig av forholdene. Det legges også til grunn at maskinen returnerer uten last. Ut i fra dette antas et dieselforbruk på 0,193 l/lm³. I VegLCA avrundes dette til 0,19.

En vals brukes for å komprimere utlagte masser. Dette omfatter de forskjellige lagene i vegoppbygningen, som forsterkningslag og lagene med asfalt som legges. For prosessene som omfatter bruk av vals, tas det utgangspunkt i valser av typen *Dynapac* med motorer levert av *Deutz*. For å beregne utslippene gjøres det en rekke antakelser. Rullehastigheten settes til 4 km/t, antall overfarer settes til seks for jord der

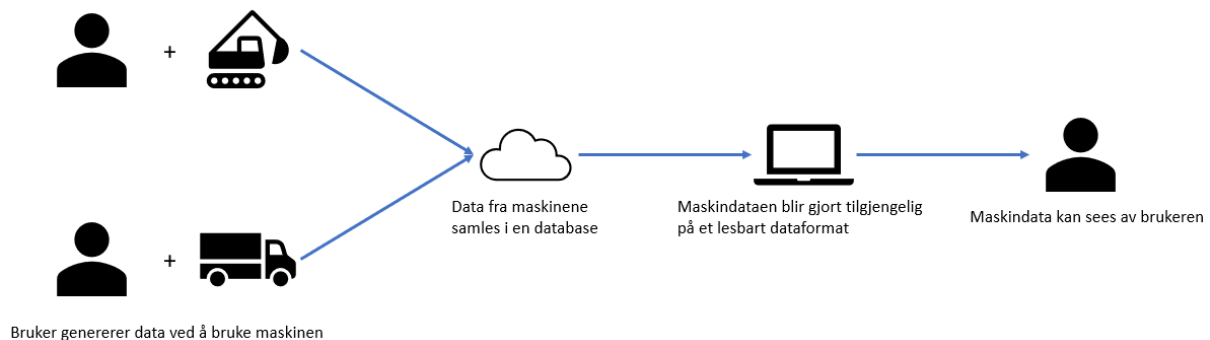
lagtykkelsen antas å være maksimalt 0,5 meter, den effektive bredden valse opererer til 85 % av total bredde, og effektiv arbeidstid anslås å være 50 min per time. De forskjellige modellene for valse nevnt i rapporten bruker mellom 0,0152 og 0,0179 liter diesel per kvadratmeter komprimert masse. VegLCA benytter seg av verdien 0,02 l/m² og dette kan derfor antas å være en avrundet verdi.

Massetransport omfatter flytting av forskjellige masser mellom forskjellige steder i linja, depot, fyllplasser, knuseverk og materialtak. Dokumentasjonen for denne aktiviteten er ikke oppgitt i regneverktøyet, men det fremkommer dokumentasjon i en dokumentasjonsrapport for VegLCA av Hammervold (2020). For massetransporten settes et gjennomsnittlig forbruk til 0,45 l/km. Fjellets tetthet settes til 2,7 tonn/pfm³ og kapasiteten per lass er 25 tonn per eller 9,3 pfm. Dette gir et beregnet dieselforbruk lik 0,018 l/tkm. Det legges i tillegg til en faktor for slitasje på lastebilen som er hentet fraecoinvent som deles på tre for å justere verdien slik at den blir rundt 10 % av det totale utslippet fra massetransporten. Totalt gir dette et klimagassutslipp på 0,066 kg CO₂-e/tkm.

5 Tilrettelegging for bruk av maskindata

Det tredje forskningsspørsmålet i denne masteroppgaven er: «Hvordan kan det planlegges og tilrettelegges for innsamling av maskindata?». Basert på intervjuer og refleksjoner vil dette kapittelet foreslå en firetrinns prosess for hvordan maskineier kan planlegge innsamling av maskindata fra sine anleggsmaskiner. I tillegg beskrives et femte trinn der maskindataen brukes etter brukeren har blitt presentert maskindataen. Til slutt blir funn knyttet til eierskap av maskindataene presentert.

Figur 16 viser dataflyten maskinleverandøren tilbyr. Pilene viser dataflyten for maskindata.



Figur 16: Prosessflyt for tilrettelegging for bruk av maskindata

5.1 Trinn 1: Innkjøp av maskiner og sensorer

Det første trinnet i denne prosessen er å anskaffe en anleggsmaskin. Forskjellige maskiner egner seg til forskjellig bruk og hva som inkluderes i anskaffelsen er noe som defineres gjennom kjøpsprosessen. Anskaffelsen er i seg selv en prosess der bruk av maskinen og data generert er nyttige for å vurdere hvilke behov maskinen skal dekke og hvordan maskinens klimagassutslipp skal kunne overvåkes.

Salgskontrakten omfatter betingelser for hva som inkluderes i leveransen fra selger til kjøper. Hva som omfattes i kontrakten kan beskrives i et eget dokument kalt salgsbetingelser. Hvilken teknologi som inkluderes i tilbudet angis ikke nødvendigvis i dette dokumentet (PonCat, ukjent år-b). Det bør derfor spesifiseres hvilken teknologi som skal inkluderes. Dersom dette ikke gjøres, kan slike systemer også anskaffes og installeres i etterkant (Automile, ukjent år).

5.2 Trinn 2: Infrastruktur for å samle inn data

De fleste anleggsmaskiner i dag har sensorer installert. Sensorene har som primær oppgave å gi støtte til maskinføreren for en effektiv og sikker drift. For å kunne hente disse dataene ut fra maskinen og dra nytte på dem på et strategisk nivå og aggregert, må det være en infrastruktur for innsamling av disse dataene.

Dataene må derfor overføres fra maskinen til en server eller database. Denne overføringen kan skje via telematikkjenester, som for eksempel internett. Kontinuerlig overføring av data fordrer en god og stabil tilkobling til internett, noe som kan være en utfordring noen steder i landet. Overføring fra maskin til server kan alternativt skje via andre kanaler som minnekort eller kabler. Hvor stor grad av løpende rapportering fra maskinen som er nødvendig, er noe som kan hensyntas når det skal besluttes hvilken type overføringsmedium som skal brukes.

Overføringen av data fra maskin til server er ikke definert i noen standard. Leverandøren av sensorene og infrastrukturen for overføring vil derfor være de som bestemmer hvilke retningslinjer overføringen følger.

5.3 Trinn 3: Overføring av data fra server til bruker

Dataene som er lagret på servere i Trinn 2 kan overføres til brukerens datamaskin. Overføringen må skje i et format som gjør at dataene senere kan tilgjengeliggjøres for brukeren/entreprenøren, slik at man kan se, disponere og sammenligne dataene på en hensiktsmessig måte.

Standarden ISO/TS 15143-3:2020 legger føringer for datautveksling over internett mellom server og bruker. Standarden setter krav til hvordan spørringer fra brukeren skal kodes og format for hvordan systemet skal svare. På denne måten standardiseres dataflyten mellom server og bruker slik at brukeren kan hente data fra forskjellige servere, og få dem levert i et format som gjør at data fra flere servere kan kombineres i samme datasett.

Overføringen av data fra server til bruker skjer over internett. Hyppigheten for responsene fra serveren skal etter standarden skje hvert 15. minutt, og alltid inneholde de siste registrerte data på serveren. Den definerte hyppigheten av responser gjør at det mellom server og bruker må være en kobling, internett eller kablet, som gjør at informasjonsutvekslingen skjer uten tap av data.

5.4 Trinn 4: Presentasjon av data

Samtaler med bransjeaktører på samlingsforumet *Grønn Anleggssektor* indikerer entreprenørene ikke i særlig stor grad systematisk samler inn og analyserer data fra sine anleggsmaskiner. Dette forklares med at dataene oppleves vanskelig tilgjengelig og at de presenteres på en ikke-hensiktsmessig måte. Måten dataene presenteres er derfor svært viktig for at de skal kunne nyttiggjøre seg av maskindata.

Leveransen fra serveren skjer gjennom et XML- eller JSON-format. Formatet tilrettelegger ikke for at brukeren direkte kan anvende disse dataene. Dataene må derfor transformeres, omgjøres, til et format som gjør dem lesbare for brukeren/entreprenøren. Hvordan dataleveransen transformeres avhenger av hvordan brukeren/entreprenøren ønsker å disponere dataene. Det kan skilles mellom digital og manuell håndtering.

Ved digital håndtering kan det tenkes at brukeren ønsker å benytte seg av maskinlæring, kunstig intelligens, for at maskiner og system skal lære å jobbe på en mer effektiv og god måte. I slike tilfeller vil filene måtte transformeres til et format dataprogrammet kan lese og algoritmene kan hente nødvendig data fra. For entreprenøren vil det være mest relevant å se hvilke endringer som bør gjøres i produksjonen og hvilke konsekvenser, positive som negative, maskinlæringen avdekker.

Manuell håndtering vil si at brukeren mottar data og gjør beslutninger basert på denne leveransen. I slike tilfeller er det derfor avgjørende at brukeren får presentert dataene på et format som tillater at det skapes et oversiktlig helhetsbilde av situasjonen. Konvertering kan i slike tilfeller skje gjennom programmer som excel og PowerBI. I disse programmene kan brukeren få tilgang til rapporter for enkeltmaskiner, flåten som helhet eller delrapporter som viser sammenhenger mellom forskjellige parametere.

5.5 Trinn 5: Videre bruk av dataene

Data som samles over tid kan, av entreprenøren eller byggherre, samles i en erfaringsdatabase. Dette vil gi muligheter for å benytte en større mengde data, som kan gi et bedre beslutningsgrunnlag i fremtidige prosjekter. Samtidig vil lagret data over tid kunne vise utviklingen for arbeidet i en bedrift, også videre. Dette kan bidra til å avdekke negative trender som må korrigeres og positive trender som kan forsterkes. I tilfeller der det skal benyttes maskinlæring vil også et større datagrunnlag medføre bedre kalkulasjoner og en mer presis læringsprosess etter hvert som løsningene optimaliseres.

For å kunne tilrettelegge for videre bruk av data som erfaringsgrunnlag for nye prosjekter, bør det være systemer som lagrer data som overføres fra server til entreprenøren. Dette kan være i form av en egen database eller server som driftes internt av entreprenøren eller eksternt hos en tilbyder. Videre kan det tenkes at byggherrer eller statlige aktører kan være interessert i å innhente data fra prosjekter de har bestilt for å i fremtiden kunne gjøre bedre valg og beslutninger.

5.6 Eierskap til maskindata

Gjennom arbeidet med denne oppgaven har det blitt undersøkt hvordan forskjellige aktører ser på eierskapet til og deling av maskindata. Resultatene som presenteres her bygger på forfatterens refleksjoner om hvordan bransjen oppfatter spørsmålet om eierskap.

Maskindata er informasjon om hvordan anleggsmaskiner jobber og presterer. Det er entreprenøren, gjennom en maskinfører, som er den som genererer disse dataene.

Informasjonen blir samlet inn ved hjelp av forskjellige sensorer. Sensorene er enten levert av maskinleverandøren eller en ekstern leverandør. Dette gjør at sensorene kan ansees som en del av maskinens tekniske system.

Når dataene har blitt samlet inn, lagres de i en database. Mange maskinleverandører samler i dag inn maskindata fra anleggsmaskiner de har levert. Leverandørene bruker disse dataene blant annet til forbedringsarbeid, i reklamasjonssaker og for å kunne tilby entreprenøren tilleggstjenester. Entreprenøren kan også kjøpe tilgang til disse dataene. Dette gjøres gjennom en portal eller nettside maskinleverandøren leverer. Dette gjør at en entreprenør med anleggsmaskiner fra forskjellige leverandører vil måtte forholde seg til mange ulike grensesnitt og typer rapporter som ikke nødvendigvis er konsistente.

Eierskapet til maskindataene antas å være definert i kjøpskontrakten mellom entreprenør og maskinleverandør. Maskindata kan på derfor ansees som et tilleggsprodukt maskinleverandøren tilbyr kunden.

6 Casestudie: Feiring bruk

Masteroppgavens fjerde forskningsspørsmål er: «Hvordan kan maskindata brukes for å beregne klimagassutslipp fra anleggsmaskiner? Hvordan kan beslutningstaker bruke slike beregninger for å redusere klimagassutslipp?». For å besvare dette forskningsspørsmålet, har det blitt gjennomført en casestudie hos bedriften Feiring Bruk som disponerer anleggsmaskiner. Datainnsamlingen har blitt gjort ved hjelp av teknologibedriften Fremby som leverer datasystemer for innsamling av maskindata.

Anleggsmaskinene i casestudiet har dieseldrevne motorer. Casestudiet legger til grunn at det er direkte sammenheng mellom drivstofforbruket og klimagassutslippet fra anleggsmaskinene.

I dette kapitlet presenteres casestudiet. Casestudiet omfatter innsamling av maskindata, analyse av maskindataene med hensyn på å beregne drivstofforbruk, og hva resultatene har å si for den som skal gjøre beslutninger i ulike sammenhenger.

6.1 Innledning: Om Feiring Bruk og Fremby

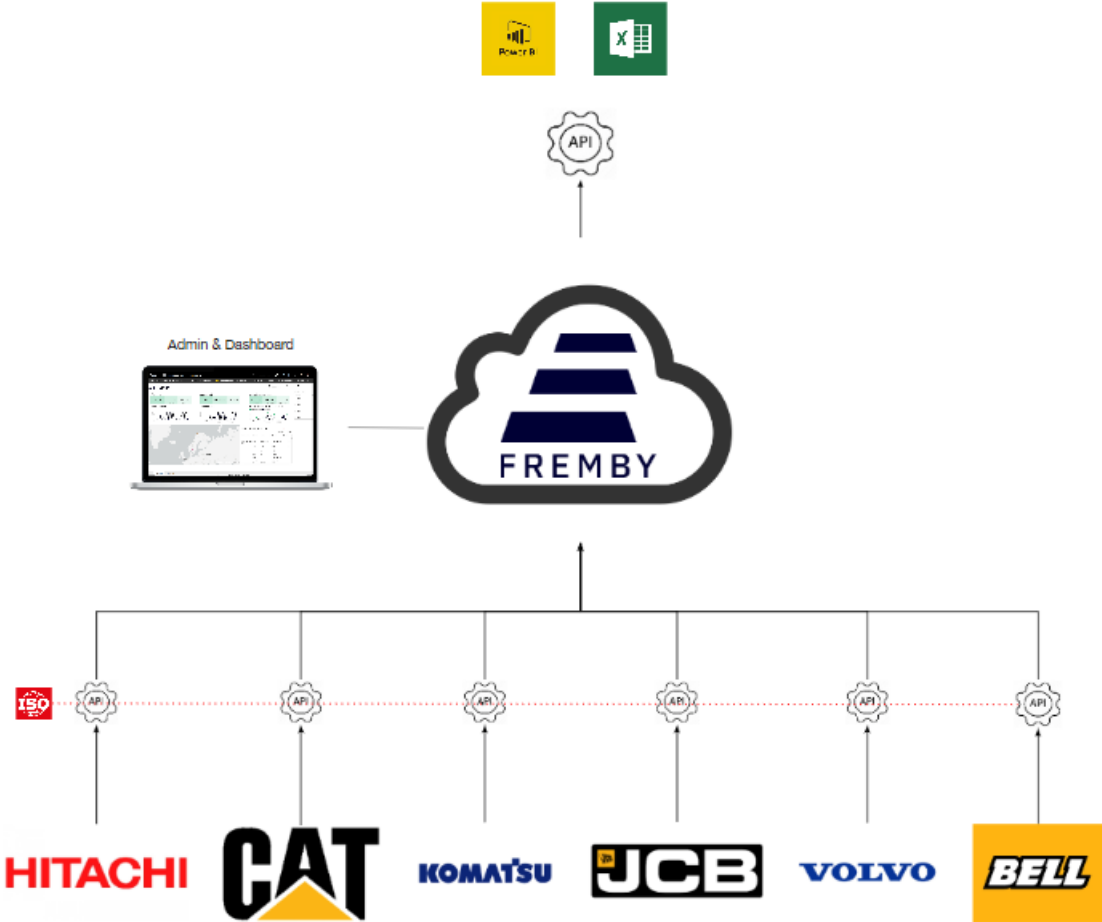
Feiring Bruk er et industrikonsern som leverer pukk og grus. Konsernet har en rekke produksjonssteder og med hovedkontor på Lørenskog rett utenfor Oslo. Firmaet opplyser selv at de er svært opptatt av miljø- og klimaarbeid og er blant annet miljøsertifisert i henhold til standard NS-ISO 14001:2015. Samtidig opplyser de selv at de investerer i og arbeider med utvikling av ny teknologi for en mer miljøvennlig produksjon. (Feiring Bruk, ukjent år)

Fremby er en teknologibedrift som har som formål «å gjøre bedrifter og prosjekter i bygg- og anleggsnæringen mer bærekraftig» (Fremby, ukjent år) De ønsker å bidra til en «smartere deling av maskindata, for en bærekraftig anleggssektor». For å gjøre dette, skal Fremby levere en dataløsning der kunden kan samle inn data fra forskjellige maskiner på anlegget og få fremstilt disse i et brukervennlig grensesnitt. Feiring Bruk kjøper tjenester for innsamling av maskindata fra Fremby.

Feiring Bruk fremsto med dette som en god case for å studere praktisk arbeid med bærekraftige løsninger. Det viste seg også at nøkkelpersonell ved Feiring Bruk og Fremby stilte seg meget positivt til dette arbeidet. Fokus for arbeidet med dette caset var å studere energibruk og klimagassutslipp fra anleggsmaskiner. Feiring Bruk var åpne med hensyn til å dele data og erfaringer for bruk i denne oppgaven.

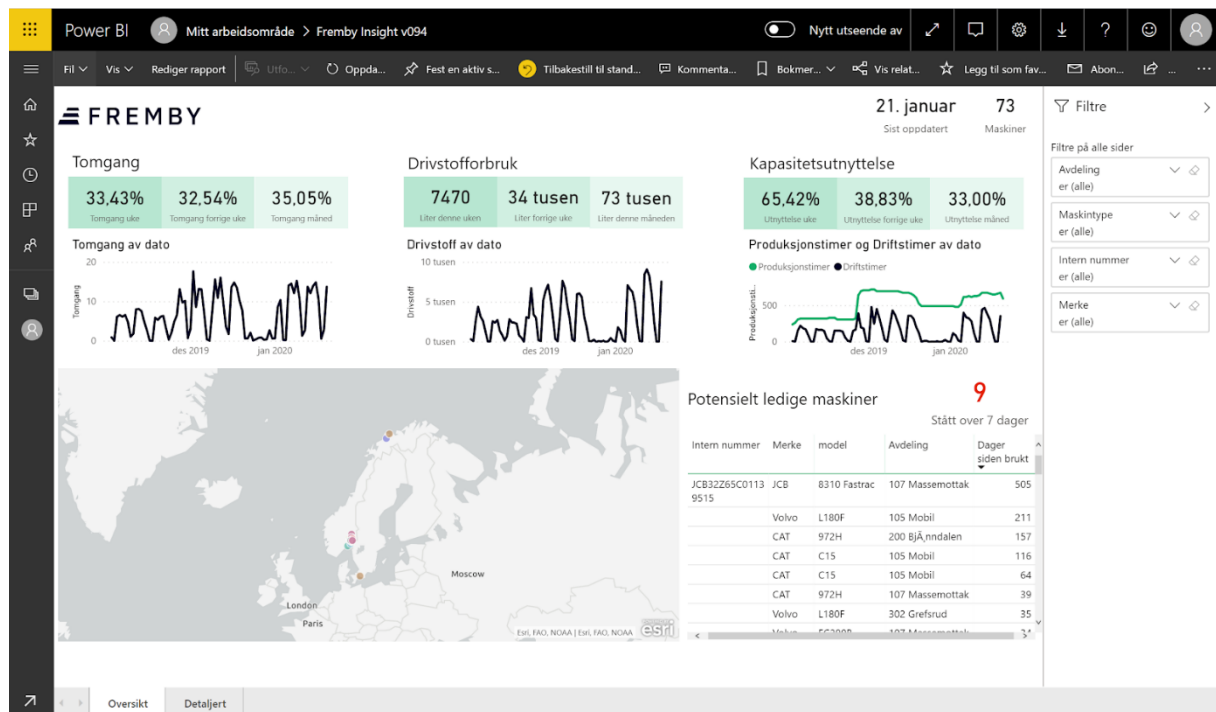
En rekke maskinprodusenter har installert sensorsystemer i maskinene de leverer til kunder. Disse dataene bruker produsenten til å planlegge vedlikehold og i eventuelle reklamasjonssaker. I praksis er måten kunden kan få tilgang til dataene fra sine maskiner på gjennom en portal levert av maskinleverandøren som kunden må betale for tilgang til. Dette betyr at dersom kunden har maskiner fra forskjellige leverandører, vil de måtte logge inn på hver av portalene for å få tilgang til dataene. Portalen har heller ikke nødvendigvis et grensesnitt som følger en standardisert måte å presentere dataene på, og er heller ikke tilrettelagt for at kunden skal kunne bruke dataene til noe spesielt.

Løsningen Fremby leverer baserer seg på å sammenstille dataene maskinleverandørene allerede har samlet inn. Dataene sammenstilles og leveres gjennom grensesnittene PowerBI eller Microsoft Excel som gjør at dataene blir presentert på en brukervennlig måte. Dataflyten Fremby leverer er illustrert i Figur 17.



Figur 17: Dataflyten Fremby ønsker å tilrettelegge for med sin løsning. Kilde: Sigve Pettersen, Fremby

På denne måten ønsker Fremby å tilrettelegge for at den som disponerer anleggsmaskiner kan få tilgang til maskin- og driftsdata som de kan bruke til å gjøre sine arbeidsprosesser mer effektive. Brukergrensesnittet Fremby bruker i sin løsning i PowerBI er vist i Figur 18.



Figur 18: Fremby sin presentasjon av maskindata i PowerBI. Kilde: Sigve Pettersen, Fremby

Fra høsten 2019 har Fremby gjennomført et pilotprosjekt ved Feiring Bruk, der data fra anleggsmaskinene på Feiring Bruk har blitt samlet inn. Data fra dette pilotprosjektet blir i denne oppgaven brukt som sammenligningsgrunnlag for å belyse forskningsspørsmålet om hvordan maskindata kan brukes for å beregne klimagassutslipp fra anleggsmaskiner.

6.2 Innsamling og analyse av maskindata fra Feiring Bruk

For å gjennomføre en analyse av driftsdata fra anleggsmaskiner i denne oppgaven, var det avgjørende å kunne benytte faktiske data fra maskiner i drift. Forskjellige aktører som utleiebedrifter, bransjeforeninger, byggherrer, entreprenører og rådgivende ingeniører ble derfor kontaktet i et forsøk på å få tilgang til maskindata.

Disse kontaktene avdekket at det er stor usikkerhet blant aktørene for om de har lov til å dele maskindata, om slike data er forretningsensitive og hvilken aktør som egentlig eier dataene.

For å få tilgang til maskindata, ble det inngått samarbeid med Feiring Bruk og Fremby. Feiring Bruk driver en rekke anleggsmaskiner i sitt virke som pukkverk. Fremby, som leverer tjenester til Feiring Bruk, leverer programvare for å hente ut data registrert fra anleggsmaskiner. Ved å benytte seg av programvaren til Fremby, har det dermed vært mulig å samle inn driftsdata fra anleggsmaskinene ved Feiring Bruk.

Det tilgjengelige datasettet var ikke fullstendig. Det var varierende innsamling av data mellom maskintyper og mellom maskiner av samme type og modell. Kartlegging og analyser av data som kunne inkluderes i casestudiet, har derfor vært en vesentlig del av arbeidet i oppgaven.

6.2.1 Innsamling av maskindata fra Feiring Bruk

Maskindataene som har blitt benyttet i denne oppgaven, har blitt registrert lokalt på en anleggsmaskin og så vært gjennom en rekke steg før den har blitt tilgjengelig for forfatteren.

Dataene som har blitt mottatt har vært på formatet CSV. Fremby opplyser at det i dag finnes en fremstilling i PowerBI for disse dataene. Da denne applikasjonen for fremstilling foreløpig kun er i betaversjon, kan den ikke lastes opp i PowerBI. Oppgaven bygger derfor på data levert i CSV-format.

Filene levert i CSV-format er kommaseparerte filer. Denne filtypen har derfor blitt konvertert til xlsx-format i Excel, slik at dataene skal være enklere å tolke og behandle. Videre har disse dataene blitt systematisert, satt i sammenheng og tolket ved å bruke Excel.

6.2.2 Valg av analyseperiode for casestudiet

I arbeidet med casestudiet har det vært tilgang til maskindata for ett år. Dette gjør at den mulige mengden data som kan inkluderes i arbeidet er stort. Derfor har det vært nødvendig å avgrense analysen til et bestemt tidsrom. Den valgte analyseperioden ble satt til mandag 6. januar 2020 til søndag 2. februar 2020. Analyseperioden omfatter med det fire fulle uker uten offentlige helligdager som kan være forstyrrende for produksjonstakten.

Under innsamlingen av data kom det frem at det for de valgte kategoriene maskindata, innen referanseperioden, kun var komplette datasett fra og med 6. januar til og med 16. januar. Dette ble derfor den valgte analyseperioden for casestudiet.

Den valgte analyseperioden er før de strenge restriksjonene ble iverksatt av Regjeringen som følge av koronapandemien gjennom våren 2020. Det antas derfor at produksjonen i den valgte perioden ikke har blitt påvirket av disse restriksjonene.

En annen faktor som kan ha påvirket produksjonen ved Feiring Bruk er årstid og sesong. Det kan tenkes at etterspørselen etter for materialer varierer gjennom året. Samtidig vil temperatur og snø- og regnforhold kunne påvirke hvor tid- og energikrevende arbeidet som utføres med anleggsmaskinene er.

6.2.3 Valg av maskindata til casestudiet

For å kunne beregne klimagassutslipp, benyttes det i dag en metode der man tar hensyn til mengde masse som bearbeides. Beregningene skjer ved å multiplisere mengde prosjektert masse med en beregningsfaktor, og man får en estimert mengde drivstoff anleggsmaskinene bruker, som videre brukes for å beregne klimagassutslipp. Det har derfor vært viktig å inkludere data for hvor mye drivstoff hver maskin har brukt og hvor mye masse hver maskin har flyttet eller bearbeidet.

Det har også vært nødvendig å finne et datasett som er tilstrekkelig konsistent og komplett for at det skal være mulig å gjennomføre dataanalyser av materialet.

Feiring Bruk disponerer en rekke forskjellige maskiner. Totalt har det blitt registrert data fra 79 maskiner. Datagrunnlaget for traktorer, knuseverk, sikteverk, aggregat, dosere og dumpere er varierende, og disse har derfor ikke blitt tatt med i analysene.

Totalt på anlegget befant det seg 45 hjullastere og 14 gravemaskiner. For alle disse maskinene var det tilgjengelige data for driftstimer, tomgangskjøring og drivstoffkonsum. Av disse var det for ti hjullastere og to gravemaskiner også data for mengden last maskinen hadde flyttet. For én hjullaster og én gravemaskin var det ikke registrert endring akkumulert last i løpet av analyseperioden. Dermed ble disse to maskinene ikke tatt med i analysen.

Etter disse vurderingene ble resultatet at det ble etablert et utvalg på ti maskiner som hadde tilstrekkelig data registrert for å kunne gjennomføre de ønskede analysene. Disse maskinene er vist i Tabell 3.

Tabell 3: Oversikt over maskinene som har blitt inkludert i analysen.

Kategori	Merke	Modell
Gravemaskin	CAT	352F XE
Hjullaster	Volvo	L180H
Hjullaster	Volvo	L180H
Hjullaster	Volvo	L180H
Hjullaster	Volvo	L260H
Hjullaster	CAT	972M
Hjullaster	CAT	972M
Hjullaster	CAT	972M
Hjullaster	CAT	980M
Hjullaster	CAT	980M

Maskinene som inngår i analysene i denne oppgaven omfatter anleggsmaskiner av typene hjullaster og gravemaskin. Hjullasterne er av typene Volvo L180H, Volvo L260H, CAT 972M og CAT 980M. Gravemaskinen som er inkludert i analysen er av typen CAT 325F XE. Tabell 4 viser spesifikasjoner for de forskjellige maskinene.

Tabell 4: Oversikt over spesifikasjoner for maskinene i analysen.

Maskin	Skuffevolum	Driftsvekt	Motor	Motoreffekt (ISO 9249)
Volvo L180H (Volvo, 2020a)	3,7-16 m ²	27-28,4 tonn	Volvo D13J	250 kW
Volvo L260H (Volvo, 2020b)	5,3-10,2 m ²	34-39 tonn	Volvo D13J	309 kW
CAT 972M	3,2-9,84 m ²	24,897 tonn	Cat C9.3	233 kW

6.2.4 Gjennomføring av analyse av maskindata

Målsetningen med innsamlingen med maskindata, er å kunne predikere fremtidig drivstofforbruk. De innsamlede dataene i casestudiet har derfor blitt analysert med mål om å kunne finne formler som, ved hjelp av en eller flere variable, kan brukes til å beregne drivstofforbruket til anleggsmaskinene.

Det antas å være sammenheng mellom de mengder maskinen bearbeider, og hvor mye drivstoff den bruker. For en hjullaster kan det også være relevant med transportdistanse. For å analysere driftsdataene til hver enkelt maskintype, har hver modell blitt analysert for seg. Analysene har blitt gjort ved å benytte regresjonsanalyser i Excel. Denne funksjonen finnes i verktøyet dataanalyse og brukes for å etablere sammenhenger mellom to eller flere tallrekker.

I en regresjonsanalyse i Excel oppgis en Y-verdi og én eller flere X-variable. Dataanalyseverktøyet regner så ut et stigningstall (a) for hver av X-verdiene samt et skjæringspunkt (b) der $X=0$. Resultatet av dette er en formel på formen $Y=aX+b$. Hvilke X-verdier som velges, varierer mellom maskinene, og er forklart nærmere i avsnittene under.

En gravemaskin på et pukkverk brukes primært til å laste lastebiler eller mate knusere. Gravemaskinen som det har blitt registrert data for, er av typen CAT 325F XE. For denne maskinen er det ikke logget verdier for antall laster eller distanse kjørt. Disse kategoriene har derfor ikke blitt inkludert i analysen. En gravemaskin skal primært stå fast på lokasjon og gjennomføre arbeid der. Samtidig vil gravemaskiner kunne ha behov for å bevege seg mellom lokasjoner på anlegg. Distanse antas derfor å være en lite relevant faktor å undersøke. Analysene som har blitt gjort for gravemaskinen har basert seg på driftstimer og mengde masse flyttet.

En hjullaster står svært sjeldent stille når den arbeider. En vesentlig del av dennes arbeid består i å transportere masse i skuffen mellom to steder. Avstanden her kan variere fra noen få meter til lengre avstander. Analysene for hjullastere omfatter derfor også distanse for maskinene. Det har blitt gjennomført to forskjellige regresjonsanalyser for hver av hjullasterne med hensyn på mengde masse flyttet og distanse kjørt.

Det har også blitt gjennomført regresjonsanalyser med hensyn på flåten av hjullastere som helhet. Gjennomsnittlig last per dag, distanse kjørt per dag og drivstofforbruk har blitt funnet for hver av maskinmodellene. Videre ble disse addert før det ble gjennomført regresjonsanalyser med hensyn på last og distanse kjørt.

6.2.4.1 Datasett for testing av beregningsfaktorene

Et viktig spørsmål ved dagens metoder for beregning av klimagassutslipp er beregningenes nøyaktighet. For å evaluere beregningsfaktorene som har blitt funnet i resultatdelen av casestudien og de faktorene som brukes i VegLCA, har beregningsfaktorene blitt testet på et nytt datasett.

Det har blitt hentet et datasett for tidsperioden 2-20. desember 2019. Utvalget av maskiner er det samme som for analysene beskrevet tidligere i casestudiet. Dette har blitt gjort for å øke sannsynligheten for at datasettene skal være sammenlignbare. Fremgangsmåten for innhenting av datasettet for testing er det samme som for datasettet i analysen.

Det har blitt beregnet drivstofforbruk ved hjelp av beregningsfaktoren gitt i VegLCA. Denne faktoren oppgir drivstofforbruk per kubikkmeter masse som bearbeides. Mengden bearbeidet last som er hentet i casestudien er oppgitt i vekt i kilogram. Etter samtaler med Knut Ollendorff i Feiring Bruk, er det valgt å bruke den omregningsfaktoren for massetetthet de selv benytter som er $1,5 \text{ tonn/m}^3$.

6.2.5 Resultat av datainnsamling og -analyse

Analysene i dette casestudiet er basert på et utvalg på ti anleggsmaskiner. For oversikt over disse maskinene, se Tabell 3. I denne delen av oppgaven presenteres maskindataene som har blitt samlet inn fra disse maskinene og resultatene av de analysene som har blitt gjort. Følgende data har blitt samlet inn fra maskinene:

- Akkumulert last
- Antall laster
- Akkumulert drivstoff
- Operative driftstimer
- Akkumulerte tomgangstimer
- Distanse kjørt

6.2.5.1 Presentasjon av innsamlede maskindata

For maskinene i utvalget har det blitt vurdert data over en tidsperiode på 11 dager. Dataene angir en mengde drivstoff, last løftet, distanse kjørt, tid brukt på tomgang og driftstid maskinen på det gitte tidspunktet har akkumulert totalt i livsløpet. Mengden maskinen har brukt per dag har blitt funnet ved å finne differansen mellom den totale mengden fra første rapporterte datapunkt etter midnatt en dag, til tilsvarende tidspunkt neste dag.

Det har så blitt utregnet akkumulerte mengder/antall for last, operative timer, tomgangstimer, distanse kjørt og drivstofforbruk for maskinene. Tomgangstimer delt på operative timer gir basis for å beregne prosentandelen av tiden anleggsmaskinen går på tomgang (kalt «Tomgang (%)). Videre har alle dataene fra hver modell blitt addert og dagene sortert fra minst til størst last. Dette gir input til regresjonsanalyser for å finne formler som beregner drivstofforbruket til anleggsmaskinen. Tabeller med oversikt over dataene kan sees under.

Tabell 5: Oversikt over innsamlet data for gravemaskinen CAT 325F XE.

CAT 325F XE		
Last (kg)	Tomgang (%)	Drivstoff (L)
0	33,3	2
0	0,0	5
0	0,0	0
0	36,6	9
178000	41,7	32
325000	49,2	115
1763000	22,7	256
1977000	31,7	277
2191000	28,8	255
2456000	21,8	315
8890000	30,2	1266

Tabell 6: Innsamlet data for hjullasteren Volvo L180H.

Volvo L180H			
Last (kg)	Tomgang (%)	Distanse (km)	Drivstoff (L)
0	0,0	0	0
0	0,0	0	0
441266,667	31,8	24,3333333	71
477966,667	33,2	22,1666667	70,3333333
642933,333	28,8	33,4	97
714833,333	26,6	29,2	92,3333333
1034666,67	8,5	38,9	116,666667
1057500	9,3	40,6666667	123
1139233,33	35,6	36,9	120,666667
1569533,33	22,6	50,1	153,333333
2167100	59,9	46,7666667	175,666667

Tabell 7: Innsamlet data for hjullasteren Volvo L260H.

Volvo L260H			
Last (kg)	Distanse (km)	Tomgang (%)	Drivstoff (L)
0	0	0,0	0
0	0	0,0	0
0	0	0,0	0
0	50,6	33,0	172
594700	26,7	25,5	85
1304500	66,2	24,2	217
1374800	45,8	33,1	164
1602100	42,3	39,0	164
1673200	68,9	27,0	231
1702300	55,4	24,8	183
2010900	84,4	12,6	276

Tabell 8: Innsamlet data for hjullasteren CAT 972M.

CAT 972M			
Last (kg)	Distanse (km)	Tomgang (%)	Drivstoff (L)
0	0,06666667	0,0	0,33333333
0	0	0,0	0
918000	15,1333333	30,1	52,3333333
1143333,33	16,6666667	27,4	54,6666667
1148333,33	30,6333333	29,3	77,6666667
1211666,67	18,6666667	23,9	63,3333333
1280666,67	20,2	28,5	67
1333666,67	26,8333333	22,4	74
1347333,33	29,4	18,7	85
1607333,33	33,5333333	29,8	96,3333333
1653333,33	27,5333333	36,6	91

Tabell 9: Innsamlet data for hjullasteren CAT 980M.

CAT 980M			
Last (kg)	Distanse (km)	Tomgang (%)	Drivstoff (L)
0	0	0,0	0
0	0	0,0	0
0	0	0,0	0
722000	30,1	48,7	125,5
1146500	39,3	32,8	181,5
1326500	68,5	32,2	224,5
1469000	58,8	30,4	240
1471500	43,15	20,0	165
1612000	70,35	25,5	255,5
1782500	66,75	31,5	244,5

For alle maskinene har det blitt gjennomført én eller to analyser. Y-verdien tilsvarer for alle analysene drivstofforbruk. X-verdiene har i analysene vært last (X_1) og distanse (X_2). De to analysene som har blitt gjennomført, gir formel i og formel ii:

- i. Med hensyn på last (X_1)
- ii. Last (X_1) og distanse (X_2)

6.2.5.2 Resultater av analysen

For gravemaskinen CAT 325F XE ble det utført én analyse. Denne analysen tok hensyn til kun drivstoff og last (formel 1).

Resultatet av regresjonsanalysen for CAT 325F XE ble én formel:

$$1. Y = 0,000123859 * X_1 + 16,48915528$$

For hver av hjullastermodellene har det blitt utført to analyser for å beregne drivstofforbruk. Den første analysen beregner drivstofforbruk med hensyn på kun last. Den andre analysen tar også hensyn til distanse kjørt. Under er en oversikt over resultatet av analysene for hver av modellene:

Volvo L180H:

$$2. Y = 8,18312E-05 * X_1 + 23,9516103$$

$$3. Y = 3,16927E-05 * X_1 + 2,161890574 * X_2 + 2,721324245$$

Volvo L260H:

$$4. Y = 0,000102249 * X_1 + 40,24287632$$

$$5. Y = 6,59394E-06 * X_1 + 3,170527458 * X_2 + 2,576946367$$

CAT 972M:

$$6. Y = 5,70366E-05 * X_1 + (-0,222608235)$$

$$7. Y = 2,98505E-05 * X_1 + 1,433816509 * X_2 + 0,051769838$$

CAT 980M:

$$8. Y = 0,000145383 * X_1 + 5,100348594$$

$$9. Y = 5,09027E-05 * X_1 + 2,411874164 * X_2 + 4,224128589$$

For gjennomsnittet av hjullastermodellene har det blitt utarbeidet to formler. Disse er henholdsvis med hensyn på last og med hensyn på last og kjørt distanse. Beregningene gir disse formlene:

$$iii. Y = 9,7411E-05 * X_1 + 42,026836$$

$$iv. Y = 2,34868E-05 * X_1 + 2,745906657 * X_2 + (-42,026836)$$

6.2.5.3 Testing av formler på nytt datasett

For testing av formlene har forbruket av drivstoff for hver anleggsmaskin blitt beregnet med et nytt datasett fra en ny tidsperiode.

Gravemaskinen som er med i analysen brukte i løpet av den nye tidsperioden 1919 liter diesel. For å beregne dette forbruket, ble det brukt formel fra resultatdelen (opprinnelig tidsperiode), samt beregningsfaktor fra VegLCA. Disse beregningsmetodene predikerte drivstofforbruket med henholdsvis 13 % og 7 % feilmargin.

Tabell 10: Faktisk og beregnet dieselforbruk for gravemaskinen Cat 352F XE

Maskintype	Faktisk forbruk	Formel i	VegLCA
CAT 352F XE	1919	1669	1779

Totalt brukte de utvalgte hjullasterne 14290 liter diesel over den gitte tidsperioden. De maskinspesifikke formlene, formel i og formel ii, ga henholdsvis 40 % og 13 % gjennomsnittlig feilmargin fra faktisk forbruk. Beregningsfaktorene som ikke differensierer maskinene er de generiske formlene formel iii, formel iv og beregningsfaktoren gitt i VegLCA. Disse formlene gir gjennomsnittlig avvik fra faktisk forbruk på henholdsvis 42 %, 17 % og 61 %. Tabellen under gir en oversikt over faktisk drivstofforbruk og det forbruket beregnet med de ulike formlene.

Tabell 11: faktisk og beregnet dieselforbruk for hjullasterne inkludert i casestudien

Maskintype	Faktisk forbruk	Formel i	Formel ii	Generisk formel i	Generisk formel iv	VegLCA
Volvo L180H	1431	669	1274	860	1475	420
Volvo L180H	1418	865	1143	1112	1269	548
Volvo L180H	1197	1392	1243	1790	1288	892
Volvo L260H	1421	1310	1584	1379	1593	683
CAT 972M	1528	2684	1999	4984	2236	2510
CAT 972M	649	320	536	621	830	299
CAT 972M	2742	944	2066	1774	3391	883
CAT 980M	1575	1879	1573	1325	1274	656
CAT 980M	2329	1839	2313	1296	2125	641

6.3 Usikkerheter ved resultatet i casestudien

Casestudien viser at beregning av klimagassutslipp fra anleggsmaskiner er utfordrende og at gode beregninger bør baseres på mer enn én faktor. Denne delen forklarer hvordan resultatene kan brukes videre.

6.3.1 Sammenligning av resultater, forskjeller mellom faktorene

Resultatene viser at det er store variasjoner mellom kvaliteten på beregninger av drivstofforbruket til anleggsmaskinene. Denne delen beskriver hva som skiller resultatene av de utførte beregningene.

For gravemaskinen var begge beregningsfaktorene (formel i og formel ii) ganske gode. Faktoren fra VegLCA var med 7 % avvik den beregningsfaktoren den som var nærmest til å anslå det riktige forbruket for gravemaskinen.

Årsakene til at beregningsfaktoren fra VegLCA var såpass nær å beregne riktig drivstofforbruk, kan være flere. Først og fremst vil arbeidet en gravemaskin gjennomfører i stor grad være likt fra dag til dag. En slik maskin vil på et pukkverk ofte stå stasjonert og arbeide, gjerne også med samme type masser. En annen mulig årsak er at gravemaskiner beveger seg lite mellom forskjellige lokasjoner. Dette gjør at beregningsfaktorer som kun tar hensyn til mengden last, i stor grad vil kunne være treffsikre.

Beregningen utført med formel i har for gravemaskinen et betydelig større avvik på predikert forbruk enn ved bruk av VegLCA. Dette kan tenkes å være fordi maskinen har endret arbeidsoppgaver, det er en annen maskinfører, at maskinen har hatt variasjon av ikke-produktiv tid i løpet av periodene eller at maskinen har flyttet seg mellom forskjellige lokasjoner.

For hjullastere viser resultatene i denne studien at en generisk beregningsfaktor med hensyn på last, slik det er brukt i VegLCA, er lite treffsikker for beregninger av klimagassutslipp. Det samme ble vist ved at den generiske formelen med hensyn på last (formel iii) heller ikke hadde en veldig god treffsikkerhet.

Med unntak av formel iv ga samtlige formler oftest et estimat som lå betydelig under det faktiske drivstofforbruk. Faktoren fra VegLCA ga et forventet drivstofforbruk som er betydelig lavere enn det faktiske forbruket i 8 av 9 tilfeller, mens de øvrige formlene ga et slikt resultat i 7 av 9 tilfeller (Tabell 11). Når klimagassbudsjett skal utarbeides i en tidlig fase i prosjekter ved hjelp av VegLCA, vil dette bety at budsjettet med stor sannsynlighet vil vise et utslipp vesentlig lavere enn hva de faktiske forhold vil være for denne spesifikke posten.

Beregningene gjort med de forskjellige beregningsformlene viser at det er lite variasjon mellom maskiner av samme type. Dette kan indikere at forskjellen mellom drivstofforbruket fra maskin til maskin per arbeid som utføres ikke varierer stort, og at bruken av generiske formler kan gi gode resultater. Det kan derfor tenkes at det ikke er nødvendig å differensiere mellom maskiner av samme type.

Den maskinspesifikke formelen med hensyn på last og distanse (formel ii) viste seg å gi de mest treffsikre beregningene. Den generiske formelen med hensyn på last og distanse (formel iv) nest beste beregning. Dette viser at distanse er en faktor som er viktig å ta hensyn til i beregningen av klimagassutslipp fra anleggsmaskiner.

6.3.2 Usikkerheter for beslutningstaker

En beslutningstaker vil ha behov for et best mulig grunnlag for å kunne ta de riktige beslutningene gjennom byggeprosessen. Denne delen av oppgaven vil beskrive hvordan funnene i casestudiet kan påvirke valgene en beslutningstaker tar.

Casestudien indikerer at beregninger av klimagassbudsjett for anleggsmaskiner inneholder store usikkerheter. For ingen av tilfellene i casestudiet ble drivstofforbruket for anleggsmaskinene beregnet med mindre enn 7 % feilmargin fra reelle verdier. Dette betyr at det er en relativt stor feilmargin ved slike beregninger.

Videre viser casestudiet at det er stor forskjell mellom hjulgående maskiner hvis arbeid består av forflytning mellom lokasjoner, som en hjullaster, og maskiner hvis arbeid primært er stasjonært, som gravemaskiner.

Funnene i casestudien kan indikere at det for stasjonære maskiner i stor grad kan benyttes generelle verdier for maskintypen, og at dette gir en relativt god treffsikkerhet ved beregningene. Bruken av beregningsfaktorer for hjulgående maskiner innebærer større grad av usikkerhet.

De fleste beregningene estimerte et for lavt drivstofforbruk sammenlignet med hva anleggsmaskinen faktisk brukte. Dette kan medføre at evaluering av effekten av et tiltak kan gjøre at tiltaket fremstår å gi mindre effekt enn det faktisk gir. En beslutningstaker som skal evaluere og senere beslutte tiltak, vil derfor få presentert et feilaktig bilde av realiteten.

Enkelte av beregningene anslo et for høyt drivstofforbruk. Dette gjør at det ikke kan konkluderes med at faktorene alltid gir et for lavt estimat.

Oppsummert vil man sannsynligvis anslå for lavt, men det kan også skje at man anslår for høyt. Beregningene er usikre.

Fra tidligere studier har det blitt vist at når detaljeringsgraden for klimagassbudsjettet øker, vil utslippene som presenteres også øke. Dette fremkommer også av resultatene fra casestudiet, ved at beregningsfaktoren fra VegLCA, som tar hensyn til færrest variable, også estimerer det laveste utslippet. Dette viser at det er relevant å vurdere hvilken detaljeringsgrad som er nødvendig i ulike faser av byggeprosessen.

Casestudiet viser at de fleste beregningsmetodene for drivstofforbruk i et klimagassbudsjett for anleggsmaskiner underestimerer forbruket, slik at det kan synes som at klimagassutslippene har økt dersom man bruker faktiske verdier i et senere klimagassregnskap.

Et tiltak for å hindre denne ulikheten mellom budsjett og regnskap, kan være å benytte samme beregningsmetode for både budsjett og regnskap. Dette vil si at det både i planleggingsprosessen og i oppsummeringen til slutt kan benyttes beregningsfaktorer fremfor faktiske verdier. En slik tilnærming vil gjøre at sammenligningsgrunnlaget blir mer konsistent. Utfordringen er at man da ikke kan dokumentere og evaluere den reelle effekten av de tiltak som gjøres. Dette åpner derfor spørsmål om hvordan effekten av tiltak skal kunne dokumenteres.

Datainnsamlingen har inkludert driftstimer og tomgangstimer for anleggsmaskinene. Tabell 5 til

Tabell 9 viser at det er store variasjoner i hvor mye tomgangskjøring de ulike anleggsmaskinene har.

De innsamlede maskindataene indikerer at det ikke er en direkte sammenheng mellom tomgangskjøring og hvor mye last anleggsmaskinene behandler per dag. Samtidig viser dataene at omfanget av tomgangskjøring med maskinene, varierer stort. Dette gjør at det vil være interessant å undersøke hva denne variasjonen skyldes.

Resultatet av en slik analyse kan være å avdekke årsaker til at tomgangskjøringen i perioder øker, og å kartlegge hva spesielt som gjøres det dagene tomgangskjøringsprosenten er på det laveste. På denne måten vil bedriften kunne lære av sin egen beste praksis.

6.3.3 Feilkilder i casestudien

Casestudien har ikke tatt hensyn til hvilke typer masser som har blitt bearbeidet, ulike arbeidsforhold, eller andre forhold som kan ha innvirkning på produksjonstakt eller drivstofforbruk. Maskinene hører til et pukkverk, noe som kan bety at disse i stor grad brukes til samme type arbeid hver dag. Det kan derfor tenkes at de beregningsfaktorene som har blitt funnet i resultatkapittelet kan ansees som prosjektspesifikke og ikke overførbare til et veganlegg.

På et veganlegg vil det være en rekke forskjellige arbeidsoperasjoner med ulike typer masse som bearbeides. Det kan tenkes å være forskjellig gjennomsnitt av typer masser som behandles på et pukkverk og på et veganlegg. Dette kan dermed påvirke hvor presise anslagene blir med beregningsfaktorer som brukt i VegLCA.

Dette kan eksemplifiseres ved å se på massetettheten til materialet som har blitt bearbeidet. Anslagene som har blitt gjort ved å bruke beregningsfaktor for drivstofforbruk fra VegLCA, har i denne oppgaven blitt basert på en gjennomsnittlig omregningsfaktor for massetetthet lik 1,5 tonn per kubikkmeter masse. Hvor godt dette stemmer med de faktiske forhold, vites ikke. Det foreligger derfor en potensiell feilkilde ved denne antakelsen.

Samtidig skal VegLCA som verktøy kunne brukes for alle typer masse. Dette betyr at selv om massetettheten varierer, skal faktorene kunne brukes på samme måte som det har blitt gjort i denne oppgaven. Hvilke utslag dette hadde gjort for kvaliteten på beregningene gjort i casestudiet, har ikke blitt undersøkt.

Det kan være noen svakheter ved datagrunnlaget som har blitt brukt i casestudiet. Videre blir noen av disse presentert.

Utvalget av maskiner i denne studien begrenset til 10 anleggsmaskiner disponert av samme firma. Maskintypene ble valgt ut fra hvilke maskiner som hadde maskindata tilgjengelig. Det vites ikke om utvalget av type anleggsmaskiner er representativt for den type aktør eller bransjen som helhet. Forskjeller i maskinstørrelser kan være en faktor som har påvirkning på drivstofforbruk, hvilket gjør at dette er en potensiell feilkilde i studiet.

Resultatene i denne studien baserer seg derfor på et begrenset datagrunnlag, der få maskiner er inkludert over en kort tidsperiode. Dette gjør at datagrunnlaget kan ansees som noe svakt.

Anleggsmaskinene som er inkludert i studien tilhører ett firma. Firmaet oppgir selv at deres viktigste konkurransefortrinn er menneskene som jobber der og hvordan de

planlegger arbeidet. Det kan derfor ikke sikkert Feiring Bruk er representative for hvordan andre disponerer sine anleggsmaskiner med tanke på fører, produksjonsplanlegging og effektivitet.

Analyseperioden for dataene som har blitt analysert og for datasettet for testing, har vært begrenset. Fordi analyseperioden har vært kort, åpner det for feilkilder som naturlige variasjoner i produksjon som kan påvirke produktiviteten. Eksempler på dette kan være nye maskinførere, nye arbeidsprosesser, endret ordreinngang eller nye maskiner.

Videre vil en slik kort analyseperiode bidra til at effektene av vær, vind og temperaturendringer kan påvirke de funnene som har blitt gjort. For eksempel vil regnvær kunne øke vekten av massen, vind vil kunne føre til mer luftmotstand eller utfordringer ved lasting og lossing, frost vil kunne gjøre massene mindre håndterlige og sol vil kunne medføre økt grad av støv på anlegget. Den begrensede analyseperioden åpner dermed for at slike faktorer kan ha påvirket funnene fra casestudiet.

6.4 Anbefalinger basert på casestudien

Casestudiet viser at det for Feiring Bruk er mulig å benytte seg av maskindata for å iverksette de riktige tiltakene for å redusere klimagassutslippene fra deres prosjekter.

I arbeidet med casestudien ble det observert at det er få aktører som i dag samler inn maskindata. Dette stiller Feiring Bruk i en god posisjon inn mot fremtidens utfordringer, der bærekraft vil være en stadig viktigere tematikk blant kunder og oppdragsgivere.

Samtidig viser casestudien at maskindata samlet inn fra Feiring Bruk enkelte ganger kan inneholde feil eller mangler. Det anbefales derfor at Feiring Bruk undersøker systemene for datainnsamling og kartlegger hvor eventuelle feil oppstår og utbedrer disse.

Videre viser casestudien at det er variasjoner mellom maskinene for hvilke data de logger. For å kunne ha konsistente datasett anbefales det derfor at det undersøkes hvorfor ikke alle maskiner registrerer og leverer samme datapunkter, og hvordan det kan sikres at alle maskinene registrerer data som er nødvendig for at de som drifter anlegget skal kunne ta gode beslutninger.

I dette arbeidet ligger også en kartlegging av hvilke data ledelsen i Feiring Bruk vil ha behov for ved beslutningsprosesser. Et godt verktøy for presentasjon av kun de data som er nødvendige vil kunne være en god støtte ved slike prosesser.

7 Diskusjon

Den følgende diskusjonen baserer seg på litteraturstudiet, intervjuer og erfaringer fra casestudiet, og hvordan resultatene og teori kan sees i lys av hverandre. Denne oppgaven ser på to tilnærminger for å beregne klimagassutslipp fra anleggsmaskiner. Den første delen av diskusjonskapittelet tar for seg utfordringer og muligheter ved å bruke metoden VegLCA i beregning av klimagassutslipp, som i stor grad er basert på antakelser. Den andre delen tar for seg innsamling av maskindata og muligheter og begrensninger ved beregning av klimagassutslipp basert på et faktisk grunnlag med casestudiet som eksempel.

7.1 VegLCA som metode for beregning av klimagassutslipp fra anleggsmaskiner

Kapittel «4 Beregning av klimagassutslipp» har besvart masteroppgavens andre forskningsspørsmål ved å vise hvordan VegLCA brukes for å beregne baseline for klimagassutslipp fra anleggsmaskiner. Denne delen diskuterer styrker og svakheter ved disse funnene. Denne delen av diskusjonskapittelet omfatter drøfting av muligheter, begrensninger og faktorer som kan påvirke klimagassutslippene.

7.1.1 Muligheter og utfordringer ved beregningsmetoden

Gjennomgangen av dokumentasjonen for hva som ligger til grunn for beregning av klimagassutslipp fra anleggsmaskiner ved hjelp av VegLCA indikerer at beregningene bygger på en rekke forutsetninger.

En metode for klimagassberegninger som VegLCA er et omforent rammeverk for hvordan klimagassberegninger skal utføres. Dagens metode med VegLCA virker å bli brukt av de fleste aktører. Det er derfor mulig for byggherrene å etterspørre klimagassberegninger i anbudsfasen, og få sammenlignbare klimagassbudsjettforslag fra tilbyderne.

Topografi og geologiske forhold varierer stort der man skal anlegge veg. Dette gjør at alle prosjekter til en viss grad vil være unike. For å kunne beregne klimagassutslipp fra anleggene før gjennomføring, er det dermed avgjørende med beregningsmetoder som kan brukes for alle tilfeller.

Dagens beregningsmetode muliggjør også evaluering av hvilke tiltak ved anlegget som bør prioriteres for å kunne redusere klimagassutslipp fra anlegget. Videre kan ulike tiltak knyttet til anleggsmaskiner vurderes med utgangspunkt i den beregnede baseline. Ved å for eksempel endre inputdata for mengde masser som transporteres eller definere at anleggsmaskiner bruker alternative energibærere, vil effekten av tiltak kunne kvantifiseres ved hjelp av VegLCA for beregning av klimagassutslipp.

En utfordring i gjennomgangen av dokumentasjonen for hva som ligger til grunn for beregningene av klimagassutslipp fra anleggsmaskiner, er at det i mange tilfeller ikke er mulig å spore fra hvilken eller hvilke maskiner dokumentasjonen er hentet. Maskiner varierer i motorstørrelse, vekt og kapasitet. Motorteknologi utvikles, noe som kan øke drivstoffeffektiviteten til anleggsmaskinen, som videre reduserer klimagassutslippene.

Det er derfor vanskelig å vurdere om dokumentasjonen om beregningsfaktorene for anleggsmaskinene er representativ for anleggsbransjen.

Dokumentasjonen legger også til grunn antakelser om utnyttelsesgraden til anleggsmaskinen. For eksempel antas det i mange tilfeller at maskinen er i arbeid 50 minutter per time, som tilsier at maskinen ikke arbeider i 17 % av tiden. Funnene for tomgangskjøring gjort i casestudiet indikerer at 17 % ikke-produktiv tid kan være lavt.

Videre benytter VegLCA en antakelse om gjennomsnittlig distanse de hjulgående maskinene kjører. Hvordan denne distansen har blitt estimert er alle oppgitt. Dette gjør at det er utfordrende å ettergå hvorvidt dette er representative data for bransjen. Dette, sammen med funnene i casestudien, indikerer at distanse bør vurderes i hvert enkelt tilfelle.

En annen faktor som kan påvirke klimagassutslippene fra anleggsmaskiner er konsistens og massetetthet for massene anleggsmaskinen arbeider med. I dokumentasjonen for anleggsmaskinene oppgis det for mange av maskinene at det har blitt benyttet en gjennomsnittlig massetetthet. Det ligger ikke ved dokumentasjon for hva som på et statistisk grunnlag vil være en gjennomsnittlig masse for et anleggsprosjekt.

En siste faktor som oppgis i dokumentasjonen, er variasjoner i maskinførerens evner og ferdigheter. Maskinføreren kan påvirke maskinens drivstofforbruk, men det er ikke dokumentert i hvilken grad dette har påvirkning.

7.1.2 Faktorer utenfor systemgrensen til VegLCA

Mange faktorer vil falle utenfor systemgrensene for klimagassberegninger for anlegg. Dette er faktorer og kilder til utslipp som kan ha påvirkning på det totale klimagassutslippet på anlegget. Dette delen vil vise hvor det vurderes å være manglende kunnskap, og hvordan maskindata kan bidra til å bedre kunnskapen om disse utslippsskildene.

Enhver produksjonsbedrift vil være interessert i å effektivisere driften i størst mulig grad. Dette innebærer å benytte seg av minst mulig ressurser som personell, maskiner og øvrige produkter, samtidig som produksjonen skal være størst mulig. Denne balansegangen mellom ressurser og produksjon er noe en bedriftseier vil være interessert i å optimalisere for best mulig inntjening og klimaprestasjon.

Anleggsarbeidere som transporteres til og fra et anlegg utgjør en utslippspost som sjeldent inkluderes i klimagassberegninger. Observasjoner fra forskjellige anlegg viser at fly og bil er foretrukne og ofte eneste transportmidler til og fra anlegget for de som arbeider der. Samtidig bor ofte anleggsarbeidere på anlegget, noe som medfører behov for boenheter som ofte dekkes gjennom brakkerigger. Funksjonærene på anlegget benytter seg også ofte av kontorbrakker. Transporten og drift av denne riggen er noe som sjeldent inkluderes i beregningene.

Logistikk knyttet til stasjonering og disponering av mannskap og maskiner kan være en faktor som er interessant å vurdere i miljøsammenheng, men som ikke er inkludert i VegLCA. Dette er hensyn en entreprenør bør kunne vurdere, da det kan være forskjeller mellom klimagassutslipp på store sentraliserte anlegg versus mindre og/eller spredte anlegg.

Maskiner på anlegget genererer behov for transport av disse til og fra anlegget. Denne transporten av utelates ofte fra beregningene for anlegget. Flere maskiner på anlegget betyr økt behov for transport av anleggsmaskinene. Slike vurderinger bør kunne inkluderes når utslippskilder skal kartlegges. Transporten av materialer vil også generere klimagassutslipp, og er noe som kan vurderes.

7.2 Diskusjon om innsamling av maskindata

Masteroppgavens tredje forskningsspørsmål er «Hvordan kan det planlegges og tilrettelegges for innsamling av maskindata?». Hvordan dette kan gjøres, har blitt beskrevet i kapittel «5 Tilrettelegging for bruk av maskindata». Den første delen av masteroppgavens fjerde forskningsspørsmål spør «Hvordan kan maskindata brukes for å beregne klimagassutslipp fra anleggsmaskiner?». Dette har blitt vist gjennom casestudiet.

I arbeidet med å besvare det tredje og fjerde forskningsspørsmålet har det blitt avdekket at det er flere utfordringer knyttet til innsamling av maskindata. Denne delen av diskusjonskapittelet diskuterer slike utfordringer som eierskap til maskindataene og styrker og svakheter med rammeverket som ligger til grunn for innsamlingen av maskindata. Det presenteres til slutt hensyn som bør tas gjennom byggeprosessen for å tilrettelegge med innsamling av maskindata.

7.2.1 Eierskap og deling av maskindata

Uklarheter om hvem som eier maskindataene og hvem disse kan deles med, har skapt utfordringer gjennom arbeidet med denne oppgaven. Denne delen tar for seg hvilke konsekvenser uklart eierskap til data har, og spørsmål som bør avklares for at aktørene skal kunne dra nytte av maskindataene.

Det synes som det generelle prinsippet er at det er maskinleverandør som eier og har tilgang til maskindata. Maskinleverandøren bruker dette som underlag for reklamasjonssaker og for å kunne tilby kunden tilleggstjenester.

Entreprenøren er den som disponerer anleggsmaskinene og er den som utfører arbeid som generer informasjon som kan samles inn som maskindata. Dette gjør at maskindataene kan brukes til å overvåke entreprenørens produksjon. På grunn av dette, er det forståelig at mange oppfatter slik informasjon som forretningssensitiv.

Samtidig vil ikke maskindata nødvendigvis fortelle om hvordan et anlegg driftes. Faktorer som type materiale, hvor maskinen beveger seg på anlegget og føreren av maskinen vil kunne påvirke produksjonen. Maskindata forteller ikke direkte noe om dette. Mange entreprenører vil anse logistikk på anlegget og sine ansatte som viktige konkurransefortrinn, slik at andre data maskinene logger ikke er like viktige at holdes skjult.

Tomgangskjøring er noe som kan overvåkes ved hjelp av maskindata. Denne type data vil trolig kunne gjenspeile hvor effektivt en maskin arbeider og i så måte være en viktig faktor for entreprenøren for å drive lønnsomt. Åpenhet om tomgangskjøring kan gjøre at forskjellige bedrifter vil få oversikt over hvordan andre presterer. Dette kan gjøre at de som presterer dårligere vil se at de har noe å strekke seg etter, og på denne måten bli motivert til forbedring.

Byggherren vil kunne etterspørre maskindata som en leveranse i et prosjekt. Dersom slike data leveres, bør eierskapet til dataene avklares. Dersom entreprenøren anser maskindataene som forretningsensitive, vil de ikke ønske å dele dataene videre.

Dersom maskindataene leveres byggherre som en del av prosjektleveransen, vil byggherren i etterkant eie dataene. For byggherren kan slike data kunne brukes til forbedringsarbeid i forbindelse med nye prosjekter. Maskindata kan også fortelle om prosjektets miljøprestasjoner. For vegprosjekter er byggherrene i stor grad offentlig aktører, og maskindata kan derfor være av allmenn interesse.

Et annet aspekt er maskinleverandørens tilgang til maskindata. Det bør være mulig for entreprenøren å selv samle inn maskindata den genererer. Erfaringer fra arbeidet med oppgaven er at de ikke gjør dette i dag. Dette kan skyldes manglende kompetanse, manglende tilgang eller at det ikke har vært etterspørsel etter maskindataene.

Maskinleverandøren synes å ha tilgang til data generert av anleggsmaskiner de har levert. Dette gjør at maskinleverandøren også kan levere tilleggsprodukter til entreprenøren. Disse produktene virker å være lite brukt blant entreprenører i dag.

7.2.2 Rammeverk for innsamling av maskindata

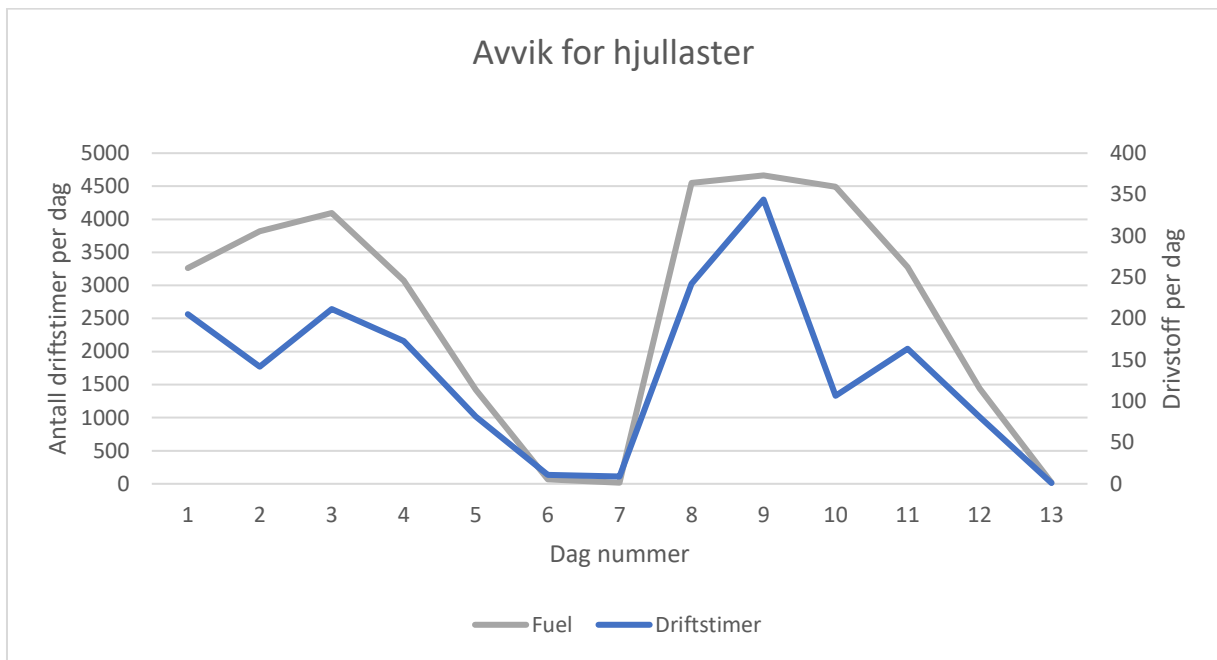
Maskindata overføres fra anleggsmaskin til server og fra server til en applikasjon på en datamaskin slik at en bruker kan få tilgang til maskindataene. Gjennom arbeidet med denne masteroppgaven har det fremkommet en rekke utfordringer ved denne dataflyten. Dette delen tar for seg slike utfordringer og tiltak som kan gjøres med casestudiet som eksempel.

Utveksling av data mellom maskin og server er ikke underlagt et felles rammeverk eller system. En konsekvens er at innholdet i data fra forskjellige produsenter varierer. Det har også blitt observert en variasjon i innholdet i data fra maskiner fra samme produsent i casestudiet.

Det er ikke en standardisert måte å angi når på døgnet en maskin skal registrere en status og rapportere til systemet. Et eksempel på dette er de innhentede dataene for kumulative operative timer for maskinene i forbindelse med casestudiet. Totalt inneholder datasettet i casestudiet 7393 unike rapporteringer. Av disse er 47 rapporteringer fra 4. januar, hvorav ingen har blitt rapportert samme tidspunkt. Blant de 47 rapporteringene er 8 mellom kl 01.00 og 04.00, mens 5 er fra etter kl 23. Dette er tidspunkter det kan tenkes at det ikke nødvendigvis blir utført arbeid. Gjennom undersøkelsene av datasettene i denne oppgaven ble det ikke observert noen fast takt for når på døgnet data ble registrert, da det kan virke som tidsstemplene er relativt spredte ut over døgnet.

Ut fra dette er det vanskelig for den som mottar dataene å tolke hva som trigger rapporteringen og hvorfor dataene har blitt rapportert på de aktuelle tidspunktet. Dette betyr at det ikke er en fast rytme eller bestemmelse som sier når data fra maskinen skal registreres. Slik kan sanntidsovervåking av flåten være utfordrende.

Maskindataene innhentet i casestudiet har stort sett blitt hentet fra registreringer tidlig på morgenen, før det er antatt at arbeidsdagen starter. Samtidig er det i datagrunnlaget flere maskiner det enkelte dager kun har blitt registrert én registrering på kvelden for maskinen. Et godt eksempel på dette er vist i Figur 19. I eksempelet avviker rapporteringer for driftstimer for dag 2, 3, 9 og 10 fra hva man kunne forvente på bakgrunn av drivstofforbruket.



Figur 19: Hjullasternes drivstofforbruk og driftstimer per dag i analyseperioden.

Variasjon i registrering av maskindata gjør at systemet eller brukeren som mottar dataene observerer avvik og må iverksetter tiltak for å normalisere dataene slik at avvik i rapporteringen ikke oppføres som avvik i produksjon.

For å løse utfordringer med avvik i tidspunkt maskindata registreres, kan det foreslås to konkrete tiltak: 1) maskinen skal registrere data hver gang tenningen skrues av eller på, eller 2) maskinen skal registrere data til faste klokkeslett gjennom døgnet. Disse tiltakene er noe som kan defineres av leverandør eller av disponent.

Rent generelt skal alle spørringer og responser av maskindata mellom server og bruker skal etter standarden merkes med et tidsstempel for når den ble sendt. Tidsmerkingen skal skje i henhold til ISO 8601, og uttrykkes etter koordinert universaltid. Dette inkluderer årstall, måned og time, mens minutter og sekunder frivillig kan inkluderes. Selv om formatet er standardisert, er det ikke standardisert hvilken tidssone som gjelder eller hvordan valgte tidssone skal angis.

De forskjellige maskinleverandørene er etablert i forskjellige land, og har dermed forskjellige tidssoner. Standarden åpner opp for at hver maskinleverandør kan benytte sin lokale tidssone. Dette medfører at dersom brukeren mottar data fra to maskiner den disponerer som er fra forskjellige produsenter, vil tidsstempelen på de mottatte dataene kunne være satt på bakgrunn av forskjellige tidssoner.

For å løse dette problemet, bør standarden angi en bestemt måte for hvordan systemet skal merke aktuell tidssone for dataene. Et forslag kan være at alle systemer skal forholde seg til én tidssone, for eksempel universaltid, som tilsvarer nullmeridianen og tidssonen UTC+0 (Wikipedia, 2020) (Ringnes, 2009). En annen mulighet er at de utvekslede dataene inneholder informasjon om tidssonen som er brukt, slik at mottakeren kan implementere en metode for omregning i sitt system.

Mange av datapunktene er etter standarden frivillige for partene å implementere. Dette medfører at dataene fra de forskjellige produsentene kan variere. Noen maskiner registrerer og leverer data om enkelte parametere uten at systemene rundt har blitt konfigurert for dette. Et eksempel på en slik registrering fra casestudiet kan sees på skjermbildet i Figur 20. Figuren viser data for om maskinen er skrudd av eller på. I henhold til standarden skal maskinen rapportere hver gang statusen endres, altså hver gang noen skrur på eller av motoren. Som det fremkommer av figuren, har tenningen til motoren tilsynelatende kun blitt skrudd på, og ikke av. Dersom en bruker ønsker å benytte disse dataene videre, vil denne type feilrapportering kunne medføre usikkerheter.

id	timestamp	type	engineStatusRunnin
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	06.01.2020 14:39	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	07.01.2020 11:59	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	07.01.2020 14:23	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	07.01.2020 15:18	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	07.01.2020 19:45	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	08.01.2020 07:13	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	08.01.2020 09:46	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	08.01.2020 11:01	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	08.01.2020 11:54	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	08.01.2020 12:51	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	08.01.2020 14:25	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	08.01.2020 16:49	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	08.01.2020 17:47	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	08.01.2020 18:17	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	09.01.2020 06:59	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	09.01.2020 07:20	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	09.01.2020 09:29	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	09.01.2020 10:24	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	09.01.2020 11:41	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	09.01.2020 13:14	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	09.01.2020 14:03	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	09.01.2020 14:39	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	09.01.2020 15:41	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	09.01.2020 17:54	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	10.01.2020 07:11	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	10.01.2020 08:10	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	10.01.2020 09:36	engineStatus	SANN
2nYdL7CGGih2KqAiSBZd6J33PHSXywQi	10.01.2020 12:03	engineStatus	SANN

Figur 20: Skjermbilde fra datasettet for maskinstatus fra casestudiet.

Standarden inneholder ikke definisjoner av hva de ulike postene skal inneholde. Dette kan gjøre at forskjellige leverandører setter opp systemene sine forskjellig. Statistikk for samme post i standarden kan derfor bygge på forskjellige typer grunnlagsdata.

Et slikt eksempel er for postene som omhandler tomgangskjøring. Standarden inneholder poster for «operativ» og «ikke-operativ» tomgangskjøring. Ikke-operativ tid defineres som tidsperioder der motoren går, men maskinen står stille og ingen pedaler røres. Samtidig er det ikke angitt en definisjon av tomgangskjøring. Det overlater standarden til hver leverandør. Dette åpner for forskjellige tolkninger av tomgangskjøring som videre gjør at statistikk fra forskjellige leverandører ikke nødvendigvis kan sammenlignes.

En annen form for tidsbruk som er inkludert i standarden er ikke-produktiv regenereringstid. Dette datafeltet er valgfritt. Det kan tenkes at enkelte leverandører kan inkludere denne tidsbruken i statistikken for tomgangskjøring, da det ikke produseres noe i denne tidsperioden.

Disse forskjellige måtene å angi tidsbruk på omfatter aktiviteter som ikke bidrar direkte til produksjon og følgelig vil være ønskelig å redusere i størst mulig grad. Skillet mellom de forskjellige datafeltene og hva statistikken faktisk omfatter er derfor viktig å klargjøre slik at det kan brukes som sammenligningsgrunnlag mellom forskjellige anleggsmaskiner, leverandører og produsenter.

7.2.3 Tilrettelegging for bruk av maskindata i byggeprosessen

I arbeidet med å redusere klimagassutslipp fra hele livsløpet til et vegprosjekt, er tilrettelegging for innsamling av maskindata, innsamling av maskindata og videre plan for bruk av maskindata er en forutsetning for å kunne utnytte data som genereres av anleggsmaskiner.

Erfaringer fra arbeidet med casestudiet og litteraturstudiet indikerer at det i dag ikke jobbes systematisk og gjennomgående med tilrettelegging, innsamling og bruk av reelle maskindata.

Funn gjort i litteraturgjennomgang og casestudie viser at flere hensyn må tas for at man skal lykkes med innføring og bruk av ny teknologi. Basert på denne kunnskapen, presenteres det i den følgende delen av oppgaven en generell anbefaling for hvordan man kan tilrettelegge for en hensiktsmessig innsamling og bruk av maskindata gjennom hele byggeprosessen, sett fra ulike perspektiver. Hensynene plasseres tidsmessig i henhold til *Neste Steg*, presentert i delkapittel 3.1 Faser i byggeprosessen.

Hvem som setter krav til og ønsker å samle inn eller benytte maskindata, avgjør hvor i byggeprosessen krav skal stilles og når hensyn skal tas. Det kan skilles mellom tilfeller der byggherre ønsker at maskindata skal høstes og der entreprenøren selv ønsker å høste data.

7.2.3.1 Byggherres perspektiv på bruk av maskindata

For en byggherre starter prosessen med å planlegge for høsting av maskindata i tidligfasen av anleggsprosjektet. I inngangen til og gjennom steg 1, behovsfasen, vil det i liten grad handle om tilrettelegging for innsamling av maskindata i prosjektet. Samtidig kan steg 1 omfatte undersøkelser av hvilken teknologi som er tilgjengelig i markedet, hvilke muligheter det kan skape og hvordan forskjellige entreprenører stiller seg til eierskap og bruk av maskindata.

Når prosjektet entrer steg 2, program og konseptutvikling, skal det utarbeides rammer, konsept og målsetninger for anleggsprosjektet. Blant disse målsetningene kan det være målsetninger om bruk og høsting av maskindata. Gode og tydelige målsetninger er avgjørende for et godt resultat. Samtidig har det blitt vist at forståelsen av målsetningene i mange prosjekter er varierende og dårlig. (Brottveit og Orucevic, 2013) Gode og tydelige definerte målsetninger for bruk av maskindata bør derfor være en vesentlig del av definisjonen og de rammer som settes i dette steget.

I steg 2 skal kun de store rammer settes, og konseptet skal ikke utvikles i en fullstendig grad. Under samlingen *Grønn anleggssektor* ble det av en representant fra Statens Vegvesen (SVV) opplyst om at SVV skal i gang med sitt første prosjekt der de stiller krav

om dokumentasjon av drivstofforbruk på anlegget. Dette er en type mål som kan defineres tidlig i byggeprosessen og dermed sikre at de blir hensyntatt i senere faser. Andre gode målsetninger kan være at det skal samles inn maskindata som kan brukes til klimagassutslippsreducerende tiltak, at data skal høstes og lagres for fremtidige prosjekter, eller lignende. En mindre konkret måte å definere målsetningen på kan være at prosjektet skal være et foregangsprosjekt.

En form for foregangsprosjekt er pilotprosjekter. Pilotprosjekter har blitt vist å kunne være en viktig faktor for å være villig til å ta nødvendig risiko som kreves for at man skal lykkes med testing og innføring av ny teknologi. For at slike pilotprosjekter skal lykkes, bør prosjektet ha en bestemt uttalt målsetning om bruk av ny teknologi. På denne måten inkluderes innføringen av den nye teknologien i konseptet fra et tidlig stadium.

Målsetningene bør beskrive formålet for høsting av maskindataene. Slike målsetninger vil være noe som styrer videre planlegging av hvilke data som er hensiktsmessig å samle inn og hvordan leveransene skal bygges opp.

De løse rammene med målsetninger definert i steg 2 skal gjennom steg 3, konseptbearbeiding, beskrives tydeligere og det skal i økt grad konkretiseres hvordan maskindataene skal samles inn og brukes.

Gjennom konsekvensanalyser vil fordeler og utfordringer ved innsamling av maskindata kartlegges. Utfordringer kan omfatte økte kostnader, økte krav til teknisk kompetanse, eller potensiale for at produksjonen må vente på at det tekniske skal virke. På den positive siden kan det trekkes frem at det man kan oppnå gunstige klimaeffekter, bedre kostnadsstyring og bedre planlegging av prosjektet basert på maskindata.

I steg 3 skal også grunnlag for kontrahering av utførende part utarbeides. Byggherren bør i dette grunnlaget inkludere målsetningene for innsamling av maskindata. Dette kan gjøres ved å kreve at maskindata skal være en leveranse på linje med som-bygget-dokumentasjon, krav til oppdateringer med jevne mellomrom som for eksempel statusrapporter eller kontinuerlig oppdatering som tillater byggherre å følge med i sanntid. Kontrakten bør også inneholde klare retningslinjer for hvilke data som skal leveres og om de skal leveres i henhold til en gitt standard. Totalt sett gir dette en kravspesifikasjon i kontrakt som den utførende parten må forholde seg til.

Steg 4 er detaljprosjektering av prosjektet. En stor del av arbeidet med å redusere klimagassutslippene i dette steget er å evaluere og inkludere forskjellige klimagassutslippsreducerende tiltak. Maskindata fra tidligere prosjekter kan bidra til mer nøyaktige estimater og bedre beslutningsgrunnlag. Hvilke valg som kan gjøres og hvordan maskindata kan være en beslutningsstøtte, beskrives i delkapittel 7.3 Maskindata som metode for beregning av klimagassutslipp.

Byggherre og prosjekterende bør gjennom dette steget ha god og åpen dialog med entreprenøren om systemet for innsamling av maskindata og hvordan leveransene skal utformes slik at maskindataene leveres på en tilfredsstillende måte.

Det neste steget, steg 5, er produksjonen, altså at anlegget skal bygges. I dette steget produseres det løpende maskindata. I tilfeller der entreprenør skal levere maskindata i sanntid eller som regelmessige rapporter, bør byggherre motta disse dataene og lagre dem på en hensiktsmessig måte. Her er det viktig at byggherren mottar de dataene som i tidligere steg har blitt definert at skal bli samlet inn.

For mange tilfeller vil tiltak for å redusere klimagassutslipp fra maskinparken, som har blitt bestemt i planleggingsfasen, gjennomføres i steg 5. Maskindata kan brukes for å dokumentere de forhold som foreligger på anlegget, herunder forbruk av drivstoff, mengder masse som behandles og ikke-produktiv tid for maskinene.

I tilfeller der maskindata brukes for dokumentasjon av tiltak, vil det være viktig å hensynta detaljeringsgraden for beregningene i et klimabudsjett versus detaljeringsgraden i klimagassregnskapet. Da sistnevnte kan baseres på faktiske forhold og statistikk generert av maskinene, gjør det at alle faktorer og prosesser vil kunne inkluderes. På denne måten oppnår man en mer komplett oversikt enn med et budsjett basert på generelle estimater. Et klimagassbudsjett vil ikke kunne ha en tilsvarende detaljeringsgrad, da det til en viss grad må baseres på anslag. Sammenligningen av budsjett og regnskap der maskindata blir brukt som dokumentasjon i regnskapet, må derfor tas hensyn til.

Når prosjektet er ferdigstilt, skal det i steg 6 overleveres og tas i bruk. I dette steget skal byggherre kontrollere at entreprenør har levert i henhold til kontrakt og målsetninger. Dette gjelder også leveransene av maskindata. For tilfeller der maskindata kun skal leveres i slutten av prosjektet, skal dette være en leveranse som først kommer etter anleggsmaskinene har trukket seg ut av prosjektet og alle forpliktelser er oppfylt. På denne måten sikres det at arbeid som gjøres i forbindelse med ferdigstilling og eventuelle utbedringer før overlevering er inkludert i leveransen av maskindata.

Gjennom steg 7 brukes og forvaltes anlegget. I forbindelse med dette arbeidet vil det etableres kontrakter med en ansvarlig entreprenør som drifter anlegget. Dette arbeidet kan omfatte anleggsmaskinbruk. For å kunne høste maskindata gjennom dette steget, bør derfor kontrakten inneholde krav til leveranser for maskindata, slik det beskrives for kontrakten for gjennomføring.

Når anlegget er i bruk, kan maskindata fra produksjonen lagres og brukes videre som statistisk erfaringsgrunnlag i nye prosjekter. Lagring og forvaltning av disse dataene er derfor viktig. Dataene som samles inn bør i utgangspunktet omfatte informasjon om maskinen den er hentet fra. I tillegg bør det i dette steget sikres at det er prosjektspesifikk informasjon i datasettet. Dette kan være informasjon om høydeforskjeller langsmed linja, generelle kjøreforhold og hvilke typer masser som er bearbeidet. Ved å tilføre slik prosjektspesifikk informasjon, vil det være mulig å opprette en database med reelle erfaringsdata slik at kompetansen for om hva som fungerer og ikke fungerer styrkes.

Når et prosjekt når det siste steget, steg 8, avvikles prosjektet. I forbindelse med avvikling vil det i mange tilfeller benyttes anleggsmaskiner. I forbindelse med kontrahering av aktøren som skal gjennomføre denne arbeidsoperasjonen, bør krav til maskindata stilles i kontrakt på linje med det som har blitt gjort under kontrahering for produksjon og drift.

Det er risiko for at data samlet inn gjennom hele prosjektet vil gå tapt og ikke brukes videre etter dette steget. For en byggherreorganisasjon kan dette være nyttig erfaringsdata å ta videre inn i nye prosjekter. Dette kan gjøres ved hjelp av for eksempel en database, slik det ble beskrevet i steg 7.

7.2.3.2 Entreprenørens perspektiv på maskindata

Entreprenøren er den parten som gjennomfører produksjonen av anlegget. Denne parten kan omfatte en eller flere aktører ved samarbeid mellom bedrifter, eller ved at en hovedentreprenør kontraherer en eller flere underentreprenører. Det er entreprenøren/entreprenørene som disponerer anleggsmaskiner, og derfor den parten som genererer maskindata som kan høstes.

Entreprenørens kan ved utvikling av konsept i steg 2 bidra med sine perspektiver og erfaringer. På denne måten sikres det videre at de krav som blir stilt i kontrakten er gjennomførbare og relevante for bransjen.

Entreprenøren starter mobilisering i steg 4. I dette steget vil entreprenøren starte sitt arbeid for å planlegge gjennomføringen av alle ledd i prosjektet, inkludert innsamling og bruk av maskindata. Dette steget innebærer mange aktiviteter for entreprenøren.

I den første fasen av steg 4 bør entreprenøren utrede hvilke maskindata som skal samles inn. Dette kan det bli stilt krav om fra byggherre, eller definert entreprenøren definerer. For førstnevnte vil krav stilles i anbudsdokumenter fra byggherre. Disse inneholder målsetninger og ambisjoner for maskindata som skal samles inn. Denne fasen omfatter derfor å kartlegge hvilke målsetninger som er spesifisert og forstå hva disse innebærer.

Innsamling av maskindata kan også være noe entreprenøren ønsker å gjennomføre på egenhånd. I slike tilfeller vil ikke nødvendigvis dataene tilgjengeliggjøres for byggherre, og krav og behov vil ikke være definert i tilbudsdokumenter.

Dersom entreprenøren selv initierer til en prosess for å høste og bruke maskindata, bør det beskrives hvilke behov innsamling av maskindata skal dekke. Denne delen av prosessen kan sees på som en innovasjonsprosess, der mange idéer genereres og gjennomførbarheten og nytte-kost for disse evalueres.

Videre skal entreprenøren konkretisere rammer for gjennomføringen av høsting av maskindata. Denne prosessen innebærer å kartlegge hvilke metoder som kan benyttes for innsamlingen av maskindata. Eksempler på digital innsamling er beskrevet i kapittel 5 Tilrettelegging for bruk av maskindata, alternativt manuell analog innsamling basert på avlesning av målere i anleggsmaskinene. Utredning av konsept kan også innebære å undersøke forskjellige leverandører av systemer for innsamling av maskindata. En slik leverandør kan være Fremby.

Prosjektets suksesskriterier skal også beskrives. Eksempler på dette kan være at prosjektet skal samle inn spesifikke maskindataelementer, at det skal dokumenteres en gitt prestasjon for anleggsmaskinene sammenlignet andre prosjekter, eller at ikke-produktiv tid for anleggsmaskinene reduseres.

Videre må det undersøkes hvilke kostnader og gevinster som kan oppnås ved innsamling av maskindata. Ut fra en slik undersøkelse kan det gjøres nærmere vurderinger av gjennomførbarheten til maskindatainnsamlingen.

Dersom man skal gjennomføre dette som et pilotprosjekt bør man undersøke muligheter for økonomisk støtte fra organisasjoner som Enova, Innovasjon Norge eller Forskningsrådet. Slik støtte kan bidra til at de økonomiske kostnadene for entreprenør eller byggherre reduseres og på denne måte øker gjennomførbarheten av maskindatainnsamlingen.

Dersom dette er første gang entreprenøren velger å innhente maskindata uten ekstern leverandør, vil den måtte utvikle et system for datainnsamling. Hvordan et slikt system kan bygges opp presenteres 5 Tilrettelegging for bruk av maskindata. Det bør foreligge en plan for hvordan maskindata skal samles inn, og hvordan disse dataene skal brukes i produksjonen. Dette medfører at når entreprenøren starter prosjektet, skal alle systemer være klare for bruk.

Gjennom produksjonen kan maskindata høstes. Dersom målsetningen er å gjøre optimaliseringer underveis i byggeprosessen, kan maskindata i løpet av denne prosessen bidra som beslutningsgrunnlag og for å gi beslutningstakere en bedre innsikt i faktiske forhold.

Dersom det er byggherre som etterspør innsamlede maskindata, skal entreprenøren samle inn maskindata og leveranser overleveres i henhold til det partene har blitt enige om. Dersom entreprenøren er den aktøren som selv initierer innsamling av maskindata, vil den høste data slik at det kan brukes for å bedre drift eller senere kunne brukes som erfaringsgrunnlag. I begge tilfeller kan det oppdages problemer, spesielt dersom systemet er nytt og ikke grundig testet ut. Vedlikehold og oppdatering av systemet for innsamling og bruk av maskindata er derfor viktig gjennom hele produksjonen.

7.3 Maskindata som metode for beregning av klimagassutslipp

Masteroppgavens fjerde forskningsspørsmål er todelt. Dette kapitlet drøfter den andre delen av forskningsspørsmålet som er «Hvordan kan beslutningstaker bruke slike beregninger for å redusere klimagassutslipp?».

I diskusjonen drøftes hvordan maskindata på generell basis kan brukes som beslutningsstøtte ved vurdering av ulike tiltak og hvordan maskindata i seg selv kan være en driver for en mer klimavennlig bruk av anleggsmaskinene.

7.3.1 Maskindata for vurdering av klimagassreduserende tiltak

For at beslutningene som tas skal være best mulige, er det avgjørende at vurderingene er gjort på et best mulig grunnlag. Denne delen skal vise hvordan maskindata kan brukes for å gjøre beslutningsgrunnlaget best mulig.

Beslutningstakeren som vurderer tiltak, er gjerne en byggherre som vil stille krav til prestasjoner og tiltak som skal gjøres i prosjektet. En annen beslutningstaker som må vurdere tiltak, er en entreprenør som først skal vinne et anbud der miljøprestasjon er et tildelingskriterium og deretter gjennomføre prosjektet.

Eksempler på tiltak som kan innføres for anleggsmaskiner er å erstatte fossile brensler med andre energibærere som biodiesel eller elektrisitet, bruke maskiner av andre størrelser eller å endre plasseringen på masseuttak. For å kunne vurdere effekten av disse tiltakene, vil det være behov for å analysere størrelsen på utslipp ved et nullalternativ og hvor mye reduksjon det kan forventes at et tiltak vil medføre. Kvaliteten på beslutningen avhenger derfor i stor grad av relabiliteten på de data som ligger til grunn på vurderingene.

Nullalternativet vil i mange tilfeller være å fortsette som før, med maskiner drevet av diesel, der hver maskin skal være størst mulig, men ikke større enn at kapasiteten blir utnyttet maksimalt, og maskinen har en forholdsvis høy grad av dødtid.

For vurderingen av nullalternativet brukes gjerne LCA-verktøy med gjennomsnittlige beregningsfaktorer. Samtidig vil nullalternativet i mange tilfeller ha vært en metode for tidligere gjennomføring av prosjekter. I organisasjonen som utfører og følger opp beregningene kan benyttet seg av slike metoder, og dermed vil kunne vurdere effektene av tiltaket på en subjektiv måte.

For vurdering av nullalternativet kan det tenkes at erfaringsdata fra tidligere prosjekter kan brukes. Ved å samle data fra forskjellige prosjekter i en erfaringsdatabase, vil den som skal vurdere nullalternativet kunne søke her for å finne statistikk fra tilsvarende prosjekter. Her kan en finne ut hvor mye drivstoff, og dermed klimagassutslipp, en bestemt maskin vil kunne forventes å forbruke per enhet arbeid som utføres.

Vurderingen av alternative energibærere vil kunne ha svakheter. Vurderingen kan ofte bygge på informasjon fra fabrikant som sier hvor mye energi maskinen bruker per mengde behandlet masse. Denne type fabrikkdata har vist seg å være svært dårlige for å vurdere energibruk til ikke-veigående anleggsmaskiner i praksis. Dermed får vurderingen en betydelig usikkerhet, med en ukjent størrelse.

For vurdering av en alternativ energibærer, kan det være en forenkling å si at overgang fra diesel til elektrisitet eller biodiesel medfører et totalt utslippskutt. Produksjonen av elektriske anleggsmaskiner kan medføre mer klimagassutslipp enn produksjonen av dieseldrevne maskiner. I en prosess der tiltak med alternative energibærere vurderes, er det derfor viktig å ta hensyn til både produksjon av maskinen, og bruk og drift av denne.

Skal strøm eller biodrivstoff vurderes som alternativ energibærer, er det i evalueringsprosessen viktig å inkludere hvilke tilleggskrav dette medfører. Det kan være infrastruktur for strømforsyning til elektriske maskiner og leverandørers kapasitet for biodiesel. For å kunne vurdere disse tilleggskravene, vil det være hensiktsmessig med gode evalueringer av nåsituasjonen. Maskindata kan støtte oppunder slike vurderinger. En annen vurdering som må hensyntas, er at en el-motor er mer energieffektiv enn en dieselmotor. Dermed er total energimengde brukt i anlegg med elektriske maskiner lavere enn der det brukes dieseldrevne maskiner.

For vurderingen av nye energibærere, vil maskindata basert på tidligere prosjekter kunne si hvor mye energi som kreves for den alternative energibæreren. I tilfeller der det vurderes elektrisk energibærer, vil maskindataen kunne brukes til å vurdere nødvendig batteri- og ladekapasitet. For alternativer med biodrivstoff er det avgjørende at det er tilstrekkelig biodrivstoff i markedet til å dekke den etterspørselen dette tiltaket vil medføre. Derfor må det beregnes hvor stor etterspørsel dette tiltaket eventuelt vil medføre.

Når det vurderes hvilke maskiner som skal brukes på anlegget, benyttes gjerne gjennomsnittlige data for utslipp. De gjennomsnittlige dataene medfører at kan fremstå som mest effektivt å velge størst mulig maskin så lenge kapasiteten er utnyttet maksimalt. Alternativt kan en tenke seg to scenarier der en har en maskin hvor kapasiteten er maksimalt utnyttet eller to mindre maskiner med noe restkapasitet. For å kunne evaluere disse scenariene mot hverandre, kan maskindata brukes for å ha oversikt over hvordan tidligere prosjekter har prestert.

Ikke-produktiv tid for en anleggsmaskin er i liten grad tema i litteratur som har blitt gjennomgått i arbeidet med denne oppgaven. Det kan derfor antas at dette er et tema det i liten grad har blitt etterspurt dokumentasjon for. Uten dokumentasjon eller tilgang å reelle data vil det være vanskelig å analysere dødtiden: hvor, hvorfor og hvordan den

oppstår. Samtidig kan dødtid være en viktig utslippsfaktor da det omfatter tomgangskjøring der maskinen står stille mens motoren er i drift.

Effektivisering av hvordan anleggsmaskiner disponeres er noe den som disponerer maskinene gjerne bruker betydelig tid og energi på for å tilrettelegge for best mulig drift. Dette arbeidet gjøres gjerne ved å forsøke å kartlegge driften best mulig ved hjelp av subjektive observasjoner som legger til rette for kvalitative vurderinger. En overgang til maskindatabaserte vurderinger vil kunne gjøre denne vurderingen mer objektiv og kvantitativ.

Mange aktører har i dag ikke oversikt over reell dødtid for maskinene på anleggsprosjekter. Dødtid er tid maskinen står stille og går på tomgang eller ikke er i drift. Omfanget av tomgangskjøring er noe som i dag ikke er godt dokumentert. Tomgangskjøring er noe som i seg selv medfører utslipp av klimagasser. Denne type tidstyv gjør også produksjonen ineffektiv og gjør at produksjonen potensielt må ha en større maskinpark enn nødvendig. Ved å kartlegge dødtid, kan det vurderes å innføre tiltak som kan begrense konsekvensene av dette.

Tomgangskjøring er i stor grad forårsaket av at maskiner må stå og vente på arbeid. For å redusere tomgangskjøring, kan hastigheten på kjøretøy som driver massetransport reduseres eller økes eller planleggingen kan involvere en mindre grad av slakk. For å kunne evaluere hvor stort potensialet er for slike tiltak, er det avgjørende at nå-status er godt kartlagt. Endringer i kjørehastighet kan også være en faktor som påvirker maskinens drivstofforbruk og dermed påvirke klimagassutslippene. Innsamling av maskindata fra faktiske prosjekter vil være en god måte å kartlegge slikt.

Maskindata vil ikke bare være viktig for å kartlegge nullalternativet, det vil også kunne være en viktig bidragsyter for å vurdere eventuelle ekstra tiltak for å redusere klima- og miljøbelastning.

7.3.2 Effekten av bevisstgjøring

I arbeidet med masteroppgaven har det kommet frem at maskinføreren vil kunne påvirke drivstofforbruket til anleggsmaskinen. Ved at maskinfører får direkte tilgang til egne driftsdata, kan dette gi en bevisstgjøring som kan bidra til å redusere klimagassutslippene.

Et eksempel er å stimulere til et konkurransepreget fokus der maskinførere konkurrerer mot hverandre. Dette har blant annet gjort av Dokken Bygg & Anlegg AS, som kårer «ukas tomgangsmester». Tiltaket beskrives av daglig leder Stian Dokken som et godt tilskudd for kultur, og noe som oppleves «moro» for av ansatte. (Søderholm, 2019) En annen mulighet er å ta utgangspunkt i prestasjoner for de ulike ansatte og la dem lære av hverandre. En tredje mulighet er å sende maskinførere på kurs i energiokonomisk kjøring.

Logging av maskinførerens prestasjoner kan være i strid *Arbeidsmiljøloven* og/eller *Personopplysningsloven*. Det er derfor viktig at loggingen gjøres på en måte der arbeidsgiveren ikke skaper en situasjon der maskinføreren føler seg overvåket. Et tiltak som kan hindre dette er god dialog med hver enkelt medarbeider, informasjon og godt samarbeid med de tillitsvalgte.

8 Konklusjon

Denne masteroppgaven tar utgangspunkt i problemstillingen: «Kan maskindata bidra til å identifisere vesentlige tiltak for å vurdere klimagassutslipp fra anleggsmaskiner?». For å besvare problemstillingen, har det blitt brukt fire forskningsspørsmål. I dette kapittelet konkluderes det for hvert av forskningsspørsmålene og til slutt besvares problemstillingen.

1. Hvilke tiltak for å redusere klimagassutslipp fra veganlegg er i dag dokumentert i Norge?

For å besvare masteroppgavens første forskningsspørsmål, har det blitt gjennomført en litteraturstudie. Litteraturstudiet har blitt knyttet til byggeprosessens åtte steg definert av fasenormen *Neste Steg*. Litteraturstudiet viser at det er i de tidligste fasene av et prosjekt de vesentligste klimagassreduksjonene kan oppnås. Samtidig er det funnet lite dokumentasjon om tiltak for anleggsmaskinene i produksjonsfasen.

De to første stegene av en byggeprosess er kartlegging av behov og utvikling av konsept. Prosjekteier skal kartlegge hvilke behov veganlegget skal dekke, herunder undersøke behovet i fremtiden, definere målsetninger for miljøprestasjon og velge et egnet konsept. For å oppnå bærekraftig utbygging må prosjektet minimere naturinngrep og bruk av materialer som betong og asfalt.

I steg tre og fire av byggeprosessen skal vegkonseptet bearbeides og detaljprosjekteres. Konseptet må konsekvensutredes. I dette må det avdekkes negative miljøeffekter av veganlegget og basert på dette, identifisere nødvendige tiltak. Miljørelaterte målsetninger bør inkluderes i kontrakten mellom byggherre og entreprenør. Detaljprosjekteringen gir store muligheter for optimalisering av konstruksjoner og vegoppbygning slik at materialbruken kan reduseres. Et eksempel på dette er å prosjektere med prefabrikkerte bruelementer fremfor plassbygde.

Steg fem i byggeprosessen er produksjon av anlegget. Viktige tiltak i dette steget vil være å bruke resirkulert asfalt, betong og armering i produksjonen av de respektive materialene. Omtrent 1/3 av klimagassutslippene i byggeperioden stammer fra anleggsmaskinene. For å redusere disse klimagassutslippene, vil alternative energibærere som hydrogen, elektrisitet eller biodiesel, kunne brukes.

2. Hvordan beregnes baseline for klimagassutslipp fra anleggsmaskiner?

For å besvare masteroppgavens andre forskningsspørsmål, har det blitt gjennomført en gjennomgang av hvordan man beregner klimagassutslipp fra anleggsmaskiner. Videre har det blitt gjort en gjennomgang av dokumentasjon som ligger til grunn for beregningsmetoden.

Bruk av regneverktøyet VegLCA er den viktigste metoden for beregning av klimagassutslipp fra veganlegg og anleggsmaskiner i Norge. VegLCA bruker generiske

beregningsfaktorer som multipliseres med anslått mengde masse som skal behandles, for å beregne drivstofforbruk fra anleggsmaskinene. Klimagassutslippene fra maskinene beregnes ved å multiplisere drivstofforbruket med en utslippsfaktor.

Beregningsfaktorene i VegLCA er basert på rapporter som har undersøkt drivstofforbruket til anleggsmaskinene. Gjennomgang av dokumentasjonen for flere av anleggsmaskinene indikerer imidlertid at rapportene i stor grad bygger på antakelser. Eksempler på faktorer som tas hensyn til i dokumentasjonen, men som det ikke har blitt presentert underlag for i dokumentasjonen, er tomgangskjøring og transportdistanser.

Det er derfor usikkerhet knyttet til beregnede klimagassutslipp fra anleggsmaskiner basert på denne metoden.

Samtidig trenger bransjen en omforent metode for beregning av klimagassutslipp som kan brukes for ulike prosjekter uavhengig grunnforhold, topografi og lignende. VegLCA synes å tjene dette formålet tilfredsstillende.

3. Hvordan kan det planlegges og tilrettelegges for innsamling av maskindata?

Det tredje forskningsspørsmålet som har blitt undersøkt er hvordan det kan planlegges og tilrettelegges for innsamling av maskindata.

For å lykkes med innføring av ny teknologi og nye arbeidsmetoder, er det avgjørende med tydelige planer og målsetninger for hvordan dette skal kunne gjennomføres i praksis. Det foreslås derfor fem trinn for hvordan man kan lykkes med innsamling av maskindata. Det første trinnet er ved anskaffelse av anleggsmaskiner og sensorer. Det bør her sikres at anleggsmaskinen har nødvendige sensorsystem for å logge arbeidet den utfører. Det andre trinnet er å tilrettelegge infrastruktur fra anleggsmaskin til en server slik at dataene fra maskinen lagres sentralt. Det tredje trinnet er å gjøre maskindataene tilgjengelig for brukeren og/eller den som styrer prosjektet. Denne datautvekslingen bør følge telematikkstandarden ISO/TS 15143-3:2020. Fjerde trinn er å presentere dataene for brukeren. Dette bør gjøres på en slik måte at brukeren kan nyttiggjøre seg av maskindataene på en enklest mulig måte. Det femte og siste trinnet er å lagre maskindataene slik at de kan brukes som erfaringsgrunnlag ved senere prosjekter.

Arbeidet med casestudiet har avdekket spesielt to utfordringer ved innsamling av maskindata. Den første utfordringen er at eierskapet til maskindataene synes å være uavklart. Når anleggsprosjekter gjennomføres, anbefales det derfor å avklare hvilken eller hvilke parter som eier maskindataene underveis i prosjektet og etter overlevering av ferdig anlegg. Den andre utfordringen er at standarden som ligger til grunn for overføring av maskindata fra server til bruker. Denne standarden åpner for en rekke tolkninger fra systemleverandørens side, noe som kan medføre ikke-konsistente data. Tydelige spesifiseringer av hvem som eier, hva maskindataene skal inneholde og hvordan de skal samles inn er derfor viktig.

4. Hvordan kan maskindata brukes for å beregne klimagassutslipp fra anleggsmaskiner? Hvordan kan beslutningstaker bruke slike beregninger for å redusere klimagassutslipp?

For å besvare masteroppgavens fjerde forskningsspørsmål, har det blitt gjennomført en casestudie. Casestudien viser at maskindata kan brukes for å beregne klimagassutslipp fra anleggsmaskiner ved å gi grunnlag for analyser som fører til beregningsfaktorer for drivstofforbruk.

Resultatet av casestudien viser at utvikling av beregningsfaktorer basert på reelle maskindata kan gi mer treffsikre beregninger for klimagassutslipp enn bruk av VegLCA. Dette skyldes at drivstofforbruket for hjulgående anleggsmaskiner i stor grad synes å ha sammenheng med distanse maskinen kjører, noe som ikke er hensyntatt i VegLCA. Det anbefales derfor at anleggsmaskinenes kjøredistanser vurderes ved beregning av klimagassutslipp fra maskinene.

Maskindata kan brukes for å styrke beslutningsgrunnlaget til en beslutningstaker som skal vurdere hvilke tiltak som kan iverksettes for å redusere klimagassutslipp fra anleggsmaskinene. Maskindata kan bidra til en bedre oversikt over drivstofforbruket for anleggsmaskiner. Denne oversikten kan brukes som baseline for vurdering av tiltak. Denne baselinen kan brukes for å kartlegge hva som er nødvendig av infrastruktur for at anleggsmaskinene skal kunne bruke alternative energibærere som hydrogen, elektrisitet og biodiesel.

➤ Problemstilling: Kan maskindata bidra til å identifisere vesentlige tiltak for å redusere klimagassutslipp fra anleggsmaskiner?

Resultatene i denne masteroppgaven viser at maskindata kan bidra til å identifisere tiltak som kan redusere klimagassutslippene fra anleggsprosjekter. Maskindata kan gi bedre grunnlag for vurdering av nåsituasjonen for hvordan anleggsmaskiner brukes. Det bør defineres klare målsetninger og planer for innsamling og bruk av maskindata. Dette anbefales gjort fra anleggsprosjektets tidligfase for å få størst effekt.

Funnene i masteroppgaven viser at det er stor entusiasme for bruken av maskindata i bransjen, at pilotprosjekter allerede er initiert, og at det kan forventes at maskindata vil bli brukt i arbeidet med å redusere klimagassutslipp fremover. Samtidig viser funnene at en rekke avklaringer må gjøres og at teknologien må modnes.

Mange aktører vil i dag ha en stor mengde tilgjengelig maskindata. I dette har de en uvurderlig kilde for å beslutte tiltak. Oppgaven viser at dersom en bedrift har økt bærekraft som mål, kan slike data danne et viktig grunnlag.

Maskindata har utvilsomt et uforløst potensiale til å bidra for å identifisere effektive tiltak som kan redusere klimagassutslipp fra anleggsmaskiner og dermed bidra til mer bærekraftige vegprosjekter.

Videre arbeid

Temaet maskindata har vist seg å skape stort engasjement blant informanter og andre personer i bransjen. Mange ser mulighetene ved slik teknologi og stiller seg positive til å ta i bruk maskindata. Samtidig virker det som at det er en betydelig terskel i å faktisk samle inn og maskindata i prosjekter. Dette virker å skyldes to forhold. Det ene forholdet er at teknologien ikke er moden i tilstrekkelig grad. Det andre forholdet er at det ikke etterspørres i nødvendig grad av byggherre. Mange personer forfatteren har snakket med opplyser at de savner kravstillinger fra byggherre, og at krav vil medføre økt modenhet og utvikling av teknologien. Videre virker det som at byggherre savner gode grunnlag for å vite hvilke data de skal etterspørre og hvordan denne skal leveres. Utredninger av slike spørsmål vil derfor være aktuelle for videre arbeid.

Denne oppgaven har beskrevet og drøftet to tilnærminger til beregning av klimagassutslipp. Den ene er VegLCA som er basert på en rekke forutsetninger. Den andre tilnærmingen er basert på innsamling av maskindata registrert ved bruk av anleggsmaskinene. Denne oppgaven har vist at VegLCA er hensiktsmessig for å få overblikk over tiltak som kan iverksettes for å redusere klimagassutslipp fra anleggsmaskiner. Den andre tilnærmingen har gitt et mer faktisk grunnlag for vurdering av konkrete tiltak for disse prosessene. I det videre arbeidet vil det være hensiktsmessig å utvikle dataverktøy som gir mulighet for å kombinere disse to tilnærmingene.

Denne oppgaven omfatter en prosjektspesifikk casestudie. Videre arbeid vil være å gjennomføre en casestudie med flere involverte virksomheter og større datagrunnlag. En slik studie vil være nødvendig for å undersøke et representativt utvalg anleggsmaskiner fra bransjen.

Referanser

- Andersen, G. (2019) *Valg av informanter*. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/nb/subjects/subject:19/topic:1:195989/topic:1:195829/resource:1:56943> (Hentet: 03. juni 2020).
- Asko (ukjent år) *Heleketrisk transportkjede på tvers av Oslogjorden*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/globalassets/project/elingo/asko-presentasjon.pdf> (Hentet: 07. juni 2020).
- Asplan Viak (2019) *Bygg- og anleggssektorens klimagassutslipp*. Tilgjengelig fra: https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp_bae_2019.pdf.
- Automile (ukjent år) *Fleet management*. Tilgjengelig fra: <https://automile.no/fleetmanagement> (Hentet: 12. mai 2020).
- BaneNor (2018) *InterCity-prosjektet - Østfoldbanen, Fredrikstad–Sarpsborg - Miljøbudsjett bane - Seut–Rolvøy*. Tilgjengelig fra: https://www.banenor.no/contentassets/c4d1472fff1648108caec8a31ce9b4c8/icp-16-a-25146_01a_miljobudsjett-bane.pdf.
- BaneNor (2019) *InterCity-prosjektet - Østfoldbanen, Fredrikstad–Sarpsborg - Miljøbudsjett jernbane - Rolvsøy- Klavestad*. Tilgjengelig fra: https://www.banenor.no/contentassets/9d46c47d40344aa788502d1264bab65c/icp-16-a-25272_01a_001-1_miljobudsjett-jernbane.pdf.
- Bardal, K. G., Gjertsen, A. og Reinart, M. B. (2019) *Barrierer mot mer bærekraftig mobilitet*. Nordlandsforskning. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/_attachment/2612127/binary/1314458?fast_title=Barrierer+mot+mer+b%C3%A6rekraftig+mobilitet+-+NF-rapport+01-2019.pdf.
- Bentzrød, S. B. (2016) Regjeringens nye veiselskap lover raskere og billigere veier – men med lavere standard, *Aftenposten*. Tilgjengelig fra: https://www.aftenposten.no/norge/i/X5aGn/regjeringens-nye-veiselskap-lover-raskere-og-billigere-veier-men-med-lavere-standard?spid_rel=2.
- Birkeland, J. (2020) Skanska in research project to curb CO2 emissions through artificial intelligence. Tilgjengelig fra: <https://group.skanska.com/media/241844/Skanska-in-research-project-to-curb-CO2-emissions-through-artificial-intelligence>.
- Bjerga, M. (2018) KraKK - prosjektet: Statens vegvesen region vest. Tilgjengelig fra: <https://prosjekt.fylkesmannen.no/Documents/Klimaomstilling/Dokument/2018%20Presentasjon%20torsdag%2026.04.%20OPPDATER/Bjerga%20-%20presentasjon.pdf>.
- Bragstad, R. T., Roar; Senstad, Paul; (2014) *Miljøeffekter og energireduksjon ved asfalt-produksjon og utlegging*. vegvesen.no: Statens Vegvesen. Tilgjengelig fra: https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2616444/Milj%c3%b8effekter%20og%20energireduksjon%20ved%20asfaltarbeid%20SVV%20rapport%20319_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Bramslev, K. og Hagen, R. (2016) *Grønn materialguide*. Direktoratet for byggkvalitet. Tilgjengelig fra: https://dibk.no/globalassets/publikasjoner_og_rapporter22/gronn-materialguide-v2_0.pdf.
- Brodal, J. (2019) Bransjedagen 2019: Statens vegvesen Vegdirektoratet. Tilgjengelig fra: https://www.banenor.no/contentassets/b5984c47fdf34f58a4fa1d70bfa01e6a/statens-vegvesen---presentasjon-bransjedagen-2019.pdf?fbclid=IwAR2AFB6GaJQK0fygqu_0Ug1Sa2ncXPDaXYoqXmnzQdqrBo-rLuZbZ67ZUfM.
- Brottveit, J. M. og Orucevic, Z. (2013) *Bruk av målsetting i byggeprosjekter*, Universitetet i Agder. Tilgjengelig fra: <https://uia.brage.unit.no/uia->

- xmlui/bitstream/handle/11250/138410/Orucevic%2c%20Zlatko%20og%20Brottveit%2c%20Ostein%20Meyer%20Oppgave.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Brundtland, G. H. *et al.* (1987) *Vår felles framtid: verdenskommisjonen for miljø og utvikling*. Tiden Norsk Forlag.
- Brunstad, B. (2008) Å planlegge for store samfunnsomveltninger: Paradigmeanalyse som fremsynsmetode, *Plan*, 40(5), s. 16-23
- ER. Tilgjengelig fra:
http://www.idunn.no/plan/2008/05/a_planlegge_for_store_samfunnsomveltninger_paradigmeanalyse_som_fremsynsmet.
- Bryhni, I. O., Kåre; Mamen, Jostein (2019) Klimagasser *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra:
<https://snl.no/klimagasser>.
- Bygg21 (2016) Veileder for fasenormen "Neste Steg", *Bygg21*, (November, 2016). Tilgjengelig fra:
<https://www.bygg21.no/contentassets/32bef76f835c48fca3303376f63878db/veileder-for-stegstandard-ver-1.2-med-logoer-201116.pdf>.
- Bærum Kommune (2018) *Kommunedelplan 3 Fornebu - MILJØPROGRAM*. Tilgjengelig fra:
<https://www.baerum.kommune.no/globalassets/politikk-og-samfunn/politikk/kunngjoringer-og-horinger/fornebu-kdp3/12-miljoprogram-fornebu.pdf>.
- Daler, R. (2017) "Neste generasjon" maskinstyring, *anleggsmaskinen.no*. Tilgjengelig fra:
<https://anleggsmaskinen.no/2017/03/neste-generasjon-maskinstyring/>.
- Direktoratet for økonomistyring (2018) *Veileder i samfunnsøkonomiske analyser*. Tilgjengelig fra:
<https://dfo.no/filer/Fagomr%C3%A5der/Utreddinger/Veileder-i-samfunnsokonomiske-analyser.pdf>.
- Drageset, S. og Ellingsen, S. (2010) Å skape data fra kvalitativt forskningsintervju, *Sykepleien forskning*. doi: 10.4220/sykepleienf.2011.0027.
- Edvardsen, R. (2014) *Flåtestyring i arbeidslivet - særlig om samtykke som grunnlag for behandling av personopplysninger generert av flåtestyringsystemer*, Universitetet i Oslo. Tilgjengelig fra:
<http://urn.nb.no/URN:NBN:no-47059>.
- European Union (2016) *General data protection regulation* EU. Tilgjengelig fra: <https://gdpr-info.eu/>.
- Fasting, G. L., Arne Øvrebø,; (2017) *Fossil- og utslippsfrie byggeplasser*. (2017-0637). Tilgjengelig fra:
<https://www.energinorge.no/contentassets/5c1dbdfd942d48d282c421a202295794/utslippsfrie-byggeplasser.pdf>.
- Feiring Bruk (ukjent år) *Feiring - om oss*. Tilgjengelig fra: <https://feiring.no/om-oss/> (Hentet: 25 mars 2020).
- Finansdepartementet (2006) *NOU 2012: 16 - Samfunnsøkonomiske analyser - Samfunnsøkonomiske analyser*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2012-16/id700821/>.
- Forsberg, E.-M. (2015) *Metoder for etisk vurdering*. Tilgjengelig fra:
<https://www.etikkom.no/FBIB/Introduksjon/Systematiske-og-historiske-perspektiver/metoder-og-metodeutvikling-for-etisk-vurdering/> (Hentet: 04. juni 2020).
- Fremby (ukjent år) *Fremby - om oss*. Tilgjengelig fra: <https://fremby.no/about> (Hentet: 07. juni 2020).
- Fufa, S. M., Mellegård, S. og Wiik, M. K. (2018) *Utslippsfrie byggeplasser - State of the art - Veileder for innovative anskaffelsesprosesser*. SINTEF Byggforsk.
- Grønmo, S. (2020) forskningsmetode - samfunnsvitenskap *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra:
https://snl.no/forskningsmetode_-_samfunnsvitenskap.
- Gulowsen, E. (2019) MDG, E18 og miljø, *Budstikka*. Tilgjengelig fra:
<https://www.budstikka.no/debatt/mdg-e-18-og-miljoet/312902!/>.
- Hammervold, J. *et al.* (2009) *Metode for beregning av energiforbruk og klimagassutslipp for vegprosjekter*. Transportanalyseeksjonen. Tilgjengelig fra:
<https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/193232/UTB-rapport-2009-11.pdf?sequence=1>.

- Hammervold, J. (2015) *Metode for beregning av CO₂-utslipp knyttet til arealbeslag ved vegbygging*. Statens vegvesen. Tilgjengelig fra: <https://d21dbafykdck9.cloudfront.net/1518099797/sluttrapport-co2-arealbruksendring-2017.pdf>.
- Hammervold, J. (2020) *Dokumentasjon VegLCA v4.01*. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/_attachment/2429426/binary/1360781?fast_title=VegLCA+v4.01+Dokumentasjon.pdf.
- Haugland, M. N. (2014) *Strategisk suksess i bygge- og anleggsprosjekter*, Norges Teknologiske og Naturvitenskapelige Universitet. Tilgjengelig fra: <https://www.ntnu.no/documents/1261860271/1262028207/masteroppgave%20Magnus%20Nilsen%20Haugland.pdf>.
- Haukås, K. (2018) Maskinstyringen i Norge, *tungt.no*. Tilgjengelig fra: <https://www.tungt.no/anleggsmagasinet/maskinstyringen-i-norge-3740076>.
- Hervik, A. et al. (1998) *Nytte-Kostnadsanalyser - Veiledning i bruk av lønnsomhetsvurderinger i offentlig sektor*. Regjeringen.no. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/665d0f4312f545f18b4028694a003412/no/pdfa/nou199819980016000dddpdfa.pdf>.
- Hitachi (ukjent år) *Remote fleet monitoring – ConSite*. Tilgjengelig fra: <https://www.hitachicm.eu/service/global-e-service/consite/> (Hentet: 11. mai 2020).
- Hoen, K. E. (2019) *Konjunkturrapport*. Tilgjengelig fra: <http://veidekke.no/om-oss/nyheter-og-media/pressemeldinger/article30232.ece/binary/Konjunkturrapport%20mars%202019>.
- IPCC (2019) *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Tilgjengelig fra: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf.
- ISO (2006a) Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Krav og retningslinjer (ISO 14044:2006). Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=236803>.
- ISO (2006b) Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk (ISO 14040:2006). Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=236802>.
- Kantar TNS (2018) *Veien mot lavutslippssamfunnet*. Tilgjengelig fra: <https://www.enova.no/2050-veien-mot-lavutslippssamfunnet/sporreundersokelse-om-klimamalene/>.
- Klima- og Miljødepartementet (2020) *Klimaendringer og norsk klimapolitikk*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>.
- Knudsen, O. F. (2019) EØS, i SNL (red.) *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/E%C3%98S>.
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet (2019) *Nasjonale forventninger til regional og kommunal planlegging 2019-2023*. regjeringen.no. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/cc2c53c65af24b8ea560c0156d885703/nasjonale-forventninger-2019-bm.pdf>.
- Lerbak, Ø. (2018) *Kort om maskinstyring*. Upublisert paper presentert på Geoforum.
- Lotherington, A. T. (1990) *Intervju som metode*.
- Meziani, Y. E. (2018) *Miljø som utvelgelseskriterium for leverandører for bygging og prosjektering av nye videregående skoler*, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Tilgjengelig fra: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2569189/MasteroppgaveYoussefElMeziani.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Miljødirektoratet (2020) *Klimakur 2030: Tiltak og virkemidler mor 2030*. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1625/m1625.pdf>.

- Mjøhus, L. (2018) Nye krav til innmåling av infrastruktur, *geomatikk.no*, 23. april. Tilgjengelig fra: <https://geomatikk.no/nyhet/nye-krav-til-innmaling-av-infrastruktur/>.
- Nielsen, H. J. (2019) *Samspillskontrakter - en vei å forene ulike interesser*, Norges arktiske universitet. Tilgjengelig fra: <https://munin.uit.no/bitstream/handle/10037/15994/thesis.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- Norconsult (2015) Rogfast Pluss - Tiltak for energi- og miljøoptimalisering i Rogfast. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/_attachment/2038661/binary/1212474?fast_title=Tiltak+for+energi+og+milj%C3%B8optimalisering+i+Rogfast+2017.pdf.
- Norconsult (2020) *Klimabudsjett E39 Herdal - Røyskår*. Tilgjengelig fra: https://www.nyeveier.no/media/2a4k4ucf/e39-herdal-r%C3%B8ysk%C3%A5r-regplan-012_klimagassbudsjett-e39-herdal-r%C3%B8ysg%C3%A5r_e02.pdf.
- Olerud, K. og Lahn, B. (2020) CO2-ekvivalenter *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/CO2-ekvivalenter>.
- Pachauri, R. et al. (2014) *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ipcc.
- Pedersen, P. G. og Hansen, B.-W. (2012) *Hvordan besluttes valg av entreprisform ved kommunale byggeprosjekter*, Universitetet i Nordland. Tilgjengelig fra: https://nordopen.nord.no/nord-xmlui/bitstream/handle/11250/140493/Pedersen_Per_Gunnar.pdf?sequence=1.
- PonCat (ukjent år-a) *Maskinteknologi*. Tilgjengelig fra: <https://www.pon-cat.com/teknologi> (Hentet: 11. mai 2020).
- PonCat (ukjent år-b) *Salgsbetingelser*. Tilgjengelig fra: <https://view.publitas.com/pon-cat/salgsbetingelser-for-pon-equipment-as-2018/page/1> (Hentet: 11. mai 2020).
- Prosystem (ukjent år) *DigPilot 3D Maskinstyring*. Tilgjengelig fra: http://www.prosystem.no/portfolio/digpilot3d_maskinstyring/ (Hentet: 19. mai 2020).
- Ringnes, T. (2009) Greenwich Middeltid *Store Norske Leksikon* (14. februar. utg.). Tilgjengelig fra: https://snl.no/Greenwich_middeltid (Hentet: 13. mai).
- Rise, T. A., Lisbeth; Rambæk, Ida; (2019) *Kortreist stein*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/globalassets/project/kortreist-stein/kortreist-stein-sluttrapport-final.pdf>.
- Rolstadås, A. (2020) Prosjekt *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/prosjekt>.
- Rowley, J. og Slack, F. (2004) Conducting a Literature Review, *Management Research News*, 27. Tilgjengelig fra: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/52382420/Conducting_a_literature_review.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DConducting_a_Literature_Review.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=ASIATUSBJ6BAANPZICF3%2F20200526%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200526T175111Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEFEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIH0fi%2FrKAYfBER08nN6%2Fmheief a2EbhbiqAKzpip%2FKAiEaz%2FwcZR6fxTMIUmx9QEsj%2FZmsNFJOYNFh2BrABd5mRaMqvQ MIqv%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FARAAGgwyNTAzMTg4MTEyMDAiDL130QGyi% 2BHvTIXFmCqRAx1tOL%2BC%2FxFG4zs6HULR%2BD2vmZRKI6L0uZL8G4jOJdNQMOoLs4Icl598 GD807bP0m88eV%2Fg1gReT4NveplKv84TmIHEey%2F11mZf5oHFLucAGs2rXsmXcaFDi5vQdC 0DCW3RjA7GtHur2ylvTXp8cSulJdbeB8SkkMu6qD9FrFoJx4WdIAUFHxQ7bPifjgJGaf%2Bn9kVj YrJqswTrsyCNmbdNida6MMXmn6sBg%2BBOTArYnMF56rxVOoCc0b9DhJvici5ZGZJXZdwaEkm Ostx9ijubyVNub6noLlu%2BMMOEIc%2FGBzuhJHnDkvDafmMZR6ZqxyWNQv46ek6cRG0kl%2 BSIBL%2FYDNqxrFOUWRSPFiPvbla%2BwFRGU6tydiMHtXfMU%2F1Zw82c3n68N1EERipde3R7 EoRPDXxcsIZSkqNObl8e1czNZZfuMbaEppRKSK24Vc46VZsVJ3uMP8N8c9JUZHPlz16NGQCR3p GXUcwqK902dBSjBuMdh9ZUoc5CwEWiyb7KHm6OoTyZ75DgSsRTxNuxjSgebMO%2BQtfYFOu sBv0Aak4fCeTwkux2oZe0r%2Fi3O5xaA1cRfjF%2F4mGhYuXVoRIG38vGwpjUQfiQtWAVgh%2B](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/52382420/Conducting_a_literature_review.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DConducting_a_Literature_Review.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=ASIATUSBJ6BAANPZICF3%2F20200526%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200526T175111Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEFEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIH0fi%2FrKAYfBER08nN6%2Fmheief a2EbhbiqAKzpip%2FKAiEaz%2FwcZR6fxTMIUmx9QEsj%2FZmsNFJOYNFh2BrABd5mRaMqvQ MIqv%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FARAAGgwyNTAzMTg4MTEyMDAiDL130QGyi% 2BHvTIXFmCqRAx1tOL%2BC%2FxFG4zs6HULR%2BD2vmZRKI6L0uZL8G4jOJdNQMOoLs4Icl598 GD807bP0m88eV%2Fg1gReT4NveplKv84TmIHEey%2F11mZf5oHFLucAGs2rXsmXcaFDi5vQdC 0DCW3RjA7GtHur2ylvTXp8cSulJdbeB8SkkMu6qD9FrFoJx4WdIAUFHxQ7bPifjgJGaf%2Bn9kVj YrJqswTrsyCNmbdNida6MMXmn6sBg%2BBOTArYnMF56rxVOoCc0b9DhJvici5ZGZJXZdwaEkm Ostx9ijubyVNub6noLlu%2BMMOEIc%2FGBzuhJHnDkvDafmMZR6ZqxyWNQv46ek6cRG0kl%2 BSIBL%2FYDNqxrFOUWRSPFiPvbla%2BwFRGU6tydiMHtXfMU%2F1Zw82c3n68N1EERipde3R7 EoRPDXxcsIZSkqNObl8e1czNZZfuMbaEppRKSK24Vc46VZsVJ3uMP8N8c9JUZHPlz16NGQCR3p GXUcwqK902dBSjBuMdh9ZUoc5CwEWiyb7KHm6OoTyZ75DgSsRTxNuxjSgebMO%2BQtfYFOu sBv0Aak4fCeTwkux2oZe0r%2Fi3O5xaA1cRfjF%2F4mGhYuXVoRIG38vGwpjUQfiQtWAVgh%2B)

- wT3aMwJpL8Vy6yY%2BxeGVb6bDFFrUBXzLepIRYsULZjh9rZouj0sHrMblhjWJTqk6b19m2%2F8i8WSbY4fwoJrsj4JBAnldzZWFN2I30EG4BR7P2of%2B588OQ640I3ocSU1L9m5Owxj3X%2F1QKdXUo87FOLA7mFf6Qy9wo3rCA%2BC5M9RfmRECCyRMWnlJOpvyfo1yctOAMNYqw%2BhR7S06Ny%2F38JgDt13jVCXms2S5%2BlbztdpZISzKtjanMA%3D%3D&X-Amz-Signature=8aa97d7ecc22b56913c46a07da6bb8637c687fa9e6cb1e749114bfd1baec9ffa.
- Rugset, V. (2010) *Miljø og vegprosjekter - Om luftutslipp og nyttekostnadsanalyse hos Statens vegvesen*, Universitetet i Oslo. Tilgjengelig fra: https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/16909/Vidar_Rugset_Masteroppgave.pdf?sequence=2&isAllowed=y.
- Rønning, A. et al. (2019) *Klimagassregnskap av tre-og betongkonstruksjoner*. (OR.26.19). Betongelementforeningen: Østfoldforskning. Tilgjengelig fra: <https://www.betongelement.no/siteassets/dokumenter/or-26-19-klimagassregnskap-av-tre-og-betongkonstruksjoner.pdf>.
- Rådgivende ingeniørers forening (2019) *State of the nation - norges tilstand 2019 - kommunale og fylkesveier*. Tilgjengelig fra: <https://www.rif.no/wp-content/uploads/2019/08/Vei.pdf>.
- Samferdselsdepartementet (2017) *Meld. St. 33 - nasjonal transportplan 2018-2029*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/7c52fd2938ca42209e4286fe86bb28bd/no/pdfs/stm201620170033000dddpdfs.pdf>.
- Sander, K. (2019) *Den hermeneutiske spiral*. Tilgjengelig fra: <https://estudie.no/den-hermeneutiske-spiral/> (Hentet: 04. juni 2020).
- Sandvin, B. (2020) Vegvesenet innfører klimabonus i vegprosjekter. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/om+statens+vegvesen/presse/nyheter/nasjonalt/na-skal-det-lonne-seg-mer-a-tenke-klima-i-vegprosjekter>.
- Skanska (2019) Skanska vil kutte utslipp med kunstig intelligens. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/kunstig-intelligens-for-mer-miljøvennlig-veibyggning/>.
- Statens Vegvesen (2018a) *Nasjonalt regnskap for bærekraftig mobilitet*. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/_attachment/2740974/binary/1334271?fast_title=Nasjonalt+regnskap+for+b%C3%A6rekraftig+mobilitet.pdf.
- Statens vegvesen (2018b) *Prosesskode 1 Standard beskrivelse for vegkontrakter*. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/_attachment/2362831.
- Statens vegvesen (2018c) *Prosesskode 2 standard beskrivelse for bruer og kaier*. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/_attachment/2362834/.
- Steen, R. (2019) *Klimabudsjett 2020*. Tilgjengelig fra: <https://www.klimaoslo.no/wp-content/uploads/sites/88/2019/09/Klimabudsjett2020-Sak1-med-vedlegg.pdf>.
- Strand, A. et al. (2009) *Gir bedre veger mindre klimagassutslipp?* (1027/2009): Trafikkøkonomisk institutt. Tilgjengelig fra: <https://www.toi.no/getfile.php/1312902/Publikasjoner/T%C3%98I%20rapporter/2009/1027-2009/1027%202009.pdf>.
- Stripple, H. (2001) *Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis*. IVL Svenska Miljöinstitutet AB. Tilgjengelig fra: <https://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b734e/1445515385608/B1210E.pdf>.
- Søderholm, J. (2019) God stemning og nettverksbygging hos Pon Equipment, *Anleggsmaskinen.no*, 13. november. Tilgjengelig fra: <https://anleggsmaskinen.no/2019/11/god-stemning-og-nettverksbygging-hos-pon-equipment/>.
- Søyland, K. W., Christer; Garmann, Christopher; Bosnjak, Daniela; Skjølsvik, Oliver Berget; Isaksen, Trygve; Hallberg, Martin; (2017) *Bærekraftige Konstruksjoner*. Statens Vegvesen, Vegdirektoratet. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/miljo+og+omgivelser/klima/klimagassreduksjoner-i-anlegg-og-drift/_attachment/2458416?_ts=16653a1f170&fast_title=B%C3%A6rekraftige+betongkonstruksjoner.

- Trana, K., Sae-Khow, N. og Nilsen, P. M. (2019) Motstandsbevegelsen, *NRK*. Tilgjengelig fra: https://www.nrk.no/trondelag/xl/vindkraftmotstanden-i-norge-okker-_noen-aksjonister-gjor-alt-de-kan-for-a-sabotere-utbyggingen-1.14641582.
- Volvo (2020a) *Store hjullastere Volvo L180H*. Tilgjengelig fra: <https://www.volvoce.com/norge/nb-no/volvo-maskin-as/products/wheel-loaders/l180h/#overview> (Hentet: 19. april 2020).
- Volvo (2020b) *Store hjullastere Volvo L260H*. Tilgjengelig fra: <https://www.volvoce.com/norge/nb-no/volvo-maskin-as/products/wheel-loaders/l260h/> (Hentet: 19. april 2020).
- Volvo (ukjent år) *Produktivitetsrapport*. Tilgjengelig fra: <https://www.volvoce.com/norge/nb-no/volvo-maskin-as/services/volvo-services/productivity-services/productivity-report/> (Hentet: 11. mai 2020).
- Wikipedia (2020) Greenwich Mean Time *Wikipedia* (16. april. utg.). Tilgjengelig fra: https://no.wikipedia.org/wiki/Greenwich_Mean_Time (Hentet: 13. mai).
- Wæhle, E., Dahlum, S. og Grønmo, S. (2020) case-studie *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/case-studie>.

Vedlegg

Vedlegg 1: ISO/TS 15143-3

Vedlegg 2: rFMS-standarden

Vedlegg 3: oversikt over faktorer som ligger til grunn for dieselforbruk for anleggsmaskiner i VegLCA

