

Investeringsanalyse av anleggsmaskin med grønt hydrogen som energibærer for reduksjon av CO₂-utslipp.

Hvordan blir de økonomiske konsekvensene av å erstatte fossilt drivstoff med grønt hydrogen i anleggsmaskiner?

TØRRES MØLL VÅRDAL
OLE JAKOB SIRNES YTTREDAL

VEILEDER
Bo Terje Kalsaas

Universitetet i Agder, 2023

Fakultet for teknologi og realfag
Handelshøyskolen ved UiA



Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på studiet industriell økonomi- og teknologiledelse ved Universitetet i Agder. Masteroppgaven er gjennomført i samarbeid med Hydrogen Solutions AS, og har et omfang på 30 studiepoeng.

Først ønsker vi å rette en stor takk til vår veileder Bo Terje Kalsaas som har kommet med gode innspill kontinuerlig gjennom hele prosessen, og som alltid har vært tilgjengelig og besvart spørsmål og henvendelser raskt.

Vi ønsker også rette en spesielt stor takk til forretningsanalytiker i Sunnhordland Kraftlag ved Arthur Uno Rognmo, som har bidratt med svært gode innspill og assistanse knyttet til simuleringer og analyser gjennom hele oppgaven. Vi ønsker å takke deg for all den tiden du har satt av til oss gjennom digitale møter og mailutveksling. Du har vært svært hjelpelig gjennom hele prosessen, med gode diskusjoner og samtaler, i tillegg til at våre henvendelser alltid har blitt besvart på svært kort tid. Uten din deltagelse, ville det blitt mye vanskeligere å gjennomføre forskningen slik vi ønsket.

I tillegg, vil vi takke Hydrogen Solutions ved Thor Henrik Hagen for at vi fikk skrive oppgaven i samarbeid med Hydrogen Solutions, og den interessante problemstillingen vi utarbeidet i fellesskap.

Ole Jakob Sirnes Yttredal

Ole Jakob Sirnes Yttredal

Kristiansand, Norge

16. mai 2023

Tørres Møll Vårdal

Tørres Møll Vårdal

Kristiansand, Norge

16. mai 2023

Sammendrag

For å nå målene i tråd med Parisavtalen er dekarbonisering gjennom å ta i bruk ny teknologi i bygg- og anleggsbransjen en avgjørende faktor. Regjeringen publiserte den 3. juni 2020 en hydrogenstrategi som et bidrag til arbeidet med å utvikle lavutslippsteknologi, hvor bygg- og anleggsbransjen var ekskludert. I denne oppgaven vil vi dermed kartlegge hvordan grønt hydrogen, som en energibærer gjennom brenselcelleteknologi, kan benyttes til å fase ut bruken av fossilt brensel, og dermed redusere klimafotavtrykket til bygg- og anleggsbransjen i tråd med Parisavtalen og FN's bærekraftsmål.

Målet med masteroppgaven er å utarbeide en investeringsanalyse for å danne et beslutningsgrunnlag for hvilket år det vil være lønnsomt å investere i en hydrogendrevet gravemaskin, sammenlignet med dieseldrevet gravemaskin. Beslutningsgrunnlaget understøttes av tre ulike prisscenarioer for drivstoffutgifter basert på Monte Carlo-simuleringer. Oppgavens problemstilling for seg en kartlegging av de økonomiske konsekvensene med å erstatte fossilt drivstoff med grønt hydrogen for en gravemaskin.

Med utgangspunkt i hovedprisscenarioet fra Monte Carlo-simuleringene viser beregningene at det ikke er bedriftsøkonomisk lønnsomt å gå til anskaffelse av Volvo EC300EL med hydrogendrevet drivlinje i tidsperioden mellom 2023 og 2030. Forholdstallet mellom de to ulike investeringsobjektene er imidlertid redusert til 1,03 i 2030. Gjennom et lavprisscenario på diesel og høyprisscenario for hydrogen, viser beregningene at forholdstallet øker fra 1,65 til 1,71 ved investeringstidspunkt i 2023 og 1,09 i 2030. Utviklingstrenden belyst gjennom et høyprisscenario på diesel og lavprisscenario på hydrogen, viser imidlertid at forholdstallet er redusert til 1,59 ved investeringstidspunkt i 2023. Tilhørende viser forholdstallet for tilhørende prisscenario at det vil være marginalt lønnsomt å investere i hydrogendrevet gravemaskin i 2030.

Resultatene belyst gjennom de ulike prisscenarioene viser likevel at det er mulig å trekke paralleller til hvilken påvirkning statsforvaltningen i Norge har på når det vil være bedriftsøkonomisk lønnsomt å erstatte fossilt drivstoff med nullutslippsteknologi. Dette er spesielt relevant når Norge gradvis skal dekarboniseres for å nå de ambisiøse målene i tråd med Parisavtalen.

Abstract

Decarbonization through adopting new technology in the construction industry is crucial to achieve the goals in line with the Paris Agreement. On June 3, 2020, the government published a hydrogen strategy to contribute to developing low-emission technology, excluding the construction industry. Therefore, in this thesis, we will explore how green hydrogen, as an energy carrier through fuel cell technology, can be used to phase out the use of fossil fuels, thus reducing the carbon footprint of the construction industry in line with the Paris Agreement and the UN Sustainable Development Goals.

The objective of this master's thesis is to develop an investment analysis to provide a decision-making basis for determining when it will be profitable to invest in a hydrogen-powered excavator compared to a diesel-powered excavator. The decision-making basis is supported by three different fuel cost scenarios based on Monte Carlo-simulations. Thus, this thesis's research question involves assessing the economic consequences of replacing fossil fuels with green hydrogen for an excavator.

Based on the main price scenario from the Monte Carlo-simulations, the calculations demonstrate that it is not financially viable for a company to acquire a Volvo EC300EL with a hydrogen-powered drivetrain between 2023 and 2030. However, the ratio between the two investment options will be reduced to 1.03 in 2030. Through a low diesel price scenario and a high hydrogen price scenario, the calculations show that the ratio increases from 1.65 to 1.71 at the investment time in 2023 and 1.09 in 2030. However, the trend revealed by a high diesel price scenario and a low hydrogen price scenario indicates that the ratio is reduced to 1.59 at the investment time in 2023. Correspondingly, the ratio for the associated price scenario suggests that it will be marginally profitable to invest in a hydrogen-powered excavator in 2030.

Nevertheless, the results highlighted by the different price scenarios demonstrate that it is possible to draw parallels to the influence of the Norwegian government on when it will be financially viable for businesses to replace fossil fuels with zero-emission technology. This is especially relevant as Norway gradually decarbonizes to meet the ambitious goals set by the Paris Agreement.

Innhold

1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Motivasjon	3
1.3 Problemdefinering	3
1.4 Samarbeidsbedrifter	4
1.5 Begrepsavklaringer	6
2 Metode	7
2.1 Forskningsdesign	7
2.2 Metode for datainnsamling	9
2.3 Analyse av data	10
2.4 Metodekvalitet	12
2.4.1 Validitet	12
2.4.2 Reliabilitet	13
2.4.3 Generalisering	14
3 Konseptuelt rammeverk	16
3.1 Hydrogen	16
3.1.1 Brenselcelleteknologi	17
3.1.2 Elektrolyse	18
3.1.3 Hydrogenlagring	20
3.2 Bygg- og anleggsbransjen	20
3.3 Monte Carlo-simulering	21
3.5.1 Sensitivitetsanalyse	22
3.5.2 Tetthetsfunksjoner	23
3.6 Finansielle metoder	23
3.6.1 Kontantstrøm	23
3.6.2 Nåverdi	24
3.6.3 Avkastningskrav	25
3.7 EUs kvotesystem og CO2-avgift	25
4 Resultat	27
4.1 Fremtidig estimerte prisbaner	27
4.1.1 Dieselpris	27
4.1.2 Hydrogenpris	31
4.2 Monte Carlo-simulering av estimerte prisbaner	34
4.2.1 Dieselpris	35
4.2.2 Hydrogenpris	37
4.3 Sensitivitetsanalyse av Monte Carlo-simulering	39
4.3.1 Dieselpris	39

4.3.2 Hydrogenpris	41
4.4 Investeringsanalyse Volvo EC300EL	43
4.4.1 Investeringskostnad	44
4.4.2 Driftskostnad	48
4.4.3 Nåverdi- og kontantstrømanalyse	56
5 Diskusjon	60
6 Konklusjon	69
7 Forslag til videre arbeid	71
Referanseliste	72
Vedlegg	78

Figurer

<i>Figur 3.1: Skisse brenselcelle</i>	18
<i>Figur 3.2: Elektrolysesystem</i>	19
<i>Figur 3.3: Fremgangsmåte for Monte Carlo-simulering med inngangsvariabler</i>	22
<i>Figur 3.4: Formel for nåverdi</i>	24
<i>Figur 3.5: Oversikt over inn- og utbetalinger</i>	24
<i>Figur 4.1: Hovedscenario av estimert dieselpris og CO₂-avgift for perioden 2023-2030</i>	30
<i>Figur 4.2: Monte Carlo- simulering av dieselpris og CO₂-avgift</i>	36
<i>Figur 4.3: Grafisk illustrasjon av hovedresultatene fra Monte Carlo-simuleringen</i>	37
<i>Figur 4.4: Monte Carlo-simulering av hydrogenpris</i>	38
<i>Figur 4.5: Grafisk illustrasjon av hovedresultatene fra Monte Carlo-simuleringen</i>	39
<i>Figur 4.6: Sensitivitetsanalyse ved tornadodiagram for dieselpris 2024</i>	40
<i>Figur 4.7: Sensitivitetsanalyse ved tornadodiagram for dieselpris 2030</i>	41
<i>Figur 4.8: Sensitivitetsanalyse ved tornadodiagram for hydrogenpris 2025</i>	42
<i>Figur 4.9: Sensitivitetsanalyse ved tornadodiagram for hydrogenpris 2030</i>	43
<i>Figur 4.10: Applied Hydrogens ombyggingsprosess til hydrogenrevet VolvoEC300EL</i>	44
<i>Figur 4.11: Hydrogendrevet Volvo EC300EL under fylling av portabel hydrogenbank</i>	46
<i>Figur 4.12: Innkjøpspris 2023 for hydrogen- og dieseldrevet Volvo EC300EL</i>	47
<i>Figur 4.13: Grafisk fremstilling av nåverdi ved hovedscenario for diesel- og hydrogenpris</i>	57
<i>Figur 4.14: Grafisk fremstilling av nåverdi ved lavprisscenario for diesel og høyprisscenario for hydrogen</i>	58
<i>Figur 4.15: Grafisk fremstilling av nåverdi ved høyprisscenario for diesel og lavprisscenario for hydrogen</i>	59
<i>Figur 5.1: Grafisk fremstilling av hovedscenario fra Monte Carlo-simuleringen</i>	61
<i>Figur 5.2: Grafisk fremstilling av forholdstallene mellom diesel- og hydrogendrevet VolvoEC300EL med estimerte prisscenarioer.</i>	66

Tabeller

<i>Tabell 4.1: Historisk prisbane CO₂-avgift for mineralske produkter</i>	27
<i>Tabell 4.2: Fremtidig prisbane per tonn CO₂-utslipp for ikke-kvotepliktig sektor</i>	28
<i>Tabell 4.3: Fremtidige prisscenarioer for CO₂-avgift</i>	28
<i>Tabell 4.4: Fremtidige estimerte prisscenarioer for dieselpri</i>	29
<i>Tabell 4.5: Fremtidige estimert dieselpri og CO₂-avgift i kr per liter</i>	29
<i>Tabell 4.6: Energitetthet og konverteringseffektivitet</i>	30
<i>Tabell 4.7: Fremtidig estimert dieselpri og CO₂-avgift i kr per kWh</i>	31
<i>Tabell 4.8: Fremtidig strømpri justert for prisutvikling</i>	32
<i>Tabell 4.9: Effektivitet elektrolysør</i>	32
<i>Tabell 4.10: Virkningsgrad elektrolysør fra 2023 til 2030</i>	33
<i>Tabell 4.11: Elektrolysørkostnad ekskludert strømkostnad</i>	33
<i>Tabell 4.12: Strømkostnader elektrolyse</i>	34
<i>Tabell 4.13: Virkningsgrad brenselcelle fra 2023 til 2030</i>	34
<i>Tabell 4.14: UtgangsvARIABLER fra Monte Carlo-simuleringen av dieselpri</i>	36
<i>Tabell 4.15: UtgangsvARIABLER fra Monte Carlo-simuleringen av hydrogenpri</i>	38
<i>Tabell 4.16: Cellebeskrivelse av tornadodiagrammet benyttet i sensitivitetsanalysen</i>	42
<i>Tabell 4.17: Oppsummert fremstilling av investerings- og komponentkostnader benyttet for å danne investeringskostnad for de ulike versjonene av Volvo EC300EL ved investeringstidspunkt mellom 2023 og 2030</i>	47
<i>Tabell 4.18: Beregnet årlig Enovastøtte ved investering av hydrogendrevet gravemaskin frem mot 2030 basert på investerings- og komponentkostnader fra tabell 4.17</i>	48
<i>Tabell 4.19: Årlige drivstoffutgifter belyst gjennom de ulike prisscenarioene for dieseldrevet Volvo EC300EL basert på Monte Carlo-simulering</i>	49
<i>Tabell 4.20: Årlige drivstoffutgifter belyst gjennom de ulike prisscenarioene for hydrogendrevet Volvo EC300EL basert på Monte Carlo-simulering</i>	51
<i>Tabell 4.21: Service- og vedlikeholdskostnader for diesel- og hydrogendrevet Volvo EC300EL</i>	52

<i>Tabell 4.22: Lånebetingelser for dieseldrevet Volvo EC300EL med investeringstidspunkt i 2023.</i>	54
<i>Tabell 4.23: Betalingsplan annuitet med etterskuddsbetaling for dieseldrevet Volvo EC300EL</i>	54
<i>Tabell 4.24: Lånebetingelser for hydrogendrevet Volvo EC300EL ved investeringstidspunkt i 2023</i>	55
<i>Tabell 4.25: Betalingsplan annuitet med etterskuddsbetaling for hydrogendrevet Volvo EC300EL</i>	55
<i>Tabell 4.26: Kontantstrøm dieseldrevet Volvo EC300EL basert på hovedscenario for dieselpriis</i>	56
<i>Tabell 4.27: Kontantstrøm for hydrogendrevet Volvo EC300EL basert på hovedscenario for hydrogenpriis</i>	57
<i>Tabell 4.28: Nåverdi av kontantstrøm med hovedscenario for diesel og hydrogenpriis belyst gjennom forholdstallet mellom de ulike investeringsobjektene</i>	57
<i>Tabell 4.29: Nåverdi av kontantstrøm med lavprisscenario for diesel og høyprisscenario for hydrogen belyst gjennom forholdstallet mellom de ulike investeringsobjektene</i>	58
<i>Tabell 4.30: Nåverdi av kontantstrøm med høyprisscenario for diesel og lavprisscenario for hydrogen gjennom forholdstallet mellom de ulike investeringsobjektene</i>	59
<i>Tabell 5.1: Scenariobeskrivelse av de ulike prisscenarioene tilhørende figur 5.2</i>	65

Formler

<i>Formel 3.1: Tetthetsfunksjon</i>	23
<i>Formel 3.2: Avkastningskrav</i>	25
<i>Formel 4.1: Beregning av høyprisscenario basert på prisøkning for klimagassutslipp i ikke-kvotepliktig sektor</i>	28
<i>Formel 4.2: Beregning av lavprisscenario basert på prisøkning for klimagassutslipp i ikke-kvotepliktig sektor</i>	28
<i>Formel 4.3: Beregning av høyprisscenario basert på gjennomsnittlig prisvariasjon av historisk avgiftspliktig diesel</i>	29
<i>Formel 4.4: Beregning av lavprisscenario basert på gjennomsnittlig prisvariasjon av historisk avgiftspliktig diesel</i>	29
<i>Formel 4.5: Fremgangsmåte for beregning av virkningsgrad for elektrolyser</i>	32
<i>Formel 4.6: Fremgangsmåte for beregning av strømkostnader for elektrolyse</i>	34
<i>Formel 4.7: Fremgangsmåte for beregning av drivstoffutgifter diesel</i>	49
<i>Formel 4.8: Fremgangsmåte for beregning av drivstoffutgifter hydrogen</i>	50
<i>Formel 4.9: Fremgangsmåte for beregning av avkastningskrav</i>	56

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Bygg- og anleggsbransjen er Norges største fastlandsnæring, og bidrar til verdiskaping i samfunnet gjennom oppføring av bygg og infrastruktur. Tilknyttede aktiviteter har historisk sett generert en betydelig andel klimagassutslipp. Asplan Viak publiserte i 2022 en rapport som viser at bygg- og anleggsbransjen er ansvarlig for 19% av Norges totale territoriale klimagassutslipp (Larsen et al., 2022).

Derav har bygg- og anleggsbransjen et fortsatt uforløst potensial til å være en stor del av løsningen for å tilfredsstille kravene til bærekraftig utvikling i årene som kommer. Kravene til bærekraftig utvikling i Parisavtalen forplikter at klimagassutslippene skal reduseres med minst 55% sammenlignet med nivåer fra 1990, i tillegg er målet frem mot 2050 en reduksjon på 90-95% (Klima- og miljødepartementet, 2021). For å nå målene i tråd med Parisavtalen er dekarbonisering gjennom å ta i bruk ny teknologi i bygg- og anleggsbransjen en avgjørende faktor. I denne oppgaven vil vi kartlegge hvordan grønt hydrogen, som en energibærer gjennom brenselcelleteknologi, kan benyttes til å fase ut bruken av fossilt brensel, og dermed redusere klimafotavtrykket til bygg- og anleggsbransjen i tråd med Parisavtalen og FN's bærekraftsmål. Dette ønsker vi å belyse gjennom en investeringsanalyse med kartlegging av differansekostnader for Volvo EC300EL ved bruk av henholdsvis hydrogen og anleggsdiesel som drivstoff. Investeringsanalysen er ment for å danne et beslutningsgrunnlag for når det er gunstig å gå til innkjøp av en hydrogendrevet gravemaskin, sammenliknet med en dieseldrevet gravemaskin.

«Hydrogen kan være en teknologi for fremtiden i vår bransje.» sier kommunikasjonssjef i Maskinentreprenørens Forbund (NHO, 2021).

Grønt hydrogen har i flere tiår vært et stort forskningsområde, og er fortsatt i tidlig innovasjonsfase (NHO, 2021). Det er først nå vi ser begynnelsen av et gjennomslag for hvordan praktiske løsninger med hydrogen som energibærer konvertert til energi gjennom brenselcelle kan være med på å erstatte tradisjonelle fossildrevne gravemaskiner. Applied Hydrogen AS startet i 2021 oppdraget med første implementering av hydrogendrevet drivlinje for gravemaskin i Norge (Enova, u.å.a). Hydrogendrevet drivlinje på gravemaskin er et interessant forskningsobjekt ettersom større gravemaskiner, fra 30 tonn og oppover, er utfordrende å etablere med praktisk drift på anleggsprosjekter gjennom en helelektrisk drivlinje med dagens batterikapasitet. Som beskrevet av General Manager i Applied Hydrogen, trenger store gravemaskiner høyt effektuttak gjennom hele skiftet (Teknisk Ukeblad, 2023). Et utfordrende aspekt med helelektriske gravemaskiner er å få tilstrekkelig med batterikapasitet i løpet av et arbeidsskift, og maskinen må dermed lade 30-50 minutter i løpet av et arbeidsskift (Byggeindustrien, 2023). Derimot med hydrogen levert til anleggsplass, tar det kun få minutter å fylle opp gravemaskinene, og er bedre sammenlignbart med diesel som drivstoff (JCB, u.å.). Applied Hydrogen er dermed i utviklingsfasen med Hydrogen Solutions for hvordan implementering av hydrogendrevet drivlinje i gravemaskin med tilhørende hydrogendistribusjon praktisk kan gjennomføres på anleggsplass.

Masteroppgavens oppdragsgiver, Hydrogen Solutions, har for øyeblikket et pågående pilotprosjekt for produksjon av grønt hydrogen for kraftprodusenten Å Energi ved sine elvekraftverk i Buskerud. Dersom anlegget realiseres vil Hydrogen Solutions være totalleverandør, og levere nøkkelkomponenter som elektrolysør og kompressor. Hydrogen Solutions har allerede to anlegg under bygging, ved Egersund og på Stord. Det modulbaserte produksjonsanlegget på Stord skal bestå av en årlig produksjon av 140 tonn grønt hydrogen, hvor hydrogenproduksjonen baserer seg på komprimert hydrogen via elektrolyse (Hydrogen Solutions, u.å.b).

1.2 Motivasjon

Den 3. juni 2020 publiserte regjeringen en hydrogenstrategi som et bidrag til arbeidet med å utvikle ny lavutslippsteknologi og nye lavutslippsløsninger. I denne strategien nevnes blant annet transport, den maritime næringen, luftfart, jernbane og infrastruktur for drivstoff (Olje- og energidepartementet & Klima- og miljødepartementet, 2020). Bilindustrien har i løpet av de siste 10 årene gradvis erstattet fossilt drivstoff med elektrisitet, og i den maritime næringen har bærekraft og nullutslippsteknologi aldri vært mer relevant enn det er i dag. Det kan stilles spørsmål til hvorfor bygg- og anleggsbransjen ikke nevnes i regjeringens hydrogenstrategi. Europa står per tid i en energi- og miljøkrise, hvor utvinning og igangsettelse av nullutslippsteknologi er essensielle faktorer for å løse både energi- og klimakrisen.

Vår oppfatning er at byggebransjen, som Norges største fastlandsnæring, har et stort potensial til å delta i den bærekraftige omstillingen ved å redusere sitt karbonfotavtrykk. Oppfatningen vår er at ny teknologi og investeringer som ikke er umiddelbart lønnsomme, nedprioriteres av aktørene i bransjen. Vi ønsker derfor å danne oss et bilde av hva en maskin i byggebransjen vil koste ved hydrogen som drivstoff i dag, hvilke statlige subsidier som eksisterer, og hvordan dette kan utvikle seg frem mot 2030 basert på fremtidens utvikling av energipriser og effektivitet til hydrogenteknologi. Motivasjonen er videre å utarbeide en investeringsanalyse for å danne et beslutningsgrunnlag for hvilket år det vil være lønnsomt å investere i en hydrogendrevet gravemaskin, sammenlignet med dieseldrevet gravemaskin. Investeringsanalysen vil da benyttes som et beslutningsgrunnlag for å gjennomføre trygge og økonomiske valg (Hagland Finans, u.å.).

Basert på vår interesse knyttet til bærekraft og hydrogen, ble Chief Executive Officer ved Hydrogen Solutions, Thor Henrik Hagen kontaktet. Dette resulterte videre i et samarbeid med Hydrogen Solutions, hvor Thor Henrik ble vår eksterne veileder for masteroppgaven.

1.3 Problemdefinering

For å belyse hvordan grønt hydrogen produsert gjennom elektrolyse kan bidra til bærekraftig utvikling av bygg- og anleggsbransjen, tar oppgaven utgangspunkt i en investeringsanalyse hvor differansekostnadene tilhørende en gravemaskin på diesel og hydrogen sammenlignes. Hensikten med masteroppgaven er å belyse den fremtidige økonomiske utviklingstrenden

mellom en tradisjonell dieseldrevet gravemaskin og en hydrogendrevet gravemaskin, som med grønt hydrogen gjennom brenselcelleteknologi konverterer kjemisk energi i gravemaskinen uten forbrenning av CO₂. Følgende problemstilling er dermed utarbeidet:

Hvordan blir de økonomiske konsekvensene av å erstatte fossilt drivstoff med grønt hydrogen i gravemaskiner?

Problemstillingen vil videre belyses gjennom ulike prisscenarioer for hydrogen- og dieselpriis understøttet av Monte Carlo-simuleringer. Tilhørende en sensitivitetsanalyse av resultatene for å evaluere inngangsvariablene ettersom usikkerhetsvurderinger ved utarbeidelse av beslutningsanalyser er essensielle å undersøke.

Denne oppgaven ser ikke på kostnader tilknyttet transport og nødvendig infrastruktur tilhørende hydrogenfylling med mottaksstasjon på anleggsplass. Tilhørende er fritaket for elavgift ved produksjon av hydrogen fra elektrolyse utelatt fra beregningene. Beregningene tar ikke utgangspunkt i at det er en spesifikk entreprenørbedrift som går til anskaffelse av maskinene ved utarbeidelse av avkastningskrav. Investeringsanalysen tar videre forbehold om at inntektene generert av investeringen vil være like uavhengig av om gravemaskinen er diesel- eller hydrogendrevet og påfølgende utelatt fra beregningene. Kontantstrøm og nåverdberegningene består dermed hovedsakelig av negativ verdi, utenom ved beregning av utrangeringsverdi.

1.4 Samarbeidsbedrifter

Hydrogen Solutions

Hydrogen Solutions er et hydrogenselskap opprettet i 2021 av Sunnhordland Kraftlag (SKL) og Liquiline som et resultat av tidligere samarbeidsprosjekter knyttet til hydrogen. Selskapet teller 8 ansatte og er lokalisert på Stord (Proff, u.å.b). Som selskap skal Hydrogen Solutions produsere skalerbar, lokalprodusert grønn hydrogen (Hydrogen Solutions, u.å.a). Det første elektrolyseanlegget er under ferdigstilling på Stord i løpet av våren 2023, hvor elektrolyseren til produksjonsanlegget ble levert fra Danmark i januar. I løpet av første halvdel av 2023 skal det også etter planen startes grønn produksjon av hydrogen ved Egersund havn (Thime, 2022).

Hydrogen Solutions er opptatt av å minimalisere transportleddet til sluttbruker og har derfor valgt å produsere hydrogen lokalt (Hydrogen Solutions, u.å.a). Når det første produksjonsanlegget på Stord står ferdig i løpet av våren 2023 skal Hydrogen Solutions daglig produsere nærmere 400 kg grønt hydrogen, noe som tilsvarer drivstoffbehovet til rundt 800 biler hver dag (Siva, 2021). Elektrolyseanlegget på Stord skal produsere komprimert hydrogen via elektrolyse, hvor målet til Hydrogen Solutions er å få til en skalerbar hydrogenproduksjon med flere lokasjoner (Hydrogen Solutions, u.å.b).

Hydrogen Solutions skal i årene som kommer utvikle, bygge, drifte og eie flere anlegg for produksjon av grønn hydrogen og administrere eventuell utlevering eller bunkring ved anleggene. Ved å benytte kommersielt og tilgjengelig utprøvde løsninger satt sammen i nøkkelferdige leveranser med drift og vedlikeholdsavtaler, ønsker Hydrogen Solutions gjøre hydrogen til et reelt nullutslippsalternativ i Norge. Hydrogen Solutions konsept er basert på fleksible og skalerbare moduler som er godt egnet for lokal produksjon og verdiskapning (Hydrogen Solutions, u.å.b).

Applied Hydrogen AS

Applied Hydrogen er et selskap stiftet i 2020 som konverterer maskiner knyttet til anleggsbransjen til å bruke hydrogen som hovedkilde for drivstoff. Dieselmotoren i en gravemaskin blir erstattet med brenselceller sammen med en fungerende elektrisk motor. For øyeblikket jobber Applied med å konvertere Volvos 30 tonns gravemaskin fra å bruke diesel som drivstoff til å bruke hydrogen, hvor det er estimert at en prototype skal stå klar i løpet av sommeren 2023 (Applied Hydrogen, u.å.a). Selskapet teller 8 ansatte og er lokalisert på Kongsberg (Proff, u.å.a).

Volvo Maskin AS

Volvo Maskin er en norsk importør, salgs- og serviceorganisasjon for Volvo CE gravemaskiner og ble etablert i 1983. Volvo har sitt opphav i Sverige hvor det hele startet som et ingeniørverksted for 191 år siden, som i senere tid utviklet seg til en globalt anerkjent industrileverandør som i dag er en av verdens største produsenter av anleggsutstyr, produkter og tjenester (Volvo Construction Equipment, u.å.). Selskapet er lokalisert over hele landet, med totalt 21 forhandlere fra nord til sør (Volvo Maskin AS, u.å.a). Volvo Maskin teller totalt 236 ansatte, og har sitt hovedkontor i Kolbotn (Proff, u.å.c).

Sunnhordland Kraftlag

Sunnhordland Kraftlag (SKL) er et regionalt energikonsern som ble stiftet i 1946 som et regionalt samarbeidstiltak for å sikre stabil og tilstrekkelig tilgang på elektrisk kraft til Sunnhordland. SKL produserer ren energi fra fornybar vannkraft og overføring av elektrisk strøm i Sunnhordland. Selskapet har også omfattende aktiviteter i regionene mellom Stavanger og Bergen, med en visjon om å være et kraftsenter for fremtidsrettet energiforsyning (Sunnhordland Kraftlag, u.å). Selskapet teller 60 ansatte og har sitt hovedkontor på Stord (Proff, u.å).

1.5 Begrepsavklaringer

For å etablere forståelse av casestudiens problemstilling og tema, presenteres sentrale begreper som er gjentakende i casestudien. Det anses som nødvendig med begrepsavklaringer, da enkelte begreper er sentrale for å skape forståelse av casestudiets problemstilling og tema, og for å unngå at begrepene mistolkes. I tillegg benyttes normalt sett begrepene i sin engelske form, noe som kan skape mistolkning da de gjennom casestudien fremgår på norsk. Det teoretiske rammeverket for begrepene presenteres i kapittel 3.

Probability Density Function (PDF), også kalt sannsynlighetstetthetsfunksjon, benyttes som begrepet tetthetsfunksjon gjennom oppgaven. For input er det benyttet inngangsvariabel og for output er det benyttet begrepet utgangsvariabel.

2 Metode

I dette kapittelet vil de metodiske valgene presenteres for å belyse det anvendte rammeverket og hvordan det har hatt videre påvirkning på casestudiets endelige resultat. Først vil valg av forskningsdesignet presenteres etterfulgt av metode for datainnsamling med tilhørende analyse av datagrunnlaget. Deretter vil empiriens gyldighet, pålitelighet og potensielle muligheter for videre generalisering drøftes.

2.1 Forskningsdesign

Forskningsdesign er et avgjørende element for utarbeidelse av enhver forskningsrapport ettersom det legger fundamentet for å sikre at forskningsstudiet gjennomføres på en grundig måte. Forskningsdesign omfatter “alt” som knytter seg til en undersøkelse, og beskriver fremgangsmåten fra start til slutt for å besvare forskerspørsmålet (Johannessen et al., 2004). Forskningsdesign skilles gjerne i tre ulike hoveddesign, henholdsvis deduktiv, induktiv og abduktivt forskningsdesign (Thompson, 2022). Et deduktivt forskningsdesign tar vanligvis utgangspunkt i tidligere studier for å teste et fenomen og resultatene fra et objektivt perspektiv. Derimot tar et induktivt tilnærming utgangspunkt i et eksplorativt forskningsdesign for å beskrive et mindre studert fenomen, og er dermed mindre teoretisk forankret enn et deduktivt forskningsdesign. Et abduktivt forskningsdesign forsøker å kombinere disse to forskningsdesignene gjennom empirisk analyse og teori for å etablere en teoretisk informert empirisk studie (A. Isaksen, personlig kommunikasjon, 17. januar 2022).

Forskningsdesignet benyttet i oppgaven er basert på en casestudie med abduktiv tilnærming. Yin (1994) beskriver casestudier som en empirisk undersøkelse av et samtidsfenomen hvor grensesnittet mellom fenomenet og konteksten ikke er tydelig påviselig. Casestudien har et abduktivt forskningsdesign, ettersom tilnærmingen skiller seg fra induksjon og deduksjon hvor forskerne går “frem og tilbake” mellom empirisk analyse og teori (Dubois & Gadde, 2002). Ettersom abduktiv resonnering innebærer å trekke en slutning til den beste forklaringen, gjennom et ofte lite studert fenomen, er et sentralt aspekt å fremheve dialog mellom teori og empiri for å generere en slutning av både pålitelig og gyldig karakter (Thompson, 2022).

Den abduktive tilnærmingen til forskningsdesign gjorde at det teoretiske utgangspunktet kunne identifiseres og revurderes kontinuerlig gjennom kvalitativ og kvantitativ datainnsamling.

For eksempel er en utslippsfri gravemaskin bestående av drivlinje med brenselcelleteknologi og grønt hydrogen som energibærer et fenomen som er lite forsket på, og det var dermed nødvendig å kontinuerlig revurdere beregningene gjennom det teoretiske utgangspunktet og den kvalitative og kvantitative datainnsamlingen. Som en konsekvens kunne det teoretiske utgangspunktet utvides og spesifiseres gjennom det empiriske datagrunnlaget understøttet av Monte Carlo-simuleringer. Dette for å ivareta usikkerhetsprognosene ved de stokastiske kostnadsanslagene basert på strømpris, effektivitet elektrolysør, elektrolysørkostnad og effektivitet brenselcelle. Videre er Monte Carlo-simuleringene understøttet av en sensitivitetsanalyse for å undersøke hvor følsom utgangsvariablene er for endring av inngangsvariablene. Tilhørende har semistrukturerte intervjuer med forretningsanalytiker i Sunnhordland Kraftlag bidratt til å utvide forståelsen av fenomenet som studeres. Som beskrevet av Dubois & Gadde, er et abduktivt forskningsdesign kompatibelt med kvalitativ og kvantitativ datainnsamling (Dubois & Gadde, 2002).

Tilsvarende er det benyttet Monte Carlo-simuleringer for å etablere fremtidige prognoser for dieselpris tilknyttet den dieseldrevne gravemaskinen. Det som skiller beregningene fra den hydrogendrevne gravemaskinen er at den dieseldrevne gravemaskinen har et mer omfattende forskningsgrunnlag bestående av høyere grad av validitet, og det var dermed muligheter for å studere fenomenet gjennom både historisk og fremtidig utvikling av CO₂-avgiftsprognoser og dieselpris fremmet av regjeringen for anvendelse i samfunnsøkonomiske analyser. Ettersom fenomenet som studeres er de økonomiske konsekvensene av å erstatte det fossile drivstoffet med grønt hydrogen, og objektet i studien er diesel- og hydrogendrevet gravemaskin, kan det diskuteres hvorvidt den abduktive tilnærmingen har påvirkning på utfallet av casestudien. Som beskrevet av Thompson (2022), går ikke en forsker inn i studien med en objektiv tilnærming ettersom den teoretiske forståelsen setter parameterne til det de i utgangspunktet leter etter, som videre tar sikte på å forhindre oppdagelsen av vilkårlige resultater som er irrelevante for forskningsspørsmålet (Thompson, 2022). Dette kan videre betegnes som en svakhet ved den abduktive tilnærmingen ettersom forskerne ofte finner det en venter ut ifra det analytiske rammeverket (A. Isaksen, personlig kommunikasjon, 17. januar 2022).

2.2 Metode for datainnsamling

Samfunnsvitenskapelig metodelitteratur deler metode for datainnsamling opp i to ulike hoveddeler, henholdsvis kvalitativ og kvantitativ tilnærming (Johannessen et al., 2004). Kvalitativ tilnærming til metode beskrives som innhenting av data gjennom mening og opplevelse som ikke lar seg tallfeste eller måle, mens kvantitativ datainnsamling baserer seg på innhenting av data i form av kategoriserte fenomener og legger vekt på opptelling og utbredelse av fenomenene (Johannessen et al., 2004). Hensikten med kvalitativ tilnærming til metode er å oppnå fyldige beskrivelser av fenomenet som undersøkes, som det finnes begrenset forskningsmateriale på fra tidligere, eller når et fenomen skal undersøkes uten at vi innehar tilstrekkelig kunnskap fra tidligere (Johannessen et al., 2004).

Gripsrud et al. (2004) beskriver at en naturlig begynnelse for et eksplorativt forskningsdesign er å undersøke fenomenet gjennom en litteraturstudie, dernest en kartlegging av sekundærdata med videre behov for ulike former for egen datainnsamling. Dalland (2012) beskriver videre at litteraturstudie komplementerer kvantitativ og kvalitativ for å benytte kunnskap som allerede er etablert ved å analysere eksisterende forskning. Litteraturstudie er benyttet for å danne et teoretisk grunnlag for videre forskning, og for å finne ut hva som var skrevet om fenomenet fra tidligere. Videre ble kvalitative og kvantitative primærdata benyttet for å komplementere delen av investeringsanalysen som ikke er mulig å etablere gjennom sekundær datainnsamling.

Med bakgrunn i at den hydrogendrevne gravemaskinen fortsatt er en prototype under utvikling av Applied Hydrogen, var en hensiktsmessig metode å ta utgangspunkt i investeringskostnaden til en elektrisk gravemaskin på grunn av mangelen på datagrunnlag for hydrogendrevet gravemaskin. Dermed innhente komponentkostnader for delen av drivlinjen som vil komme som en merkostnad ved å gå fra elektrisk til hydrogendrevet gravemaskin, og dernest kontinuerlig revurdere beregningene gjennom det teoretiske utgangspunktet og den kvalitative og kvantitative metoden for datainnsamling. Restruktureringen av maskinens drivlinje innebærer et nytt batteri, brenselcelle, hydrogentank og selve ombyggingskostnadene. Litteraturstudie komplementert med semistrukturerte intervjuer og direkte kommunikasjon med Volvo Maskin, Applied Hydrogen, Sunnhordland Kraftlag og Hydrogen Solutions er anvendt for å danne beregningsgrunnlag for investering- og driftskostnader. For å etablere et

datagrunnlag for komponentkostnadene knyttet til restruktureringen av maskinens drivlinje ble relevante aktører i bransjen kontaktet gjennom direkte kommunikasjon og mailutveksling.

Kvantitativ data er hovedsakelig anvendt for å etablere et beregningsgrunnlag for drivstoffkostnader. For den dieseldrevne gravemaskinen baserer datagrunnlaget seg på både historisk dieselpriis og regjeringens fremtidige CO₂-avgiftspronoser for anvendelse i samfunnsøkonomiske analyser. For den hydrogendrevne gravemaskinen baserer beregningene seg på datagrunnlag med tilhørende dokumentanalyse fra Hydrogen Solutions og Sunnhordland Kraftlag knyttet til effektivitet og virkningsgrad elektrolyser, strømkostnader for elektrolyse og effektivitet brenselcelle som videre er konvertert inn i beregningene for drivstoffkostnadene for den hydrogendrevne gravemaskinen.

For å belyse og utvide forståelsen av datagrunnlaget fra flere sider er det benyttet metodetriangulering. Johannessen et al. (2004) beskriver metodetriangulering som samfunnsvitenskapens måte å belyse et fenomen fra flere perspektiver gjennom kvalitativ og kvantitativ datainnsamling. Hvor det kvantitative datagrunnlaget ble understøttet av kvalitativ datainnsamling gjennom semistrukturerte intervjuer med forretningsanalytiker i Sunnhordland Kraftlag for å kontrollere de stokastiske inngangsvariablene tilknyttet Monte Carlo-simuleringen.

Ettersom simuleringsprogrammet har en software med en årlig lisenskostnad på kr 30.000, lot det ikke seg gjøre å få egen studenttilgang. For å gjennomføre simuleringene ble det derfor satt opp et dokument med våre estimerte talldata for fremtidig utvikling presentert ved trekantfordelinger av prisbaner, effektivitet og kostnader på hva som skulle simuleres. Videre ble datagrunnlaget for simuleringene oversendt til forretningsanalytiker ved Sunnhordland Kraftlag. I ettertid ble resultatet av simuleringen oversendt tilbake, og benyttet i kontantstrøm- og nåverdiberegninger for å presentere dagens og fremtidig drivstoffutgifter for diesel- og hydrogendrevet gravemaskin.

2.3 Analyse av data

Tolkning og analyse av data er en viktig del av moderne forskning, og er ulikt for kvalitativ og kvantitativ metode. Studien omfatter en krevende analyse av historisk og estimert fremtidig

data for etablering av prisbaner. Analyse innebærer å vektlegge datamaterialet som ble fremhevet under beskrivelsen eller å presentere funnene i tabeller, grafer, diagrammer eller figurer (Wolcott, 1994). Som det fremkommer av Jacobsen (2000), vil analyse av kvalitative data basere seg på å beskrive, systematisere og kategorisere og til slutt sammenbinde. Når data er systematisert starter fortolkningen av data ved at innsamlet datamateriale generaliseres ved å bringe en viss orden inn i det. Kvantitativ data innhentet fra historiske prisbaner er analysert og strukturert ved at det er gjennomført beregninger av standardavvik, gjennomsnitt og gjennomsnittlig prisvariasjon for hver enkel måned de siste syv årene. Resultatet fra beregningene er videre benyttet for å generere fremtidige prisbaner, som senere benyttes som inngangsvariabler i Monte Carlo-simuleringen. Resultatene fra Monte Carlo-simuleringen er illustrert i vedlegg 4 og 5.

Semistrukturerte intervjuer er benyttet for å innhente det kvalitative datamaterialet som benyttes i casestudien. Semistrukturerte intervjuer består av en overordnet intervjuguide som utgangspunkt for intervjuet, men det er likevel rom for fleksibilitet i måten spørsmål stilles og behandles på av informantene ved at man beveger seg fram og tilbake (Johannessen et al., 2004). Dataene fra intervjuet er strukturert og analysert basert på intervjuguide utarbeidet i forkant av intervju med Volvo Maskin og Applied Hydrogen. Her tolkes meningen med hva som har blitt sagt, og hvordan dette kan bidra til å besvare problemstillingen. Ved å informere respondentene om hva det skal stilles spørsmål om i forkant av intervjuet, oppnår man en trygghet for respondenten, samtidig som oppfølgingsspørsmål også forekommer. På den andre siden krever det mer tid i forkant av intervjuet, og det er også lett å avspore fra intervjuguiden, noe som kan føre til konsekvenser for analyseringen av innhentet data. Etter at data er innsamlet, gjennomføres det en seleksjon av hvilke data som benyttes og representeres (Johannessen et al., 2004).

Som belyst av Jacobsen (2000), er en av de sterkeste sidene ved den kvalitative tilnærmingen at skillet mellom planlegging- gjennomføring og analyse er forholdsvis lite. Hvor en kan planlegge, gjennomføre noen intervjuer, analysere disse, for så å gå tilbake til planleggingen, endre opplegget, foreta nye intervjuer og analysere nye observasjoner. Som et resultat av denne fram- og tilbakeprosessen, har metoden kontinuerlig blitt tilpasset den nye kunnskapen vi har tilegnet oss parallelt som analyse av data har blitt gjennomført.

2.4 Metodekvalitet

Ettersom data ikke er selve virkeligheten, men kun en representasjon av den, er det aktuelt å analysere datagrunnlagets gyldighet, pålitelighet og i hvilken grad resultatene kan benyttes til videre generalisering (Johannessen et al., 2004).

2.4.1 Validitet

Gyldighet, også omtalt som validitet i forskningslitteraturen, er et sentralt aspekt å vurdere for det tilhørende datagrunnlaget (Johannessen et al., 2004). Yin (1994) skiller validitetsbegrepet mellom begrepsvaliditet, intern validitet og ekstern validitet. I dette kapittelet vil vi drøfte begrepsvaliditet, mens ekstern validitet dekkes for å undersøke overførbarhet i kapittel 2.4.3. Hvor oppgaven er en eksplorativ casestudie, basert på datagrunnlaget tilhørende den hydrogendrevne anleggsmaskinen, er det ikke relevant å belyse datagrunnlagets interne validitet (Yin, 1994).

Begrepsvaliditet omhandler relasjonen mellom objektet, subjektet og datainnsamlingen som forskningsgrunnlaget bygger på (Johannessen et al., 2004). For å undersøke om datagrunnlaget er en valid representasjon av fenomenet som undersøkes, er det av videre interesse å undersøke hvilket grunnlag datainnsamlingen er innhentet på. Med utgangspunkt i innkjøpspris for gravemaskin og drivlinjens komponenter, vil innhentet datagrunnlag være basert på at forskerne er en studentgruppe. Videre konsekvens medfører at rabatterte priser på hoveddelen av investeringskostnaden ikke oppnås, som en entreprenør ellers ville oppnådd ved innhenting av prisgrunnlag for å gjennomføre en investering basert på bedriftsrabatterte innkjøpspriser. Disse rabatterte prisene varierer ofte tilknyttet størrelsen på entreprenørfirmaet som gir kjøpsforespørsel, og er dermed utfordrende å få en oversikt over.

Videre er det tilknyttet usikkerhet rundt fremtidige prisbaner for både CO₂-avgift, dieselpris og hydrogenproduksjon ettersom parameterne, som tidligere beskrevet, baserer seg på fremtidige kostnadsprognoser. For behandling av usikkerhetsprognosene er Monte Carlo-simuleringer og sensitivitetsanalyser benyttet for å beregne og undersøke usikkerhetsgrunnlaget for de stokastiske kostnadsanslagene. Ettersom Monte Carlo-simuleringer benytter inngangsvariabler generert gjennom gjentakende prøvetaking for å fastsette et beslutningsgrunnlag, vil resultatet likevel være preget av innflytelsen generert av inngangsvariablene. Herunder

kostnadsprognoser med trekantfordeling per kWh ved produksjon av grønt hydrogen, i tillegg til CO₂- og dieselpriis for den dieseldrevne gravemaskinen. Dermed baserer datagrunnlaget seg på ulike scenarioer tilknyttet de ulike inngangsvariablene, som et forsøk på å ivareta usikkerheten i de fremtidige prognosene. Herunder et høy-, hoved-, og lavprisscenario understøttet av trekantfordelinger tilhørende diesel- og hydrogenkostnad. Monte Carlo-simulering og sensitivitetsanalysene er herunder verktøy for å øke gyldigheten av datagrunnlaget.

2.4.2 Reliabilitet

Reliabilitet defineres som pålitelighet av data (Johannessen et al., 2004). Reliabilitet er et viktig aspekt å undersøke for at en forskningsstudie skal kunne gjentas under tilsvarende forhold, og videre for at forskerne skal kunne få bekrefte sine funn og etablere troverdighet til fenomenet som undersøkes.

Jacobsen (2005) beskriver at ved anvendelse av institusjonelle kilder må forskerne basere seg på en vurdering av hvor troverdig kilden er. Videre er det sentrale spørsmålet å stille seg: «Kan den institusjonen som har forfattet kilden, ha egeninteresse i å forvrengte informasjonen?» (Jacobsen, 2005, s. 183). Selv om datagrunnlaget ikke baserer seg på institusjonelle kilder, er det mulig å dra paralleller til resonneringen rundt Jacobsen (2005) for den tilhørende caseoppgaven. For den hydrogendrevne gravemaskinens investerings- og driftskostnader er det imidlertid grunnlag for å kritisk vurdere datagrunnlagets reliabilitet. Selv om ikke kildene vurdert i oppgaven er en institusjonell karakter, vil det likevel være rom for drøftelse opp mot Jacobsen (2005) resonnering tilknyttet vurdering av troverdighet.

Applied Hydrogen er de første i Norge til å anvende brenselcelleteknologi på en gravemaskin. Et kritisk aspekt for å teste datagrunnlagets reliabilitet er å gjennomføre samme undersøkelse flere ganger, og gjennom ulike fokusgrupper for å teste om resultatene gir enstemmige resultater (Johannessen et al, 2004). Det har dermed ikke vært mulig å gjennomføre basert på den presenterte problemstillingen for hydrogendrevet gravemaskin, og må betegnes som en svekkelse av datagrunnlagets reliabilitet. For å øke datagrunnlagets reliabilitet, ble det forsøkt å kontakte internasjonale leverandører av hydrogendrevne gravemaskiner. JCB er Europas største leverandør av gravemaskiner, og produserte i 2020 verdens første gravemaskin med hydrogendrevet drivlinje med brenselcelleteknologi (JCB, 2020). Gjennom samtaler med PR

Manager i JCB fremkommer det imidlertid at prototypen imidlertid ble forlatt til fordel for en forbrenningsmotor med hydrogen som energibærer grunnet høy kostnadsbilde med hydrogendrift konvertert til energi gjennom brenselcelle (personlig kommunikasjon, 10. mars 2023). Reliabiliteten tilknyttet investerings- og driftskostnader for den dieseldrevne gravemaskinen er imidlertid vurdert til å bestå av høyere grad av pålitelighet ettersom denne gravemaskinen er et kommersielt tilgjengelig produkt på markedet.

Hvor Monte Carlo-simuleringene av drivstoffutgifter kun strekker seg frem til år 2030, er det benyttet videreføring av trend for perioden mellom 2031 og 2037. Påliteligheten til beregningsgrunnlaget har dermed en betydelig svekkelse i denne tidsperioden som direkte konsekvens.

2.4.3 Generalisering

Forskningsarbeidet til Yin (1994) fremhever det utfordrende aspektet vedrørende generalisering av casestudier ettersom forskningsmetodikken vanligvis tar utgangspunkt i et detaljert tilfelle, og dermed gir begrensede muligheter for videre generalisering.

Yin (1994) skiller videre mellom statistisk og analytisk generalisering. Hvor statistisk generalisering er mindre relevant for casestudier ettersom det trekkes en slutning om en populasjon basert på den empiriske datainnsamlingen om et utvalg (Yin, 1994). Det samme gjelder for tilhørende casestudie basert på at den hydrogendrevne gravemaskinen fortsatt er en prototype benyttet til testing, og et utfordrende element er dermed kartlegging av utvalg og populasjon, og i hvilken grad utvalget er representativt ettersom den hydrogendrevne gravemaskinen fremdeles ikke er et kommersielt tilgjengelig produkt på markedet. For å danne investeringskostnaden for den hydrogendrevne gravemaskinen var det dermed nødvendig å ta utgangspunkt i en tilsvarende elektrisk modell og kartlegge merkostnadene som konsekvens av en hydrogendrevet drivlinje. Dermed vil generaliserbarheten til resultatene svekkes med årene når hydrogendrevet gravemaskin er forventet å bli et kommersielt tilgjengelig produkt på markedet. Metoden benyttet i oppgaven anmoder derimot til at casestudien kan gjentas på et senere tidspunkt med oppdaterte inngangsvariabler når hydrogendrevet gravemaskin har blitt et kommersielt tilgjengelig produkt på markedet.

Yin (1994) forklarer analytisk generalisering som et forsøk på å generalisere et bestemt sett med resultater til en bredere teori. Hvor analytisk generalisering er foretrukket for casestudier ettersom forskningsmetodikken kan betraktes som et enkelt eksperiment. For å analytisk generalisere funnene i casestudien har en effektiv metode blant annet vært å vurdere resultatene opp mot det teoretiske rammeverket for hydrogenteknologi og fremtidige karbonprisbaner.

For å videre undersøke om resultatene kan generaliseres utover den enkelte studien bør resultatets eksterne validitet undersøkes (Yin, 1994). Casestudiets tar geografisk utgangspunkt i Vestland, hvor Hydrogen Solutions har sitt elektrolyseanlegg. Videre konsekvens medfører at den kvantitative sekundære datainnsamlingen for den hydrogendrevne gravemaskinen kun har ekstern validitet for kraftprisområde NO2 (Sørvest-Norge) i Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) langsiktige kraftmarkedsanalyse. Dermed kan det empiriske datagrunnlaget påvirke årsakssammenhenger, kun påvist gjennom objekter som ikke er direkte knyttet til casestudiets geografiske utgangspunkt. Herunder inngangsvariabler som virkningsgrad elektrolyser, effektivitet elektrolyser og effektivitet brenselcelle.

3 Konseptuelt rammeverk

3.1 Hydrogen

Hydrogen er det aller letteste og minste grunnstoffet i det periodiske systemet med atomnummer 1 og kjemisk symbol H. Hydrogen er også det vanligste grunnstoffet som eksisterer, og de fleste atomene i universet er hydrogenatom (Stølen, 2011). Det vanligste er å produsere hydrogen ved to ulike fremgangsmåter, enten ved å spalte naturgass til hydrogen og karbon, eller ved elektrolyse gjennom spalting av hydrogen og oksygen (Horne et al., 2019). Det eksisterer svært lite rent hydrogen i verden, og på jorden er mesteparten av hydrogen bundet som vannmolekyl, som har den kjemiske formelen H_2O , bestående av to hydrogenatom og et oksygenatom. Vanligvis eksisterer hydrogen som gass, og ofte brukes hydrogen som en benevnelse for hydrogengass (H_2). Det kan produseres fra flere energikilder eller direkte fra strømmettet gjennom elektrolyse. Hydrogen kan også konverteres tilbake til elektrisitet gjennom en brenselcelle. På denne måten er grunnstoffet hydrogen definert som en energibærer og ikke en energikilde, ettersom det ikke forekommer naturlig som energi, og er avhengig av en ekstern energikilde for å generere hydrogen. Basert på dagens tilgjengelige teknologi kan hydrogen fremstilles fra ulike kilder som vann eller fra fossile energikilder. Fra fossile energikilder fremstilles hydrogenet ved å skille hydrogenet fra karbonbindingen i kull, olje eller gass. Fremstilling av hydrogen fra naturgass omhandler en prosess som kalles dampreforming, og er i dag den vanligste formen for hydrogenproduksjon i Norge (Aarnes et al., 2019).

Ved produksjon av hydrogen gjennom vann fremstilles hydrogen ved å skille bindingen med oksygen i vann ved hjelp av elektrisitet. Selv om det snakkes mye om hydrogenproduksjon og utnyttelse av hydrogen i dag, er ikke dette en ny teknologi i Norge. Produksjon av hydrogen ble først utført i 1930-årene av tidligere Norsk Hydro. Hydrogenet på denne tiden ble produsert gjennom elektrolyse med vannkraft som energikilde helt fram til omkring 1990 (NOU 2004: 11).

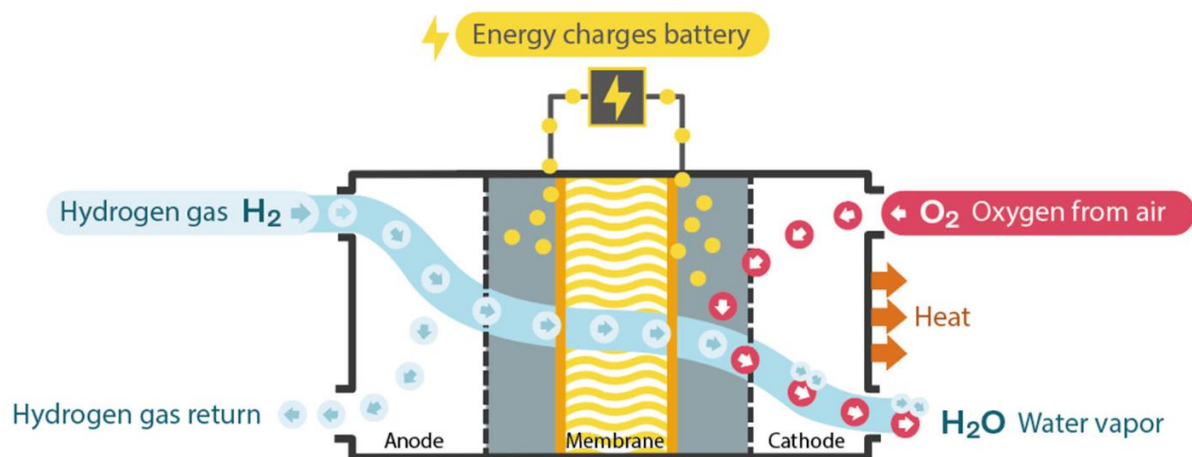
Hydrogen kategoriseres etter farger, basert på hvordan det fremstilles og produseres hvor grønt, blått og grått hydrogen er de vanligste typene. Grønt hydrogen produseres fra fornybar energi og produseres ved å benytte elektrolyse av vann og elektrisitet. Blått hydrogen produseres ved naturgass, hvor CO_2 -gass fanges og lagres, og grått hydrogen produseres ved naturgass, hvor

CO₂- gass ikke fanges og lagres. Hydrogen har foreløpig betydelig høyere produksjonskostnader enn de eksisterende fossile alternativene, og både grønn og blå hydrogenproduksjon krever store investeringer knyttet til produksjonsanlegg og infrastruktur (Kalland et al., 2022).

Omtrent 3% av verdens energikonsum blir i dag brukt til å produsere hydrogen, og produksjonen er hovedsakelig basert på fossile energikilder bestående av et høyt karbonfotavtrykk. Dette fotavtrykket kan reduseres betraktelig ved å erstatte hydrogen fra fossilbasert produksjon med hydrogen fra vannelektrolyse basert på fornybar kraft eller å fange CO₂-gassen og sende den tilbake til reservoar, også kalt Carbon Capture and Storage (CCS). Økt bruk av hydrogen i byggebransjen kan være et viktig steg på veien for å bidra til å dekarbonisere sektoren ved å erstatte fossile drivstoff, noe som forutsetter at hydrogenet er produsert med et lavt karbonfotavtrykk. Hydrogen kan lagres i ulike former, både som komprimert gass i kompositttanker eller i flytende form. Det kan også lagres i kjemiske forbindelser i kombinasjon med ammoniakk eller som flytende ved å la det reagere kjemisk med en organisk forbindelse (Aarnes et al., 2019).

3.1.1 Brenselcelleteknologi

For å utnytte hydrogen som brensel kan den kjemiske energien konverteres om til elektrisk energi gjennom en brenselcelle. Brenselceller benyttes for å konvertere den kjemiske energien i hydrogen om til elektrisitet gjennom en kjemisk prosess uten forbrenning av CO₂. En brenselcelle fungerer på samme måte som et batteri som blir utladet, men med den forskjellen at drift av brenselceller krever kontinuerlig ekstern tilførsel av drivstoff og luft. Brensel er et materiale som gjennom forbrenning eller andre prosesser kan omdannes og videre utnyttes som energi. Prosessene kan være ulike, men i en brenselcelle handler det om at en kjemisk reaksjon oppstår hvor energien deretter utnyttes (Aarnes et al., 2019). Brenselcelle er illustrert ved figur 3.1.



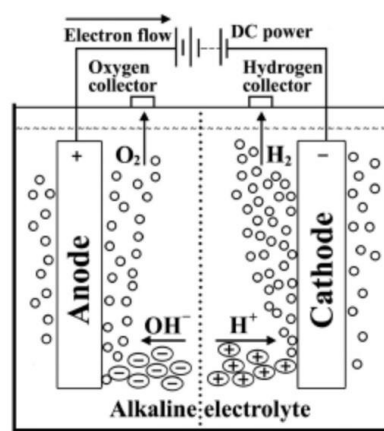
Figur 3.1: Skisse brenselcelle (Volvo Construction Equipment, 2021).

Det er to sider i en brenselcelle, en side for hydrogen og en side for luft. Dette kalles også for anode- og katodesiden (Holtebekk et al., 2021). Mellom dem er det en membran og en elektrisk krets. Her er det kun proton som kan passere gjennom. Når hydrogenet spaltes til proton og elektron diffunderer protonet gjennom membranen, og elektronene tvinges inn i den elektriske kretsen og beveger seg over på den andre siden, slik at det blir produsert elektrisk strøm. Elektronene passerer dermed rundt membranen og over til katode siden. På katode siden reagerer elektronene med protonene og oksygen fra lufta, som igjen danner vanndamp og spillvarme. En enkel brenselcelle produserer en elektrisk strøm på omtrent 0,7 volt. For å oppnå høyere spenning kan en kombinere flere separate brenselceller i en såkalt “stacker” (Gjermundnes, u.å.).

3.1.2 Elektrolyse

Hydrogenet som dannes ved elektrolyse, omtales som grønt hydrogen og er utslippsfritt ettersom det benyttes fornybar kraft til å spalte $2\text{H}_2\text{O}$ til 2H_2 og O_2 . Elektrolyse produsert på denne måten anses som den enkleste måten å produsere hydrogen på (Santos et al., 2013). Elektrolyseteknologi har vært i kontinuerlig utvikling over de siste 200 årene, helt siden J.R. Deiman & A.P. van Troostwijk i 1789 brukte en elektrostatiske generator som fordelte elektrisitet gjennom to ledninger nedsenket i et vannrør. Forsøket skapte en utvikling av to gasser, som senere ble identifisert til å være hydrogen (H_2) og oksygen (O_2) (Santos et al., 2013).

Det kreves mellom 50-55 kWh med fornybar kraft for å produsere en kilo H_2 , som har en energitetthet på 33 kWh (Horne & Hole, 2019). Figur 3.2 illustrerer et enkelt eksempel på et elektrolysesystem. Systemet sammenkobles av en anode og en katode gjennom en ekstern krafttilførsel nedsenket i en ledende elektrolytt. Når likestrøm blir påkoblet systemet, vil elektroner forflytte seg fra den negative siden av likestrømmen, hvor det blir formet hydrogenatomer. På motsatt side av elektrolysesystemet, spaltes oksygenatomer av den positive anoden. Deretter oppsamles hydrogen- og oksyngass separat i forskjellige tanker (Santos et al., 2013).



Figur 3.2: Elektrolysesystem (Santos et al., 2013).

Det finnes i dag hovedsakelig to ulike metoder å generere hydrogen på via elektrolyse, alkalisk elektrolyse og proton elektrolytt membran (PEM) elektrolyse. Alkalisk elektrolyse (AEL), som benyttes av Hydrogen Solutions på sine produksjonsanlegg, er den mest brukte elektrolyseteknologien ettersom den har lang levetid og genererer vanligvis høyere produksjonskapasitet enn PEM elektrolyse. Ytterligere er AEL teknologien forbundet med redusert investering.- og driftskostnader. Dette baseres på at AEL opererer på et lavere trykk, og dermed trenger denne typen elektrolyse et mindre kompakt design enn PEM elektrolyse (Universitetet i Agder, 2020). Det internasjonale byrået for fornybar energi utførte i 2017 et studie på energiforbruket ved de to ulike elektrolysemetodene, der AEL og PEM henholdsvis hadde et forbruk på 51 og 58 kWh per kilo H_2 . Fremtidige prognoser for energiforbruket estimeres til 49 og 52 kWh per kilo H_2 for AEL og PEM (Universitetet i Agder, 2020).

3.1.3 Hydrogenlagring

Hydrogen i gassform har lav volumetrisk energitetthet, og det kreves store lagringsvolumer ved bruk av hydrogengass som energibærer. I tillegg er H₂-molekyler svært små, noe som stiller større krav til materialet og koblingene i lagringstankene for å unngå at gassen lekker ut over tid (Horne et al., 2019). Det er dermed utfordrende å lagre store mengder hydrogen på en billig og energieffektiv måte. Hydrogen lagres og håndteres på ulike måter basert på hvordan det produseres, størrelsen på produksjonen og lengde på hydrogenets lagringstid. Hovedalternativene for transport og lagring av hydrogen er som flytende (LH₂) eller ved komprimering (CGH₂) (Aarnes et al., 2019).

For mindre volum kan det være mest hensiktsmessig å lagre hydrogen i tanker og transportere det med tankbiler. Her er lagringstetthet en viktig faktor, for å unngå lekkasje og tap av energi. Den mest kostnadseffektive metoden for transport og lagring av hydrogen i en hydrogenverdikjede vil imidlertid avhenge av flere faktorer, der blant annet kostnader, transportdistanse og varighet på lagringen spiller en viktig rolle (Aarnes et al., 2019).

Komprimert hydrogen er den vanligste måten å lagre hydrogen på i dag, og lagres under høyt trykk, vanligvis 300 eller 700 bar i sylindere. Her kreves det solide og sikre tank sylindere for å minimalisere risiko for en lekkasje og potensiell eksplosjon, hvor materialet på tankene oftest er stål eller kompositt. Ved å lagre hydrogen som komprimert gass under 300 bar trykk kan man oppnå en lagringstetthet på rundt 20 kg per m³ (Aarnes et al., 2019). Om hydrogenet lagres under 700 bars trykk, som er standard trykk for hydrogentanken i dagens brenselceller, oppnås en lagringstetthet på over 40 kg per m³. Når hydrogenet komprimeres til eksempelvis 30 bar, krever dette energi tilsvarende 4-5% av den opprinnelige energitettheten til det hydrogenet som komprimeres. Videre komprimering til 350 eller 700 bar krever ytterligere 4-8% av den opprinnelige energitettheten (DNV, 2019).

3.2 Bygg- og anleggsbransjen

Bygg- og anleggsbransjen er Norges største fastlandsnæring, og er en fellesbetegnelse for hele verdikjeden tilknyttet riving, rehabilitering, vedlikehold eller oppføring av bygg eller anlegg (Bygballe et al., 2019). Bygg- og anleggsbransjen deles videre opp i arkitekter og rådgivere, byggevareprodusenter og byggevarehandel, eiendomsselskaper, utleie av maskiner og utstyr og utførende (entreprenører, tekniske entreprenører, byggmestere og andre håndtverksfag)

(Byggenæringens Landsforening, u.å.). Den utførende delen av bygg- og anleggsbransjen benyttes som grunnlag for investeringsanalysen i denne oppgaven. Verdiskapningen til bygg- og anleggsbransjen er anslått til 350 milliarder kroner årlig. Ettersom 60% er direkte tilknyttet offentlige kunder, er potensialet for påvirkning gjennom offentlige bærekraftige reguleringer stort (DFØ, 2023).

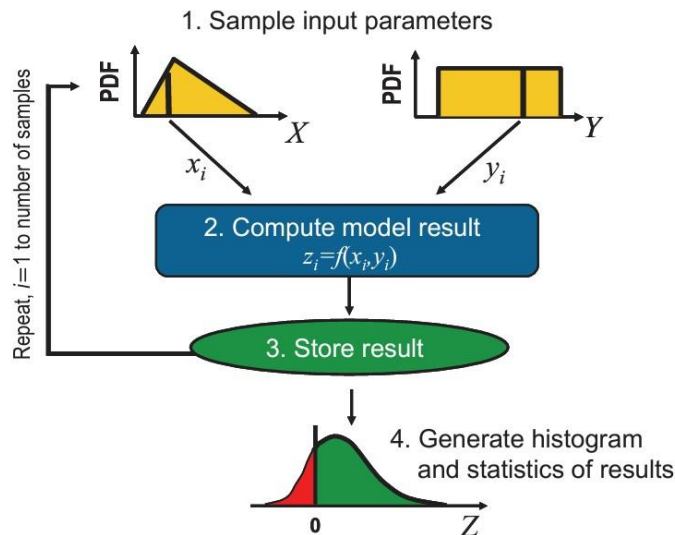
Bygg- og anleggsbransjen er nå i en omstillingsfase fra prosjekter som tradisjonelt har vært preget av fossile energikilder, med mål om at hovedandelen av prosjektene skal være fossilfri eller utslippsfri i gjennomføringsfasen (Byggenæringens Landsforening, u.å.). Utslippsfrie byggeplasser innebærer bruk av energikilder som ikke fører til lokalt utslipp av CO₂-ekvivalenter eller NO_x på byggeplass, mens fossilfri byggeplasser åpner for bruk av bærekraftig bioenergi og biodrivstoff (Davidsson et al., 2018).

Storbyerklæringen, signert i 2021 av Bergen, Drammen, Kristiansand, Oslo, Stavanger, Tromsø og Trondheim, vil de største byene i Norge ta sikte mot en utslippsfri byggebransje i 2030 (Inventura, 2022). På veien mot 2030 har byene satt et delmål om at kommunale bygg- og anleggsprosjekter skal være utslippsfri innen 2025. Fra 2030 er målet at dette skal gjelde hele bransjen, både privat og offentlig sektor (Inventura, 2022).

3.3 Monte Carlo-simulering

Monte Carlo-simulering (MCS) er en simuleringsmetode for beregning av usikkerhetsanalyser gjennom generering av tilfeldige variabler. Usikkerhetsanalyser er essensielle å undersøke ved fremtidige økonomiske beregninger for å etablere prognoser for stokastiske kostnadsanslag. Usikkerhetsvurderingen av attributtene er ofte et utfordrende aspekt ved utarbeidelse av beslutningsanalyser, som sjeldent vurderes direkte (Kroese et al., 2014). MCS tar dermed inngangsvariabler, som for eksempel strømkostnad ved elektrolyse per kg H₂ og sprer usikkerheten fra inngangsverdiablene over en rekke forsøk for å generere utgangsvariabler. MCS er betraktet som en effektiv metode når forholdet mellom inn- og utgangsvariabler er komplekst og utfordrende å vurdere ved tradisjonelle beslutningsanalyser. MCS legges opp slik at det er mulig å gjennomføre en sensitivitetsanalyse som viser endring i utfallsrommet (Bratvold & Begg, 2010). Dette kan for eksempel gjøres med å endre én variabel om gangen, *ceteris paribus*.

Figur 3.3 viser prosedyren for MCS ved to forskjellige inngangsvariabler, hvis vi igjen tar utgangspunkt i elektrolyse- og strømkostnad vil frekvensen, benytte inngangsvariablene til å generere gjentakende prøvetaking. Deretter genereres resultatet i form av en tetthetsfunksjon med tilhørende statistiske data i steg fire. Resultatet blir mer representativt ved større antall prøvetakinger, for eksempel hundre- eller tusenvis av simuleringer (Bratvold & Begg, 2010).



Figur 3.3: Fremgangsmåte for Monte Carlo-simulering med inngangsvariabler (Bratvold & Begg, 2010).

3.5.1 Sensitivitetsanalyse

Sensitivitetsanalyse er et verktøy for å forklare hvor sensitivt et system er for endring. Verktøyet benyttes for å danne et bilde på hvordan en endring i inngangsvariabel vil påvirke utfallet av et produkt eller resultat som utgang. Hensikten med å benytte en sensitivitetsanalyse er å undersøke hvor følsom en utgangsvariabel er for endring av ulike inngangsvariabler (Stavseth, 2020). Sensitivitetsanalysen sorterer viktigheten av de ulike inngangsvariablene gjennom et tornadodiagram, hvor bredden av hver enkel inngangsvariabel sier noe om hvor mye den aktuelle inngangsvariabelen påvirker resultatet (Borgonovo & Rabitti, 2023). Sensitivitetsanalyse er et anerkjent verktøy innen økonomi og kan for eksempel undersøke effekten av en renteendring. Gjennom oppgaven henter sensitivitetsanalysen data fra Monte Carlo-simuleringen for å illustrere størrelsen på de ulike inngangsvariablene som er med på å påvirke utfallsrommet til utgangsvariabelen. Eksempelvis vil fremtidig dieselpriis være et resultat som en utgangsvariabel, hvor dieselpriis uten CO₂-avgift og CO₂-avgiften er faktorer ved inngang som er med på å danne utgangsvariabelen for dieselpriis. Fra analysen holdes alle

inngangsvariablene konstant på sin gjennomsnittsverdi utenom en inngangsvariabel. Den bestemte inngangsvariabelen vil da kunne variere, og det kartlegges hvor mye spenn det oppstår i utfallsrommet (Forretningsanalytiker, SKL, personlig kommunikasjon, 10. mars 2023).

3.5.2 Tetthetsfunksjoner

Tetthetsfunksjoner, også kalt sannsynlighetstetthetsfunksjon, benyttes i forbindelse med Monte Carlo-simulering for å etablere et bilde på hvor sannsynlig ulike resultater er i forhold til hverandre. Det kan da gjennomføres teoretiske beregninger for hvordan en fremtidig observasjon vil se ut. En tetthetsfunksjon illustrerer sannsynligheten for at man befinner seg mellom et gitt intervall på x-aksen. Intervallet fra en verdi til en annen verdi med arealet under grafen avgrenset at to x-verdier beskriver videre sannsynligheten for at man havner i det gitte området (Sunnhordland Kraftlag SKL, 2023, 2:15). Eksempelvis kan dette være sannsynligheten for at et utfall befinner seg mellom null og opp til en gitt verdi, som i vårt tilfellet vil være sannsynligheten for at hydrogenpris fra elektrolyse [kr/kWh] eller dieselpriis med CO₂-avgift [kr/kWh] befinner seg i et gitt prisintervall. Som det fremkommer av Aarnes (2014), vil enhver funksjon $f(x)$ defineres som en sannsynlighetstetthetsfunksjon hvis

$$\begin{aligned} f(x) &\geq 0 \quad \text{for } a \leq x \leq b \\ \int_a^b f(x) dx &= 1 \end{aligned} \tag{3.1}$$

3.6 Finansielle metoder

3.6.1 Kontantstrøm

Kontantstrøm danner grunnlaget for en investeringsanalyse over en tidsspesifikk periode og defineres som de totale inn- og utbetalinger som påvirkes av om investeringen gjennomføres eller ikke (Fjell, 1984). Positiv kontantstrøm oppstår dersom innbetalingene overstiger utbetalingene, og negativ kontantstrøm ved utbetalinger som overstiger innbetalingene (Fiken, u.å.). Kartlegging av positiv eller negativ kontantstrøm er en viktig del av en investeringsanalyse for å bestemme den økonomiske lønnsomheten til en gitt investering.

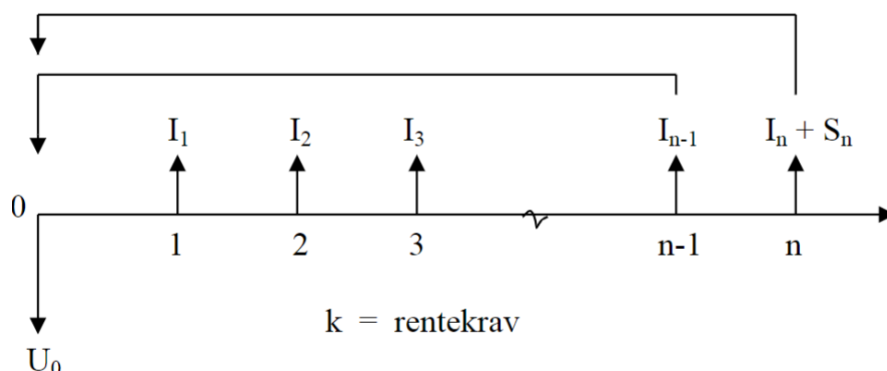
Kontantstrømmen kan deles opp i tre deler. Kontantstrøm fra investering, drift og finansiering (Fiken, u.å.).

3.6.2 Nåverdi

Nåverdi er dagens verdi av et fremtidig beløp eller investering, og er et sentralt begrep innen investeringsteori. Nåverdimetoden sammenligner nåverdien (på investeringstidspunktet) med inn- og utbetalinger, og for at inn- og utbetalingene på forskjellige tidspunkt skal være sammenlignbare, må de regnes om til dagens verdi. Basert på formelen illustrert ved figur 3.4, presenteres nåverdi som differansen mellom diskonterte inn- og utbetalinger. Det å transformere fremtidige beløp om til nåverdi der diskonteringsrenten er gitt ved avkastningskravet til investeringen kalles å diskontere (Hagen, 2011). I_t er innbetalingsoverskuddet (inn- og utbetalinger i et gitt år t), og U_0 er investeringsutgiften. Videre er S_n salgsværdien av investeringsobjektet når objektets levetid er slutt, n er levetiden og k rentekravet (Hagen, 2011). Figur 3.5 illustrerer en oversikt over inn- og utbetalinger med blant annet rentekrav, innbetalingsoverskudd, investeringsutgift og salgsværdi.

$$NV = -U_0 + \sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+k)^t} + \frac{S_n}{(1+k)^n}$$

Figur 3.4: Formel for nåverdi (S. Egge, personlig kommunikasjon, 2021).



Figur 3.5: Oversikt over inn- og utbetalinger (S. Egge, personlig kommunikasjon, 2021)

3.6.3 Avkastningskrav

Avkastningskravet, eller diskonteringsrenten til investeringen, skal reflektere risiko og usikkerheten ved å binde opp økonomiske midler som ellers kunne blitt investert i obligasjoner (Hagen, 2011). Bøhren & Gjørnum (1983) beskriver at budsjettering av kontantstrøm er et utfordrende problem i praksis ettersom nåverdi vil variere med diskonteringsrenten til investeringen. Videre beskriver forfatterne at en høyere diskonteringsrente vil gi en lavere nåverdi, og motsatt (Bøhren & Gjørnum, 1983). Formel 3.2 viser fremgangsmåte for beregning av avkastningskrav.

$$\text{Avkastningskrav} = \text{risikofri rente} + \text{markedets risikopremie} \times \beta \quad (3.2)$$

Formelen viser avkastningskrav gjennom kapitalverdimodellen, som er den avkastningen eieren av bedriften alternativt kunne oppnådd i andre prosjekter eller gjennom kjøp av obligasjoner (Bøhren & Gjørnum, 1983). Boye & Koekebakker (2006) forklarer at ved beregning av risikofri rente er det gunstig å benytte gjeldende statsobligasjonsrente med løpetid tilpasset tidshorizonten for investeringen. For å komplementere risikofri rente benyttes markedets risikopremie for å beskrive forventet avkastning over risikofri avkastning. Markedspremien er uavhengig av bedriftsspesifikke faktorer, og er felles for hele markedet (Andersen & Skjeret, 2003). Betaverdi (β) representerer markedets systematiske risiko, som for eksempel varierende grad av inflasjon og renteøkninger (Sander, 2022).

3.7 EUs kvotesystem og CO₂-avgift

EUs kvotesystem og CO₂-avgiften er to økonomiske virkemidler i klimapolitikken som treffer ulike deler av norsk næringsliv, herunder kvotepliktig og ikke-kvotepliktig sektor. Kvotepliktig sektor omfatter petroleumsvirksomhet, kraftproduksjon, luftfart og landbasert industri i Norge. Ikke-kvotepliktig sektor utgjør klimagassutslippet fra transport, landbruk, oppvarming i bygg, avfall og bruk av fluorholdige gasser (Klima- og miljødepartementet, 2020).

Ettersom det ville vært utfordrende å direkte regulere klimagassutslippene fra anleggsprosjekter gjennom et kvotesystem, er ikke-kvotepliktig sektor underlagt CO₂-avgiftssystemet til regjeringen (Energi & Klima, u.å). Norge innførte CO₂-avgift på mineralske produkter for første gang i 1991 (Finansdepartementet, 2020). Mineralolje, herunder diesel, benyttes som

drivstoff i gravemaskiner. Det var først i 1999 mineralolje ble separert ut som et eget avgiftsvedtak (Prop. 1 (1998-1999)). Klimagassutslippet fra 1 liter diesel genererer 2,66 kg CO₂-ekvivalenter (Miljødirektoratet, 2020). Dermed vil 376 liter diesel generere 1 tonn klimagassutslipp målt i CO₂-ekvivalenter. Med utgangspunkt i CO₂-avgiften for 2015 på kr 0,90 per liter tilsvarer det kr 338,4 per tonn klimagassutslipp, mens for avgiftsnivået i 2023 tilsvarer dette kr 951,3.

Norske myndigheter har et gradvis mål om å kontinuerlig øke prisbanen per tonn CO₂-utslipp til over kr 2000 i 2030, og har laget en egen analyse fra 2022 som skal benyttes i samfunnsøkonomiske analyser (Finansdepartementet, 2022). For ikke-kvotepliktig utslipp beregnes prisbanene etter utgangspunkt gjennom den generelle satsen i CO₂-avgiften for mineralske produkter. Prisbanen justeres videre med en gradvis økning til kr 2230 per tonn klimagassutslipp i 2030 med utgangspunkt i regjeringens klimaplan fra 2021 til 2030.

4 Resultat

I dette kapitlet presenteres fremtidig estimerte prisbaner for diesel og hydrogen. Prisbanene vil anvendes som inngangsvariabler i Monte Carlo-simuleringen som genererer utgangsvariabler. Tilhørende presenteres en sensitivitetsanalyse av inngangsvariablene benyttet i Monte Carlo-simuleringen presentert gjennom et tornadodiagram. Avslutningsvis presenteres forutsetninger og beregninger tilhørende investeringsanalysen for en diesel- og hydrogendrevet versjon av Volvo EC300EL.

4.1 Fremtidig estimerte prisbaner

I dette kapitlet presenteres fremgangsmåten for beregning av inngangsvariablene for diesel- og hydrogenpris til videre anvendelse i Monte-Carlo simuleringen i kapittel 4.2.

4.1.1 Dieselpris

For å estimere fremtidig CO₂-avgift er det sett nærmere på den historiske utviklingen til CO₂-avgiften for mineralske produkter og regjeringens fremtidige karbonprisbaner for anvendelse i samfunnsøkonomiske analyser. Tabell 4.1 viser historisk prisbane for CO₂-avgiften i tidsperioden mellom 2015 og 2023. Tabellen viser at avgiftsnivået for 2015 var kr 0,90 per liter mineralolje, mens avgiften i 2023 er økt til kr 2,53 (Skattedirektoratet, 2023). Ettersom tabellen viser at det er tidvis høye variasjoner per år, er den gjennomsnittlige økningen per år beregnet til 14,32%.

Tabell 4.1: Historisk prisbane CO₂-avgift for mineralske produkter (Skattedirektoratet, 2023)

	Enhet	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CO ₂ -avgift	kr/liter	0,90	0,92	1,20	1,33	1,35	1,45	1,58	2,05	2,53
Prosentvis økning			2,22%	30,43%	10,83%	1,50%	7,41%	8,97%	29,75%	23,41%

Tabell 4.2 viser regjeringens fremtidige karbonprisbane for anvendelse i samfunnsøkonomiske analyser frem til 2030. Tabellen viser at den fremtidige prisbanen per tonn i 2022 var satt til kr 766 per tonn CO₂-utslipp, mens avgiften i 2030 forventes å øke til kr 2230 (Finansdepartementet, 2022). Tabellen viser at den prosentvise økningen per år er avtakende frem mot 2030. Den gjennomsnittlige økningen per år er i tidsperioden estimert til 14,39%.

Tabell 4.2: Fremtidig prisbane per tonn CO₂-utslipp for ikke-kvotepliktig sektor
(Finansdepartementet, 2022).

	Enhet	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ikke-kvotepliktig utslipp	kr/tonn	766,0	952,0	1135,0	1317,0	1500,0	1682,0	1865,0	2047,0	2230,0
Prosentvis økning			24,3%	19,2%	16,0%	13,9%	12,1%	10,9%	9,8%	8,9%

Vi kan dermed se at den historiske CO₂-avgiften i tabell 4.1 og den fremtidige estimerte karbonprisbanen fra regjeringen i tabell 4.2 er korrelerende, med gjennomsnittlig økning på henholdsvis 14,32 og 14,39%. Hovedscenarioet for CO₂-avgiften er dermed satt til 14,39% årlig økning. For å belyse påvirkningen ulike avgiftsnivåer vil ha på investeringen, er det inkludert et høy- og lavprisscenario med basis i hovedprisscenario for CO₂-avgiften. Høy- og lavprisscenario er beregnet i formel 4.1 og 4.2. De ulike prisscenarioene er videre presentert i tabell 4.3.

$$\text{Høyprisscenario} = 14,39\% + \frac{14,39\%}{2} = 21,59\% \quad (4.1)$$

$$\text{Lavprisscenario} = 14,39\% - \frac{14,39\%}{2} = 7,20\% \quad (4.2)$$

Tabell 4.3: Fremtidige prisscenarioer for CO₂-avgift.

Scenario	Prosentvis økning
Høy	21,59%
Hoved	14,39%
Lav	7,20%

For å beregne årlig gjennomsnittlig prisvariasjon for diesel er historisk avgiftspliktig dieselprisutvikling mellom 2015 til 2023 innhentet fra Statistisk sentralbyrå (SSB). Ettersom den historiske prisutvikling på avgiftsfri diesel ikke er tilgjengelig, er prosentvis økning for avgiftspliktig diesel benyttet. Høyest og lavest dieselpris for hvert år sammenlignes gjennom 12 måneder, hvor differansen oppgitt i prosent benyttes for å beregne gjennomsnittlig prisvariasjon gjennom perioden mellom 2015 og 2023. Som det kommer frem av beregningen i vedlegg 1, er den månedlige dieselprisutviklingen presentert i tidsperioden fra 2015 til 2023.

Vedlegget viser beregning av standardavvik, gjennomsnittlig pris og årlig gjennomsnittlig prisvariasjon. Den gjennomsnittlige prisvariasjonen gjennom et år er i vedlegget beregnet til 15,29% (Statistisk Sentralbyrå, u.å.). Prisvariasjonen er videre benyttet for å etablere et høyt- og lavprisscenario estimert i formel 4.3 og 4.4 som videre danner grunnlag for den prosentvise økningen i tabell 4.4. Hovedprisscenarioet i tabellen følger inflasjonsmålet til Norges Bank på 2%.

$$\text{Høyprisscenario} = \frac{\text{Gjennomsnittlig prisvariasjon}}{2} = \frac{15,29\%}{2} = +7,65\% \quad (4.3)$$

$$\text{Lavprisscenario} = -\frac{\text{Gjennomsnittlig prisvariasjon}}{2} = -\frac{15,29\%}{2} = -7,65\% \quad (4.4)$$

Tabell 4.4: Fremtidige estimerte prisscenarioer for dieselpriis.

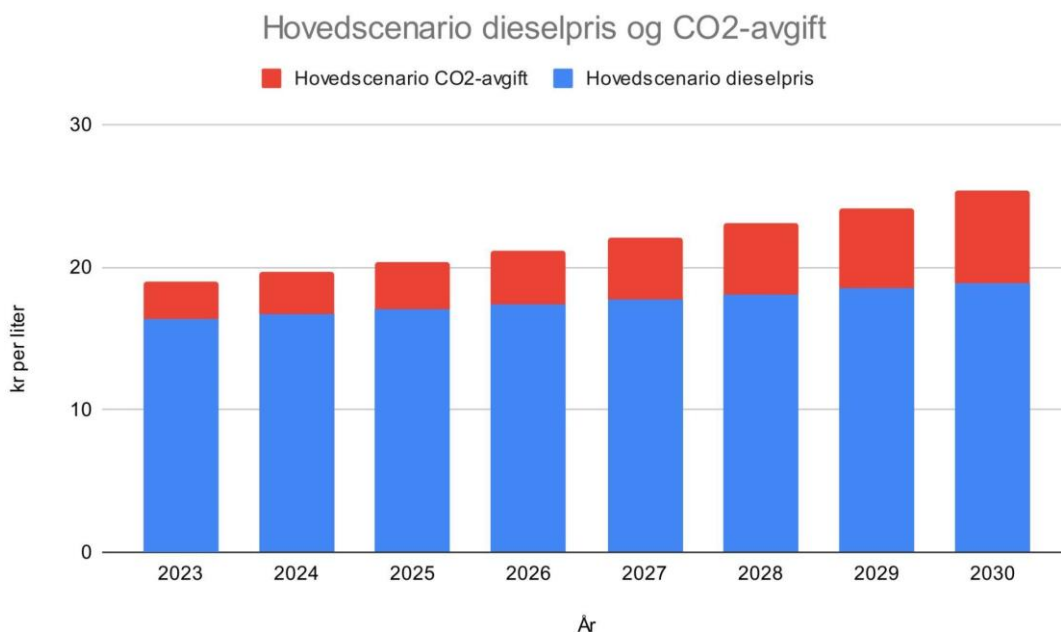
Scenario	Prosentvis økning
Høy	7,65%
Hoved	2,00%
Lav	-7,65%

Konsekvensene de ulike prisscenarioene har for fremtidig utvikling av dieselpriis, og illustreres i tabell 4.5. Tabellen viser at hovedscenariet for CO₂-avgiften er beregnet til kr 6,48 per liter i 2030, mens høy- og lavprisscenarioet henholdsvis er kr 6,95 og kr 6,02 per liter i 2030. Hovedscenariet for total dieselpriis 2023 viser at 13,36% av dieselpriisen er CO₂-avgift i 2023. Videre har avgiften i 2030 økt til 25,5% av total dieselpriis.

Tabell 4.5: Fremtidig estimert dieselpriis og CO₂-avgift i kr per liter.

	Enhet	Scenario	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Dieselpriis (avgiftsfri inkl. MVA)	kr/liter	Høy	17,66	18,02	18,38	18,75	19,12	19,50	19,89	20,29
	kr/liter	Hoved	16,41	16,74	17,07	17,41	17,76	18,12	18,48	18,85
	kr/liter	Lav	15,16	15,46	15,77	16,08	16,40	16,73	17,07	17,41
CO ₂ -avgift	kr/liter	Høy		3,10	3,55	4,06	4,64	5,31	6,08	6,95
	kr/liter	Hoved	2,53	2,89	3,31	3,79	4,33	4,96	5,67	6,48
	kr/liter	Lav		2,69	3,07	3,51	4,02	4,60	5,26	6,02
SUM (inkl. infl. 2%)	kr/liter	Høy	20,25	21,18	22,00	22,89	23,86	24,92	26,09	27,38
	kr/liter	Hoved	18,94	19,69	20,45	21,28	22,18	23,17	24,26	25,46
	kr/liter	Lav	17,74	18,20	18,90	19,67	20,51	21,42	22,43	23,55

I figur 4.1 er dieselpriis og CO₂- avgift presentert gjennom hovedscenarior fra 2023 til 2030. Basert på fremtidig estimert hovedprisscenario i figur 4.1 ser vi at utviklingen til CO₂-avgiften gir det største utslaget for årlig prisdifferanse. Presentert i tabell 4.5 er det estimert at CO₂-avgiften fra 2023 til 2030 skal øke fra kr 2,53 til kr 6,48 per liter.



Figur 4.1: Hovedscenarior av estimert dieselpriis og CO₂-avgift for perioden 2023 til 2030.

For å kunne sammenligne drivstoffprisen mellom diesel og hydrogen er felles måleenhet satt til kr per kWh. Dieselpriis er dermed konvertert fra kr per liter til kr per kWh for å kunne sammenligne diesel og hydrogen som drivstoff basert på differansen i kostnad per kWh. Diesel har en energitetthet på 10,1 kWh per liter, illustrert i tabell 4.6, som er benyttet for å konvertere diesel fra kr per liter til kr per kWh.

Tabell 4.6: Energitetthet og konverteringseffektivitet (Ballard Motive Solutions, u.å.).

Drivstoff	Energi	Konverteringseffektivitet	Trekkraft
Diesel	10,1 kWh/l	30%	3 kWh/l
Hydrogen	33,33 kWh/kg	50%	16,5 kWh/kg

Tabell 4.7 viser fremtidig dieselpriis med de fremtidige estimerte prisbanene i kr per kWh. Tabellen viser at hovedprisscenarioet forventes å øke fra kr 1,88 til 2,52 per kWh.

Høyprisscenarioet estimerer en økning fra kr 2,00 til 2,71 per kWh, mens lavprisscenarioet estimeres å øke fra kr 1,76 til 2,33 per kWh. Kapittel 4.2 simulerer estimert prisbane med 10.000 Monte Carlo-simuleringer for å kartlegge sannsynligheten for at de estimerte prisbanene inntreffer.

Tabell 4.7: Fremtidig estimert dieselpriis og CO₂-avgift i kr per kWh.

	Enhet	Scenario	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Dieselpriis (avgiftsfri inkl. MVA)	kr/kWh	Høy	1,75	1,78	1,82	1,86	1,89	1,93	1,97	2,01
	kr/kWh	Hoved	1,62	1,66	1,69	1,72	1,76	1,79	1,83	1,87
	kr/kWh	Lav	1,50	1,53	1,56	1,59	1,62	1,66	1,69	1,72
CO ₂ -avgift	kr/kWh	Høy		0,31	0,35	0,40	0,46	0,53	0,60	0,69
	kr/kWh	Hoved	0,25	0,29	0,33	0,37	0,43	0,49	0,56	0,64
	kr/kWh	Lav		0,27	0,30	0,35	0,40	0,46	0,52	0,60
SUM (inkl. infl. 2%)	kr/kWh	Høy	2,00	2,10	2,18	2,27	2,36	2,47	2,58	2,71
	kr/kWh	Hoved	1,88	1,95	2,02	2,11	2,20	2,29	2,40	2,52
	kr/kWh	Lav	1,76	1,80	1,87	1,95	2,03	2,12	2,22	2,33

4.1.2 Hydrogenpris

Kapittelet viser fremtidig beregninger for hydrogenpris basert på prisprognoser for strømpris, kombinert med utvikling av effektivitet elektrolyser, elektrolyserkostnad ekskludert strømkostnad og virkningsgrad til brenselcelle. De øvrige parameterne er inngangsverdier som benyttes i Monte Carlo-simuleringen i kapittel 4.2 for å danne utfallsrommet til fremtidig hydrogenpris.

For å etablere prognosen for fremtidig strømpris er det tatt utgangspunkt i NVEs langsiktige kraftmarkedsanalyse der prisprognoser for strømpris er estimert frem til 2030. Basert på forskningsarbeidet til Birkelund et al. (2021) presenteres prisprognosene for strømpris i et tidsrom fra 2023 til 2030, illustrert ved tabell 4.8. Strømprisen presenteres som kr per kWh ved trekantfordeling hvor et høy-, hoved- og lavprisscenario fremlegges basert på gjennomsnittlig økning i strømpris.

Tabellen viser fremtidig prisutvikling frem til 2030 presentert som realverdier, hvor prisen er justert for årlig prisutvikling som følger inflasjonsmålet til Norges Bank på 2%. Visualisert i tabellen, fremkommer det at prisdifferansen for hovedscenario mellom 2023 og 2030 ikke har den store differansen, henholdsvis kr 0,53 og 0,54 per kWh (Birkelund et al., 2021). Høyprisscenarioet presenteres ved noe høyere differanse, hvor strømprisen for 2023 tilsvarer kr 0,62 per kWh, mens strømprisen i 2030 ventes å ligge på kr 0,70 per kWh.

Tabell 4.8: Fremtidig strømpris justert for prisutvikling (Birkelund et al., 2021).

	Enhet	Scenario	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Strømpris	kr/kWh	Høy	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,68	0,69	0,70
	kr/kWh	Hoved	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,54	0,54	0,54
	kr/kWh	Lav	0,45	0,44	0,44	0,44	0,43	0,43	0,42	0,42

Gjennom personlig kommunikasjon med forretningsanalytiker i Sunnhordland Kraftlag med utgangspunkt i forskningsarbeidet til Schmidt et al. (2017), dannes grunnlaget for fremtidig utvikling av elektrolyseren presentert i tabell 4.9. Gjennom et utvalg på 10 eksperter presenteres fremtidige prognoser for elektrolyserers utvikling frem til 2030. Den fremtidige utviklingen av effektiviteten til elektrolyseren er presentert som uendret under høyscenario, basert på at det i verste fall ikke forekommer en positiv utvikling av elektrolyserens effektivitet frem mot 2030.

Effektiviteten til elektrolyseren viser hvor mye kraft som trengs for å produsere 1 kgH₂. Tabellen viser elektrolyserens utvikling av effektivitet i tidsrommet 2023 til 2030, hvor kraftbehovet for å produsere en kgH₂ avtar med årene under hoved- og lavscenarior.

Tabell 4.9: Effektivitet elektrolyser fra 2023 til 2030 (Forretningsanalytiker, SKL, personlig kommunikasjon, 4. mars 2023; Schmidt et al., 2017).

	Enhet	Scenario	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Effektivitet elektrolyser	kWh/kgH ₂	Høy	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00
	kWh/kgH ₂	Hoved	53,00	52,60	52,10	51,70	51,30	50,80	50,40	50,00
	kWh/kgH ₂	Lav	53,00	52,10	51,30	50,40	49,60	48,80	47,90	47,20

Basert på energitettheten til hydrogen presentert i tabell 4.6 og effektiviteten til elektrolyseren kan virkningsgrad til elektrolyseren beregnes i tabell 4.10. Beregning av elektrolyserens virkningsgrad er illustrert i formel 4.5. Dagens virkningsgrad for elektrolyseren utgjør 62,89%, hvor det estimeres at virkningsgraden økes til 66,66% i 2030 under hovedscenariot fra trekanfordelingen. Når virkningsgraden øker trengs det mindre kraft for å produsere 1 kgH₂. Dette vil resultere i en reduksjon av produksjonskostnaden for grønt hydrogen produsert fra elektrolyse.

$$\text{Virkningsgrad elektrolyser} = \frac{\text{energitetthet hydrogen}}{\text{effektivitet elektrolyser}} \quad (4.5)$$

Tabell 4.10: Virkningsgrad elektrolysør fra 2023 til 2030.

	Enhet	Scenario	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Virkningsgrad elektrolysør	%	Lav	62,89%	62,89%	62,89%	62,89%	62,89%	62,89%	62,89%	62,89%
	%	Hoved	62,89%	63,37%	63,97%	64,47%	64,97%	65,61%	66,13%	66,66%
	%	Høy	62,89%	63,97%	64,97%	66,13%	67,20%	68,30%	69,58%	70,61%

Elektrolyserkostnaden ekskludert strømkostnad er fremstilt i tabell 4.11, hvor alle kostnader knyttet til elektrolyseren med unntak av strømpris inngår i beregningen. Datamaterialet tar utgangspunkt i personlig kommunikasjon med Chief Executive Officer i Hydrogen Solutions (personlig kommunikasjon, 3. mars 2023). Tabellen presenterer enhetskostnadene oppgitt i kr per kgH₂, og er et mål på kostnaden til elektrolyseren per kg hydrogen som produseres. Kostnaden fremstilles som kr per kgH₂ og er estimert fra 2023 og frem til 2030 ved trekantfordelinger hvor de tre scenarioene er presentert.

Tabell 4.11: Elektrolyserkostnad ekskludert strømkostnad.

	Enhet	Scenario	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Pris eks.	kr/kgH ₂	Høy	30,00	30,00	29,00	28,00	27,00	26,00	25,00	24,00
strømkostnader	kr/kgH ₂	Hoved	25,00	25,00	24,00	23,00	22,00	21,00	20,00	19,00
	kr/kgH ₂	Lav	20,00	20,00	19,00	18,00	17,00	16,00	15,00	13,00

Basert på fremtidige prisbaner for strømpris og effektivitet elektrolysør kan strømkostnadene for produksjon av grønt hydrogen fra elektrolyse beregnes i tabell 4.12. Tabellen belyser fremtidige estimerte priser for strømkostnader elektrolyse. Strømkostnadene for elektrolyse er et mål hva det vil koste å produsere 1 kg hydrogen. Strømkostnad for elektrolyse er beregnet ved å benytte strømprisen multiplisert med effektiviteten til elektrolyseren, og er presentert ved formel 4.6. Strømkostnaden er videre presentert ved trekantfordeling gjennom et høy-, hoved- og lavprisscenario. Som det fremkommer av tabellen er det anslått at strøm kostnader ved produksjon av grønt hydrogen vil avta med årene. Gjennom lavprisscenarioet presenteres strømkostnadene ved elektrolyse å reduseres fra kr 23,74 per kgH₂ i 2023 til kr 19,82 per kgH₂. Hovedprisscenarioet viser kostnadsreduksjon fra kr 27,88 per kg H₂ i 2023 til kr 27 per kgH₂ i 2030. Som det fremkommer av høyprisscenarioet, estimeres strømkostnadene ved elektrolyse å øke fra kr 32,65 per kgH₂ i 2023 til kr 37,10 per kgH₂ i 2030. Prisøkningen for høyprisscenarioet vil utgjøre en betydelig sum, spesielt i tilfeller hvor hydrogenproduksjon gjennomføres i større skala.

$$\text{Strømkostnader elektrolyse} = \text{Strømpris} \cdot \text{effektivitet elektrolysør} \quad (4.6)$$

Tabell 4.12: Strømkostnader elektrolyse.

	Enhet	Scenario	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Strømkostnader elektrolyse	kr/kgH2	Høy	32,65	33,28	33,92	34,56	35,19	35,83	36,46	37,10
	kr/kgH2	Hoved	27,88	27,77	27,61	27,50	27,39	27,23	27,12	27,00
	kr/kgH2	Lav	23,74	23,13	22,57	21,97	21,43	20,89	20,31	19,82

Tabell 4.13 viser fremtidig utvikling av virkningsgrad brenselcelle, hvor datamaterialet er hentet fra personlig kommunikasjon med Chief Executive Officer i Hydrogen Solutions (personlig kommunikasjon, 3. mars 2023). Fra tabellen presenteres virkningsgraden til brenselcellen å utvikles fra 50% i 2023 under et hovedscenario, til 59% i 2030. Ved lavprisscenario er det estimert at virkningsgraden vil gå fra 46% til 55% i samme syvårsperiode, mens under høyprisscenario ventes en økning i virkningsgrad fra 55% til 64%. Sammenlignet med hovedscenario for virkningsgrad brenselcelle er dette i tillegg talldata som korrelerer med oppgitt virkningsgrad fra Head of Projects ved Alma, hvor dagens virkningsgraden for PEM brenselceller ble oppgitt å være 40-55% avhengig av belastning (personlig kommunikasjon, 23. februar 2023). Vedlegg 3 viser oppsummeringen av inngangsvariablene for videre anvendelse gjennom Monte Carlo-simuleringen av hydrogenpris.

Tabell 4.13: Virkningsgrad brenselcelle fra 2023 til 2030. (Chief Executive Officer, Hydrogen Solutions, personlig kommunikasjon, 3. mars 2023).

	Enhet	Scenario	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Virkningsgrad brenselcelle	%	Lav	46,00	46,00	48,00	49,00	51,00	52,00	54,00	55,00
	%	Hoved	50,00	50,00	52,00	53,00	55,00	56,00	58,00	59,00
	%	Høy	55,00	55,00	56,00	58,00	59,00	61,00	62,00	64,00

4.2 Monte Carlo-simulering av estimerte prisbaner

I dette kapittelet vil det presenteres Monte Carlo-simulering av estimerte prisbaner for diesel- og hydrogenpris. Grunnlaget for simuleringen består av estimert fremtidig prisbane for diesel- og hydrogenpris i kapittel 4.1.1 og 4.1.2. Monte Carlo-simuleringen er gjennomført med 10.000 iterasjoner, hvor utgangsvariablene fra simuleringen presenteres. Videre er resultatene presentert ved trekantfordeling som presenterer prisen gjennom et høy-, hoved- og lavprisscenario for diesel og hydrogen.

4.2.1 Dieselpriis

Monte Carlo-simuleringen er gjennomført med 10.000 iterasjoner basert på estimert datamateriale presentert i kapittel 4.1.1 knyttet til fremtidig dieselpriis og CO₂-avgift. Tabell 4.14 presenterer utgangsvariablene fra Monte Carlo-simuleringen. Som det fremkommer av tabellen vil dieselpriisen øke med årene fra 2024 til 2030. Tilhørende visualiserer figur 4.3 trendutviklingen fra resultatene i tabell 4.14 grafisk.

Utgangsvariablene korrelerer med vår fremtidig estimerte prisprognose fra tabell 4.7, hvor lavprisscenarioet er satt til kr 1,76 per kWh og høyprisscenarioet er satt til kr 2,00 per kWh. Hovedscenariot fra Monte Carlo-simuleringen er simulert til kr 1,94 per kWh, og er et resultat som samsvarer med vårt estimerte hovedscenariot på kr 1,88 per kWh. Monte Carlo-simuleringen viser at fordelingen blir større med årene, som medfører at usikkerheten er økende frem mot 2030. Tabellen viser at standardavviket øker fra 0,052 i 2024 til 0,061 i 2030. Dette vil si at utgangsvariablene har økt spredning, som et resultat av at differansen mellom lav- og høyprisscenariot har en årlig økning.

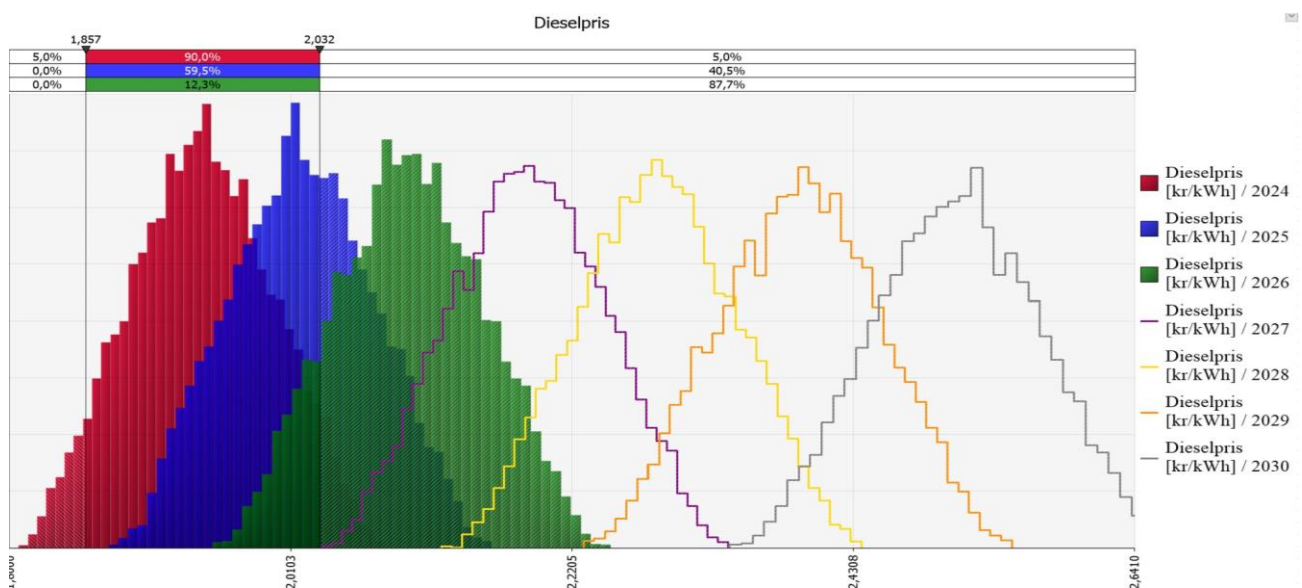
Konfidensintervallet fra Monte Carlo-simuleringen er satt til 90%. Intervallet med tilhørende konfidensprosent indikerer hvor sikker en kan være på at den sanne verdien ligger i konfidensintervallet som er oppgitt, og er presentert i tabell 4.14. Et lite konfidensintervall tyder på sikre estimer, mens et stort konfidensintervall tyder på mindre sikre estimer. Fra Monte Carlo-simuleringen av dieselpriis fremkommer det at estimatene fra konfidensintervallet avviker lite i starten, men avviket øker for hvert år. Årsaken til dette er basert på at verdiene starter som presise, men at sikkerheten på estimatene avtar med årene frem til 2030 og estimatene blir mindre presise.

Tabell 4.14: Utgangsvariablene fra Monte Carlo-simuleringen av dieselpriis.

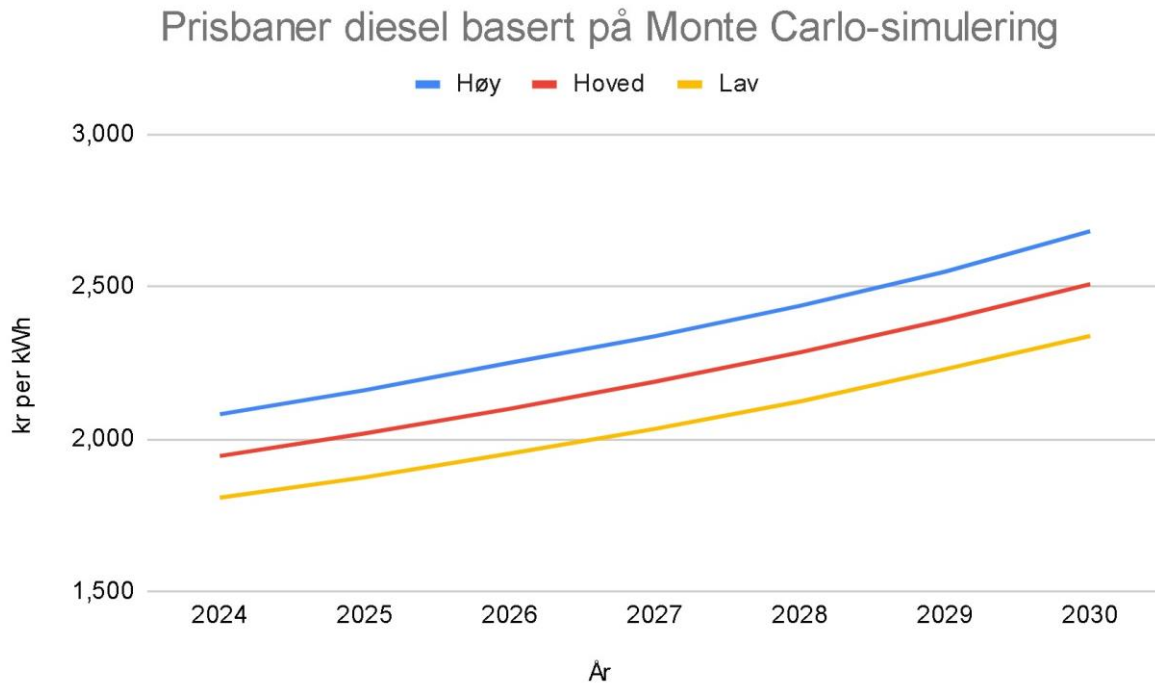
	Enhet	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Høy	kr/kWh	2,081	2,160	2,250	2,337	2,437	2,549	2,682
Hoved	kr/kWh	1,944	2,018	2,099	2,188	2,284	2,391	2,508
Lav	kr/kWh	1,807	1,874	1,952	2,033	2,123	2,229	2,338
90% konfidensintervall	kr/kWh	± 0,000862	± 0,000884	± 0,000905	± 0,000926	± 0,000952	± 0,000977	± 0,00101
Mode	kr/kWh	1,948	2,015	2,082	2,188	2,297	2,396	2,509
Median	kr/kWh	1,944	2,018	2,099	2,188	2,284	2,392	2,509
Standardavvik	kr/kWh	0,052	0,054	0,055	0,056	0,058	0,059	0,061
Skjevhet	kr/kWh	0,006	0,007	0,003	-0,017	0,007	-0,022	0,015
Kurtose	kr/kWh	2,443	2,429	2,440	2,448	2,458	2,475	2,510

Figur 4.2 består av tetthetsfunksjoner som presenterer sannsynligheten for at dieselpriisen vil ligge i de øvrige prisområdene, hvor tetthetsfunksjonen er presentert som en gammafordeling. Fremtidige år som 2024, 2025 og 2026 presenteres som rød, blå og grønn kurve. Figuren presenterer utgangsvariablene fra simuleringen. Parameter fra simuleringen er blant annet median, mode, standardavvik, skjevhet og kurtose.

Figuren viser at 2024 ligger 90% av utfallsrommet i intervallet [1,807 kr/kWh; 2,081 kr/kWh], som betyr at det er 5% sannsynlighet for at prisen blir lavere enn kr 1,807 per kWh og 5% sannsynlighet for at prisen blir høyere enn kr 2,081 per kWh. Konfidensintervallet på 90% holdes låst, men intervallet med tallverdiene kan øke eller minke basert på utfallet av simuleringen.



Figur 4.2: Monte Carlo-simulering av dieselpriis og CO₂-avgift i kr per kWh.



Figur 4.3: Grafisk illustrasjon av hovedresultatene fra Monte Carlo-simuleringen i tabell 4.14.

4.2.2 Hydrogenpris

Det er gjennomført en Monte Carlo-simulering av fremtidig hydrogenpris produsert fra elektrolyse. Grunnlaget for hydrogenpris baseres på estimert datamateriale knyttet til strømpris, effektivitet elektrolyser, elektrolyserkostnad ekskludert strømkostnad og virkningsgrad brenselcelle fra kapittel 4.1.2 benyttes for å generere utfallsrommet for hydrogenpris.

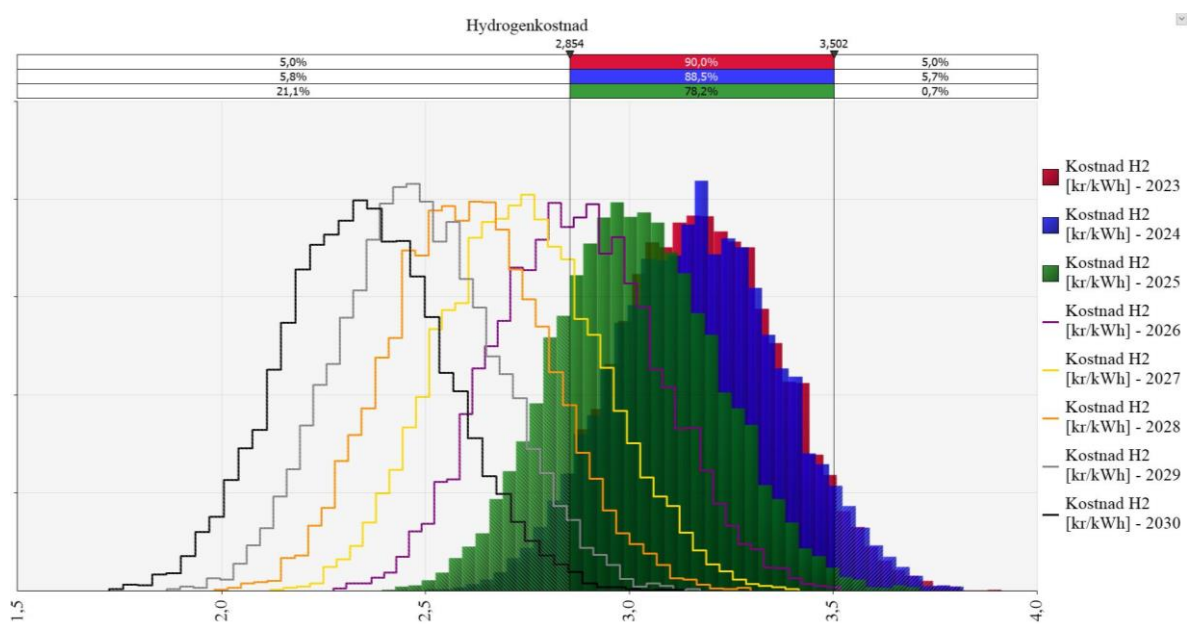
Resultatene fra Monte Carlo-simuleringen av hydrogenpris er presentert tabell 4.15, hvor trekantfordelingen med tre ulike prisscenarioene presenteres. Lavprisscenario presenteres i utfallsrommet fra kr 2,570 per kWh i 2023 til kr 1,720 per kWh i 2030. Utfallsrommet for hovedprisscenarioet presenteres fra kr 3,170 per kWh i 2023 til kr 2,350 per kWh i 2030. Høyprisscenarioet er utfallsrommet med lavest prisutvikling gjennom perioden, og presenteres fra kr 3,910 per kWh i 2023 til kr 3,130 per kWh i 2030. Konfidensintervallet er også her satt til 90%, hvor man fra simuleringen kan se en økende utvikling, da usikkerheten knyttet til utfallsrommet øker med årene.

Tabell 4.15: Utgangsvariablene fra Monte Carlo-simuleringen av hydrogenpris.

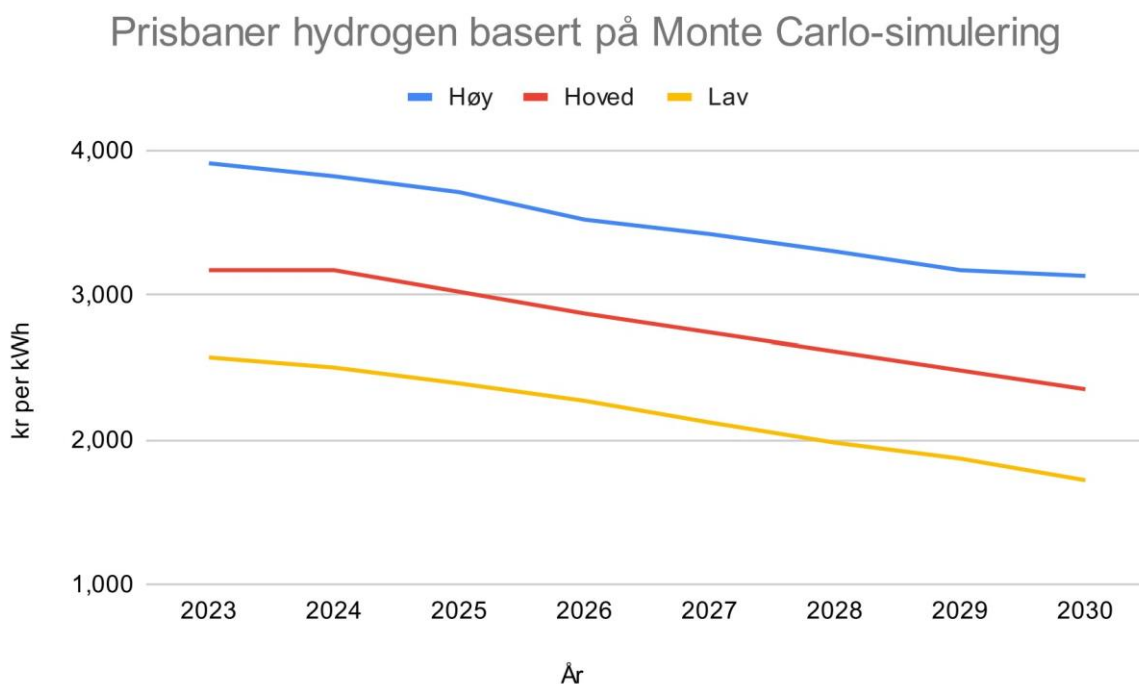
	Enhet	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Høy	kr/kWh	3,910	3,820	3,710	3,520	3,420	3,300	3,170	3,130
Hoved	kr/kWh	3,170	3,170	3,020	2,870	2,740	2,610	2,480	2,350
Lav	kr/kWh	2,570	2,500	2,390	2,270	2,120	1,980	1,870	1,720
90% konfidensintervall	kr/kWh	± 0,00324	± 0,00336	± 0,00325	± 0,00325	± 0,00324	± 0,00318	± 0,00318	± 0,00326
Mode	kr/kWh	3,110	3,190	3,060	2,900	2,760	2,660	2,470	2,320
Median	kr/kWh	3,170	3,170	3,010	2,870	2,730	2,600	2,480	2,350
Standardavvik	kr/kWh	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,190	0,190	0,200
Skjevhet	kr/kWh	0,090	0,070	0,120	0,110	0,130	0,100	0,110	0,100
Kurtose	kr/kWh	2,750	2,760	2,840	2,750	2,780	2,840	2,790	2,840

Figur 4.4 illustrerer dataene fra Monte Carlo-simuleringen som en tetthetsfunksjon presentert ved gammafordeling, som gir et estimat på hvor sannsynlig det er at hydrogenprisen vil havne innenfor det bestemte intervallet. I figuren er tetthetsfunksjonen for 2023, 2024 og 2025 presentert som rød, blå og grønn farge. Tetthetsfunksjonen til hydrogenpris er motsatt rettet sammenlignet med dieselpriis ettersom hydrogenprisen er avtakende frem mot 2030.

Fra simuleringen fremkommer det med 90% sannsynlighet at hydrogenprisen for 2023 vil ligge i intervallet [2,854 kr/kWh; 3,502 kr/kWh]. Det vil da være 5% sannsynlig at hydrogenprisen havner under 2,854 kr/kWh, og 5% sannsynlig at prisen havner over kr 3,502 per kWh. Figuren viser at sannsynligheten for at hydrogenprisen i 2024 og 2025 havner i samme intervall er henholdsvis 88,5% og 78,2%. Figur 4.5 viser den grafiske utviklingstrenden av hovedresultatet i tabell 4.15.



Figur 4.4: Monte Carlo-simulering av hydrogenpris [kr/kWh].



Figur 4.5: Grafisk illustrasjon av hovedresultatene fra Monte Carlo-simuleringen i tabell 4.15.

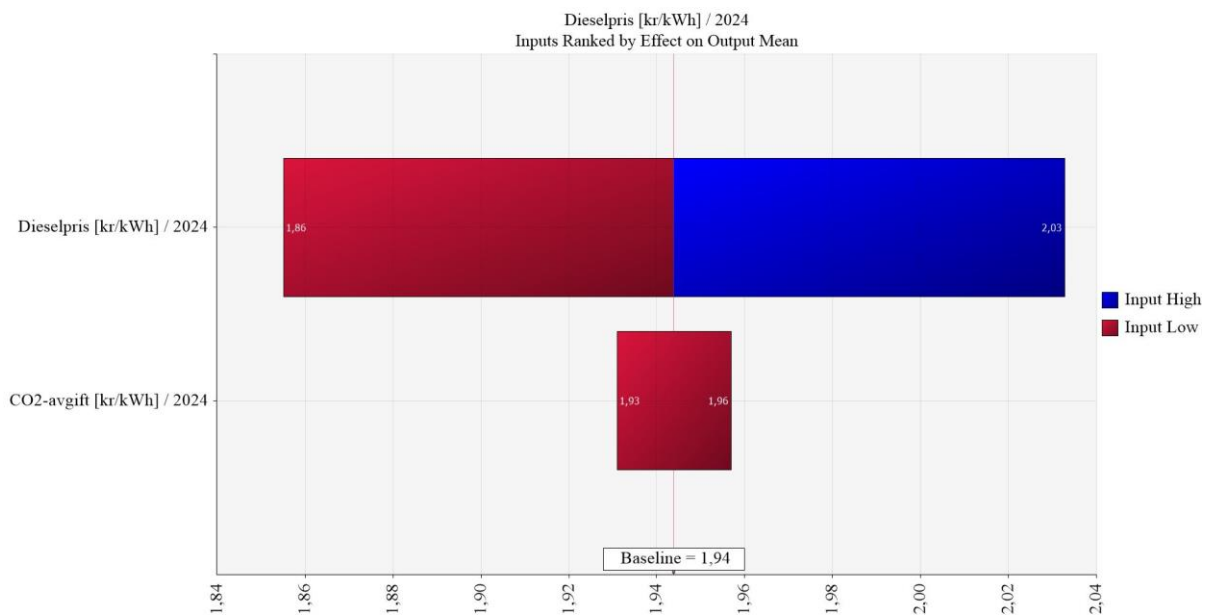
4.3 Sensitivitetsanalyse av Monte Carlo-simulering

For å danne et bilde på hvordan endringer av de ulike inngangsvariablene påvirker utfallet av diesel- og hydrogenpris, er det blitt gjennomført en sensitivitetsanalyse knyttet til de fremtidig estimerte prisbanene. Sensitivitetsanalysen presenteres som et tornadodiagram, og gir en oversikt over hvilke inngangsverdier som har størst påvirkning på utgangsvariablene i Monte Carlo-simuleringen. Inngangsvariablene presenteres som en tetthetsfunksjon, hvor prisen kan variere i et utfallsrom mellom to verdier.

4.3.1 Dieselpris

Sensitivitetsanalysen illustrerer hvordan endringene i en inngangsvariabel vil påvirke dieselprisen sin utgangsvariabel, og fremstilles ved et tornadodiagram. Analysen er et viktig verktøy for å vurdere effekten og påvirkningen av ulike endringer av inngangsvariablene i simuleringen. Sensitivitetsanalysen presenterer dieselpris oppgitt i kr per kWh i år 2024 og 2030 i figur 4.6 og 13.

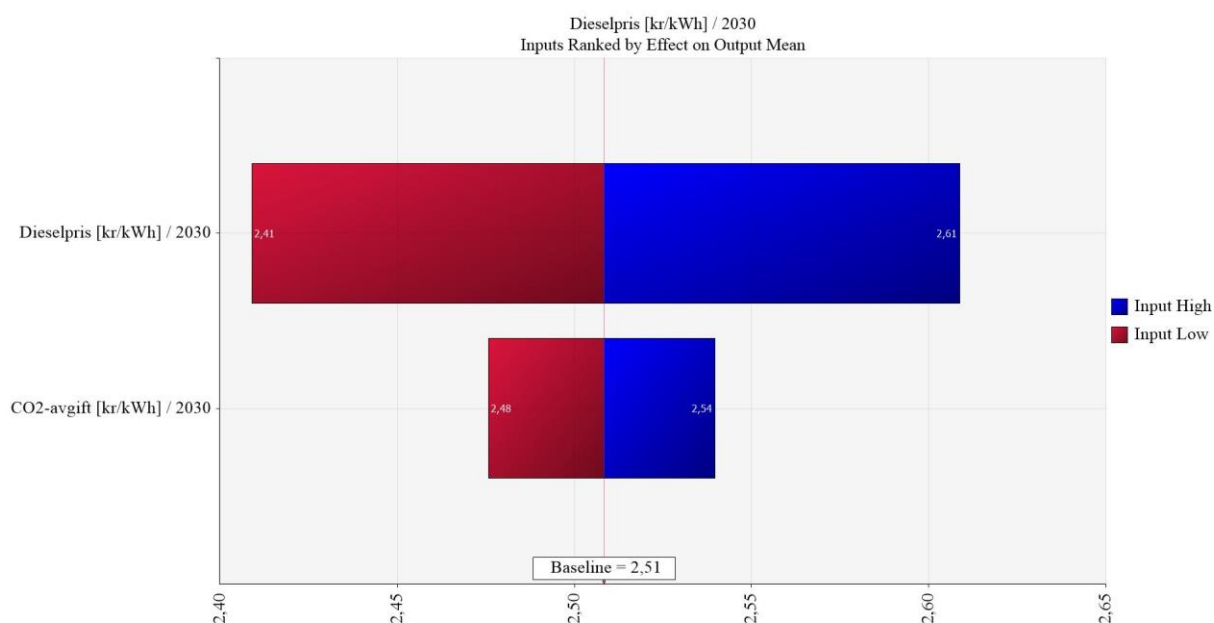
Fremstilt i figur 4.6 presenteres dieselpriisen for 2024 ved de to inngangsvariablene for dieselpriis. Inngangsvariablene er presentert ved et tornadodiagram, hvor tornadodiagrammet illustrerer hvor stor effekt inngangsvariablene har på dieselpriisen som utgangsvariabel sortert etter størrelse. Inngangsvariablene presenteres i et varierende prisintervall som ikke påvirkes av den andre utgangen som holdes konstant på sin gjennomsnittsverdi. Prisen i det blå intervallet er tilfeller hvor prisen på inngangen er høy, mens pris i det røde intervallet er tilfeller hvor prisen på inngangen er lav. Dieselpriis uten CO₂-avgift presenteres i utfallsrommet [1,86 kr/kWh; 2,03 kr/kWh]. CO₂-avgiften er presentert som en mindre inngang hvor utfallsrommet av prisen estimeres i å ligge i intervallet [1,93 kr/kWh; 1,96 kr/kWh]. Prisområdet for CO₂-avgiften har et intervall som er lite nok til at prisintervallet for inngangen kun anses som lav. Baseline for sensitivitetsanalysen, også kalt gjennomsnittsprisen, ligger på kr 1,94 per kWh, illustrert i figuren. Tornadodiagrammet illustrerer hvordan utgangsvariabelen påvirkes av inngangsvariablene sortert etter størrelse.



Figur 4.6: Sensitivitetsanalyse ved tornadodiagram for dieselpriis 2024.

Sensitivitetsanalyse for 2030 er presentert ved figur 4.7, og illustreres som et tornadodiagram med inngangsvariablene fra tetthetsfunksjonen. Dieselpriis uten CO₂-avgift for år 2030 presenteres i utfallsrommet [2,41 kr/kWh; 2,61 kr/kWh]. Intervallet fra kr 2,41 per kWh og opp til gjennomsnittsprisen på kr 2,51 per kWh er utfallsrommet for lav inngang. Intervallet fra kr

2,51 per kWh og opp til kr 2,61 per kWh er utfallsrommet for høy inngang. Prisen for CO₂-avgift er ventet å ligge i utfallsrommet [2,48 kr/kWh; 2,54 kr/kWh]. Som det fremkommer av tornadodiagrammet ved sensitivitetsanalysen er størrelsen på inngangsvariablene belyst for å illustrere hvilke inngangsvariablene som har størst påvirkning på utgangsvARIABLEN.



Figur 4.7: Sensitivitetsanalyse ved tornadodiagram for dieselpriis 2030.

4.3.2 Hydrogenpris

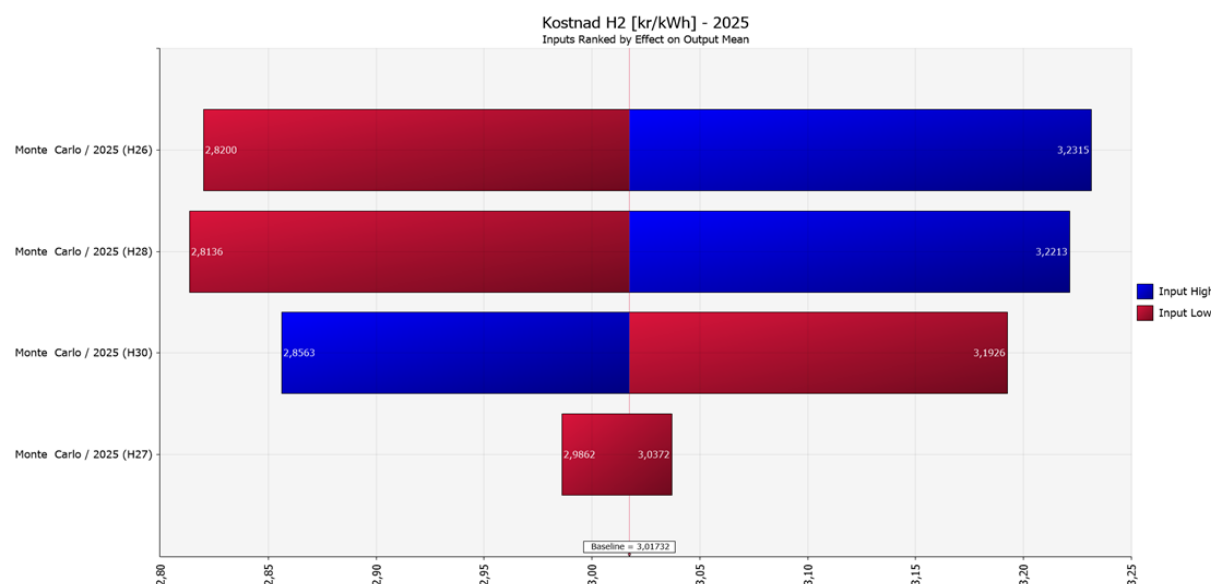
En sensitivitetsanalyse ved tornadodiagram er også gjennomført for å kartlegge hvordan de ulike økonomiske parameterne vil påvirke utgangsvARIABLEN til hydrogenpris. Sensitivitetsanalysen tar for seg hydrogen produsert fra spotpris, som viser hvordan endringer i inngangsvariablene påvirker utfallsrommet. Sensitivitetsanalysen presenteres ved to tilfeller, henholdsvis år 2025 og 2030.

Hydrogenpris produsert fra spotpris er illustrert ved en sensitivitetsanalyse som tornadodiagram i figur 4.8 for år 2025. Hydrogenprisen påvirkes av ulike faktorer hvor inngangene for hydrogenprisen er presentert i figuren. Inngangene som er med på å påvirke utfallsrommet til hydrogenprisen fra spotpris er belyst i tabell 4.16. Der de ulike inngangsvariablene er strømpris, elektrolysekostnad, effektivitet brenselcelle og effektivitet elektrolyser.

Tabell 4.16: Cellebeskrivelse av tornadodiagram benyttet i sensitivitetsanalysen for hydrogenpris.

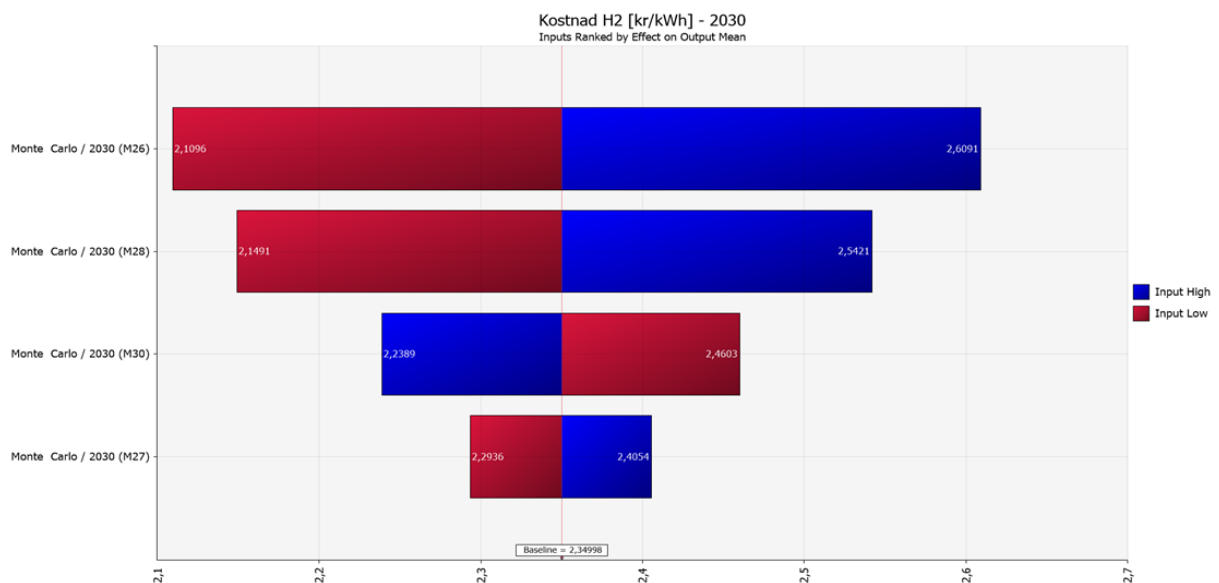
Rad	Innhold
Rad 26	Strømpris
Rad 27	Effektivitet elektrolysør
Rad 28	Elektrolyserkostnad
Rad 30	Effektivitet brenselcelle

Figur 4.8 illustrerer sensitivitetsanalysen av hydrogenpris for 2025. Strømprisen, som er plassert på toppen av tornadodiagrammet fremkommer som den viktigste inngangsvariabelen, og gir dermed størst utslag ved at denne inngangsvariabelen har et utfallsrom mellom [2,8200 kr/kWh; 3,2315 kr/kWh]. Under strømprisen i tornadodiagrammet ved figuren presenteres elektrolyserkostnaden i et utfallsrom på [2,8136 kr/kWh; 3,2213 kr/kWh]. De to siste inngangsvariablene ved tornadodiagrammet er effektivitet brenselcelle og effektivitet elektrolysør, henholdsvis H30 og H27 fra tabell 4.16, hvor effektivitet brenselcelle har et utfallsrom på [2,8563 kr/kWh; 3,1926 kr/kWh]. Effektivitet elektrolysør har et utfallsrom på [2,9862 kr/kWh; 3,0372 kr/kWh], hvor hele intervallet er markert rødt, basert på intervallets størrelse. Gjennomsnittsprisen, presentert som hovedscenario, ligger på kr 3,01732 per kWh.



Figur 4.8: Sensitivitetsanalyse ved tornadodiagram for hydrogenpris spotpris 2025.

Som et resultat av sensitivitetsanalysen illustrert ved tornadodiagrammet i figur 4.9, fremkommer det fra tetthetsfunksjonene for de ulike inngangsvariablene at utfallsrommet øker med årene. Ettersom utfallsrommet på strømprisen for år 2030 er noe høyere enn hva det er for 2025, tyder dette på at det blir mer utfordrende med årene å estimere et nøyaktig utfallsrom for hydrogenprisen. Det fremkommer også fra sensitivitetsanalysen at tetthetsfunksjonene blir geometrisk bredere med årene, som betyr at usikkerheten blir større. Fra figuren ser vi også at den nederste inngangen ved tornadodiagrammet, effektivitet elektrolyser, har en tetthetsfunksjon presentert ved et utfallsrom på [2,936 kr/kWh; 2,4054 kr/kWh]. Dette utfallsrommet har også blitt stort nok til at det er delt opp i både blå og rød farge, som illustrerer høypris for inngangen og lavpris for inngangen. Det fremkommer også at rad 30, effektivitet brenselcelle blir mindre med årene, som tyder på at kostnaden til brenselcellen knyttet til pris per kWh avtar med årene, som viser positiv utvikling.



Figur 4.9: Sensitivitetsanalyse ved tornadodiagram for hydrogenpris 2030.

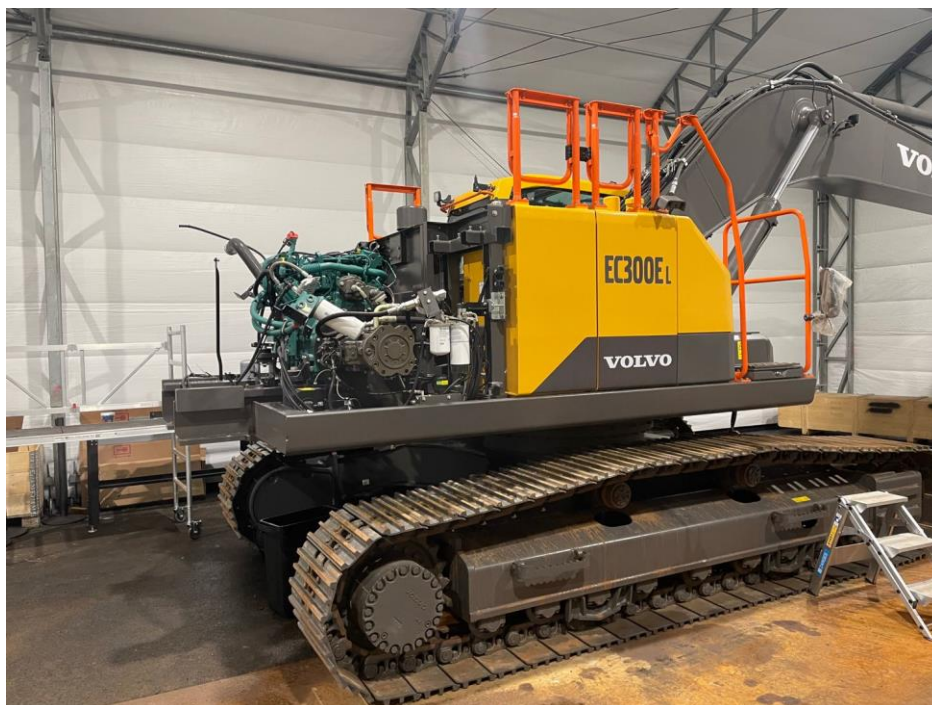
4.4 Investeringsanalyse Volvo EC300EL

I dette kapittelet vil vi først presentere investerings- og driftskostnadene tilhørende diesel- og hydrogendrevet versjon av Volvo EC300EL. Avslutningsvis presenteres den økonomiske utviklingstrenden med investeringstidspunkt mellom 2023 og 2030 belyst gjennom nåverdi- og kontantstrømanalyser.

4.4.1 Investeringskostnad

Investeringsanalysen tar utgangspunkt i Volvo EC300EL, som opprinnelig er en 30 tonns dieseldrevet gravemaskin. Etter samtaler med salgs- og markedssjef i Volvo Maskin fremkommer det at investeringskostnaden for en komplett dieseldrevet Volvo EC300EL er kr 3.500.000 (personlig kommunikasjon, 21. februar 2023). Videre beregninger i tabellen tar utgangspunkt i at innkjøpsprisen for den dieseldrevne gravemaskinen stiger årlig med 2,0% inflasjon frem mot 2030.

Volvo EC300EL er valgt som utgangspunkt for investeringsanalysen med bakgrunn i at det er tilsvarende gravemaskin Applied Hydrogen har gått til innkjøp av for videre ombygging fra en diesel- til hydrogendrevet gravemaskin. Figur 4.10 viser den pågående ombyggingen av gravemaskinen. Gjennom intervju med Engineering Manager i Applied Hydrogen fremkommer det at dieselmotoren på 230 hestekrefter erstattes med en brenselcelle på 120 kW og et batteri på 33 kWh (personlig kommunikasjon, 16. februar 2023). Videre opplyser Engineering Manager i Applied Hydrogen at det er behov for en 60 kg tank for lagring av hydrogenet på gravemaskinen (personlig kommunikasjon, 16. februar 2023).



Figur 4.10: Applied Hydrogen's ombyggingsprosess fra diesel- til hydrogendrevet Volvo EC300EL (Applied Hydrogen, u.å.b).

Hydrogendrevet gravemaskin er fremdeles et lite studert fenomen, og ikke kommersielt tilgjengelig gjennom serieproduksjon på markedet. Dermed er det et utfordrende aspekt å finne nøyaktig investeringskostnad. Gjennom samtaler med Engineering Manager i Applied Hydrogen fremkommer det at for å få et realistisk sammenligningsgrunnlag ville det være hensiktsmessig å ta utgangspunkt i innkjøpspris for en elektrisk gravemaskin med tilsvarende størrelse. Heretter legges til en skaleringsfaktor på 1,25 basert på ekstra komponent- og ombyggingskostnader som nytt batteri, brenselcelle, lagringstank for hydrogen og ombyggingskostnader (Engineering Manager, Applied Hydrogen, personlig kommunikasjon, 16. februar 2023). Salgs- og markedssjef i Volvo Maskin opplyser videre at innkjøpsprisen for en elektrisk versjon av Volvo EC300EL er kr 8.750.000 (personlig kommunikasjon, 21. februar 2023). Hydrogendrevet Volvo EC300EL illustreres i figur 4.11 i en fylleprosess fra planlagt portabel hydrogenbank levert fra Applied Hydrogen.

Ettersom Applied Hydrogen er de eneste i Norge som produserer hydrogendrevet gravemaskin på denne måten, og av konfidensialitet ikke vil gå ut med eksakte tall for komponent- og ombyggingskostnader, var det nødvendig for oss å kontakte eksterne aktører i bransjen for å innhente prisgrunnlag for tilhørende kostnader. For batteriet på 33 kWh, som benyttes til å regulere brenselcellens topp- og bunneffekt, er det innhentet pris på batteri per kWh gjennom prognoser for fremtidige batteriprisutvikling frem mot 2030. I 2023 er prisen på et 33 kWh batteri kr 35.983, mens fremtidig batteriprisutvikling estimerer at denne prisen vil reduseres til kr 28.222 i 2030 (Gordon, 2023).

For kostnader tilknyttet hydrogenlagring, fremkommer det av personlig kommunikasjon med Global Director Sales & Marketing Hydrogen Storage i Hexagon Purus, at prisen ligger på 750€/kg hydrogen lagret (personlig kommunikasjon, 12. mars 2023). Tatt utgangspunkt i valutakursen til Euro (1€ = 10,7 NOK), vil prisen per kg hydrogen lagret tilsvare kr 8.025. Det er lagt opp til en lagringskapasitet av 60 kg hydrogen på gravemaskinen, som fører til at prisen knyttet til lagring av hydrogen på gravemaskinen totalt vil utgjøre kr 481.500 for 2023 og kr 342.193 for 2030.



Figur 4.11: Hydrogendrevet Volvo EC300EL under fylling av portabel hydrogenbank.

Priser for brenselcelle er hentet fra personlig kommunikasjon med Senior Vice President Product Architect i Corvus Energy. Det ble opplyst at prisen for brenselcelle er 1000\$ per kW for 2023, og at prisen vil avta til rundt 800\$ per kW innen 7 år (Product Architect, Corvus Energy, personlig kommunikasjon, 10. mars 2023). Tatt utgangspunkt i valutakursen til dollar (1\$ = 10,7 NOK), vil prisen for en 120 kW brenselcelle utgjøre kr 1.284.000 for 2023 og reduseres til kr 912.515 for 2030 med 5% årlig prisnedgang basert på tilbud og etterspørsel (Product Architect, Corvus Energy, personlig kommunikasjon, 10. mars 2023). Totalkostnadene ved investering av henholdsvis diesel- og hydrogendrevet Volvo EC300EL er illustrert i figur 4.12.

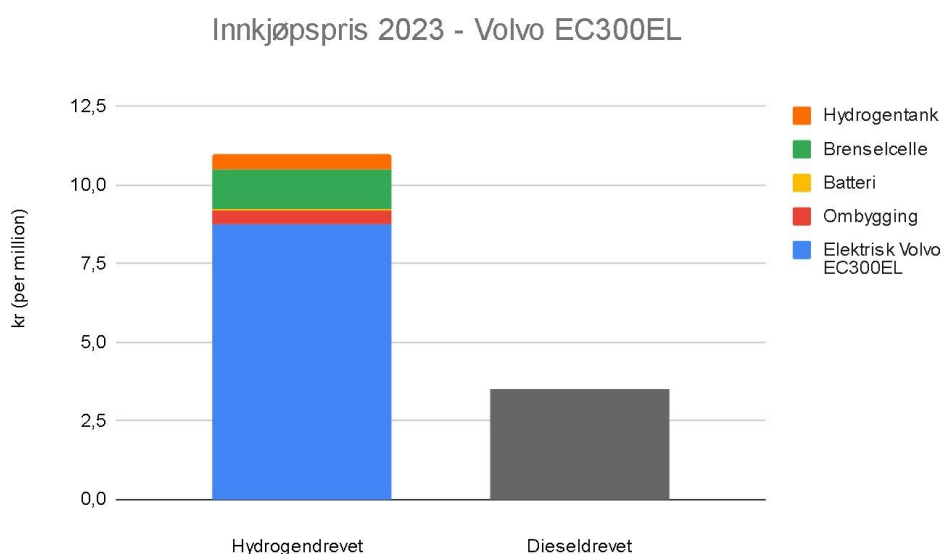
Tabell 4.17 oppsummerer investeringskostnadene for anskaffelse av diesel- og hydrogendrevet gravemaskin mellom 2023 og 2030, og viser at kapitalkostnaden ved investering av hydrogendrevet gravemaskin er betydelig høyere enn for en dieseldrevet gravemaskin. For den dieseldrevne gravemaskinen er investeringskostnaden kr 3.500.000, mens totalkostnad for hydrogendrevet gravemaskin med komponent- og ombyggingskostnader er kr 11.000.000.

Gjennom samtaler med Engineering Manager i Applied Hydrogen er det forventet at den hydrogendrevne gravemaskinen Volvo EC300EL vil ha en gjennomsnittlig årlig prisnedgang på 6% (personlig kommunikasjon, 16. februar 2023). Engineering Manager i Applied Hydrogen

begrunner den årlige prisnedgangen med at etterhvert som maskinene starter serieproduksjon, forventes tilbud og etterspørsel å øke globalt og nasjonalt i takt med statlige reguleringer. Blant annet gjennom storbyerklæringen, der det er fastsatt mål om at kommunale bygg- og anleggsprosjektet skal være utslippsfrie innen 2025, med videre mål om utslippsfri byggebransje i 2030. Dermed legger økte statlige reguleringer i takt med ny og forbedret teknologi for produksjon av hydrogen-drevne gravemaskiner forutsetningene for en gjennomsnittlig årlig nedgang i investeringskostnad på 6% justert for inflasjon. Tabell 4.17 viser en oppsummert fremstilling av prisene med estimert prisutvikling frem mot 2030. Tilhørende tabellen viser figur 4.12 innkjøpspris med komponent- og ombyggingskostnader i 2023 for henholdsvis hydrogen- og dieseldrevet Volvo EC300EL.

Tabell 4.17: Oppsummert fremstilling av investerings- og komponentkostnader benyttet for å danne investeringskostnad for de to ulike versjonene av Volvo EC300EL ved investeringstidspunkt mellom 2023 og 2030.

	Enhet	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Diseldrevet EC300EL	kr	3 500 000	3 570 000	3 641 400	3 714 228	3 788 513	3 864 283	3 941 568	4 020 400
Elektrisk EC300EL	kr	8 750 000	8 263 889	7 804 784	7 371 185	6 961 675	6 574 915	6 209 642	5 864 662
Ombygging	kr	448 517	427 159	406 819	387 446	368 996	351 425	334 691	318 753
Batteri 33 kWh	kr	35 983	35 983	34 571	33 160	30 691	30 691	29 280	28 222
Brenselcelle 120 kW	kr	1 284 000	1 222 857	1 164 626	1 109 167	1 056 350	1 006 048	958 141	912 515
Hydrogentank 60 kg	kr	481 500	458 571	436 735	415 938	396 131	377 268	359 303	342 193



Figur 4.12: Innkjøpspris 2023 for hydrogen- og dieseldrevet Volvo EC300EL.

Enova tilbyr støtte ved innkjøp av utslippsfri gravemaskin, og dekker opptil 40% av merkostnaden mellom en diesel- og hydrogendrevet gravemaskin (Enova, u.å.b). tabell 4.18 viser de årlige subsidiene som mottas fra Enova ved investeringstidspunkt mellom 2023 og 2030. Tabellen viser at den økonomiske støtten fra Enova i 2023 er på kr 3.000.000. Dette gjør at total investeringskostnad benyttet som grunnlag i kontantstrøm- og nåverdiberegninger for hydrogendrevet Volvo EC300EL er kr 8.000.000 ved investeringstidspunkt i 2023. Tabellen viser at den økonomiske støtten fra Enova reduseres i årene frem mot 2030 ettersom kostnadsdifferansen mellom diesel- og hydrogendrevet gravemaskin i fremtiden er forventet å reduseres basert på forutsetningene presentert tidligere i kapittelet.

Tabell 4.18: Beregnet årlig Enovastøtte ved investering av hydrogendrevet gravemaskin frem mot 2030 basert på investering- og komponentkostnader fra tabell 4.17.

	Enhet	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Investeringskostnad	kr	11 000 000	10 377 358	9 789 961	9 235 812	8 713 030	8 219 840	7 754 566	7 315 628
Subsidier	kr	3 000 000	2 722 943	2 459 424	2 208 634	1 969 807	1 742 223	1 525 199	1 318 091

4.4.2 Driftskostnad

Drivstoffutgifter dieselgravemaskin

Ettersom drivstofforbruket til en gravemaskin er varierende ut fra aktivitetsnivå og arbeidsoppgaver den benyttes til, er det nødvendig å benytte et gjennomsnittlig estimat for å kalkulere drivstoffutgifter på et generelt grunnlag.

Salgs- og markedssjef i Volvo Maskin opplyser om at drivstofforbruket til Volvo EC300EL er beregnet ut ifra et gjennomsnitt av dieselforbruket til 161 tilsvarende gravemaskiner over en tidsperiode på tre måneder. Det gjennomsnittlige dieselforbruket for Volvo EC300EL er opplyst fra salgs- og markedssjef i Volvo Maskin til å være 12,88 liter per time. Forbruket er beregnet ut ifra analyser som viser at gravemaskinene benyttes 62,31% av tiden til effektiv drift, mens for resterende 37,69% benyttes den passivt på tomgangskjøring (personlig kommunikasjon, 22. februar 2023). Med utgangspunkt i gjennomsnittlig driftstid på 1600 timer per år tilsvarer dette 20.608 liter diesel, som videre er benyttet i beregningene for årlige drivstoffutgifter for Volvo EC300EL. Formel 4.7 viser fremgangsmåte for årlig beregning av drivstoffutgifter for diesel.

$$\text{Drivstoffutgifter} = \text{Dieselpris} \left(\frac{\text{kr}}{\text{liter}} \right) \cdot \frac{12,88 \text{ liter}}{t} \cdot 1600t \quad (4.7)$$

Tabell 4.19 viser en oversikt over årlige dieselutgifter i tidsperioden 2023 til 2030, med et totalt forbruk for perioden i siste kolonne. Forutsetningene lagt til grunn for beregningene av dieselprisbaner er Monte Carlo-simuleringen presentert i kapittel 4.2.1. Der historisk prisbane for CO₂-avgift, supplert av regjeringens fremtidige prognoser for CO₂-avgift for anvendelse i samfunnsøkonomiske analyser, danner grunnlaget for de videre beregningene presentert i dette kapitlet. Hvor vi kunne, basert på gjennomsnittlige beregninger og standardavvik, se at prisen mellom den historiske prisutviklingen for CO₂-avgiften fra 2015 og regjeringens fremtidige prisbane per tonn CO₂-utslipp frem mot 2030, hadde en korrelerende stigning på henholdsvis 14,32 og 14,39%.

Ettersom den historiske og fremtidige prisstigningen på CO₂-avgiften har en samsvarende effekt, er det presentert et høyprisscenario og lavprisscenario for CO₂-avgiften for å ivareta usikkerhetsmomentet tilknyttet fremtidige prisbaner. Forutsetningene baseres på klimamålene regjeringen har satt for 2030, og det vil være rimelig å anta at avgiftsnivået kan intensiveres frem mot 2030 utover den korrelerende økningen på 14,32% og 14,39% som er presentert for hovedprisscenarioet i kapittel 4.1.1. For å ivareta at det kan fremkomme makroøkonomiske faktorer som gjør at det fremtidige avgiftsnivået kan avvike fra det estimerte hovedprisscenarioet, er det dermed satt opp et lavpris- og høyprisscenario i tabell 4.19 understøttet av Monte Carlo-simuleringene for dieselpris.

Tabell 4.19: Årlige drivstoffutgifter belyst gjennom de ulike prisscenarioene for dieseldrevet Volvo EC300EL basert på Monte Carlo-simulering.

Scenario	Enhet	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Totalt
Høy	kr	416 076	433 145	449 578	468 325	486 421	507 240	530 555	558 238	3 849 577
Hoved	kr	390 316	404 619	420 022	436 888	455 413	475 389	497 668	522 019	3 602 334
Lav	kr	364 556	376 113	390 054	406 296	423 148	441 870	463 957	486 645	3 352 638

Beregningene viser at det er betydelig kostnadsdifferanse mellom de ulike scenarioene presentert. Hovedsscenarioet på dieselpris gir en total kostnad for perioden på kr 3.602.335, mens høy- og lavprisscenarioet henholdsvis gir en total kostnad på kr 3.849.577 og kr 3.352.638.

Drivstoffutgifter hydrogravemaskin

For å beregne drivstofforbruk for en hydrogendrevet gravemaskin blir det sett nærmere på en eksisterende elektrisk gravemaskin og dens spesifikasjoner. En gravemaskin med elektrisitet eller hydrogen som drivstoff har flere fellestrekk, da begge driftes ved hjelp av en elektrisk motor. Den største forskjellen er at den elektriske gravemaskinen henter energien fra et batteri, mens gravemaskinen på hydrogen henter energien fra en hydrogentank som videre konverterer den kjemiske energien i hydrogen om til elektrisitet ved hjelp av en brenselcelle. Basert på måten energien lagres på i de to gravemaskinene vil det utgjøre betydelige forskjeller i forhold til prosessen når fylling av energi skal gjennomføres.

For å estimere drivstofforbruk og drivstoffkostnader for hydrogen som drivstoff på gravemaskinen benyttes de eksisterende spesifikasjonene til den elektriske gravemaskinen, ettersom det ikke eksisterer tilgjengelige data for gravemaskiner med hydrogen som drivstoff. Først blir det innhentet data knyttet til energiforbruk og batteristørrelse. Innhentet tall fra den elektriske gravemaskinen kan her benyttes som utgangspunkt for å sammenligne realistisk forbruk for gravemaskin med hydrogen som fremdrift. Drivstofforbruk kan videre estimeres ved å beregne energitettheten til hydrogen sammen med virkningsgrad for brenselcellen. Lagt til grunn at komprimert hydrogengass har en energitetthet på 33,33 kWh per kgH₂ vil man oppnå en utnyttbar energi på 16,66 kWh per kgH₂ ved en brenselcelle med virkningsgrad på 50% i 2023 (Forretningsanalytiker, SKL, personlig kommunikasjon, 3. mars 2023). Kombinert med fremtidig strømpris og virkningsgraden til brenselcellen kan drivstofforbruk estimeres ytterligere. Drivstoffutgiftene til hydrogendrevet gravemaskin vil da kunne estimeres ved å multiplisere pris for hydrogen [kr/kWh] med årlig forbruk for elektrisk gravemaskin [kWh/time] og 1600 arbeidstimer per år.

Gjennom samtaler med Rosendal Maskin, ble det opplyst at en elektrisk gravemaskin på 30 tonn har et gjennomsnittlig energiforbruk på 50 kWh per time (Chief Executive Officer, Rosendal Maskin, personlig kommunikasjon, 13. mars 2023). Basert på oppgitt energiforbruk kan drivstoffkostnadene til hydrogendrevet gravemaskin estimeres, illustrert ved formel 4.8.

$$\text{Drivstoffutgifter} = \text{Hydrogenpris} \left(\frac{\text{kr}}{\text{kWh}} \right) \cdot \frac{50 \text{ kWh}}{t} \cdot 1600t \quad (4.8)$$

For kostnadsbildet til estimert hydrogenpris, baseres beregningen på strømpris fra spotpris og effektivitet elektrolyser. Et påslag i produksjonspris fra Hydrogen Solutions legges til for å danne salgsprisen. Størrelsen på påslaget som tillegges produksjonsprisen opplyses ikke konkret, da det anses som konfidensielt, men er innbakt i beregningen for pris hydrogen.

Tabell 4.20 illustrerer fremtidige estimerte drivstoffutgifter for hydrogendrevet Volvo EC300EL presentert ved høy-, hoved- og lavprisscenario basert på Monte Carlo-simuleringen av hydrogenpris. Tabellen viser at totalkostnaden for hovedscenariot er kr 1.792.832, mens totalkostnad for høy- og lavprisscenarioet henholdsvis er kr 2.238.200 og kr 1.394.064.

Tabell 4.20: Årlige drivstoffutgifter belyst gjennom de ulike prisscenarioene for hydrogendrevet Volvo EC300EL basert på Monte Carlo-simulering.

Scenario	Enhet	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Totalt
Høy	kr	312 976	305 568	297 040	281 272	273 232	263 744	253 816	250 552	2 238 200
Hoved	kr	253 944	253 672	241 384	229 808	218 856	208 496	198 672	188 000	1 792 832
Lav	kr	205 576	200 080	191 352	181 896	169 560	158 528	149 200	137 872	1 394 064

Service- og vedlikeholdskostnader

Service- og vedlikeholdskostnader medfører betydelige årlige utgifter for en gravemaskin, og er dermed et relevant aspekt å vurdere tilknyttet en investeringsanalyse. Kostnadene vil variere ut ifra gravemaskinens bruksområder, bruksintensitet og drivlinjens komponentmengde- og kompleksitet.

Salgs- og markedssjef i Volvo Maskin opplyser at service- og vedlikeholdskostnadene for den dieseldrevne gravemaskinen Volvo EC300EL er forutsigbare de første fem årene ettersom maskinen har serviceavtale med full garanti gjennom hele perioden (personlig kommunikasjon, 21. februar 2023). Det vil si at dersom det for eksempel skulle ryke en hydraulikkpumpe, som ville medført store ekstrakostnader for en entreprenør, er dette dekket av serviceavtalen. Det forklares videre at service- og vedlikeholdskostnadene gjennomsnittlig beløper seg til kr 62 per driftstime for de første 8000 driftstimene (Salgs- og markedssjef, Volvo Maskin, personlig kommunikasjon, 21. februar 2023).

Service- og vedlikeholdskostnader utover de første 8000 driftstimerne er utfordrende å estimere ettersom serviceavtalen er utgått, og kostnadene vil variere ut ifra hvordan understellet til maskinen er behandlet. Volvo Maskin opplyser videre om at et gjennomsnittlig estimat baserer seg på kr 70 per driftstime. I tillegg vil maskinen trenge bytte av understell etter endt garantiperiode. Vanligvis er kostnadene tilknyttet bytte av understell på kr 200.000, opplyser salgs- og markedsjef i Volvo Maskin (personlig kommunikasjon, 21. februar 2023). Tabell 4.21 viser estimerte service- og vedlikeholdskostnader i tidsperioden 2023-2030. Tabellen viser at for den dieseldrevne gravemaskinen er kostnadene forutsigbare de første fem årene av levetiden, og er kun justert for 2,0% inflasjon. Fra 2028 ser vi en betydelig økning i service- og vedlikeholdskostnadene, som er en konsekvens av at understellet på maskinen må byttes etter fem år, og en videre økning i service- og vedlikeholdskostnader til kr 70 per driftstime.

En hydrogendrevet gravemaskin består hovedsakelig av tilsvarende drivlinje som en elektrisk gravemaskin, men drivlinjen til en hydrogendrevet gravemaskin vil i tillegg ha brenselcelle tilkoblet en lagringstank for hydrogen. Dermed er det gjennom samtaler med Engineering Manager i Applied Hydrogen tatt utgangspunkt i service- og vedlikeholdskostnader for en elektrisk gravemaskin og lagt til et påslag på 10 kr per driftstime ettersom brenselcellen skaper en kjemisk prosess som forventes å kreve mer vedlikehold (personlig kommunikasjon, 16. februar 2023). Service- og vedlikeholdskostnader for den hydrogendrevne gravemaskinen baserer seg dermed på 63 kr per driftstime.

Videre forventer Applied Hydrogen at kostnader knyttet til service- og vedlikehold vil være høyest i starten av levetiden før dette vil stabilisere seg. Applied Hydrogen forklarer videre at dette baserer seg på at maskinen fortsatt er en prototype, og det er naturlig å anta at det vil medføre utfordringer i starten av levetiden (personlig kommunikasjon, 16. februar 2023). For å ivareta uforutsette kostnader i starten av maskinens levetid er det lagt til et påslag på 10% de første to årene av maskinens levetid. Tabell 4.21 oppsummerer årlige og totale kostnader tilknyttet service- og vedlikehold for maskinens levetid.

Tabell 4.21: Service- og vedlikeholdskostnader for diesel- og hydrogendrevet Volvo EC300EL.

	Enhet	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Totalt
Volvo EC300EL - diesel	kr	99 200	101 184	103 208	105 272	107 377	344 473	126 130	128 653	1 115 497
Volvo EC300EL - hydrogen	kr	110 880	113 098	104 872	106 970	109 109	111 291	113 517	115 788	885 525

Levetid og utrangeringsverdi

Gravemaskinens levetid og utrangeringsverdi avhenger av ulike faktorer som drivlinjen og understellets påkjenning gjennom driftstiden. Ytterligere er tilbud og etterspørsel av tilsvarende gravemaskin ved tidspunkt for reanskaffelse et sentralt aspekt å vurdere.

Salgs- og markedsjef i Volvo Maskin opplyser om at de største entreprenørene vanligvis bytter ut maskinen etter 8000-11.200 driftstimer, som tilsvarer mellom fem og syv års driftstid (personlig kommunikasjon, 21. februar 2023). Utrangeringsverdien til maskinen vil videre avhenge av ulike faktorer basert på hvor slitt understellet til maskinen er, og hvor stor andel av driftstiden maskinen er blitt benyttet til tomgangskjøring. Salgs- og markedsjef i Volvo Maskin opplyser om at slitasjen ved tomgangskjøring er minimal, og at høy andel tomgangskjøring dermed har en positiv effekt på utrangeringsverdien til maskinen (personlig kommunikasjon, 21. februar 2023). Han opplyser videre om at utrangeringsverdien vanligvis ligger mellom 35-40% av investeringsverdi etter fem år, og rundt 25-30% etter syv års driftstid (personlig kommunikasjon, 21. februar 2023). Forutsetningene for kontantstrøm- og nåverdiberegninger tar utgangspunkt i syv års levetid med en utrangeringsverdi på 25% av investeringskostnaden for den dieseldrevne gravemaskinen.

Engineering Manager i Applied Hydrogen opplyser om at drivlinjen til en hydrogendrevet gravemaskin med brenselcelleteknologi har like lang eller lengre levetid som en dieseldrevet gravemaskin (personlig kommunikasjon, 21. februar 2023). Han anslår videre at maskinen har 25-30% utrangeringsverdi etter syv års levetid. Videre opplyses det om at end-of-life ytelsen tilknyttet effektiviteten til brenselcellen reduseres med tiden, og anslår en reduksjon i ytelse på end-of-life på 10% mot slutten av levetiden sammenlignet med starten av levetiden (personlig kommunikasjon, 16. februar 2023). Basert på end-of-life ytelsen til effektiviteten for brenselcellen er det dermed tatt utgangspunkt i 25% utrangeringsverdi etter syv års levetid for den hydrogendrevne gravemaskinen.

Lånefinansiering

Gjennom samtaler med kundefrådgiver for storbedrifter i Sparebank 1 SR-Bank er det beregnet betalingsplan for investeringen av diesel- og hydrogendrevet gravemaskin. I samtalene fremkommer det at Sparebank 1 SR-Bank legger til grunn en nominell rente på 5,25% med

termingebyr på kr 70. I tillegg kommer et etableringsgebyr på kr 4.500, som trekkes fra investeringskostnaden (personlig kommunikasjon, 7. mars 2023). Tabell 4.22 viser lånebetingelsene for investeringsanalysen tilknyttet den dieseldrevne gravemaskinen. Beregningene tar utgangspunkt i at investeringen er 100% lånefinansiert med totalt lånebeløp kr 3.504.500 inkludert etableringsgebyr med effektiv rente på 5,46% pro anno.

Tabell 4.22: Lånebetingelser for dieseldrevet Volvo EC300EL med investeringstidspunkt i 2023.

Totalbeløp	3 500 000,00 kr
Etableringsgebyr	4 500,00 kr
Termingebyr	70,00 kr
Nominell rente p.a	5,25%
Effektiv rente p.a.	5,46%
Terminlengde:	Månedlig
Antall terminer	96

Tabell 4.23 bygger videre på lånebetingelsene og viser nedbrytingen av annuitetslånet per termin. Total lånekostnad for 96 terminer fordelt over åtte år er beregnet til kr 4.305.375 for den dieseldrevne gravemaskinen.

Tabell 4.23: Betalingsplan annuitet med etterskuddsbetaling for dieseldrevet Volvo EC300EL.

Termin	Terminbeløp	Avdrag	Renter og gebyrer	Restgjeld
0	4 500	0	4 500	3 500 000
1	44 802	29 630	15 172	3 470 370
2	44 802	29 258	15 544	3 441 112
3	44 802	29 883	14 919	3 411 229
4	44 802	29 522	15 280	3 381 707
5	44 802	29 653	15 149	3 352 054
6	44 802	30 268	14 534	3 321 786
7	44 802	29 920	14 882	3 291 866
8	44 802	30 528	14 274	3 261 338
9	44 802	30 190	14 612	3 231 148
10	44 802	30 364	14 438	3 200 784
11	44 802	31 417	13 385	3 169 367
12	44 802	30 638	14 164	3 138 729
...
Totalt:	4 305 375 kr	3 500 000 kr	805 375 kr	0

Tabell 4.24 viser at lånefinansieringen for den hydrogendrevne gravemaskinen tar utgangspunkt i at investeringen er 100% lånefinansiert med nominell rente 5,25% (Kunderådgiver, Sparebank 1 SR-Bank, personlig kommunikasjon, 7. mars 2023).

Tabell 4.24: Lånebetingelser for hydrogendrevet Volvo EC300EL ved investeringstidspunkt i 2023.

Totalbeløp	8 000 000,00 kr
Etableringsgebyr	4 500,00 kr
Termingebyr	70,00 kr
Nominell rente p.a.	5,25%
Effektiv rente p.a.	5,42%
Terminlengde:	Månedlig
Antall terminer	96

Tabell 4.25 viser betalingsplanen for den hydrogendrevne gravemaskinen. Basert på lånebetingelsene med totalbeløp kr 8.000.000 med effektiv rente 5,42% beløper total lånekostnad seg til kr 9.826.448 for investeringstidspunkt i 2023.

Tabell 4.25: Betalingsplan annuitet med etterskuddsbetaling for hydrogendrevet Volvo EC300EL.

Termin	Terminbeløp	Avdrag	Renter og gebyrer	Restgjeld
0	4 500	0	4 500	8 000 000
1	102 313	67 723	34 590	7 932 277
2	102 313	66 874	35 439	7 865 403
3	102 313	68 303	34 010	7 797 100
4	102 313	67 476	34 837	7 729 624
5	102 313	67 778	34 535	7 661 846
6	102 313	69 181	33 132	7 592 665
7	102 313	68 388	33 925	7 524 277
8	102 313	69 776	32 537	7 454 501
9	102 313	69 051	33 262	7 385 450
10	102 313	69 402	32 911	7 316 048
11	102 313	71 809	30 504	7 244 239
12	102 313	70 030	32 283	7 174 209
...
Totalt:	9 826 448 kr	8 000 000 kr	1 826 448 kr	0

4.4.3 Nåverdi- og kontantstrømanalyse

Basert på de øvrige beregningene i kapittelet er resultatene videre belyst gjennom en nåverdi- og kontantstrømanalyse tilhørende diesel- og hydrogendrevet Volvo EC300EL.

Formel 4.8 viser fremgangsmåte for beregning av avkastningskrav benyttet ved diskontering av negativ nåverdi og kontantstrøm. Risikofri rente tar utgangspunkt i den generiske statsrenten som er nærmest den oppgitte løpetiden for investeringen, og er videre satt til 3,228% av Norges Bank (datert 21.04.2023) for syvårig løpetid (Norges Bank, 2023). Medianen for markedets risikopremie har i de siste årene forblitt uendret, og er fastsatt til 5% etter beregninger utført av PwC i samarbeid med Forening for finansfag Norge (PwC, u.å.). Betaverdi (β), som representerer markedets systematiske risiko, er satt til 1,0. Hvor finansmarkedet i perioden masteroppgaven er utarbeidet har vært preget av rentehevinger og høy inflasjon, kunne betaverdien med fordel vært oppjustert for å kompensere for den pågående trenden i finansmarkedet. Etersom hensikten med beregningene er å sammenlikne de to ulike investeringsobjektene, uavhengig av fremtidig endring i makroøkonomi, er betaverdi satt til 1,0 i beregningene.

$$\text{Avkastningskrav} = 3,228 \% + 5,0 \% \times 1,0 = 8,228 \% \quad (4.9)$$

Tabell 4.26 og tabell 4.27 presenterer kontantstrømmene for den diesel- og hydrogendrevne Volvo EC300EL ved investeringstidspunkt i 2023. Videre illustreres kontantstrømmene for investeringstidspunkt mellom 2024-2030 i vedlegg 6.

Tabell 4.26: Kontantstrøm dieseldrevet Volvo EC300EL basert på hovedscenario for dieselpris.

	Enhet	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Investeringskostnad	kr	-3 500 000							
Lån	kr	3 495 500							
Drivstoffutgifter	kr	-390 316	-404 626	-420 028	-436 888	-455 412	-475 394	-497 665	-522 017
Service- og vedlikehold	kr	-99 200	-101 184	-103 208	-105 272	-107 377	-344 473	-126 130	-128 653
Annuitetslån p.a.	kr	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624
Utrangeringsverdi	kr								875 000
Kontantstrøm	kr	-1 031 640	-1 043 434	-1 060 860	-1 079 783	-1 100 413	-1 357 491	-1 161 419	-313 294

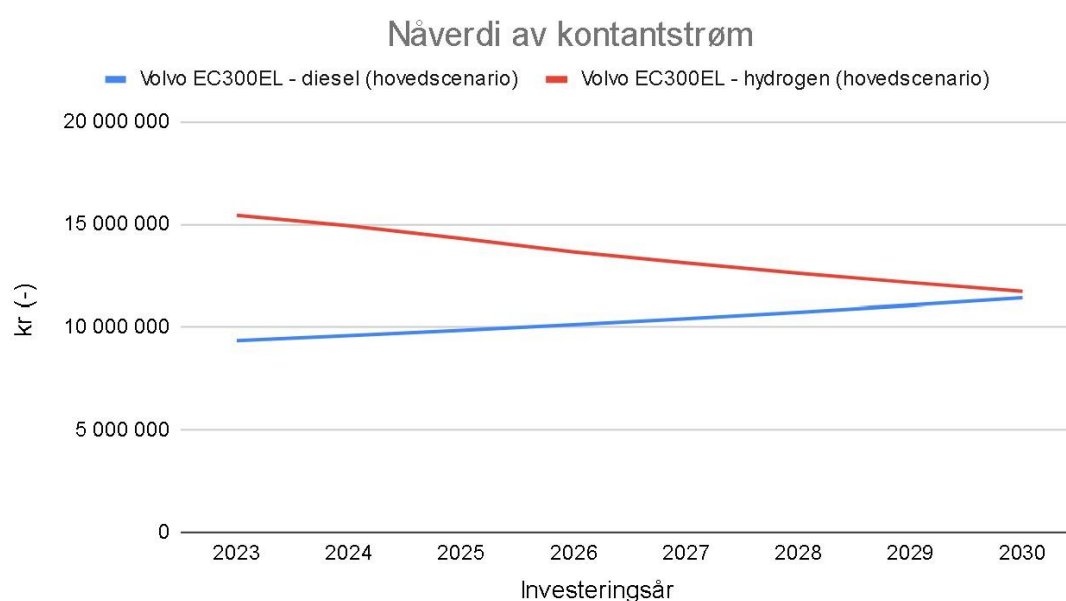
Tabell 4.27: Kontantstrøm for hydrogendrevet Volvo EC300EL basert på hovedscenario for hydrogenpris.

	Enhet	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Investeringskostnad	kr	-11 000 000							
Lån	kr	7 995 500							
Enovastøtte	kr	3 000 000							
Drivstoffutgifter	kr	-253 944	-253 672	-241 384	-229 808	-218 856	-208 496	-198 672	-188 000
Service- og vedlikehold	kr	-110 880	-113 098	-104 872	-106 970	-109 109	-111 291	-113 517	-115 788
Annuitetslån p.a.	kr	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756
Utrangeringsverdi	kr								2 750 000
Kontantstrøm	kr	-1 597 080	-1 594 526	-1 574 012	-1 564 534	-1 555 721	-1 547 543	-1 539 945	1 218 456

Tabell 4.28 viser hvordan nåverdien av kontantstrømmen, med utgangspunkt i hovedscenarioet for diesel- og hydrogenpris, utvikler seg ved investeringstidspunkt mellom 2023 og 2030. Utviklingstrenden viser at forholdstallet mellom de to ulike investeringene strekker seg fra 1,65 ved investeringstidspunkt i 2023, til 1,03 ved investeringstidspunkt i 2030. Tabellen viser hvordan forholdstallet mellom diesel- og hydrogendrevet gravemaskin utvikler seg i takt med beregningene presentert tidligere i kapitlet. Trenden illustreres grafisk i figur 4.13.

Tabell 4.28: Nåverdi av kontantstrøm med hovedscenario for diesel- og hydrogenpris belyst gjennom forholdstallet mellom de ulike investeringsobjektene.

Investeringsår	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Volvo EC300EL - diesel	-9 361 766	-9 606 990	-9 865 414	-10 138 654	-10 428 287	-10 736 115	-11 064 586	-11 415 887
Volvo EC300EL - hydrogen	-15 435 576	-14 923 375	-14 309 513	-13 643 264	-13 116 432	-12 613 286	-12 160 791	-11 728 384
Forholdstall	1,65	1,55	1,45	1,35	1,26	1,17	1,10	1,03



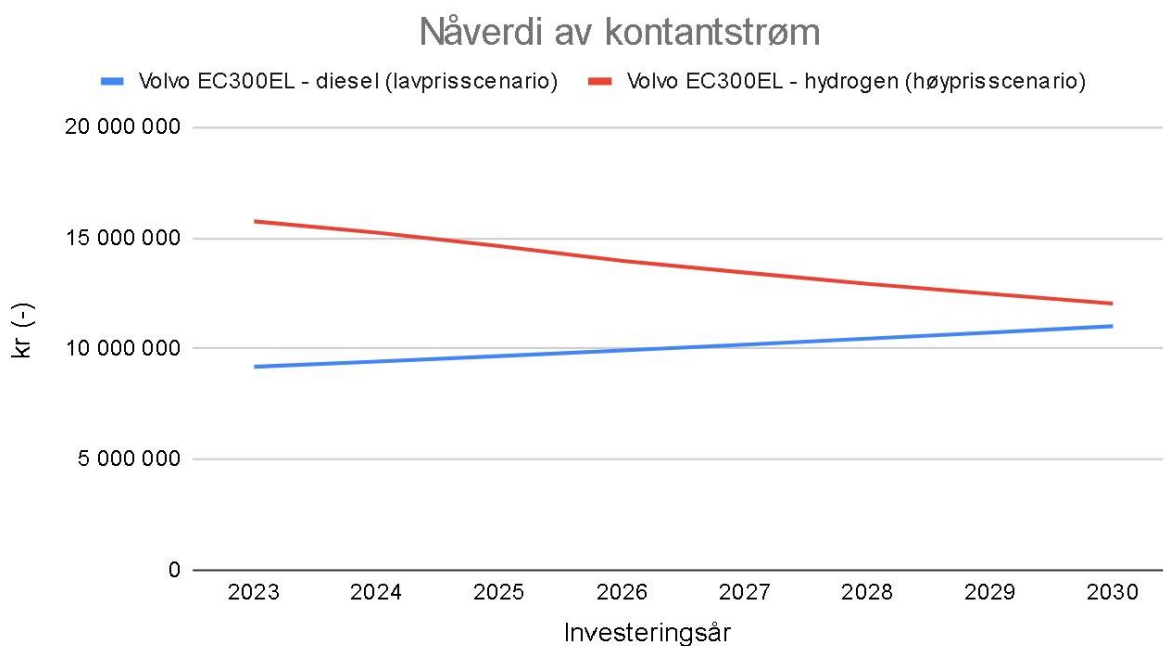
Figur 4.13: Grafisk fremstilling av nåverdi ved hovedscenario for diesel- og hydrogenpris.

For å illustrere hvordan kontantstrømmen og nåverdiene påvirkes av de ulike prisscenarioene for diesel- og hydrogenpris presentert gjennom Monte Carlo-simuleringen i kapittel 4.2, er det illustrert ytterligere to eksempler for å kartlegge påvirkningen de ulike prisscenarioene har på nåverdiregningene.

Tabell 4.29 viser utviklingstrenden med utgangspunkt i et høyprisscenario på hydrogen og lavprisscenario på diesel. Trenden viser at forholdstallet er økt til 1,71 i 2023, mens de to investeringene har en differanse på 1,09 i 2030. Figur 4.14 viser den grafiske fremstilling av utviklingstrenden fra Tabell 4.29.

Tabell 4.29: Nåverdi av kontantstrøm med lavprisscenario for diesel og høyprisscenario for hydrogen belyst gjennom forholdstallet mellom de ulike investeringsobjektene.

Investeringsår	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Volvo EC300EL - diesel	-9 187 767	-9 422 194	-9 667 193	-9 921 565	-10 184 108	-10 455 229	-10 734 125	-11 018 453
Volvo EC300EL - hydrogen	-15 750 307	-15 240 902	-14 631 836	-13 961 151	-13 437 137	-12 932 966	-12 477 374	-12 040 645
Forholdstall	1,71	1,62	1,51	1,41	1,32	1,24	1,16	1,09



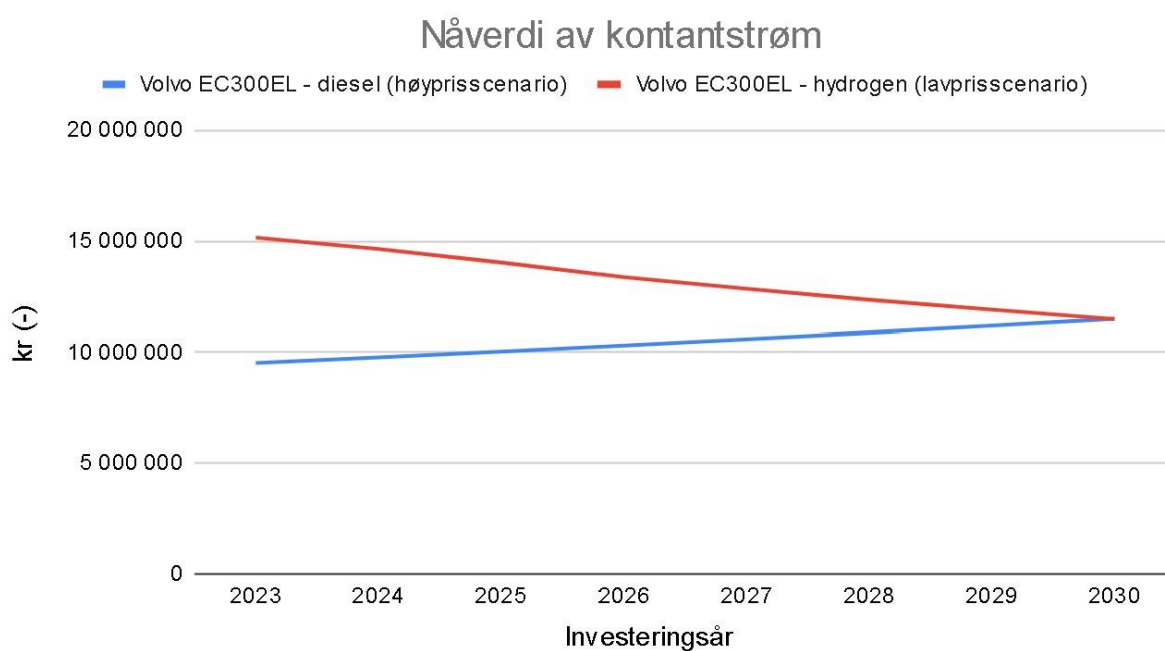
Figur 4.14: Grafisk fremstilling av nåverdi ved lavprisscenario for diesel og høyprisscenario for hydrogen.

Tabell 4.30 viser hvordan nåverdien av kontantstrømmene påvirkes av et høyprisscenario på diesel og et lavprisscenario på hydrogen. Tabellen viser at forholdstallet er redusert til 1,59 i

2023, og 1,00 i 2030. Figur 4.15 viser den grafiske utviklingstrenden mellom de to nåverdiene for investeringstidspunkt mellom 2023 og 2030.

Tabell 4.30: Nåverdi av kontantstrøm med høyprisscenario for diesel og lavprisscenario for hydrogen belyst gjennom forholdstallet mellom de ulike investeringsobjektene.

Investeringsår	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Volvo EC300EL - diesel	-9 534 154	-9 785 482	-10 045 177	-10 314 962	-10 593 778	-10 883 461	-11 182 651	-11 490 125
Volvo EC300EL - hydrogen	-15 152 683	-14 635 816	-14 027 934	-13 369 179	-12 845 145	-12 347 347	-11 902 214	-11 478 144
Forholdstall	1,59	1,50	1,40	1,30	1,21	1,13	1,06	1,00

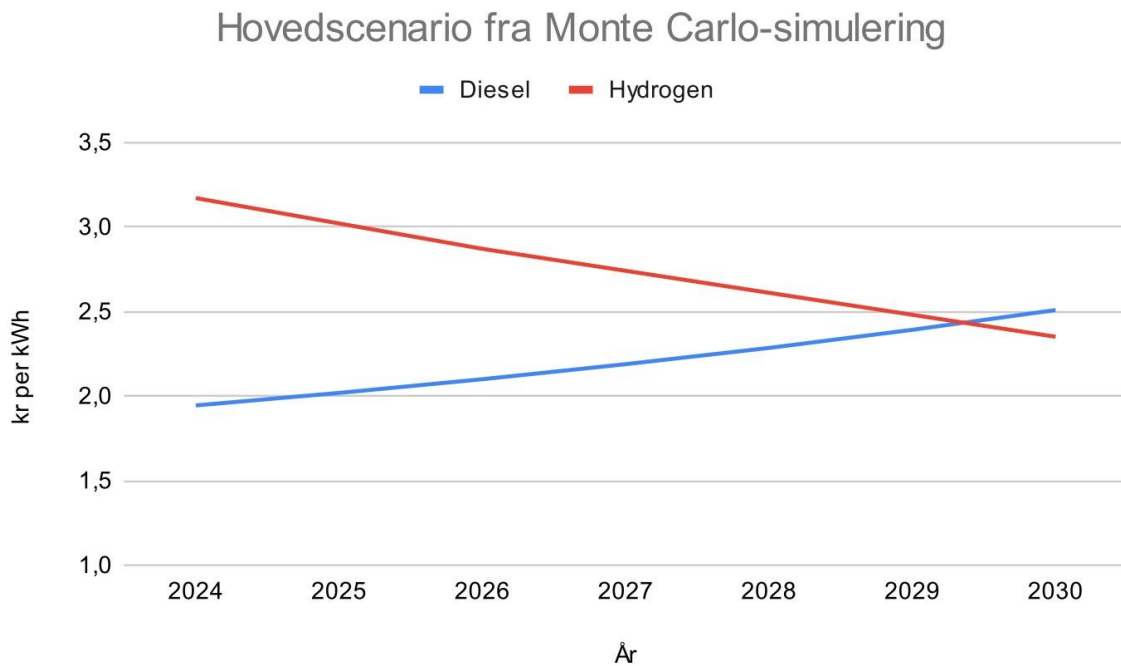


Figur 4.15: Grafisk fremstilling av nåverdi ved høyprisscenario for diesel og lavprisscenario for hydrogen.

5 Diskusjon

Som nevnt innledningsvis er hydrogen både det letteste og minste grunnstoffet i det periodiske systemet. Hydrogen er også det vanligste grunnstoffet som eksisterer, og kan produseres helt uten klimagassutslipp. Dermed er det naturlig å stille spørrende til hvorfor hydrogen ikke har tatt en større rolle i det moderne energisystemet. Allerede på 1930-tallet ble det gjennomført produksjon av utslippsfritt hydrogen gjennom elektrolyse. Grunnen til at produksjon av grønt hydrogen ikke har vedvart som et fullverdig alternativ inn i det 21. århundret er forbundet med de høye produksjonskostnadene av utslippsfritt hydrogen. Som beskrevet av Kalland et. al (2022), har hydrogen foreløpig betydelig høyere produksjonskostnad enn de fossile alternativene.

Resultatene fra Monte Carlo-simuleringen i kapittel 4.2 viser at det fortsatt er forbundet betydelig høyere kostnader for grønt hydrogen sammenlignet med diesel i 2024. Figur 5.1 viser en fremstilling av hovedscenarioets utgangsvARIABLER i kr per kWh. Hvor det fremkommer at prisen for grønt hydrogen i 2024 er 63% høyere sammenlignet med diesel, med henholdsvis kr 3,170 og 1,944 per kWh. Basert på utviklingen til inngangsvariablene for hydrogen presentert i kapittel 4.1.2 kombinert med inngangsvariablene for dieselpris presentert i kapittel 4.1.1 viser utgangsvARIABLENE basert på 10.000 Monte Carlo-simuleringer motsatt utviklingstrend for hydrogen og dieselpris frem mot 2030. Figuren viser at mellom 2029 og 2030 er hydrogen estimert til å være en rimeligere energibærer enn diesel basert på teknologiutviklingen til hydrogenproduksjon kombinert med utviklingen til dieselpris og regjeringens varslede opptrapping av CO₂-avgiften.



Figur 5.1: Grafisk fremstilling av hovedscenarior fra Monte Carlo-simuleringen i kapittel 4.2.

Resultatene fra kapittel 4.4.2 viser imidlertid at for drivstoffutgifter i perioden mellom 2023 og 2030 estimert ved hovedscenarior er diesel et betydelig dyrere drivstoff enn hydrogen som drivstoff. Med utgangspunkt i investeringsår 2023 vil total drivstoffkostnad for maskinens levetid beløpe seg til henholdsvis kr 3.602.334 og 1.729.832 for diesel og hydrogen. Basert på fremstillingen av utgangsvariablene i kr per kWh fra figur 5.1, ville det være naturlig å anta at utgiftene med anvendelse av hydrogen som drivstoff i gravemaskinen ville vært høyere enn dieselutgiftene. Basert på resultatene og forutsetningene gjennomgående i casestudien ser vi at det er flere faktorer som kan ha påvirket utfallet for drivstoffutgiftene. Som nevnt i kapittel 1.3, inkluderer ikke kostnadsbildet for hydrogen transport og nødvendig infrastruktur tilhørende hydrogenfylling med mottaksstasjon på anleggsplass. Sammenlignet med diesel, vil lagringsaspektet for hydrogen på anleggsplass kreve strengere sikkerhetsprosedyrer ettersom komprimert hydrogen lagres under svært høyt trykk basert på den lave volumetriske energitettheten til H₂-molekylene.

Sammenlignet med diesel er det dermed et større behov for sikkerhetsmessige prosedyrer for transport og lagring ved anvendelse av hydrogen som energibærer. I tilfeller hvor hydrogen lagres i gassform kan drivstoffet potensielt være svært brann- og eksplosjonsfarlig om det ikke

håndteres på en sikker måte. Etterfylling av hydrogen som drivstoff kan føre til risikable situasjoner som krever etablering av strenge sikkerhetsbarrierer ettersom hydrogen lagres som standard under 700 bars trykk. Ved videre anvendelse av hydrogen som energibærer for gravemaskin som ofte arbeider i ulendt terreng, vil maskinen være preget av slag og vibrasjoner som kan by på utfordringer. Tiltak for å ivareta sikkerheten krever teknologi og komponenter av sikker kvalitet, en faktor som også kan trekkes mot kostnadsaspektet til hvorfor hydrogen fremdeles ikke har blitt en utbredt energibærer. For hydrogen ville det dermed medført høyere driftskostnader per kWh dersom transport, lagring og sikkerhetsmessige aspekter hadde vært inkludert i beregningene for driftskostnader. Investeringskostnadene for hydrogenlagringstanken på 60 kg er imidlertid inkludert i beregningene, som vist i kapittel 4.4.1 er kostnadene for hydrogenlagringstanken kr 481.500 i 2023.

Ytterligere kan beregnet energiforbruk til de to ulike gravemaskinene belyse hvorfor drivstoffutgiftene for hydrogen er lavere enn for diesel. Påliteligheten av datagrunnlaget tilhørende den dieseldrevne gravemaskinen er vurdert høyere enn for den hydrogendrevne gravemaskinen ettersom denne er et kommersielt tilgjengelig produkt på markedet. Drivstoffutgiftene for den dieseldrevne gravemaskinen er som tidligere nevnt utarbeidet i samarbeid med salgs- og markedssjef i Volvo Maskin basert på et gjennomsnittlig forbruk på 161 tilsvarende gravemaskiner. For å beregne drivstoffutgiftene for den hydrogendrevne gravemaskinen var det nødvendig å basere beregningene på effektbehovet i kWh per time for en tilsvarende elektrisk modell ettersom gravemaskinen til Applied Hydrogen fortsatt er en prototype som benyttes til testing. Vurdering av reliabiliteten til datagrunnlaget må dermed sees i sammenheng med resultatene for drivstoffkostnader. Et aspekt som imidlertid taler i favør reduserte drivstoffutgifter for hydrogendrevet drivlinje er at gravemaskiner benyttes 37,69% av tiden til tomgangskjøring som bidrar til økt drivstofforbruk for en dieseldrevet gravemaskin. Ettersom den hydrogendrevne gravemaskinen driftes av en brenselcelle med tilhørende hydrogentank og elektrisk motor, som ikke har like høyt forbruk under tomgangskjøring, vil effektivt drivstofforbruk være lavere på en hydrogendrevet gravemaskin basert på konverteringseffektiviteten fra tabell 4.6.

Fra Monte Carlo-simuleringene av hovedscenarioet mellom diesel- og hydrogenpris, fremkommer det at størrelsen på utfallsrommet til utgangsvariabelen ikke samsvarer sammenlignet med hverandre. For 2023 fremkommer det at utfallsrommet fra simuleringen for

hydrogenprisen skiller kr 1,34 per kWh for 2023, mens utfallsrommet for dieselpris skiller kr 0,274 per kWh. Simuleringen for hydrogenprisen er basert på et høyere antall inngangsvariabler enn simuleringen for dieselpris, og vil dermed ha et større utfallsrom for utgangsvariabelen. Dette belyses i sensitivitetsanalysen presentert ved tornadodiagrammer i figur 4.6 og figur 4.8 for diesel- og hydrogenpris, og vil dermed påvirke resultatet. Når det benyttes flere inngangsvariabler i Monte Carlo-simulering, vil utfallsrommet og konfidensintervallet bli større basert på usikkerheten knyttet til hver enkel inngangsvariabel. Om en inngangsvariabel har høyt spenn mellom lavscenario og høyscenario, vil inngangsvariabelen ha høy påvirkning på utfallsrommet til utgangsvariabelen. For utfallsrommet til hydrogenprisen er strømpris et eksempel på dette, da inngangsvariabelen har størst differanse mellom lavscenario og høyscenario fra tetthetsfunksjonen, som også er presentert ved figur 4.8 i sensitivitetsanalysen.

Dette vil resultere i en bredere tetthetsfunksjon, som påviser hydrogenprisen som mer usikker. Usikkerheten til resultatet i simuleringen er dermed forårsaket av antall inngangsvariabler, som resulterer i at hydrogenprisen vil være mer sensitiv for endring sammenlignet med dieselprisen, hvor grunnlaget for prisen kun påvirkes av to inngangsvariabler.

Inngangsvariablene for dieselpris er kun dieselpris uten CO₂-avgift og CO₂-avgift, som er fastsatt basert på fremtidige prognoser fra regjeringen, hvor det i tillegg er lagt til et lav- og høyscenario for å belyse den økonomiske påvirkningen ulike avgiftsnivå kan ha på den totale investeringskostnaden. Som presentert i sensitivitetsanalysen vil derfor utfallsrommet til Monte Carlo-simuleringen av dieselpris bli relativt lite, basert på at det kun består av to inngangsvariabler som definerer utfallsrommet til utgangsvariabelen. Dette resulterer i at det er liten forskjell mellom inngangs- og utgangsvariablene benyttet i Monte Carlo-simuleringen.

Et usikkerhetsmoment med Monte Carlo-simuleringen er imidlertid våre estimerte inngangsvariabler fra lav- til høyprisscenario, ettersom inngangsvariablene har stor effekt på utfallsrommet til utgangsvariabelen. De fremtidige estimerte prisbanene for strømpris er et usikkerhetsmoment assosiert med dette. Estimert strømpris for 2023 og 2024 kan diskuteres opp mot dagens strømpriser og hvor realistisk det er at de estimerte tallene inntreffer. Strømprisen som er presentert for 2023 og 2024 baseres på NVEs langsiktige kraftmarkedsanalyse, som består av prisbaner på strøm som er nokså lavere enn hva de faktiske strømprisene er per i dag. Ettersom kraftmarkedsanalysen ble utarbeidet i 2021, er det flere

elementer som har påvirket strømprisen i løpet av de siste to årene. Krigføringen mellom Russland og Ukraina, i tillegg til rekordhøye olje- og gasspriser, har ført til en høyere strømpris enn antatt for to år siden. Som et resultat av økt strømpris, vil realistisk hydrogenpris produsert fra elektrolyse være noe høyere enn hva som fremgår av beregningen, ved å legge dagens faktiske strømpris til grunn. Denne usikkerheten kan assosieres som en svakhet tilknyttet grunnlaget for inngangsvariabelen strømpris på utgangsvariabelen hydrogenpris.

Det foreligger også en viss usikkerhet knyttet til de genererte inngangsvariablene for effektivitet elektrolyse, elektrolysekost ekskludert strømkost og virkningsgrad brenselcelle, ettersom inngangsvariablene er generert fra ulike relevante aktører i bransjen. For effektivitet elektrolyse fremkommer det at utviklingen år for år ikke har samsvarende utvikling som eksempelvis CO₂-avgift, ettersom lav- og høyscenario for CO₂-avgift har samme prosentvise differansen hvert år. Utviklingen til effektivitet elektrolyse baseres på forskningsarbeidet til et utvalg av 10 eksperter, hvor det er mer variasjon i hva ekspertene mener om den fremtidige utviklingen av effektivitet elektrolyse.

Den ikke-samsvarende utviklingen for de ulike scenarioene av prisbanene til diesel og hydrogen, fremkommer ved å sammenligne figur 4.3 og figur 4.5. Hvor det tydelig fremkommer en mer lineær utvikling for diesel enn for hydrogen, ved at prisscenarioene er mer korrelerende i forhold til hverandre. Ulike meninger kombinert med flere inngangsvariabler generert fra flere relevante aktører i bransjen, blant andre SKL og Hydrogen Solutions, forklarer grafen til figur 4.2 for hydrogenprisen. Hvor det eksempelvis ikke fremkommer en utvikling fra 2023 til 2024 under et hovedscenario, basert på at inngangsvariablene elektrolysekostnad ekskludert strømkostnad og virkningsgrad brenselcelle ikke forventes en utvikling i perioden.

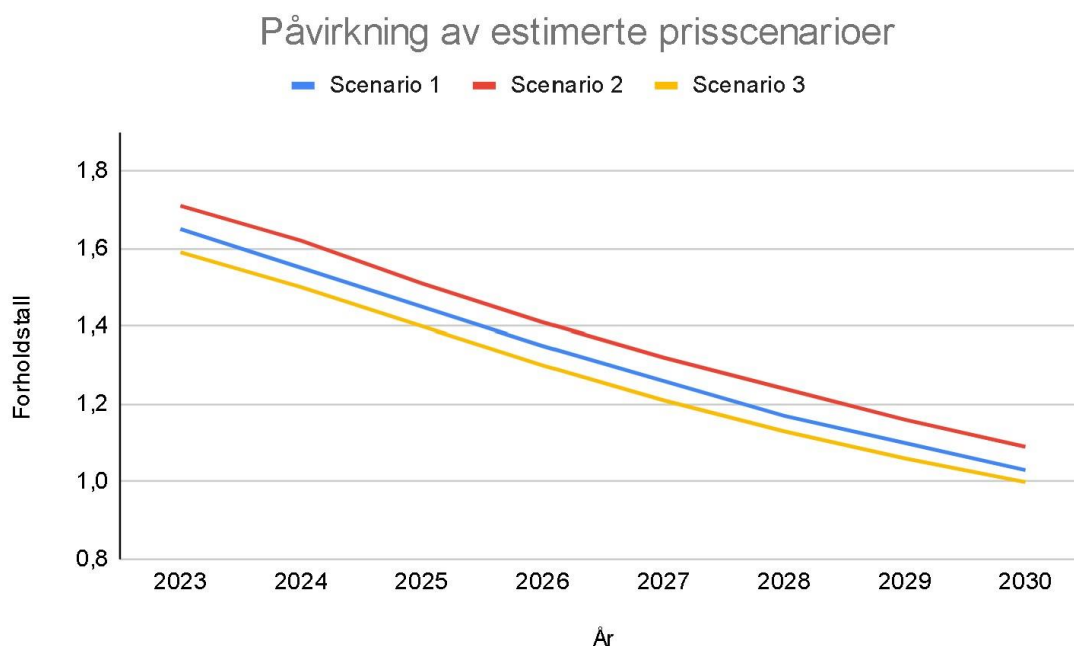
Investeringsanalysen viser at i tidsperioden frem mot 2030 er det knyttet høye kostnader ved investering i en hydrogendrevet gravemaskin. Beregninger gjennom årlig sammenlikning av den diskonterte nåverdien viser at forholdstallet likevel reduseres årlig frem mot 2030 uavhengig av hvilket prisscenario som legges til grunn. Figur 5.2 viser en grafisk fremstilling av utviklingen til forholdstallene basert på de presenterte resultatene i kapittel 4.4. Tilhørende viser tabell 4.29 scenariobeskrivelsen av de ulike prisscenarioene. Den diskonterte negative nåverdien for den dieseldrevne gravemaskinen ved investeringsår 2023 er kr 9.361.766, mens for den hydrogendrevne gravemaskinen er diskontert negativ nåverdi kr 15.435.576. Presentert

som scenario 1 i figur 5.2 gir dette et forholdstall på 1.65 i favør dieseldrevet gravemaskin ved hovedscenario på drivstoffutgifter og investeringstidspunkt i 2023. Beregningene for hovedscenarioet viser imidlertid at forholdstallet mellom de to ulike investeringsobjektene er redusert til 1,03 i 2030.

For å kartlegge påvirkningen de ulike prisscenarioene har på kontantstrøm- og nåverdiberegningene er det presentert tre ulike scenarioer i figur 5.2 som oppsummerer resultatene fra kapittel 4. Gjennom et lavprisscenario på diesel og høyprisscenario for hydrogen, presentert som scenario 2 i figuren, viser beregningene imidlertid at forholdstallet øker til 1,71 ved investeringstidspunkt i 2023 og 1,09 i 2030. Utviklingstrenden belyst gjennom scenario 3, herunder et høyprisscenario på diesel og lavprisscenario på hydrogen, viser imidlertid at forholdstallet er redusert til 1,59 ved investeringstidspunkt i 2023. Tilhørende viser scenario 3 at forholdstallet har en minimal krysning ved investeringstidspunkt i 2030. Hvor den diskonterte negative nåverdien fra tabell 4.30 viser at den hydrogendrevne gravemaskinen er ca. kr 12.000 rimeligere enn den dieseldrevne gravemaskinens diskonterte nåverdi. Scenario 3 viser dermed at det er lønnsomt å gå til anskaffelse av hydrogendrevet gravemaskin i 2030, sammenliknet med en tilsvarende dieseldrevet modell.

Tabell 5.1: Scenariobeskrivelse av de ulike prisscenarioene tilhørende figur 5.2.

Scenario 1	Hovedpris (diesel og hydrogen)
Scenario 2	Lavpris (diesel) & høypris (hydrogen)
Scenario 3	Lavpris (hydrogen) & høypris (diesel)



Figur 5.2: Grafisk fremstilling av forholdstallene mellom diesel- og hydrogendrevet Volvo EC300EL med estimerte prisscenarioer.

Det er imidlertid verdt å belyse ved tolkning av resultatene at det kun er hovedprisscenarioet som tar utgangspunkt i regjeringens fremtidige prognoser for CO₂-avgift for anvendelse i samfunnsøkonomiske analyser. Høy- og lavprisscenarioet benyttes for å illustrere hvilken påvirkning ulike avgiftsnivåer vil ha på når det er lønnsomt å investere i hydrogendrevet gravemaskin. Belyst gjennom de ulike prisscenarioene er det likevel mulig å trekke linje mellom hvilken påvirkning offentlige reguleringer i fremtiden vil ha på når det er gunstig å investere i nullutslippsteknologi ettersom det kun er scenario 3 som viser at investeringen er lønnsom i 2030. Tilhørende er det verdt å belyse at Monte Carlo-simuleringene kun strekker seg frem til år 2030. Dermed er det benyttet videreføring av trend for drivstoffutgiftene i perioden mellom 2031 og 2037. Reliabiliteten til datagrunnlaget har dermed en betydelig svekkelse i denne tidsperioden som direkte konsekvens.

Et utfordrende aspekt har imidlertid vært å beregne kostnader tilknyttet drivlinjen til den hydrogendrevne gravemaskinen, som per 2023 ikke er et kommersielt tilgjengelig produkt i Norge. Applied Hydrogen er som nevnt den eneste aktøren som ombygger gravemaskiner med brenselcelleteknologi i Norge, og det er derav knyttet høy konfidensialitet rundt kostnadsbildet

til maskinens drivlinje. En betydelig svakhet med beregningene er også kostnadsbildet rundt selve ombyggingen fra en diesel- til hydrogendrevet gravemaskin. Her ble det av Engineering Manager i Applied Hydrogen anbefalt å ta utgangspunkt i en elektrisk gravemaskin av tilsvarende størrelse, og legge til en skaleringsfaktor på 1,25 (personlig kommunikasjon, 16. februar 2023). Total investeringskostnad for den hydrogendrevne gravemaskinen er derav estimert til kr 11.000.000 for 2023, og baserer seg videre på systematisk datainnsamling med relevante aktører i bransjen for merkostnadene tilknyttet den hydrogendrevne drivlinjen. Kostnadene for brenselcelle utgjør kr 1.284.000, mens kostnadene tilknyttet maskinens hydrogentank og batteri for å regulerer brenselcellens topp- og bunneffekt utgjør til sammen kr 517.483. Resterende kostnader er antatt å være kostnadsbildet knyttet til selve ombyggingen av maskinen, og er estimert til å utgjøre kr 448.517 ved investeringstidspunkt i 2023. Da kostnadsbildet rundt den fysiske ombyggingen av maskinen, som hovedsakelig vil bestå av personalkostnader og tilhørende grunnlag for antall arbeidstimer ikke er kjent, betegnes dette som en svakhet med beregningene. Investeringskostnaden for ombygging av maskinen baseres også på fremtidige prognoser på brenselcelle-, batteri- og lagringsteknologi i samarbeid med relevante aktører i bransjen. Basert på usikkerhet i de fremtidige prognosene har beregningene tilknyttet kostnadsbildet til den hydrogendrevne drivlinjen til Volvo EC300EL derav betydelig redusert reliabilitet sammenliknet med den dieseldrevne gravemaskinen, som må videre tas med i betraktning når resultatene tolkes og analyseres.

Som beskrevet av Thompson (2022), kan et abduktivt forskningsdesign gjøre at forskerne tar sikte på å forhindre oppdagelsen av vilkårlige resultater som er irrelevante for forskningsspørsmålet. Dermed kan en direkte konsekvens være at kostnadsanslaget som ble estimert i samarbeid med Engineering Manager i Applied Hydrogen er for aggressivt med manglende objektivitet. Det må videre tas med i den konkrete vurderingen av datagrunnlaget at det fremtidige kostnadsbildet for den hydrogendrevne gravemaskinen baserer seg på ensidig informasjon fra Applied Hydrogen. Dermed medfører resultatene redusert reliabilitet.

Enova tilbyr økonomisk støtte til bedrifter som investerer i gravemaskiner med nullutslippsteknologi, som illustrert tidligere i tabell 4.18, viser beregningene at det mottas kr 3.000.000 ved investeringstidspunkt i 2023. Gjennom investeringsstøtten søker Enova å bidra til raskere markedsopptak og økt tilbud av serieproduserte gravemaskiner. Det er imidlertid verdt å få frem at Enova opplyser på sine nettsider om at støtteordningen er tidsavgrenset, med

planlagt varighet ut 2024 (Enova, u.å.b). Det kan dermed betegnes som en svakhet med beregningene at det tas utgangspunkt i at Enova dekker 40% av merkostnadene mellom en diesel- og hydrogendrevet gravemaskin frem til 2030. Det er imidlertid rimelig grunn til antakelse om at støtten videreføres frem mot 2030 da markedsopptaket av hydrogendrevet gravemaskin fortsatt bærer preg av at teknologien er i tidlig innovasjonsfase.

I fremtiden er markedsopptaket av gravemaskiner med nullutslippsteknologi forventet å øke ettersom det blir strengere krav i anbudsprosser og samfunnet gradvis skal redusere klimagassutslipp for å nå målene som er satt i henhold til Parisavtalen. I tillegg legger storbyerklæringen føringer for at kommunale bygg- og anleggsprosjekter i storbyene skal utføres utslippsfritt fra 2025. Det er likevel knyttet risiko for entreprenører som velger å investere i gravemaskiner med nullutslippsteknologi. Planleggingsfasen i store kommunale bygg- og anleggsprosjekter vedvarer vanligvis over en lengre periode, mens fra anbud blir plassert tar det ofte kort tid fra kontrakten med entreprenør er signert og frem til prosjektstart (Teknisk Ukeblad, u.å.). Ettersom det fortsatt tar cirka to år fra bestilling av gravemaskin med nullutslippsteknologi frem til den er levert, medfører det dermed høy risiko for entreprenører som går til innkjøp av nullutslippsmaskiner med utgangspunkt i responstiden som kreves i dagens marked (NHO, 2021). Formålet med investeringsanalysen er dermed å belyse på hvilket tidspunkt det vil være lønnsomt for entreprenører å gå til innkjøp av en hydrogendrevet gravemaskin. Hovedscenarioet i tabell 5.2 viser at forholdstallet mellom diesel- og hydrogendrevet Volvo EC300EL er redusert til 1,03 i 2030. Investeringen er marginalt lønnsom i 2030, med utgangspunkt i et høyprisscenario på diesel og lavprisscenario på hydrogenpris. Dermed viser beregningene at entreprenører som går til anskaffelse av gravemaskin med hydrogendrevet drivlinje i årene frem mot 2030, vil ha en betydelig konkurransefordel når storbyerklæringen blir gjeldende for både privat- og offentlig sektor i 2030.

6 Konklusjon

Masteroppgaven har hatt som formål å belyse problemstillingen “Hvordan blir de økonomiske konsekvensene av å erstatte fossilt drivstoff med grønt hydrogen i gravemaskiner?”.

For å besvare problemstillingen basert på det empiriske datagrunnlaget har vi gjennom en investeringsanalyse kartlagt den økonomiske utviklingstrenden mellom en diesel- og hydrogendrevet versjon av Volvo EC300EL. Resultatene er videre belyst gjennom tre ulike prisscenarioer understøttet av Monte Carlo-simuleringer med en tilhørende sensitivitetsanalyse.

Det fremkommer av resultatene at de økonomiske konsekvensene av å erstatte fossilt drivstoff med grønt hydrogen i gravemaskiner består av en årlig reduksjon i differansekostnader ved investeringstidspunkt mellom 2023 og 2030. Resultatene baserer seg på fremtidig teknologiutvikling og regjeringens varslede opptrapping av CO₂-avgiften med tilhørende fremtidig estimerte prisscenarioer på diesel.

Med utgangspunkt i hovedprisscenarioet fra Monte Carlo-simuleringene viser beregningene at det ikke vil være bedriftsøkonomisk lønnsomt å gå til anskaffelse av Volvo EC300EL med hydrogendrevet drivlinje i tidsperioden mellom 2023 og 2030. Forholdstallet mellom de to ulike investeringsobjektene er imidlertid redusert til 1,03 i 2030. Tilhørende viser scenario 2, som tar utgangspunkt i et lavprisscenario på diesel og høyprisscenario på hydrogen, at forholdstallet mellom investeringsobjektene øker til 1,09 i 2030. Belyst gjennom scenario 3, som tar utgangspunkt i et lavprisscenario på hydrogen og høyprisscenario på diesel, viser beregningene at det vil være marginalt lønnsomt å investere i en hydrogendrevet gravemaskin i 2030. Hvor den diskonterte negative nåverdien viser at å investere i hydrogendrevet gravemaskin er et kr 11.981 rimeligere investeringsobjekt i 2030. Tilhørende viser beregningene at differansen for den diskonterte negative nåverdien henholdsvis er kr 312.497 og kr 1.022.193 for scenario 1 og 2 ved investeringstidspunkt i 2030. Uavhengig hvilket av de tre presenterte prisscenarioene som benyttes, er imidlertid den økonomiske utviklingstrenden samsvarende.

Resultatene inneholder videre begrensninger og forutsetninger som er verdt å belyse for å behandle studiens pålitelighet. Ettersom Monte Carlo-simuleringene kun strekker seg frem til år 2030, er det benyttet videreføring av trend for perioden mellom 2031 og 2037. Reliabiliteten

til resultatgrunnlaget har dermed en betydelig svekkelse i denne tidsperioden. Hvor den største kostnaden på maskinene er investeringskostnaden, må det betegnes som en svekkelse av resultatets pålitelighet at det er tatt utgangspunkt i at Enova dekker 40% av differansen i investeringskostnaden gjennomgående frem til 2030. Da det fremkommer at Enova sin støtteordning kun har planlagt varighet ut 2024. Ytterligere tar beregningene ikke utgangspunkt i kostnader tilknyttet transport og nødvendig infrastruktur tilhørende en mottaksstasjon for hydrogenfylling på anleggsplass. Dersom kostnadene tilknyttet transport og nødvendig infrastruktur hadde vært inkludert, kan vi se at den hydrogendrevne gravemaskinen, også belyst gjennom scenario 3, realistisk sett ikke ville vært et lønnsomt alternativ dersom kostnadene hadde blitt inkludert. Det er imidlertid verdt å bemerke seg at fritaket for elavgift ved produksjon av hydrogen gjennom elektrolyse ikke er inkludert i beregningene. Vi ser likevel at en medregning av kostnadsreduksjon gjennom fritaket for elavgift ikke ville hatt en tungtveiende påvirkning av utfallet.

Ettersom forskningsdesignet i masteroppgaven baserer seg på et casestudie med abduktiv tilnærming, kan vi ikke unnlate å nevne påvirkningen dette kan ha på utfallet. Som beskrevet av Thompson (2022), setter den teoretiske forståelsen parameterne for det forskerne i utgangspunkt leter etter, og tar videre sikte på å forhindre oppdagelsen av vilkårlige resultater som er irrelevante for forskningsspørsmålet.

Resultatene belyst gjennom de ulike prisscenarioene viser likevel at det er mulig å trekke paralleller til hvilken påvirkning statsforvaltningen i Norge har på når det vil være bedriftsøkonomisk lønnsomt å erstatte fossilt drivstoff med nullutslippsteknologi, når Norge gradvis skal dekarboniseres for å nå de ambisiøse målene i tråd med Parisavtalen. For å nå målene på en effektiv måte er vi avhengig av å anvende de riktige energikildene for de riktige arbeidsoppgavene. Derfor stiller vi oss kritisk til at Norges største fastlandsnæring ikke er nevnt i regjeringens hydrogenstrategi. Ettersom oppskalering av hydrogenproduksjon i Norge er en avgjørende faktor for å redusere kostnadene både ved investering og videre produksjon av grønt hydrogen, også for bygg- og anleggsbransjen.

7 Forslag til videre arbeid

Ettersom grønt hydrogen som erstatning for fossilt drivstoff fremdeles er i tidlig innovasjonsfase, er det flere relevante aspekter som det ville vært av interesse å undersøke videre. Blant annet hvordan videre utnyttelse av oksygen og spillvarmen ved produksjon av hydrogen gjennom elektrolyse kan påvirke den økonomiske lønnsomheten av hydrogenproduksjon. Gjennom elektrolyse splittes H_2O , og det oppnås 8 kg rent O_2 per kg H_2 , som videre kan selges som rent komprimert O_2 eller benyttes inn igjen i brenselcellen som da vil gå med ren oksygen, istedenfor oksygen fra luften, som vil gi bedre virkningsgrad for brenselcellen. Et annet interessant aspekt ville vært å se hvordan hydrogenproduksjon fra innestengt kraft, som ikke er tilkoblet det regionale strømmettet, ville påvirket den økonomiske lønnsomheten til hydrogenproduksjon. .

Det ville av videre arbeid også være av høy interesse å kartlegge betalingsvilligheten hos maskinentreprenører for den hydrogendrevne gravemaskinen basert på den diskonterte årlige nåverdien for investeringen i årene frem mot 2030.

Referanseliste

- Aarnes, H. (2014). Sannsynlighetsfordelinger. Universitetet i Oslo.
<https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/tall/statfordeling.pdf>
- Aarnes J., Haugom, G. P. & Norheim, B. (2019). *Produksjon og bruk av hydrogen i Norge* (2019-0039, Rev. 1). DNV GL.
<https://www.regjeringen.no/contentassets/0762c0682ad04e6abd66a9555e7468df/hydrogen-i-norge---synteserapport.pdf>
- Andersen, C. & Skjeret, F. (2003). *Valg av diskonteringsrente ved nettinvestering*. Samfunn- og næringslivsforskning.
- Applied Hydrogen. (u.å.a). *About Applied Hydrogen*. Hentet 5. april 2023 fra
<https://www.appliedhydrogen.no/about-us>
- Applied Hydrogen. (u.å.b). *Dismantling continues. Making space for an emission free Hydrogen power pack with Ballard Power Systems inside*. LinkedIn. Hentet 20. april 2023 fra <https://www.linkedin.com/company/applied-hydrogen/posts/?feedView=all>
- Ballard Motive Solutions. (u.å.). *Hydrogen is less efficient? Part 3: Energy Cost*. Hentet 27. februar 2023 fra <https://www.ballardmotivesolutions.com/insights/hydrogen-is-inefficient-part-3-energy-cost>
- Birkelund, H., Arnesen, F., Hole J., Silde D., Jelsness S., Aulie F. H. & Haukeli I. E. (2021). *Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2021-2040*. (NVE Rapport nr. 29/2021). Norges vassdrags- og energidirektorat.
https://publikasjoner.nve.no/rapport/2021/rapport2021_29.pdf
- Borgonovo, E. & Rabitti, G. (2023). Screening: From tornado diagrams to effective dimensions. *European Journal of Operational Research*. 304(3), 1200-1211.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.05.003>
- Boye, K. & Koekebakker, S. (2006). *Finansielle emner*. Cappelen Damm Akademisk.
- Bratvold, R. B. & Begg, S. H. (2010). *Making good decisions*. Society of petroleum engineers.
- Bygballe, L. E., Grimsby, G., Engebretsen, B. E. & Reve, T. (2019). *En verdiskapende bygg-, anlegg- og eiendomsnæring (BAE): Oppdatering 2019*. Nr. 2/2019. Handelshøyskolen BI.
<https://sammen2030.no/assets/pdf/Forskningsrapport-2-2019-En-verdiskapende-naering-BAE.pdf>
- Byggeindustrien. (2023, 25. januar). *Skanska starter Bergens første utslippsfrie byggeplass*.
<https://www.bygg.no/skanska-starter-bergens-forste-utslippsfrie-byggeplass/1517573/>

- Byggenæringens Landsforening. (u.å.). *Om byggenæringen*. Hentet 7. februar 2023 fra <https://www.bnl.no/om-oss/om-byggenaringen/>
- Bøhren, Ø. & Gjørum, P. I. (1983). *Innføring i budsjettering, investering og finansiering*. Universitetsforlaget.
- Dalland, O. (2012). *Metode og oppgaveskriving for studenter*. Universitetsforlaget.
- Davidsson, S., Lie, A. Ø. & Rustad, M. J. (2018). *Fossil- og utslippsfrie byggeplasser: Veileder for tilrettelegging av fossilfrie og utslippsfrie løsninger på byggeplassen*. (2018-0418, Rev. 2). DNV GL AS Energy. Hentet fra https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/rapport-veileder-utslippsfrie-byggeplasser_rev2-1.pdf
- DFØ. (2023, 12. januar). *Bærekraftig kjøp av bygg og anlegg*. Anskaffelser.no <https://anskaffelser.no/verktoy/veiledere/baerekraftig-kjop-av-bygg-og-anlegg>
- Dubois, A. & Gadde, L. E. (2002). Systematic combining: an abductive approach to case research. *Journal of Business Research*, 55(7), 553-560. [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(00\)00195-8](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(00)00195-8)
- Enova. (u.å.a). *Pilotering av utslippsfri hydrogeneravemaskin med mobil hydrogendistribusjon på anleggsplass*. Hentet 26. april 2023 fra <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/teknologiportefoljen/pilotering-av-utslippsfri-hydrogeneravemaskin-med-mobil-hydrogendistribusjon-pa-anleggsplass/>
- Enova. (u.å.b). *Utslippsfrie anleggsmaskiner*. Hentet 27. april 2023 fra <https://www.enova.no/bedrift/bygg-og-eiendom/utslippsfrie-anleggsmaskiner/>
- Energi & Klima. (u.å.). Tema: Ikke-kvotepliktig sektor. Hentet 17. februar 2023 fra <https://energiogklima.no/tema/ikke-kvotepliktig-sektor/>
- Fiken. (u.å.). *Hva er kontantstrøm*. Hentet 15. februar 2023 fra <https://fiken.no/forklarer/kontantstrom>
- Fiksen, K. (15. mars 2023). *Kan industrien del-elektrifiseres selv i områder uten ledig nettkapasitet?* Thema Consulting Group AS. <https://thema.no/rapporter/kan-industrien-del-elektrifiseres-selv-i-omrader-uten-ledig-nettkapasitet/>
- Finansdepartementet. (2020, 10. januar). *CO2-avgiften*. Regjeringen.no <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/skatter-og-avgifter/veibruksavgift-pa-drivstoff/co2-avgiften/id2603484/>
- Finansdepartementet. (2022). *Karbonprisbaner for bruk i samfunnsøkonomiske analyser 2022*. <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/statlig-okonomistyring/karbonprisbaner-for-bruk-i-samfunnsokonomiske-analyser/id2878113/>

- Fjell, T. J (1984). *Praktisk investeringsanalyse* (2. utg.). Bedriftsøkonomens Forlag.
- Gjermundnes, I. (u.å.). *Brenselceller- hvordan fungerer de?* Tevas.
<https://tevas.no/brenselceller-hvordan-fungerer-de/>
- Gordon, D. (2023, 15. mars). *Battery market forecast to 2030: Pricing, capacity, and supply and demand*. E Source.
<https://www.esource.com/report/130221hvfd/battery-market-forecast-2030-pricing-capacity-and-supply-and-demand>
- Gripsrud, G., Silkoset, R. & Olsson, H. (2004). *Metode og dataanalyse: med fokus på beslutninger i bedrifter*. Høyskoleforlaget.
- Hagen, K. P. (2011). *Verdsetting av fremtiden. Tidshorizont og diskonteringsrenter*. Concept rapport nr 27. Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Universitet.
https://www.ntnu.no/documents/1261860271/1262010703/CONSEPT_27_web.pdf
- Hagland Finans. (u.å.). *Investeringsanalyse*. Hentet 26. mars 2023 fra
<https://haglandfinans.no/tjenester/okonomiske-analyser/investeringsanalyse/>
- Holtebekk, T., Pedersen, B. & Haarberg, G. M. (2021, 4. januar). *Brenselcelle*. Store Norske Leksikon. <https://snl.no/brenselcelle>
- Horne, H. & Hole, J. (2019). *Hydrogen i det moderne energisystemet*. Norges vassdrags- og energidirektorat. https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2019/faktaark2019_12.pdf
- Hydrogen Solutions. (u.å.a). *Om oss*. Hentet 5. februar 2023 fra
<https://hydrogensolutions.no/om-oss/>
- Hydrogen Solutions. (u.å.b). *Starter grønn hydrogenproduksjon på Vestlandet*. Hentet 29. Februar 2023 fra <https://hydrogensolutions.no/starter-gronn-hydrogenproduksjon-vestlandet/>
- Inventura. (2022, 25. mars). *Utslippsfri byggeplass i 2030*.
<https://www.inventura.no/fagblogg/utslippsfrie-byggeplasser/>
- Jacobsen, D.I. (2000). *Hvordan gjennomføre undersøkelser?* Høyskoleforlaget.
- Jacobsen, D.I. (2005). *Hvordan gjennomføre undersøkelser?* (2. utg). Høyskoleforlaget.
- JCB. (u.å.). *Hydrogen. Fuelling the future*. Hentet 26. april fra <https://www.jcb.com/en-gb/campaigns/hydrogen/hydrogen-refuelling>
- JCB. (2020, 1. juli). *JCB leads the way with first hydrogen fuelled excavator*.
<https://www.jcb.com/en-gb/news/2020/07/jcb-leads-the-way-with-first-hydrogen-fuelled-excavator>

- Johannessen, A., Tufte, A. & Kristoffersen, L. (2004). *Introduksjon til samfunnsvitenskaplig metode* (2. utgave). Abstrakt.
- Kalland, L. E., Gjerset, M., Schjølset, S., Stub, S. & Aasland, S. G. (2022). *Differansekontrakter for hydrogen*. Zero Emission Resource Organization (ZERO). https://zero.no/wp-content/uploads/2022/08/Differansekontrakter_hydrogen.pdf
- Klima- og miljødepartementet. (2021, 22. oktober). *Klimaendringer og norsk klimapolitikk*. Regjeringen. <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>
- Klima- og miljødepartementet. (2020, 12. august). *Dette er klimakvoter*. Regjeringen. <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/klimakvoter/id2076655/?expand=factbox2526830>
- Kroese, D. P., Bereton, T., Taimre, T. & Botev, I. Z. (2014). *Why the Monte Carlo Method is so important today*. https://people.smp.uq.edu.au/DirkKroese/ps/whyMCM_fin.pdf
- Larsen, H. N., Sandberg, H. M., & Heggelund, E. (2022). *Klimabidrag bygg & anlegg: En gjennomgang av alle klimagassutslipp som kan ansvarliggjøres norsk bygg og anleggssektor*. Asplan Viak. <https://www.eba.no/siteassets/dokumenter/rapporter-og-publikasjoner/rapport-bygg-og-anlegg-endelig.pdf>
- Miljødirektoratet. (2020, 13. oktober). *Tabeller for omregning fra energivare til utslipp*. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energiplanlegging/tabeller-for-omregning-fra-energivarer-til-kwh/>
- NHO. (2021, 26. april). *Teknologistatus for anleggs- og landbruksmaskiner*. <https://www.nho.no/samarbeid/gront-landtransportprogram/artikler/teknologistatus-for-anleggs--og-landbruksmaskiner/>
- Norges Bank. (2023, 30. januar). *Generiske statsrenter*. <https://www.norges-bank.no/tema/Statistikk/statsrenter/generiske-statsrenter/&sa=D&source=docs&ust=1682346494162099&usg=AOvVaw3UTZsOY-2FH0OTfcSVttOn>
- NOU 1998: 11. (1998). *Hydrogen som fremtidens energibærer*. Statens forvaltningstjeneste. <https://www.regjeringen.no/contentassets/73005ad86d4f4bb89f28457fdc69b664/no/pdfs/nou200420040011000dddpdfs.pdf>
- Olje- og energidepartementet & Klima- og miljødepartementet. (2020). *Regjeringens hydrogenstrategi*. <https://www.regjeringen.no/contentassets/40026db2148e41eda8e3792d259efb6b/y-0127b.pdf>
- Proff. (u.å.a). Applied Hydrogen AS. Hentet 4. april 2023 fra

- <https://www.proff.no/selskap/applied-hydrogen-as/kongsberg/tekniske-konsulenter/IFBB8GH01OU/>
- Proff. (u.å.b). Hydrogen Solutions AS. Hentet 5. februar 2023 fra <https://proff.no/selskap/hydrogen-solutions-as/stord/produsenter/IFBU31W016D/>
- Proff. (u.å.c). Volvo Maskin AS. Hentet 9. april 2023 fra <https://www.proff.no/selskap/volvo-maskin-as/troll%C3%A5sen/grossister/IFFQWZN10NS-1/>
- Prop. 1 (1998-1999). *Skatte-, avgifts- og tollvedtak*. Det kongelige finans- og tolldepartement. https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/kilde/stp/19981999/0001/ddd/pdts/stp_199819990001skaddpdts.pdf
- PwC. (u.å.). *Risikopremien i det norske markedet*. Hentet 24. april 2023 fra <https://www.pwc.no/no/publikasjoner/risikopremien.html>
- Santos, D. M. F., Sequeira, C. A. C & Figueiredo, J. L. (2013). Hydrogen production by alkaline water electrolysis. *Quimica Nova*, 36(8). <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000800017>
- Sander, K. (2022, 29. august). *Kapitalverdimodellen (CAPM)*. *Estudie* <https://estudie.no/kapitalverdimodellen-capm/>
- Schmidt, O., Gambhir, A., Staffel, I., Hawkes, A., Nelson, J. & Few, S. (2017). Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study. *International Journal of Hydrogen Energy*. 42(52), 30470-30492. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.10.045>
- Siva. (2021, 27. august). *Starter grønn hydrogenproduksjon på Vestlandet*. <https://siva.no/2021/08/starter-gronn-hydrogenproduksjon-pa-vestlandet/>
- Skattedirektoratet. (2023, 1. januar). *Avgiftshistorie 2023*. <https://www.skatteetaten.no/globalassets/rettpskilder/avgiftshistorie/avgiftshistorie-2023.pdf>
- Statistisk Sentralbyrå. (u.å.). *Sal av petroleumprodukt og flytende drivstoff*. Hentet 4. mars 2023 fra <https://www.ssb.no/statbank/table/09654>
- Stavseth, M. R., (2020, 25. Mai). *Sensitivitetsanalyser - hvor robust er resultatet?* Tidsskriftet. <https://tidsskriftet.no/2020/04/medisin-og-tall/sensitivitetsanalyser-hvor-robust-er-resultatet>
- Stølen, S. (2011, 8. juli). *Mest av hydrogen og helium*. Universitetet i Oslo. <https://www.mn.uio.no/kjemi/tjenester/kunnskap/om-periodesystemet/opprinnelse/opprinnelse-1-innledning.html>
- Sunnhordland Kraftlag (SKL). (u.å.). *Dette er SKL*. Hentet 4. april 2023 fra <https://skl.as/dette-er-skl/>

- Sunnhordland Kraftlag SKL. (2023, 9. mai). *Tetthetsfunksjoner* [Video]. Youtube.
https://www.youtube.com/watch?v=AI09LPiQxx0&ab_channel=Unoversitas
- Teknisk Ukeblad. (u.å.). *Elektriske gravemaskiner på vei inn - bruker en fjerdedel av energien til en dieselmaskin*. Hentet 21. april 2023 fra <https://www.tu.no/artikler/elektriske-gravemaskiner-pa-vei-inn-bruker-en-fjerdedel-av-energien-til-en-dieselmaskin-br/493912?key=lObKDNAU>
- Teknisk Ukeblad. (2023, 2. februar). - *Får du en elektrisk gravemaskin til å gå på hydrogen, da er fremtida sikra*. [Audiopodcast-episode]. Teknisk sett.
<https://open.spotify.com/episode/14BNIduF8ghImiKPWiSXTY?si=5ead117d02a94f63>
- Thime, E. (2022, 24. desember). *Hydrogen Solutions vokser før produksjonsstart på Kaupanes*. Dalane Tidende.
<https://www.dalane-tidende.no/hydrogen-solutions-vokser-for-produksjonsstart-pa-kaupanes/s/5-101-538196>
- Thompson, J. (2022). A Guide to Abductive Thematic Analysis. *The Qualitative Report*, 27(5), 1410-1421. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2022.5340>
- Universitetet i Agder. (2020, 27. april). *Hydrogenproduksjon på Sørlandet*.
https://www.uia.no/content/download/118966/1815042/file/200427_Sluttrapport%20H2%20S%C3%B8r.pdf
- Volvo Construction Equipment. (2021, 18. mai). *Volvo CE takes big step towards a carbon neutral future with hydrogen fuel cell test lab*. <https://www.volvoce.com/united-states/en-us/about-us/news/2021/volvo-ce-takes-big-step-towards-a-carbon-neutral-future-with-hydrogen-fuel-cell-test-lab/>
- Volvo Construction Equipment. (u.å.). *Our history*. Hentet 9. april 2023.
<https://www.volvoce.com/global/en/this-is-volvo-ce/our-history/>
- Volvo Maskin AS. (u.å.). *Finn en forhandler*. Hentet 9. april 2023.
<https://www.volvoce.com/norge/nb-no/volvo-maskin-as/contact-us/dealer-locator/?latitude=59.976819179483286&longitude=10.721491881249982&zoom=6>
- Wolcott, H. F. (1994). *Transforming Qualitative Data: Description, Analysis, and Interpretation*. SAGE Publications.
- Yin, R.K. (1994). *Case Study Research: Design and Methods*. (2. utg.). SAGE Publications.

Vedlegg

Vedlegg 1 - Historisk dieselpriutvikling

Gjennomsnittlig prisvariasjon per år: **15,29%**

År, måned	Pris per liter [kr/liter]	Pris per kWh [kr/kWh]	Gjennomsnitt (μ)	Standard-avvik (σ)	Prosentvis endring fra M1 til neste år M1:	Høyeste variasjon gjennom året
2015M01	12,46	1,23	12,23	5,51	-7,32%	7,83%
2015M02	12,14	1,20				
2015M03	12,47	1,23				
2015M04	12,67	1,25				
2015M05	12,03	1,19				
2015M06	12,63	1,25				
2015M07	12,60	1,25				
2015M08	11,90	1,18				
2015M09	12,06	1,19				
2015M10	12,05	1,19				
2015M11	12,00	1,19				
2015M12	11,75	1,16				
2016M01	11,61	1,15	11,66	5,26	19,40%	11,87%
2016M02	10,95	1,08				
2016M03	11,86	1,17				
2016M04	11,41	1,13				
2016M05	11,21	1,11				
2016M06	11,96	1,18				
2016M07	12,06	1,19				
2016M08	11,64	1,15				
2016M09	11,57	1,15				
2016M10	11,46	1,13				
2016M11	11,97	1,19				
2016M12	12,25	1,21				
2017M01	13,87	1,37	13,44	6,06	3,60%	8,60%
2017M02	13,80	1,37				
2017M03	13,50	1,34				
2017M04	12,93	1,28				
2017M05	13,06	1,29				
2017M06	13,36	1,32				
2017M07	13,30	1,32				
2017M08	13,55	1,34				
2017M09	13,62	1,35				
2017M10	12,90	1,28				
2017M11	14,01	1,39				
2017M12	13,39	1,33				

År, måned	Pris per liter [kr/liter]	Pris per kWh [kr/kWh]	Gjennomsnitt (μ)	Standard-avvik (σ)	Prosentvis endring fra M1 til neste år M1:	Høyeste variasjon gjennom året
2018M01	14,37	1,42	14,86	6,70	1,00%	11,54%
2018M02	14,46	1,43				
2018M03	14,12	1,40				
2018M04	14,34	1,42				
2018M05	15,16	1,50				
2018M06	14,84	1,47				
2018M07	14,94	1,48				
2018M08	15,04	1,49				
2018M09	15,13	1,50				
2018M10	15,33	1,52				
2018M11	15,75	1,56				
2018M12	14,78	1,46				
2019M01	14,52	1,44	14,89	6,71	6%	4,41%
2019M02	14,85	1,47				
2019M03	15,04	1,49				
2019M04	14,81	1,47				
2019M05	15,13	1,50				
2019M06	15,01	1,49				
2019M07	15,05	1,49				
2019M08	14,74	1,46				
2019M09	14,79	1,46				
2019M10	14,74	1,46				
2019M11	15,16	1,50				
2019M12	14,83	1,47				
2020M01	15,40	1,52	13,86	6,27	5,80%	22,42%
2020M02	14,84	1,47				
2020M03	14,34	1,42				
2020M04	13,65	1,35				
2020M05	13,47	1,33				
2020M06	13,73	1,36				
2020M07	14,41	1,43				
2020M08	14,01	1,39				
2020M09	13,15	1,30				
2020M10	13,20	1,31				
2020M11	12,58	1,25				
2020M12	13,56	1,34				

År, måned	Pris per liter [kr/liter]	Pris per kWh [kr/kWh]	Gjennomsnitt (μ)	Standard- avvik (σ)	Prosentvis endring fra M1 til neste år M1:	Høyeste variasjon gjennom året
2021M01	14,55	1,44	15,51	7,01	20,50%	15,19%
2021M02	14,73	1,46				
2021M03	14,58	1,44				
2021M04	14,88	1,47				
2021M05	15,00	1,49				
2021M06	15,21	1,51				
2021M07	16,06	1,59				
2021M08	15,76	1,56				
2021M09	15,49	1,53				
2021M10	16,28	1,61				
2021M11	16,76	1,66				
2021M12	16,76	1,66				

År, måned	Pris per liter [kr/liter]	Pris per kWh [kr/kWh]	Gjennomsnitt (μ)	Standard- avvik (σ)	Prosentvis endring fra M1 til neste år M1:	Høyeste variasjon gjennom året
2022M01	17,54	1,74	21,72	2,18		40,48%
2022M02	18,23	1,80				
2022M03	22,06	2,18				
2022M04	20,99	2,08				
2022M05	22,39	2,22				
2022M06	24,58	2,43				
2022M07	24,64	2,44				
2022M08	21,34	2,11				
2022M09	22,18	2,20				
2022M10	24,15	2,39				
2022M11	22,43	2,22				
2022M12	20,11	1,99				

Vedlegg 2 - Innganger til Monte Carlo-simulering dieselpriis

Inn angersimuleringssark dieselpriis og CO2-avgift [kr/lite]										
	Enhet	Scenario	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Dieselpriis (avgiftsfri inkl. MVA)	kr/liter	Høy	17,66	18,02	18,38	18,75	19,12	19,50	19,89	20,29
	kr/liter	Hoved	16,41	16,74	17,07	17,41	17,76	18,12	18,48	18,85
	kr/liter	Lav	15,16	15,46	15,77	16,08	16,40	16,73	17,07	17,41
CO2-avgift	kr/liter	Høy		3,10	3,55	4,06	4,64	5,31	6,08	6,95
	kr/liter	Hoved	2,53	2,89	3,31	3,79	4,33	4,96	5,67	6,48
	kr/liter	Lav		2,69	3,07	3,51	4,02	4,60	5,26	6,02
SUM (inkl. infl. 2%)	kr/liter	Høy	20,25	21,18	22,00	22,89	23,86	24,92	26,09	27,38
	kr/liter	Hoved	18,94	19,69	20,45	21,28	22,18	23,17	24,26	25,46
	kr/liter	Lav	17,74	18,20	18,90	19,67	20,51	21,42	22,43	23,55

Inn angersimuleringssark dieselpriis og CO2-avgift [kr/kW]										
	Enhet	Scenario	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Dieselpriis (avgiftsfri inkl. MVA)	kr/kWh	Høy	1,75	1,78	1,82	1,86	1,89	1,93	1,97	2,01
	kr/kWh	Hoved	1,62	1,66	1,69	1,72	1,76	1,79	1,83	1,87
	kr/kWh	Lav	1,50	1,53	1,56	1,59	1,62	1,66	1,69	1,72
CO2-avgift	kr/kWh	Høy		0,31	0,35	0,40	0,46	0,53	0,60	0,69
	kr/kWh	Hoved	0,25	0,29	0,33	0,37	0,43	0,49	0,56	0,64
	kr/kWh	Lav		0,27	0,30	0,35	0,40	0,46	0,52	0,60
SUM (inkl. infl. 2%)	kr/kWh	Høy	2,00	2,10	2,18	2,27	2,36	2,47	2,58	2,71
	kr/kWh	Hoved	1,88	1,95	2,02	2,11	2,20	2,29	2,40	2,52
	kr/kWh	Lav	1,76	1,80	1,87	1,95	2,03	2,12	2,22	2,33

Vedlegg 3 - Innganger til Monte Carlo-simulering hydrogenpris

Parameter	Enhet	Scenario	Innganger simulering ark hydroge pris							
			2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	kr/kWh	Høy	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,68	0,69	0,70
	kr/kWh	Hoved	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,54	0,54	0,54
Strømpris fra spotpris	kr/kWh	Lav	0,45	0,44	0,44	0,44	0,43	0,43	0,42	0,42
	kWh/kgH2	Høy	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00
	kWh/kgH2	Hoved	53,00	52,60	52,10	51,70	51,30	51,80	50,40	50,00
Effektivitet elektrolyser	kWh/kgH2	Lav	53,00	52,10	51,30	50,40	49,60	48,80	47,90	47,20
	kr/kgH2	Høy	30,00	30,00	29,00	28,00	27,00	26,00	25,00	24,00
Elektrolyserkost eks. strømkost	kr/kgH2	Hoved	25,00	25,00	24,00	23,00	22,00	21,00	20,00	19,00
	kr/kgH2	Lav	20,00	20,00	19,00	18,00	17,00	16,00	15,00	13,00
	%	Lav	46,00	46,00	48,00	49,00	51,00	52,00	54,00	55,00
Virkningsgrad	%	Hoved	50,00	50,00	52,00	53,00	55,00	56,00	58,00	59,00
brenselcelle	%	Høy	55,00	55,00	56,00	58,00	59,00	61,00	62,00	64,00

Vedlegg 4 - Statistiske data fra Monte Carlo- simulering dieselpriis

Statistiske data fra simuleringer dieselpriis [kr/kWh]								
Parameter	Enhet	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Minimum	kr/kWh	1,807	1,874	1,952	2,033	2,123	2,229	2,338
Maximum	kr/kWh	2,081	2,16	2,25	2,337	2,437	2,549	2,682
Mean	kr/kWh	1,944	2,018	2,099	2,188	2,284	2,391	2,508
90% CI	kr/kWh	± 0,000862	± 0,000884	± 0,000905	± 0,000926	± 0,000952	± 0,000977	± 0,00101
Mode	kr/kWh	1,948	2,015	2,082	2,188	2,297	2,396	2,509
Median	kr/kWh	1,944	2,018	2,099	2,188	2,284	2,392	2,509
Std Dev	kr/kWh	0,052	0,054	0,055	0,056	0,058	0,059	0,061
Skewness	kr/kWh	0,006	0,007	0,003	-0,017	0,007	-0,022	0,015
Kurtosis	kr/kWh	2,443	2,429	2,44	2,448	2,458	2,475	2,51

Persentiler								
1 %		1,832	1,906	1,982	2,067	2,162	2,263	2,378
2,50 %		1,844	1,917	1,995	2,079	2,174	2,278	2,391
5 %		1,857	1,928	2,007	2,094	2,188	2,293	2,407
10 %		1,874	1,945	2,025	2,112	2,207	2,311	2,428
20 %		1,897	1,97	2,05	2,137	2,233	2,338	2,454
25 %		1,906	1,98	2,06	2,147	2,243	2,348	2,465
30 %		1,915	1,988	2,069	2,157	2,253	2,358	2,474
35 %		1,922	1,997	2,077	2,165	2,261	2,367	2,483
40 %		1,93	2,005	2,084	2,173	2,269	2,376	2,492
45 %		1,937	2,011	2,092	2,18	2,277	2,384	2,5
50 %		1,944	2,018	2,099	2,188	2,284	2,392	2,509
55 %		1,95	2,025	2,106	2,195	2,292	2,399	2,516
60 %		1,957	2,033	2,114	2,203	2,299	2,407	2,524
65 %		1,965	2,04	2,121	2,211	2,308	2,415	2,532
70 %		1,973	2,048	2,129	2,219	2,316	2,424	2,542
75 %		1,981	2,056	2,139	2,228	2,325	2,433	2,552
80 %		1,991	2,066	2,149	2,238	2,336	2,444	2,563
90 %		2,014	2,091	2,173	2,262	2,363	2,471	2,589
95 %		2,032	2,108	2,19	2,282	2,381	2,489	2,611
97,50 %		2,043	2,121	2,204	2,294	2,395	2,503	2,626
99 %		2,055	2,132	2,216	2,307	2,408	2,518	2,641

Vedlegg 5 - Statistiske data fra Monte Carlo- simulering hydrogenpris

Statistiske data - H2 kostnad [kr/kgH2] - spotpris kraft								
Parameter	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Minimum	44,32	44,09	43,19	40,97	40,63	38,75	36,75	34,83
Maximum	62,05	61,65	61,29	60,34	59,61	60,18	59,01	58,54
Mean	53,09	53,03	51,98	50,92	49,86	48,81	47,75	46,36
90% CI	± 0,0452	± 0,0474	± 0,0485	± 0,0506	± 0,0533	± 0,0545	± 0,0568	± 0,0609
Mode	51,37	53,44	51,64	50,43	49,92	50,59	47,09	47,53
Median	53,09	53,01	51,98	50,9	49,8	48,76	47,65	46,29
Std Dev	2,75	2,88	2,95	3,08	3,24	3,31	3,45	3,7
Skewness	-0,02	-0,01	0,03	0,07	0,08	0,05	0,1	0,08
Kurtosis	2,66	2,66	2,72	2,71	2,67	2,73	2,71	2,75
Values	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Errors	0	0	0	0	0	0	0	0
Filtered	0	0	0	0	0	0	0	0
Left X	48,56	48,56	48,56	48,56	48,56	48,56	48,56	48,56
Left P	0,05	0,06	0,13	0,23	0,35	0,48	0,6	0,72
Right X	57,58	57,58	57,58	57,58	57,58	57,58	57,58	57,58
Right P	0,95	0,94	0,97	0,98	0,99	1	1	1
Dif. X	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02
Dif. P	0,9	0,88	0,84	0,75	0,64	0,52	0,4	0,28
1 %	46,88	46,47	45,36	44,12	42,74	41,5	40,26	38,16
2,50 %	47,75	47,47	46,36	45,02	43,72	42,49	41,3	39,32
5 %	48,56	48,3	47,12	45,94	44,6	43,35	42,15	40,37
10 %	49,47	49,29	48,15	46,96	45,67	44,48	43,3	41,56
20 %	50,7	50,53	49,41	48,26	47,03	45,92	44,73	43,17
25 %	51,16	50,98	49,9	48,73	47,57	46,5	45,31	43,77
30 %	51,57	51,44	50,35	49,21	48,06	47,02	45,83	44,32
35 %	51,98	51,88	50,78	49,61	48,54	47,49	46,33	44,87
40 %	52,38	52,26	51,19	50,04	48,97	47,93	46,8	45,39
45 %	52,73	52,63	51,6	50,47	49,38	48,34	47,22	45,83
50 %	53,09	53,01	51,98	50,9	49,8	48,76	47,65	46,29
55 %	53,48	53,41	52,34	51,3	50,23	49,19	48,13	46,77
60 %	53,85	53,79	52,74	51,72	50,66	49,65	48,59	47,27
65 %	54,22	54,2	53,16	52,14	51,11	50,08	49,07	47,77
70 %	54,63	54,63	53,57	52,57	51,57	50,56	49,54	48,27
75 %	55,04	55,08	54	53,03	52,09	51,05	50,12	48,87
80 %	55,47	55,57	54,5	53,57	52,67	51,65	50,75	49,53
90 %	56,71	56,81	55,86	54,96	54,14	53,13	52,3	51,19
95 %	57,58	57,76	56,84	56,16	55,36	54,34	53,6	52,68
97,50 %	58,39	58,57	57,73	56,94	56,26	55,34	54,67	53,75
99 %	59,2	59,45	58,68	57,99	57,25	56,39	55,74	54,96

Statiske data - H2 kostnad [kr/kWh] - spotpris kraft

Parameter	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Minimum	2,57	2,5	2,39	2,27	2,12	1,98	1,87	1,72
Maximum	3,91	3,82	3,71	3,52	3,42	3,3	3,17	3,13
Mean	3,17	3,17	3,02	2,87	2,74	2,61	2,48	2,35
90% CI	± 0,00324	± 0,00336	± 0,00325	± 0,00325	± 0,00324	± 0,00318	± 0,00318	± 0,00326
Mode	3,11	3,19	3,06	2,9	2,76	2,66	2,47	2,32
Median	3,17	3,17	3,01	2,87	2,73	2,6	2,48	2,35
Std Dev	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,19	0,19	0,2
Skewness	0,09	0,07	0,12	0,11	0,13	0,1	0,11	0,1
Kurtosis	2,75	2,76	2,84	2,75	2,78	2,84	2,79	2,84
Values	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Errors	0	0	0	0	0	0	0	0
Filtered	0	0	0	0	0	0	0	0
Left X	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85
Left P	0,05	0,06	0,21	0,47	0,73	0,9	0,97	1
Right X	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Right P	0,95	0,94	0,99	1	1	1	1	1
Dif. X	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Dif. P	0,9	0,89	0,78	0,53	0,27	0,1	0,03	0,01
1 %	2,74	2,72	2,58	2,45	2,31	2,18	2,06	1,91
2,50 %	2,8	2,78	2,64	2,5	2,36	2,24	2,12	1,97
5 %	2,85	2,84	2,7	2,55	2,42	2,29	2,17	2,03
10 %	2,92	2,91	2,77	2,62	2,48	2,36	2,23	2,1
20 %	3	2,99	2,85	2,7	2,56	2,44	2,32	2,18
25 %	3,03	3,03	2,88	2,73	2,6	2,47	2,35	2,21
30 %	3,06	3,06	2,91	2,76	2,63	2,5	2,38	2,24
35 %	3,09	3,09	2,94	2,79	2,65	2,53	2,4	2,27
40 %	3,12	3,12	2,96	2,82	2,68	2,55	2,43	2,3
45 %	3,15	3,14	2,99	2,84	2,71	2,58	2,45	2,32
50 %	3,17	3,17	3,01	2,87	2,73	2,6	2,48	2,35
55 %	3,2	3,19	3,04	2,9	2,76	2,63	2,5	2,37
60 %	3,22	3,22	3,06	2,92	2,78	2,65	2,53	2,4
65 %	3,25	3,25	3,09	2,95	2,81	2,68	2,56	2,43
70 %	3,28	3,28	3,12	2,98	2,84	2,71	2,58	2,45
75 %	3,31	3,31	3,15	3,01	2,87	2,74	2,61	2,48
80 %	3,34	3,34	3,19	3,04	2,9	2,77	2,65	2,52
90 %	3,43	3,44	3,28	3,14	3	2,86	2,74	2,61
95 %	3,5	3,52	3,35	3,2	3,07	2,93	2,81	2,68
97,50 %	3,56	3,58	3,41	3,27	3,13	3	2,87	2,75
99 %	3,63	3,65	3,49	3,34	3,2	3,07	2,94	2,82

Vedlegg 6 - Kontantstrøm hydrogendrevet gravemaskin scenario 1

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Investeringskostnad	kr	-11 000 000							
Lån	kr	7 995 500							
Enovastøtte	kr	3 000 000							
Drivstoffutgifter	kr	-253 944	-253 672	-241 384	-229 808	-218 856	-208 496	-198 672	-188 000
Service- og vedlikehold	kr	-110 880	-113 098	-104 872	-106 970	-109 109	-111 291	-113 517	-115 788
Annuitetslån p.a.	kr	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756
Utrangeringsverdi	kr								2 750 000
Kontantstrøm	kr	-1 597 080	-1 594 526	-1 574 012	-1 564 534	-1 555 721	-1 547 543	-1 539 945	1 218 456

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Investeringskostnad	kr	-9 789 961							
Lån	kr	7 326 037							
Enovastøtte	kr	2 459 424							
Drivstoffutgifter	kr	-241 384	-229 808	-218 856	-208 496	-198 672	-188 000	-180 104	-172 540
Service- og vedlikehold	kr	-115 360	-117 667	-109 109	-111 291	-113 517	-115 788	-118 103	-120 465
Annuitetslån p.a.	kr	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724
Utrangeringsverdi	kr								2 447 490
Kontantstrøm	kr	-1 476 968	-1 461 173	-1 441 662	-1 433 483	-1 425 884	-1 417 482	-1 411 900	1 040 793

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Investeringskostnad	kr	-8 713 030							
Lån	kr	6 738 723							
Enovastøtte	kr	1 969 807							
Drivstoffutgifter	kr	-218 856	-208 496	-198 672	-188 000	-180 104	-172 540	-165 293	-158 351
Service- og vedlikehold	kr	-120 020	-122 420	-113 517	-115 788	-118 103	-120 465	-122 875	-125 332
Annuitetslån p.a.	kr	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616
Utrangeringsverdi	kr								2 178 258
Kontantstrøm	kr	-1 359 992	-1 347 532	-1 328 805	-1 320 404	-1 314 823	-1 309 621	-1 304 784	877 959

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Investeringskostnad	kr	-7 754 566							
Lån	kr	6 224 867							
Enovastøtte	kr	1 525 199							
Drivstoffutgifter	kr	-198 672	-188 000	-180 104	-172 540	-165 293	-158 351	-151 700	-145 329
Service- og vedlikehold	kr	-124 869	-127 366	-118 103	-120 465	-122 875	-125 332	-127 839	-130 396
Annuitetslån p.a.	kr	-928 428	-928 428	-928 428	-928 428	-928 428	-928 428	-928 428	-928 428
Utrangeringsverdi	kr		0	0	0	0	0	0	1 938 641
Kontantstrøm	kr	-1 256 469	-1 243 794	-1 226 635	-1 221 433	-1 216 596	-1 212 111	-1 207 967	734 489

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Investeringskostnad	kr	-10 377 358							
Lån	kr	7 649 915							
Enovastøtte	kr	2 722 943							
Drivstoffutgifter	kr	-253 672	-241 384	-229 808	-218 856	-208 496	-198 672	-188 000	-180 104
Service- og vedlikehold	kr	-113 098	-115 360	-106 970	-109 109	-111 291	-113 517	-115 788	-118 103
Annuitetslån p.a.	kr	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772
Utrangeringsverdi	kr								2 594 340
Kontantstrøm	kr	-1 541 042	-1 526 516	-1 506 550	-1 497 737	-1 489 559	-1 481 961	-1 473 560	1 126 360

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Investeringskostnad	kr	-9 235 812							
Lån	kr	7 022 678							
Enovastøtte	kr	2 208 634							
Drivstoffutgifter	kr	-229 808	-218 856	-208 496	-198 672	-188 000	-180 104	-172 540	-165 293
Service- og vedlikehold	kr	-117 667	-120 020	-111 291	-113 517	-115 788	-118 103	-120 465	-122 875
Annuitetslån p.a.	kr	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724
Utrangeringsverdi	kr								2 308 953
Kontantstrøm	kr	-1 416 699	-1 403 600	-1 384 511	-1 376 913	-1 368 512	-1 362 931	-1 357 729	956 061

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Investeringskostnad	kr	-8 219 840							
Lån	kr	6 473 117							
Enovastøtte	kr	1 742 223							
Drivstoffutgifter	kr	-208 496	-198 672	-188 000	-180 104	-172 540	-165 293	-158 351	-151 700
Service- og vedlikehold	kr	-122 420	-124 869	-115 788	-118 103	-120 465	-122 875	-125 332	-127 839
Annuitetslån p.a.	kr	-971 244	-971 244	-971 244	-971 244	-971 244	-971 244	-971 244	-971 244
Utrangeringsverdi	kr								2 054 960
Kontantstrøm	kr	-1 306 660	-1 292 756	-1 273 002	-1 267 420	-1 262 217	-1 257 379	-1 252 893	806 212

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Investeringskostnad	kr	-7 315 628							
Lån	kr	5 993 037							
Enovastøtte	kr	1 318 091							
Drivstoffutgifter	kr	-188 000	-180 104	-172 540	-165 293	-158 351	-151 700	-145 329	-139 225
Service- og vedlikehold	kr	-127 366	-129 914	-120 465	-122 875	-125 332	-127 839	-130 396	-133 003
Annuitetslån p.a.	kr	-888 036	-888 036	-888 036	-888 036	-888 036	-888 036	-888 036	-888 036
Utrangeringsverdi	kr								1 828 907
Kontantstrøm	kr	-1 207 902	-1 198 054	-1 181 041	-1 176 204	-1 171 719	-1 167 575	-1 163 760	668 643

Vedlegg 7 - Kontantstrøm hydrogenret gravemaskin scenario 2

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Investeringskostnad	kr	-11 000 000							
Lån	kr	7 995 500							
Enovastøtte	kr	3 000 000							
Drivstoffutgifter	kr	-205 576	-200 080	-191 352	-181 896	-169 560	-158 528	-149 200	-137 872
Service- og vedlikehold	kr	-110 880	-113 098	-104 872	-106 970	-109 109	-111 291	-113 517	-115 788
Annuitetslån p.a.	kr	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756
Utrangeringsverdi	kr								2 750 000
Kontantstrøm	kr	-1 548 712	-1 540 934	-1 523 980	-1 516 622	-1 506 425	-1 497 575	-1 490 473	1 268 584

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Investeringskostnad	kr	-9 789 961							
Lån	kr	7 326 037							
Enovastøtte	kr	2 459 424							
Drivstoffutgifter	kr	-191 352	-181 896	-169 560	-158 528	-149 200	-137 872	-132 081	-126 534
Service- og vedlikehold	kr	-115 360	-117 667	-109 109	-111 291	-113 517	-115 788	-118 103	-120 465
Annuitetslån p.a.	kr	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724
Utrangeringsverdi	kr								2 447 490
Kontantstrøm	kr	-1 426 936	-1 413 261	-1 392 366	-1 383 515	-1 376 412	-1 367 354	-1 363 878	1 086 799

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Investeringskostnad	kr	-8 713 030							
Lån	kr	6 738 723							
Enovastøtte	kr	1 969 807							
Drivstoffutgifter	kr	-169 560	-158 528	-149 200	-137 872	-132 081	-126 534	-121 220	-116 128
Service- og vedlikehold	kr	-120 020	-122 420	-113 517	-115 788	-118 103	-120 465	-122 875	-125 332
Annuitetslån p.a.	kr	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616
Utrangeringsverdi	kr								2 178 258
Kontantstrøm	kr	-1 310 696	-1 297 564	-1 279 333	-1 270 276	-1 266 801	-1 263 615	-1 260 710	920 181

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Investeringskostnad	kr	-7 754 566							
Lån	kr	6 224 867							
Enovastøtte	kr	1 525 199							
Drivstoffutgifter	kr	-149 200	-137 872	-132 081	-126 534	-121 220	-116 128	-111 251	-106 578
Service- og vedlikehold	kr	-124 869	-127 366	-118 103	-120 465	-122 875	-125 332	-127 839	-130 396
Annuitetslån p.a.	kr	-928 428	-928 428	-928 428	-928 428	-928 428	-928 428	-928 428	-928 428
Utrangeringsverdi	kr		0	0	0	0	0	0	1 938 641
Kontantstrøm	kr	-1 206 997	-1 193 666	-1 178 613	-1 175 427	-1 172 522	-1 169 888	-1 167 518	773 240

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Investeringskostnad	kr	-10 377 358							
Lån	kr	7 649 915							
Enovastøtte	kr	2 722 943							
Drivstoffutgifter	kr	-200 080	-191 352	-181 896	-169 560	-158 528	-149 200	-137 872	-132 081
Service- og vedlikehold	kr	-113 098	-115 360	-106 970	-109 109	-111 291	-113 517	-115 788	-118 103
Annuitetslån p.a.	kr	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772
Utrangeringsverdi	kr								2 594 340
Kontantstrøm	kr	-1 487 450	-1 476 484	-1 458 638	-1 448 441	-1 439 591	-1 432 489	-1 423 432	1 174 383

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Investeringskostnad	kr	-9 235 812							
Lån	kr	7 022 678							
Enovastøtte	kr	2 208 634							
Drivstoffutgifter	kr	-181 896	-169 560	-158 528	-149 200	-137 872	-132 081	-126 534	-121 220
Service- og vedlikehold	kr	-117 667	-120 020	-111 291	-113 517	-115 788	-118 103	-120 465	-122 875
Annuitetslån p.a.	kr	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724
Utrangeringsverdi	kr								2 308 953
Kontantstrøm	kr	-1 368 787	-1 354 304	-1 334 543	-1 327 441	-1 318 384	-1 314 909	-1 311 723	1 000 135

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Investeringskostnad	kr	-8 219 840							
Lån	kr	6 473 117							
Enovastøtte	kr	1 742 223							
Drivstoffutgifter	kr	-158 528	-149 200	-137 872	-132 081	-126 534	-121 220	-116 128	-111 251
Service- og vedlikehold	kr	-122 420	-124 869	-115 788	-118 103	-120 465	-122 875	-125 332	-127 839
Annuitetslån p.a.	kr	-971 244	-971 244	-971 244	-971 244	-971 244	-971 244	-971 244	-971 244
Utrangeringsverdi	kr								2 054 960
Kontantstrøm	kr	-1 256 692	-1 243 284	-1 222 874	-1 219 398	-1 216 211	-1 213 305	-1 210 670	846 661

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Investeringskostnad	kr	-7 315 628							
Lån	kr	5 993 037							
Enovastøtte	kr	1 318 091							
Drivstoffutgifter	kr	-137 872	-132 081	-126 534	-121 220	-116 128	-111 251	-106 578	-102 102
Service- og vedlikehold	kr	-127 366	-129 914	-120 465	-122 875	-125 332	-127 839	-130 396	-133 003
Annuitetslån p.a.	kr	-888 036	-888 036	-888 036	-888 036	-888 036	-888 036	-888 036	-888 036
Utrangeringsverdi	kr								1 828 907
Kontantstrøm	kr	-1 157 774	-1 150 031	-1 135 035	-1 132 130	-1 129 496	-1 127 126	-1 125 010	705 766

Vedlegg 8 - Kontantstrøm hydrogenrevet gravemaskin scenario 3

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Investeringskostnad	kr	-11 000 000							
Lån	kr	7 995 500							
Enovastøtte	kr	3 000 000							
Drivstoffutgifter	kr	-312 976	-305 568	-297 040	-281 272	-273 232	-263 744	-253 816	-250 552
Service- og vedlikehold	kr	-110 880	-113 098	-104 872	-106 970	-109 109	-111 291	-113 517	-115 788
Annuitetslån p.a.	kr	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756	-1 227 756
Utrangeringsverdi	kr								2 750 000
Kontantstrøm	kr	-1 656 112	-1 646 422	-1 629 668	-1 615 998	-1 610 097	-1 602 791	-1 595 089	1 155 904

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Investeringskostnad	kr	-9 789 961							
Lån	kr	7 326 037							
Enovastøtte	kr	2 459 424							
Drivstoffutgifter	kr	-297 040	-281 272	-273 232	-263 744	-253 816	-250 552	-240 029	-229 948
Service- og vedlikehold	kr	-115 360	-117 667	-109 109	-111 291	-113 517	-115 788	-118 103	-120 465
Annuitetslån p.a.	kr	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724	-1 115 724
Utrangeringsverdi	kr								2 447 490
Kontantstrøm	kr	-1 532 624	-1 512 637	-1 496 038	-1 488 731	-1 481 028	-1 480 034	-1 471 825	983 385

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Investeringskostnad	kr	-8 713 030							
Lån	kr	6 738 723							
Enovastøtte	kr	1 969 807							
Drivstoffutgifter	kr	-273 232	-263 744	-253 816	-250 552	-240 029	-229 948	-220 290	-211 038
Service- og vedlikehold	kr	-120 020	-122 420	-113 517	-115 788	-118 103	-120 465	-122 875	-125 332
Annuitetslån p.a.	kr	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616	-1 016 616
Utrangeringsverdi	kr								2 178 258
Kontantstrøm	kr	-1 414 368	-1 402 780	-1 383 949	-1 382 956	-1 374 748	-1 367 029	-1 359 780	825 272

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Investeringskostnad	kr	-7 754 566							
Lån	kr	6 224 867							
Enovastøtte	kr	1 525 199							
Drivstoffutgifter	kr	-253 816	-250 552	-240 029	-229 948	-220 290	-211 038	-202 174	-193 683
Service- og vedlikehold	kr	-124 869	-127 366	-118 103	-120 465	-122 875	-125 332	-127 839	-130 396
Annuitetslån p.a.	kr	-928 428	-928 428	-928 428	-928 428	-928 428	-928 428	-928 428	-928 428
Utrangeringsverdi	kr		0	0	0	0	0	0	1 938 641
Kontantstrøm	kr	-1 311 613	-1 306 346	-1 286 560	-1 278 841	-1 271 592	-1 264 798	-1 258 441	686 135

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Investeringskostnad	kr	-10 377 358							
Lån	kr	7 649 915							
Enovastøtte	kr	2 722 943							
Drivstoffutgifter	kr	-305 568	-297 040	-281 272	-273 232	-263 744	-253 816	-250 552	-240 029
Service- og vedlikehold	kr	-113 098	-115 360	-106 970	-109 109	-111 291	-113 517	-115 788	-118 103
Annuitetslån p.a.	kr	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772	-1 169 772
Utrangeringsverdi	kr								2 594 340
Kontantstrøm	kr	-1 592 938	-1 582 172	-1 558 014	-1 552 113	-1 544 807	-1 537 105	-1 536 112	1 066 436

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Investeringskostnad	kr	-9 235 812							
Lån	kr	7 022 678							
Enovastøtte	kr	2 208 634							
Drivstoffutgifter	kr	-281 272	-273 232	-263 744	-253 816	-250 552	-240 029	-229 948	-220 290
Service- og vedlikehold	kr	-117 667	-120 020	-111 291	-113 517	-115 788	-118 103	-120 465	-122 875
Annuitetslån p.a.	kr	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724	-1 064 724
Utrangeringsverdi	kr								2 308 953
Kontantstrøm	kr	-1 468 163	-1 457 976	-1 439 759	-1 432 057	-1 431 064	-1 422 856	-1 415 137	901 065

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Investeringskostnad	kr	-8 219 840							
Lån	kr	6 473 117							
Enovastøtte	kr	1 742 223							
Drivstoffutgifter	kr	-263 744	-253 816	-250 552	-240 029	-229 948	-220 290	-211 038	-202 174
Service- og vedlikehold	kr	-122 420	-124 869	-115 788	-118 103	-120 465	-122 875	-125 332	-127 839
Annuitetslån p.a.	kr	-971 244	-971 244	-971 244	-971 244	-971 244	-971 244	-971 244	-971 244
Utrangeringsverdi	kr								2 054 960
Kontantstrøm	kr	-1 361 908	-1 347 900	-1 335 554	-1 327 345	-1 319 625	-1 312 375	-1 305 580	755 738

Kontantstrøm Volvo EC300EL (hydrogen)									
	Enhet	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Investeringskostnad	kr	-7 315 628							
Lån	kr	5 993 037							
Enovastøtte	kr	1 318 091							
Drivstoffutgifter	kr	-250 552	-240 029	-229 948	-220 290	-211 038	-202 174	-193 683	-185 548
Service- og vedlikehold	kr	-127 366	-129 914	-120 465	-122 875	-125 332	-127 839	-130 396	-133 003
Annuitetslån p.a.	kr	-888 036	-888 036	-888 036	-888 036	-888 036	-888 036	-888 036	-888 036
Utrangeringsverdi	kr								1 828 907
Kontantstrøm	kr	-1 270 454	-1 257 978	-1 238 449	-1 231 200	-1 224 406	-1 218 049	-1 212 114	622 320

Vedlegg 9 - Kontantstrøm dieseldrevet gravemaskin scenario 1

Kontantstrøm Volvo EC 00EL (diesel)									
	Enhet	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Investeringskostnad	kr	-3 500 000							
Lån	kr	3 495 500							
Drivstoffutgifter	kr	-390 316	-404 626	-420 028	-436 888	-455 412	-475 394	-497 665	-522 017
Service- og vedlikehold	kr	-99 200	-101 184	-103 208	-105 272	-107 377	-344 473	-126 130	-128 653
Annuitetslån p.a.	kr	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624
Utrangeringsverdi	kr								875 000
Kontantstrøm	kr	-1 031 640	-1 043 434	-1 060 860	-1 079 783	-1 100 413	-1 357 491	-1 161 419	-313 294

Kontantstrøm Volvo EC 00EL (diesel)									
	Enhet	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Investeringskostnad	kr	-3 641 400							
Lån	kr	3 636 900							
Drivstoffutgifter	kr	-420 028	-436 888	-455 412	-475 394	-497 665	-522 017	-548 997	-578 879
Service- og vedlikehold	kr	-103 208	-105 272	-107 377	-109 525	-111 715	-358 390	-131 226	-133 850
Annuitetslån p.a.	kr	-559 344	-559 344	-559 344	-559 344	-559 344	-559 344	-559 344	-559 344
Utrangeringsverdi	kr								910 350
Kontantstrøm	kr	-1 087 080	-1 101 503	-1 122 133	-1 144 262	-1 168 724	-1 439 751	-1 239 567	-361 723

Kontantstrøm Volvo EC 00EL (diesel)									
	Enhet	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Investeringskostnad	kr	-3 788 513							
Lån	kr	3 784 013							
Drivstoffutgifter	kr	-455 412	-475 394	-497 665	-522 017	-548 997	-578 879	-612 140	-649 152
Service- og vedlikehold	kr	-107 377	-109 525	-111 715	-113 950	-116 229	-372 869	-136 527	-139 258
Annuitetslån p.t.	kr	-581 942	-581 942	-581 942	-581 942	-581 942	-581 942	-581 942	-581 942
Utrangeringsverdi	kr								947 128
Kontantstrøm	kr	-1 149 231	-1 166 860	-1 191 321	-1 217 908	-1 247 167	-1 533 689	-1 330 609	-423 223

Kontantstrøm Volvo EC 00EL (diesel)									
	Enhet	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Investeringskostnad	kr	-3 941 568							
Lån	kr	3 937 068							
Drivstoffutgifter	kr	-497 665	-522 017	-548 997	-578 879	-612 140	-649 152	-690 492	-736 715
Service- og vedlikehold	kr	-111 715	-113 950	-116 229	-118 553	-120 924	-387 933	-142 043	-144 884
Annuitetslån p.t.	kr	-605 452	-605 452	-605 452	-605 452	-605 452	-605 452	-605 452	-605 452
Utrangeringsverdi	kr								985 392
Kontantstrøm	kr	-1 219 332	-1 241 419	-1 270 678	-1 302 884	-1 338 516	-1 642 537	-1 437 987	-501 659

Kontantstrøm Volvo EC 00EL (diesel)									
	Enhet	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Investeringskostnad	kr	-3 570 000							
Lån	kr	3 565 500							
Drivstoffutgifter	kr	-404 626	-420 028	-436 888	-455 412	-475 394	-497 665	-522 017	-548 997
Service- og vedlikehold	kr	-101 184	-103 208	-105 272	-107 377	-109 525	-351 363	-128 653	-131 226
Annuitetslån p.a.	kr	-548 376	-548 376	-548 376	-548 376	-548 376	-548 376	-548 376	-548 376
Utrangeringsverdi	kr								892 500
Kontantstrøm	kr	-1 058 686	-1 071 612	-1 090 536	-1 111 166	-1 133 295	-1 397 404	-1 199 046	-336 099

Kontantstrøm Volvo EC 00EL (diesel)									
	Enhet	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Investeringskostnad	kr	-3 714 228							
Lån	kr	3 709 728							
Drivstoffutgifter	kr	-436 888	-455 412	-475 394	-497 665	-522 017	-548 997	-578 879	-612 140
Service- og vedlikehold	kr	-105 272	-107 377	-109 525	-111 715	-113 950	-365 558	-133 850	-136 527
Annuitetslån p.t.	kr	-570 531	-570 531	-570 531	-570 531	-570 531	-570 531	-570 531	-570 531
Utrangeringsverdi	kr								928 557
Kontantstrøm	kr	-1 117 190	-1 133 320	-1 155 449	-1 179 911	-1 206 498	-1 485 086	-1 283 260	-390 641

Kontantstrøm Volvo EC 00EL (diesel)									
	Enhet	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Investeringskostnad	kr	-3 864 283							
Lån	kr	3 859 783							
Drivstoffutgifter	kr	-475 394	-497 665	-522 017	-548 997	-578 879	-612 140	-649 152	-690 492
Service- og vedlikehold	kr	-109 525	-111 715	-113 950	-116 229	-118 553	-380 326	-139 258	-142 043
Annuitetslån p.t.	kr	-593 580	-593 580	-593 580	-593 580	-593 580	-593 580	-593 580	-593 580
Utrangeringsverdi	kr								966 071
Kontantstrøm	kr	-1 182 999	-1 202 960	-1 229 547	-1 258 806	-1 291 012	-1 586 047	-1 381 990	-460 044

Kontantstrøm Volvo EC 00EL (diesel)									
	Enhet	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Investeringskostnad	kr	-4 020 400							
Lån	kr	4 015 900							
Drivstoffutgifter	kr	-522 017	-548 997	-578 879	-612 140	-649 152	-690 492	-736 715	-788 524
Service- og vedlikehold	kr	-113 950	-116 229	-118 553	-120 924	-123 343	-395 691	-144 884	-147 782
Annuitetslån p.t.	kr	-617 561	-617 561	-617 561	-617 561	-617 561	-617 561	-617 561	-617 561
Utrangeringsverdi	kr								1 005 100
Kontantstrøm	kr	-1 258 028	-1 282 787	-1 314 993	-1 350 625	-1 390 056	-1 703 744	-1 499 160	-548 767

Nåverdi av kontantstrøm								
Investeringsår	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Volvo EC300EL - diesel	-9 361 766	-9 606 990	-9 865 414	-10 138 654	-10 428 287	-10 736 111	-11 064 586	-11 415 887
Volvo EC300EL - hydrogen	-15 435 576	-14 923 375	-14 309 513	-13 643 264	-13 116 432	-12 613 288	-12 160 791	-11 728 384
Forholdstall	1,65	1,55	1,45	1,35	1,26	1,17	1,10	1,03

Vedlegg 10 - Kontantstrøm dieseldrevet gravemaskin scenario 2

Kontantstrøm Volvo EC 300EL (diesel)									
	Enhet	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Investeringskostnad	kr	-3 500 000							
Lån	kr	3 495 500							
Drivstoffutgifter	kr	-416 076	-433 145	-449 578	-468 325	-486 421	-507 240	-530 555	-558 238
Service- og vedlikehold	kr	-99 200	-101 184	-103 208	-105 272	-107 377	-344 473	-126 130	-128 653
Annuitetslån p.a.	kr	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624
Utrangeringsverdi	kr								875 000
Kontantstrøm	kr	-1 057 400	-1 071 953	-1 090 410	-1 111 220	-1 131 423	-1 389 337	-1 194 309	-349 515

Kontantstrøm Volvo EC 300EL (diesel)									
	Enhet	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Investeringskostnad	kr	-3 641 400							
Lån	kr	3 636 900							
Drivstoffutgifter	kr	-449 578	-468 325	-486 421	-507 240	-530 555	-558 238	-582 182	-607 153
Service- og vedlikehold	kr	-103 208	-105 272	-107 377	-109 525	-111 715	-358 390	-131 226	-133 850
Annuitetslån p.a.	kr	-559 344	-559 344	-559 344	-559 344	-559 344	-559 344	-559 344	-559 344
Utrangeringsverdi	kr								910 350
Kontantstrøm	kr	-1 116 630	-1 132 940	-1 153 143	-1 176 108	-1 201 614	-1 475 972	-1 272 752	-389 998

Kontantstrøm Volvo EC 300EL (diesel)									
	Enhet	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Investeringskostnad	kr	-3 788 513							
Lån	kr	3 784 013							
Drivstoffutgifter	kr	-486 421	-507 240	-530 555	-558 238	-582 182	-607 153	-633 196	-660 355
Service- og vedlikehold	kr	-107 377	-109 525	-111 715	-113 950	-116 229	-372 869	-136 527	-139 258
Annuitetslån p.t.	kr	-581 942	-581 942	-581 942	-581 942	-581 942	-581 942	-581 942	-581 942
Utrangeringsverdi	kr								947 128
Kontantstrøm	kr	-1 180 240	-1 198 706	-1 224 211	-1 254 129	-1 280 352	-1 561 964	-1 351 665	-434 426

Kontantstrøm Volvo EC 300EL (diesel)									
	Enhet	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Investeringskostnad	kr	-3 941 568							
Lån	kr	3 937 068							
Drivstoffutgifter	kr	-530 555	-558 238	-582 182	-607 153	-633 196	-660 355	-688 679	-718 218
Service- og vedlikehold	kr	-111 715	-113 950	-116 229	-118 553	-120 924	-387 933	-142 043	-144 884
Annuitetslån p.t.	kr	-605 452	-605 452	-605 452	-605 452	-605 452	-605 452	-605 452	-605 452
Utrangeringsverdi	kr								985 392
Kontantstrøm	kr	-1 252 222	-1 277 640	-1 303 863	-1 331 159	-1 359 572	-1 653 740	-1 436 174	-483 162

Kontantstrøm Volvo EC 300EL (diesel)									
	Enhet	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Investeringskostnad	kr	-3 570 000							
Lån	kr	3 565 500							
Drivstoffutgifter	kr	-433 145	-449 578	-468 325	-486 421	-507 240	-530 555	-558 238	-582 182
Service- og vedlikehold	kr	-101 184	-103 208	-105 272	-107 377	-109 525	-351 363	-128 653	-131 226
Annuitetslån p.a.	kr	-548 376	-548 376	-548 376	-548 376	-548 376	-548 376	-548 376	-548 376
Utrangeringsverdi	kr								892 500
Kontantstrøm	kr	-1 087 206	-1 101 162	-1 121 973	-1 142 175	-1 165 141	-1 430 294	-1 235 268	-369 285

Kontantstrøm Volvo EC 300EL (diesel)									
	Enhet	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Investeringskostnad	kr	-3 714 228							
Lån	kr	3 709 728							
Drivstoffutgifter	kr	-468 325	-486 421	-507 240	-530 555	-558 238	-582 182	-607 153	-633 196
Service- og vedlikehold	kr	-105 272	-107 377	-109 525	-111 715	-113 950	-365 558	-133 850	-136 527
Annuitetslån p.t.	kr	-570 531	-570 531	-570 531	-570 531	-570 531	-570 531	-570 531	-570 531
Utrangeringsverdi	kr								928 557
Kontantstrøm	kr	-1 148 627	-1 164 329	-1 187 295	-1 212 801	-1 242 719	-1 518 271	-1 311 535	-411 697

Kontantstrøm Volvo EC 300EL (diesel)									
	Enhet	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Investeringskostnad	kr	-3 864 283							
Lån	kr	3 859 783							
Drivstoffutgifter	kr	-507 240	-530 555	-558 238	-582 182	-607 153	-633 196	-660 355	-688 679
Service- og vedlikehold	kr	-109 525	-111 715	-113 950	-116 229	-118 553	-380 326	-139 258	-142 043
Annuitetslån p.t.	kr	-593 580	-593 580	-593 580	-593 580	-593 580	-593 580	-593 580	-593 580
Utrangeringsverdi	kr								966 071
Kontantstrøm	kr	-1 214 845	-1 235 850	-1 265 768	-1 291 991	-1 319 287	-1 607 102	-1 393 193	-458 232

Kontantstrøm Volvo EC 300EL (diesel)									
	Enhet	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Investeringskostnad	kr	-4 020 400							
Lån	kr	4 015 900							
Drivstoffutgifter	kr	-558 238	-582 182	-607 153	-633 196	-660 355	-688 679	-718 218	-749 024
Service- og vedlikehold	kr	-113 950	-116 229	-118 553	-120 924	-123 343	-395 691	-144 884	-147 782
Annuitetslån p.t.	kr	-617 561	-617 561	-617 561	-617 561	-617 561	-617 561	-617 561	-617 561
Utrangeringsverdi	kr								1 005 100
Kontantstrøm	kr	-1 294 249	-1 315 972	-1 343 268	-1 371 681	-1 401 258	-1 701 931	-1 480 663	-509 266

Nåverdi av kontantstrøm								
Investeringsår	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Volvo EC300EL - diesel	-9 534 154	-9 785 482	-10 045 177	-10 314 962	-10 593 778	-10 883 46	-11 182 651	-11 490 125
Volvo EC300EL - hydrogen	-15 152 683	-14 635 816	-14 027 934	-13 369 179	-12 845 145	-12 347 34	-11 902 214	-11 478 144
Forholdstall	1,59	1,50	1,40	1,30	1,21	1,13	1,06	1,00

Vedlegg 11 - Kontantstrøm dieseldrevet gravemaskin scenario 3

Kontantstrøm Volvo EC 300EL (diesel)									
	Enhet	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Investeringskostnad	kr	-3 500 000							
Lån	kr	3 495 500							
Drivstoffutgifter	kr	-364 556	-376 113	-390 054	-406 296	-423 148	-441 870	-463 957	-486 645
Service- og vedlikehold	kr	-99 200	-101 184	-103 208	-105 272	-107 377	-344 473	-126 130	-128 653
Annuitetslån p.a.	kr	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624	-537 624
Utrangeringsverdi	kr								875 000
Kontantstrøm	kr	-1 005 880	-1 014 921	-1 030 886	-1 049 192	-1 068 149	-1 323 967	-1 127 711	-277 922

Kontantstrøm Volvo EC 300EL (diesel)									
	Enhet	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Investeringskostnad	kr	-3 641 400							
Lån	kr	3 636 900							
Drivstoffutgifter	kr	-390 054	-406 296	-423 148	-441 870	-463 957	-486 645	-507 155	-528 530
Service- og vedlikehold	kr	-103 208	-105 272	-107 377	-109 525	-111 715	-358 390	-131 226	-133 850
Annuitetslån p.a.	kr	-559 344	-559 344	-559 344	-559 344	-559 344	-559 344	-559 344	-559 344
Utrangeringsverdi	kr								910 350
Kontantstrøm	kr	-1 057 106	-1 070 912	-1 089 869	-1 110 739	-1 135 016	-1 404 379	-1 197 725	-311 374

Kontantstrøm Volvo EC 300EL (diesel)									
	Enhet	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Investeringskostnad	kr	-3 788 513							
Lån	kr	3 784 013							
Drivstoffutgifter	kr	-423 148	-441 870	-463 957	-486 645	-507 155	-528 530	-550 805	-574 019
Service- og vedlikehold	kr	-107 377	-109 525	-111 715	-113 950	-116 229	-372 869	-136 527	-139 258
Annuitetslån p.t.	kr	-581 942	-581 942	-581 942	-581 942	-581 942	-581 942	-581 942	-581 942
Utrangeringsverdi	kr								947 128
Kontantstrøm	kr	-1 116 966	-1 133 336	-1 157 613	-1 182 537	-1 205 325	-1 483 340	-1 269 274	-348 090

Kontantstrøm Volvo EC 300EL (diesel)									
	Enhet	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Investeringskostnad	kr	-3 941 568							
Lån	kr	3 937 068							
Drivstoffutgifter	kr	-463 957	-486 645	-507 155	-528 530	-550 805	-574 019	-598 211	-623 423
Service- og vedlikehold	kr	-111 715	-113 950	-116 229	-118 553	-120 924	-387 933	-142 043	-144 884
Annuitetslån p.t.	kr	-605 452	-605 452	-605 452	-605 452	-605 452	-605 452	-605 452	-605 452
Utrangeringsverdi	kr								985 392
Kontantstrøm	kr	-1 185 624	-1 206 047	-1 228 836	-1 252 535	-1 277 181	-1 567 403	-1 345 706	-388 367

Kontantstrøm Volvo EC 300EL (diesel)									
	Enhet	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Investeringskostnad	kr	-3 570 000							
Lån	kr	3 565 500							
Drivstoffutgifter	kr	-376 113	-390 054	-406 296	-423 148	-441 870	-463 957	-486 645	-507 155
Service- og vedlikehold	kr	-101 184	-103 208	-105 272	-107 377	-109 525	-351 363	-128 653	-131 226
Annuitetslån p.a.	kr	-548 376	-548 376	-548 376	-548 376	-548 376	-548 376	-548 376	-548 376
Utrangeringsverdi	kr								892 500
Kontantstrøm	kr	-1 030 174	-1 041 639	-1 059 944	-1 078 901	-1 099 771	-1 363 696	-1 163 675	-294 258

Kontantstrøm Volvo EC 300EL (diesel)									
	Enhet	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Investeringskostnad	kr	-3 714 228							
Lån	kr	3 709 728							
Drivstoffutgifter	kr	-406 296	-423 148	-441 870	-463 957	-486 645	-507 155	-528 530	-550 805
Service- og vedlikehold	kr	-105 272	-107 377	-109 525	-111 715	-113 950	-365 558	-133 850	-136 527
Annuitetslån p.t.	kr	-570 531	-570 531	-570 531	-570 531	-570 531	-570 531	-570 531	-570 531
Utrangeringsverdi	kr								928 557
Kontantstrøm	kr	-1 086 599	-1 101 056	-1 121 926	-1 146 203	-1 171 126	-1 443 244	-1 232 911	-329 306

Kontantstrøm Volvo EC 300EL (diesel)									
	Enhet	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Investeringskostnad	kr	-3 864 283							
Lån	kr	3 859 783							
Drivstoffutgifter	kr	-441 870	-463 957	-486 645	-507 155	-528 530	-550 805	-574 019	-598 211
Service- og vedlikehold	kr	-109 525	-111 715	-113 950	-116 229	-118 553	-380 326	-139 258	-142 043
Annuitetslån p.t.	kr	-593 580	-593 580	-593 580	-593 580	-593 580	-593 580	-593 580	-593 580
Utrangeringsverdi	kr								966 071
Kontantstrøm	kr	-1 149 475	-1 169 252	-1 194 175	-1 216 964	-1 240 663	-1 524 711	-1 306 857	-367 764

Kontantstrøm Volvo EC 300EL (diesel)									
	Enhet	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Investeringskostnad	kr	-4 020 400							
Lån	kr	4 015 900							
Drivstoffutgifter	kr	-486 645	-507 155	-528 530	-550 805	-574 019	-598 211	-623 423	-649 697
Service- og vedlikehold	kr	-113 950	-116 229	-118 553	-120 924	-123 343	-395 691	-144 884	-147 782
Annuitetslån p.t.	kr	-617 561	-617 561	-617 561	-617 561	-617 561	-617 561	-617 561	-617 561
Utrangeringsverdi	kr								1 005 100
Kontantstrøm	kr	-1 222 656	-1 240 945	-1 264 644	-1 289 290	-1 314 922	-1 611 463	-1 385 868	-409 940

Nåverdi av kontantstrøm								
Investeringsår	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Volvo EC300EL - diesel	-9 187 767	-9 422 194	-9 667 193	-9 921 565	-10 184 108	-10 455 22	-10 734 125	-11 018 453
Volvo EC300EL - hydrogen	-15 750 307	-15 240 902	-14 631 836	-13 961 151	-13 437 137	-12 932 96	-12 477 374	-12 040 645
Forholdstall	1,71	1,62	1,51	1,41	1,32	1,24	1,16	1,09