

Anne Sofie Andersen & Tuva Brenden

Konsekvensutredning ved en økning av private elbilladere

*Kapasitetsvurdering av fordelingstransformatorer
og tilpasninger i det elektriske anlegget i private
boliger*

Bacheloroppgave i Bachelor i ingeniørfag - Elektro
Veileder: Majd Adnan Ahmad

Mai 2022

Anne Sofie Andersen & Tuva Brenden

Konsekvensutredning ved en økning av private elbilladere

Kapasitetsvurdering av fordelingstransformatorer og tilpasninger i det elektriske anlegget i private boliger

Bacheloroppgave i Bachelor i ingeniørfag - Elektro
Veileder: Majd Adnan Ahmad
Mai 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for elkraftteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Oppgavens tittel: Konsekvensutredning ved en økning av private elbilladere <i>- Kapasitetsvurdering av fordelingstransformatorer og tilpasninger i det elektriske anlegget i private boliger</i>	Dato:	20. mai 2022		
	Antall sider	100 + Vedlegg		
	Master- oppgave		Bachelor- oppgave	X
Studieprogram:	Bachelor i ingeniørfag - Elektro			
Studieretning:	Elkraft og Bærekraftig energi			
Studenter:	Anne Sofie Andersen og Tuva Brenden			
Veileder:	Majd Adnan Ahmad			
Ekstern kontaktperson/veileder:	Ole Farnen, VOKKS AS, og Tom Knutsen, Etna Nett AS			
Sammendrag: <p>Formålet med dette prosjektet var å utføre en konsekvensutredning for Etna Nett sitt område som følge av en økning av elbilladere i boliger. Det økte effektbehovet knyttet til elbilladere er basert på prognoser for fremtidig vekst i bilparken. Videre er ulike scenario beskrevet, for å utføre en kapasitetskontroll på fordelingstransformatorene, samt undersøke hvilke faktorer som har betydning når det gjelder overbelastning av fordelingstransformatorer. For VOKKS installasjon er det drøftet ulike utfordringer knyttet til montering av private elbilladere.</p> <p>Basert på beregningene gjennomført i rapporten, vil grad av samtidighet og ladeeffekt avgjøre hvorvidt transformatoren overbelastes eller ikke. Ved lav samtidighet eller lav ladeeffekt vil fordelingstransformatorene i det undersøkte området håndtere det økte effektbehovet knyttet til en økt andel private elbilladere. Konsekvenser knyttet til overbelastning kan derfor unngås ved å holde en av de to nevnte faktorene lave.</p> <p>Konsekvensene VOKKS Installasjon må håndtere er knyttet til enfase- og trefaselading på IT-nett og TN-nett. Grunnet økt fare for feil, samt redusert sikkerhet, konkluderes det med at trefaselading på IT-nett ikke er anbefalt, men at det på TN-nett ikke medfører utfordringer. Ved montasje av elbillader i private hjem, vil VOKKS Installasjon måtte gjennomføre ulike undersøkelser og tilpasninger i boligen, omhandlende oppgraderinger av den elektriske installasjonen i boligen, både grunnet kapasitet og alder på anlegget.</p>				
Stikkord: Elbilladere, Fordelingstransformator, samtidighet, ladeeffekt				

Abstract

Thesis title: Impact assessment regarding an increase of domestic electric vehicle chargers <i>- Capacity study of distribution transformers and adaption of electrical installations in private homes</i>	Date:		May 20. 2022	
	Number of pages		100 + Attachments	
	Master's thesis		Bachelor's thesis	X
Study Programme:	Bachelor of Engineering, Electrical Engineering			
Specialisation:	Electric Power and Sustainable Energy			
Students:	Anne Sofie Andersen & Tuva Brenden			
Supervisor:	Majd Adnan Ahmad			
External Contact/Supervisor:	Ole Farnen, VOKKS AS, & Tom Knutsen, Etna Nett AS			
Abstract: <p>The purpose of this project was to carry out an impact assessment for Etna Nett's area due to the increasing amount of domestic electric car chargers. The increased power requirement associated with a higher amount of electric car chargers is based on projections for future growth in the car fleet. Furthermore, different scenarios are described and used as basis to perform and determine the required capacity of the distribution transformers, as well as examine what factors that are of importance when it comes to overloading of the distribution transformers.</p> <p>For Etna nett, various challenges related to the installation of domestic car chargers has been discussed. Based on the calculations carried out in the report, the degree of simultaneity and charging effect determine whether or not the transformer is overloaded. At low simultaneity or low charging power, the distribution transformers in the investigated area will handle the increased the power requirement associated with an increased proportion of private electric car chargers. Consequences related to overload can therefore be avoided by keeping one of the two beforementioned factors low.</p> <p>The consequences VOKKS Installasjon must handle are related to single-phase and three-phase charging on IT networks and on TN networks. Due to the increased risk of faults, as well as reduced safety, it is concluded that three-phase charging on IT networks is not recommended, but that it does not pose challenges on TN networks. When installing electric car chargers in private homes, VOKKS Installasjon will have to carry out various investigations and adaptations in the home, concerning upgrades of the electrical the installation in the home, both due to the capacity and age of the facility.</p>				
Keywords: Electric vehicles chargers, distribution transformers, simultaneity, charge power				

Forord

Oppgaven «*Konsekvensutredning ved en økning av private elbilladere*» markerer avslutningen av tre studieår ved NTNU i Gjøvik på studiet bachelor i ingeniørfag, elektroingeniør. Studieretning elkraft og bærekraftig energi. Arbeidet er utført ved Institutt for elkraftteknikk på NTNU i Gjøvik, i perioden januar til mai 2022. Bacheloroppgaven er skrevet av Anne Sofie Andersen og Tuva Brenden for Etna Nett AS og Vokks Installasjon AS.

Ved utførelsen av oppgaven håper gruppen å bidra til å øke bevisstheten rundt konsekvensene som kan oppstå som følge av økt andel elbilladere i samfunnet.

Vår største takk går til Majd Adnan Ahmad, veilederen vår. Takk for inspirerende samtaler, kritikk, frustrasjon og motivasjon. Vi håper vi ikke stresset deg for mye, takk for at du fortsatt har troen på oss. Videre fortjener Tor Arne Folkestad, Ian Nordheim og Fredrik Ege Abrahamsen også en stor takk for å ha bidratt med innspill og veiledning.

Takk til oppdragsgiver for meningsfulle drøftelser knyttet til problemstillingen og andre praktiske utfordringer, i tillegg til data som har vært hjelpsom for å løse problemstillingen på mest mulig pålitelig måte.

Gjøvik 20. mai 2022

Anne Sofie Andersen og Tuva Brenden

Innhold

Sammendrag	iii
Abstract	iv
Forord	v
Innhold	vi
Figurer	x
Tabeller	xii
Forkortelser	xiv
Ordforklaringer	xv
1 Innledning	1
1.1 Problemstilling og delmål	2
1.2 Avgrensninger	3
1.3 Oppbygging av rapporten	3
2 Teori	6
2.1 Det norske overføringsnettet	6
2.2 REN AS - Rasjonell Elektrisk Nettvirksomhet AS	7
2.3 Forskrifter og normer	7
2.3.1 NEK400:2018 Elektriske lavspenningsinstallasjoner	7
2.3.2 Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg (FSE)	7
2.3.3 Forskrift om leveringskvalitet (FOL)	8
2.4 Fordelingstransformatorer	8
2.4.1 Konsekvenser ved overbelastning av transformator	9
2.5 Linjer og kabler i lavspenningsnettet	10
2.5.1 Konsekvenser ved overbelastning av kabler og linjer	10
2.6 Energi og effekt	11
2.7 Områdekonsesjon	12
2.8 Nettleie	12
2.9 Avanserte måle- og styringssystemer	13
2.10 Estimering av last på fordelingstransformator	13
2.10.1 Estimering av last ved hjelp av AMS-målinger	13
2.10.2 Velanders formel	14

2.11 Fordelingssystemer	15
2.11.1 TN-nett	15
2.11.2 IT-nett	17
2.12 Elbil og elbilladere	18
2.12.1 Ulike metoder for elbillading	18
2.12.2 Ulike elbilladere på markedet	21
3 Bakgrunn for oppgaven	22
3.1 Den forventede økningen av elbiler	22
3.1.1 Sammenheng med problemstillingen	22
3.1.2 Nasjonal transportplan	23
3.1.3 Klimagassutslipp fra transportsektoren	27
3.1.4 Bilprodusenters planer for fremtiden	28
3.2 Statistikk over salget av elektriske kjøretøy i Norge	28
3.2.1 Utvikling av salget av elektriske kjøretøy	28
3.2.2 Gjennomsnittlig alder på personbiler	30
3.3 Årsaker til Norges suksess tilknyttet elektriske kjøretøy	31
3.3.1 Norges satsing på elektriske kjøretøy	31
3.3.2 Norge i forhold til andre land i Europa	32
4 Metode	33
4.1 Innhenting og behandling av data fra SSB	33
4.1.1 Kartlegging av markedet	33
4.1.2 Prognose for videre vekst	34
4.2 Innhenting og behandling av data for ulike transformatorretser	34
4.2.1 Data fra Trimble	34
4.2.2 Data fra AMS-målere	36
4.3 Innhenting og behandling av data fra VOKKS installasjon	36
4.4 Bestemmelse av kapasitet på transformator	37
4.4.1 Forventet effekttrekk ved hjelp av AMS-målinger	37
4.4.2 Velanders formel	38
4.4.3 Validitet og reliabilitet	38
5 Prognoser for vekst av elbiler	40
5.1 Tidligere prognoser for vekst av antall elbiler i Norge	40
5.1.1 TØIs framskrivninger frem mot 2050	40
5.2 Fremtidig prognose for 2022 til 2025 basert på datagrunnlag fra SSB	42
5.2.1 Søndre Land	44
5.2.2 Nordre Land	45
5.2.3 Etne	47
5.2.4 Snertingdal	49

5.3	Ulike scenarier for mulig vekst	51
5.3.1	Scenario 1 - følger samme vekst som tidligere	52
5.3.2	Scenario 2 - Lavere vekst enn tidligere	54
5.3.3	Scenario 3 - Høyere vekst enn tidligere	57
6	Energi og effektbehov knyttet til økt andel elbiler	60
6.1	Økt effekttopper knyttet til elbilladere	60
6.1.1	Hvordan vil strømmettet håndtere en økt andel elbiler?	61
6.1.2	Utjevning av effekttopper ved elbillading	62
6.1.3	Lademønstre for elbiler	62
6.2	Gjennomsnittlig forbruk per kilometer for elbiler	64
6.2.1	Forventet kjørelengde på elbiler og energibehov per kilometer	65
6.2.2	Ladeeffekt på elbilladere	67
6.2.3	Forventet energibehov ved daglig lading av elbil	67
7	Konsekvenser for strømmettet	69
7.1	Informasjon om fordelingstransformatorene	69
7.1.1	Gjennomsnittlig forbruksprofil for boliger	71
7.2	Konsekvenser som følge av økt andel elbilladere som skal undersøkes	71
7.2.1	Hovedpunkter som analysen vektlegger	72
7.3	Kapasitetskontroll av fordelingstransformatorer ved hjelp av AMS-målinger	72
7.3.1	Ulike scenario benyttet for kapasitetskontroll med AMS-målinger	72
7.3.2	Resultater for scenario A1 - A6 med ladeeffekt på 3,7 kW	74
7.3.3	Resultater for scenario B1 - B6 med ladeeffekt på 7,4 kW	74
7.4	Kapasitetskontroll av fordelingstransformatorer ved hjelp av Velanders formel	75
7.4.1	Ulike scenario benyttet for kapasitetskontroll med Velanders formel	75
7.4.2	Resultater for scenario C1 - C6	76
7.5	Andel overbelastede transformatorer i hele området til Etna nett	77
7.6	Utfordringer i det elektriske anlegget i private boliger knyttet til montering av elbilladere	78
7.6.1	Informasjon om hvordan situasjonen er i dag	78
7.6.2	Antall elbilladere som må monteres frem til år 2025	78
7.6.3	Tilpasninger i det elektriske anlegget i private boliger	79
7.6.4	Utfordringer knyttet til enfase- og trefaselading på ulike nettsystemer	81
8	Diskusjon	83
8.1	Elbilladers påvirkning på fordelingstransformatorer	83
8.1.1	Lastmodellering med AMS-målinger - Scenario A1 - A6 med ladeeffekt på 3,7 kW	83
8.1.2	Lastmodellering med AMS-målinger - Scenario B1 - B6 med ladeeffekt på 7,4 kW	84

8.1.3	Lastmodellering med Velanders formel - Scenario C1 - C6 ved benyttelse av årlig energibehov knyttet til elbilladere	85
8.1.4	Faktorer som påvirker belastningen fra elbilladere	86
8.1.5	Fordeler med AMS-målinger ved lastmodellering	87
8.2	Løsninger for fremtiden	88
8.2.1	Styring for å redusere samtidighet og ladeeffekt	88
8.2.2	Bærekraft og etikk	89
9	Konklusjon	90
10	Videre arbeid	91
10.1	Avgrensninger skaper muligheter	91
10.2	Kapasitetskontroll av linjer og kabler	92
10.3	Spenningsusymmetri ved høy andel enfase-lading	92
	Litteraturliste	93
A	Scenario A1 - A6, samt B1 - B6 for alle transformator-kretsene	101
B	Resultater av rekkeviddetest	106

Figurer

2.1	Benyttelse av AMS-målinger for lastmodellering [24]	14
2.2	Konstantene k_1 og k_2 for ulike geografiske områder og belastningstyper [26]	15
2.3	TN-C-S-nett [25]	16
2.4	TN-S-nett [25]	16
2.5	IT-nett [25]	18
3.1	Mål for transportsektoren i 2050 [43]	24
3.2	Antall elbiler fra 2014 - 2021 i Søndre land, Nordre land, Etnedal og Snertingdal	29
5.1	Bestand av personbiler fra 2010 til 2050 ved videreføring av markedet [70] .	41
5.2	Bestand av personbiler fra 2010 til 2050 etter ultralavutslippsbane [70] . . .	42
5.3	Prosentvis fordeling av bilparken i 2021 i Søndre Land	44
5.4	Antall registrerte elbiler fra 2008 - 2021 i Søndre Land	44
5.5	Prosentvis fordeling av bilparken i 2021 i Nordre Land	46
5.6	Antall registrerte elbiler fra 2008 - 2021 i Nordre Land	46
5.7	Prosentvis fordeling av bilparken i 2021 i Etnedal	48
5.8	Antall registrerte elbiler fra 2008 - 2021 i Etnedal	48
5.9	Prosentvis fordeling av bilparken i 2021 i Snertingdal	50
5.10	Antall registrerte elbiler fra 2014 - 2021 i Snertingdal	50
5.11	Scenario 1: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Søndre Land	52
5.12	Scenario 1: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Nordre Land	52
5.13	Scenario 1: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Etnedal	53
5.14	Scenario 1: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Snertingdal	53
5.15	Scenario 2: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Søndre Land	55
5.16	Scenario 2: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Nordre Land	55
5.17	Scenario 2: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Etnedal	56
5.18	Scenario 2: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Snertingdal	56
5.19	Scenario 3: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Søndre Land	58
5.20	Scenario 3: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Nordre Land	58
5.21	Scenario 3: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Etnedal	59

5.22	Scenario 3: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Snertingdal	59
6.1	Gjennomsnittlig ladeprofil for hjemmelading av elbiler [14]	63
6.2	Andel som normalt lader i oppgitt time gjennom døgnet basert på spørreundersøkelse [75]	63
7.1	Gjennomsnittlig forbruksprofil for boliger basert på AMS-målinger fra 12.februar 2021	71
7.2	Andel transformatorer belastet over 120 % av merkeytelsen ved andel boliger med elbil på 100 %	77

Tabeller

3.1	Andel elbiler av nyregistrerte personbiler i prosent [28].	29
3.2	Gjennomsnittlig alder på personbiler [61].	30
5.1	Veksten av elbiler og personbiler fra 2008 til 2021 i Søndre Land basert på markedet	45
5.2	Prognose for vekst i antall elbiler og biler frem til 2025 i Søndre Land basert på markedet	45
5.3	Veksten av elbiler og personbiler fra 2008 til 2021 i Nordre Land basert på markedet	47
5.4	Prognose for vekst i antall elbiler og biler frem til 2025 i Nordre Land basert på markedet	47
5.5	Veksten av elbiler og personbiler fra 2008 til 2021 i Etnedal basert på markedet	49
5.6	Prognose for vekst i antall elbiler og biler frem til 2025 i Etnedal basert på markedet	49
5.7	Veksten av elbiler og personbiler fra 2014 til 2021 i Snertingdal basert på markedet	51
5.8	Prognose for vekst i antall elbiler og biler frem til 2025 i Snertingdal basert på markedet	51
6.1	Rekkevidde og batterikapasitet for 8 ulike elbilmodeller	65
6.2	Energibehov per kilometer for 8 ulike elbilmodeller	66
6.3	Gjennomsnittlige verdier for elbiler	66
6.4	Ladeeffekt for ulike nettsystem og sikringsstørrelser	67
6.5	Daglig energibehov ved lading av elbil	68
6.6	Ladetid for å lade opp elbilen med ønsket kjørelengde	68
7.1	Informasjon om transformatorkretsene	69
7.2	Gjennomsnittsalder på fordelingstransformatorene for ulik kapasitet	70
7.3	Antall personbiler og boliger i Søndre land, Nordre land og Etnedal	70
7.4	Scenario A1 - A6 ved en ladeeffekt på 3,7 kW og 52 tilknyttede boliger	73
7.5	Scenario B1 - B6 ved en ladeeffekt på 7,4 kW og 52 tilknyttede boliger	73

7.6	Maks belastning for de ulike transformorkretsene for scenario A1 - A6 med ladeeffekt på 3,7 kW	74
7.7	Maks belastning for de ulike transformorkretsene for scenario B1 - B6 med ladeeffekt på 7,4 kW	75
7.8	Scenario C1 - C6 for kontroll av kapasitet ved hjelp av Velanders formel . . .	76
7.9	Maks belastning for de ulike transformorkretsene for scenario C1 - C6 . . .	76
7.10	Antall årsverk som kreves for å imøtekomme estimert vekst av antall elbilladere	79
A.1	Boligområde 1	102
A.2	Boligområde 2	102
A.3	Boligområde 3	102
A.4	Boligområde 4	103
A.5	Boligområde 5	103
A.6	Boligområde 6	103
A.7	Boligområde 7	104
A.8	Spredt boligområde 1	104
A.9	Hytteområde 1	104
A.10	Hytteområde 2	105
B.1	Resultater av rekkeviddetest utført av NAF [76]	107

Forkortelser

AMS Avanserte måle- og styringssystemer.

BIG bilgenerasjonsmodellen.

BNP bruttonasjonalprodukt.

DSB Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.

EU Den europeiske union.

FOL Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet.

FSE Forskrift om sikkerhet ved elektriske anlegg.

FSH Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av høyspenningsanlegg.

FSL Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av lavspenningsanlegg.

ICCB In-Cable Control Box.

IoT Internet of things.

NAF Norges Automobil-Forbund.

NEK Norsk Elektroteknisk Komite.

NTP Nasjonal transportplan.

NVE Norges vassdrags- og energidirektorat.

REN Rasjonell Elektrisk Nettvirksomhet.

RME Reguleringsmyndigheten for energi.

SSB Statistisk sentralbyrå.

TØI Transportøkonomisk institutt.

WLTP Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicle Test Procedure.

Ordforklaringer

Nelfo: Landsforening i Næringslivets Hovedorganisasjon som representerer bedrifter innen elektro, it, ekom, automatisering, systemgenerasjon og heis. [1]

Tribmle Inc: Beregningsprogram benyttet hos Etna Nett AS

Kabelskap: Dette er mellompunktet mellom transformator og sluttbruker

Nullutslippskjøretøy: Dette er definert som helelektriske- eller hydrogendrevne kjøretøy

Sluttbruker: Siste tilkoblingspunkt i lavspenningsnettet som benytter seg av energien levert av nettselskapene

Samtidighet: Benyttes for å ta hensyn til at ikke alle komponenter benytter maks effekt-trekk til enhver tid

Kapittel 1

Innledning

I dagens samfunn er det et stort fokus på å finne bærekraftige løsninger og mer miljøvennlige måter å ferdes i samfunnet på, og på bakgrunn av dette er det mange som velger å investere i elbil. I tillegg er det blitt innført nye regler når det gjelder nybilsalg som iverksettes fra 1 Januar 2025 [2]. Dette kravet som sier at alle nyregistrerte personbiler skal være nullutslippskjøretøy, har blitt innført for å bidra til å redusere utslipp av klimagasser fra transportsektoren. Det vil si at man de kommende årene vil se en endring i den norske bilparken.

Hensikten med dette prosjektet er derfor å kartlegge konsekvensene lavspennettet i området til Etna Nett vil oppleve som følge av en økning av elbilladere i private hjem. I tillegg vil oppgaven ta for seg hvilke utfordringer dette vil presentere for VOKKS Installasjon og hvordan de kan imøtekomme disse utfordringene.

For å undersøke hvor store konsekvenser strømmettet vil oppleve som følge av denne økningen, har det blitt gjennomført tre prognoser for å estimere hvor stor denne veksten vil bli i de kommende årene. På bakgrunn av disse prognosene har det vært mulig å undersøke hvordan dette vil påvirke fordelingstransformatorene i det aktuelle området. Når det gjelder hvordan denne økningen vil påvirke VOKKS Installasjon vil det i hovedsak omhandle praktiske utfordringer knyttet til montasje av elbilladere og de ulike utfordringene knyttet til lading på de forskjellige nettsystemene.

Konsekvensutredningen som skal gjennomføres vil med andre ord omhandle bestemte områder til Etna Nett, hvor de har konsesjon, henholdsvis Søndre Land, Nordre Land, Etnedal og Snertingdal. Beregningene og resultatene for disse områdene vil kunne bli brukt for andre lignende områder i Norge med relativ lik belastning, og tilsvarende forventet vekst av elbiler i private hjem.

Til slutt vil rapporten presentere hvordan konsekvensene og utfordringene nevnt over kan håndteres nå, i tillegg til at det vil bli presentert løsninger som kan bli implementert i fremtiden. Disse løsningene vil være med på å gjøre overgangen fra en fossil bilpark til en nullutslipps bilpark lettere.

1.1 Problemstilling og delmål

Basert på bakgrunn for oppgaven har det blitt utformet to problemstillinger som skal besvares i denne rapporten.

«Hvilke konsekvenser har en massiv økning av elbil-ladere i privatboliger for det elektriske anlegget i boliger og lavspentnettet?» og «Hvilke tilpasninger må VOKKS Installasjon og Etna Nett foreta for å møte denne økningen?»

For å besvare problemstillingene i denne oppgaven er det blitt definert delmål som skal løses og besvares.

- Delmål 1: Nødvendig informasjon til prosjektet sorteres
- Delmål 2: Kartlegge ulike tekniske og praktiske problemstillinger knyttet til økt andel elbilladere for Etna nett AS og VOKKS Installasjon.
- Delmål 3: Fremstille og drøfte tekniske og praktiske løsninger for å besvare problemstillingen.

I dagens samfunn ser man en stadig økning av elbiler i private hjem, denne økningen medfører en rekke utfordringer og problemer når det kommer til strømmettet som nevnt over. En rask og kraftig økning av elbiler i private hjem vil medføre en økt belastning på strømmettet, som det i utgangspunktet ikke er dimensjonert for. I tillegg til dette vil det på bestemte tidspunkter i løpet av døgnet oppstå store effekttopper som er kritisk for nettet.

For å vite hvordan det er best å imøtekomme disse utfordringene er det derfor viktig at de blir undersøkt for å kartlegge og identifisere omfanget. Det vil i enkelte tilfeller være nødt til å skifte enten transformatoren som forsyner kretsen, kablene og linjene eller både transformator, kablene og linjene dersom det viser seg å være nødvendig. I denne oppgaven vil dette bli undersøkt for ulike type kretser og områder som tilhører Etna nett og hva som vil være en mulig løsning på utfordringene.

1.2 Avgrensninger

Til dette prosjektet er det satt følgende begrensninger grunnet sen tilgang på data fra oppdragsgiver, sykdom tett på avslutning og begrenset med tid som følge av stor arbeidsmengde:

- Gruppen fikk ikke tilgang til beregningsprogrammet Trimble. Tilgang til programmet ville forenklet arbeidsprosessen.
- For bedre beregninger hadde det vært hensiktsmessig at gruppen hadde fått fler AMS-målinger.
- Undersøker ikke om spenningsfall i en fase ved lading er innenfor gjeldende krav.
- På grunn av manglende informasjon om transformatorenes trinnkobling har ikke gruppen beregnet spenningsfall i de aktuelle tilfellene.
- Gruppen kontrollerer og sjekker kun fordelingstransformatorene og forsyningen ut til kunden. Gruppen sjekker ikke det resterende nettet.
- Det ses bort fra tap i transformator, da dette ikke er avgjørende for å besvare problemstillingen.
- Gruppen har ikke beregnet kortslutningstrøm da det må undersøkes ved en eventuell oppgradering av de aktuelle transformatorene.
- Det økonomiske aspektet knyttet til når det vil være hensiktsmessig å oppgradere de ulike fordelingstransformatorene ved overlast blir ikke vurdert.
- Det er ikke kontrollert kapasiteten på linjer og kabler, grunnet sen tilgang på reelle måledata fra AMS-målinger. På grunn av dette er kun konsekvensene som følger av overbelastning av linjer og kabler inkludert.

1.3 Oppbygging av rapporten

Det faglige nivået til rapporten krever grunnleggende forståelse og kunnskap innenfor elkraft og er skrevet for andre med lik kompetanse. Rapporten tar for seg konsekvensene som følge av en økning av elbiler i private hjem og er ment som en ressurs for oppdragsgiver Etna Nett og Vokks Installasjon. Rapporten er strukturert i 10 kapitler med følgende oppbygging:

Kapittel 1 Innledning: Beskrivelse av bakgrunn for oppgaven og hensikten med rapporten. Videre blir problemstilling og delmål presentert før det avsluttes med avgrensninger satt for oppgaven.

Kapittel 2 Teori: Kapitlet vil gi leseren den nødvendige kunnskapen for å lese rapporten med forståelse for å kunne følge arbeidet videre. Teorikapitlet inneholder blant annet beskrivelse av det norske overføringsnettet, fordelingsystemer, elbil og elbilladere samt innføring i ulike forskrifter og gjeldende regelverk.

Kapittel 3 Bakgrunn for oppgaven: Beskrivelse av bakgrunnen for oppgaven for å gi leser forståelse for fremstilte prognoser og gjennomførte beregninger i rapporten. Kapittelet inkluderer statistikker over salg av elektriske kjøretøy i Norge, den norske transportplan og Norges grunner til suksess knyttet til elbiler.

Kapittel 4 Metode: Gjennomgang av arbeidsprosessen, innhenting av informasjon og data samt regnemetoder som er benyttet. Det blir forklart hvordan dette blir benyttet videre i rapporten for å besvare problemstillingen beskrevet innledningsvis.

Kapittel 5 Prognoser for vekst av elbil: Kapittelet presenterer forventet vekst for Søndre land, Nordre land, Etnedal og Snertingdal de nærmeste årene basert på tidligere statistikker. Videre vil det bli fremstilt tre ulike scenarier for vekst for å kunne estimere effekt og energibehovet som oppstår ved lading av elbiler.

Kapittel 6 Energi og effektbehov: knyttet til økt andel elbiler: Behovet for energi og effekt vil øke i takt med økningen av elbiler. Hvordan dette vil påvirke nettet og hvorvidt det er behov for en utvidelse eller ikke avhenger av hvor stor den nye belastningen vil bli. Derfor er det hensiktsmessig å undersøke effekten knyttet til økt belastning.

Kapittel 7 Konsekvenser for strømmettet: Kapittelet presenterer konsekvensene strømmettet vil oppleve samt resultatene det medfører. Det blir kort drøftet de ulike scenariene som er presentert og hvilken sammenheng de har med resultatene som fremstilles. Videre vil det kort bli drøftet utfordringene VOKKS Installasjon vil oppleve samt hvordan de kan imøtekomme disse.

Kapittel 8 Diskusjon: Sentrale deler fra hovedkapitlene blir gjennomgått og hvilke faktorer som har innvirkning på belastningen som følge av elbilladere blir drøftet. Det vil bli presentert en løsning for fremtiden samt en kort drøftelse rundt bærekraft og etikk.

Kapittel 9 Konklusjon: Det blir fremlagt en konklusjon basert på resultatene fra gjennomførte beregninger og prognoser.

Kapittel 10 Videre arbeid: På grunnlag av avgrensningene satt innledningsvis, fremlegger gruppen mulighetene dette presenterer for videre arbeid og undersøkelser for ytterligere å besvare problemstillingen.

Til slutt i rapporten foreligger det en litteraturliste og vedlegg. Vedlegg A består av ulike

scenario benyttet for å utføre kapasitetskontroll av fordelingstransformatorer ved hjelp av AMS-målinger, og vedlegg B består av rekkeviddetest på elbiler utført av NAF.

Kapittel 2

Teori

Hensikten med dette kapitlet er å gi leseren den nødvendige kunnskapen rundt forskrifter benyttet i rapporten samt teori rundt det norske overføringssystemet, fordelingssystemer elbil og elbilladere. Kapitlet vil gi en kort beskrivelse av NEK400 og REN, det vil fortløpende bli beskrevet de forskriftene som er benyttet.

2.1 Det norske overføringsnett

I Norge deler man opp overføringsnett i tre ulike deler; transmisjonsnett, regionalnett og distribusjonsnett. Transmisjonsnett har høy overføringskapasitet, og er i stor grad eid og driftet av Statnett. Dette spenningsnivået har i hovedsak to ulike oppgaver. For det første vil denne delen av overføringsnett knytte sammen alle sluttbrukere av elektrisitet i Norge til et felles overføringsnett som strekker seg over hele landet. Den andre viktige oppgaven til transmisjonsnett er eksport eller import av kraft, dersom Norge enten har henholdsvis overskudd eller underskudd av kraft. Transmisjonsnett driftes vanligvis på 300 kV eller 420 kV, men alle spenninger over 200 kV betegnes som transmisjonsnett. [3]

Neste spenningsnivå i Norge er regionalnett, som også har høy overføringskapasitet. Forskjellen mellom transmisjonsnett og regionalnett, er at sistnevnte kun dekker en bestemt region. Regionalnett overfører derfor kraft ut fra transmisjonsnett og inn på distribusjonsnett, men også inn igjen på transmisjonsnett. Spenningsnivået på regionalnett er normalt 132 kV og 66 kV [4].

Som nevnt overfører regionalnett kraft til distribusjonsnett, som er det laveste nettnivået i Norge. Det er dette nettnivået som forsyner forbrukerne med strøm. Spenningsnivået på distribusjonsnett varierer mellom 22 kV og 230 V, og deles inn i høyspentnett og lavspentnett. Høyspentnett inkluderer alle spenningsnivåene over 1 kV, i hovedsak 22 kV og 11 kV, mens lavspentnett inkluderer spenninger på 230 V og 400 V. For å endre spen-

ningen mellom de ulike nivåene benyttes det transformatorer [5]. Denne rapporten tar for seg deler av distribusjonsnett.

2.2 REN AS - Rasjonell Elektrisk Nettvirksomhet AS

Rasjonell Elektrisk Nettvirksomhet (REN) AS, ble etablert i 1998 med hensikt om å standardisere både materiell og arbeidsmetoder for norske nettselskap. REN har utarbeidet RENblad som inkluderer informasjon og retningslinjer knyttet til prosjektering, montasje, drift og vedlikehold av det norske overføringsnett. I tillegg til RENblader, utvikler de også ulike beregningsverktøy knyttet til blant annet lastmodellering, strømføringsevne, kortslutningsstrømmer og kostnader. [6] Beregningsverktøyene baserer seg på RENbladene, og følger derfor de retningslinjene som er gitt. REN tilbyr også kurs og konferanser. Leveringssikkerhet i kraftforsyninger er også noe REN bidrar til gjennom at de drifter beredskapsordninger, både for nettselskap og kraftselskap. REN AS eies av over 60 nettselskaper i Norge, og anses som den viktigste informasjonskilden for nettselskaper. [7]

2.3 Forskrifter og normer

Dette kapittelet tar for seg ulike forskrifter og normer man må forholde seg til ved utføring av elektriske installasjoner.

2.3.1 NEK400:2018 Elektriske lavspenningsinstallasjoner

NEK400:2018 Elektriske lavspenningsinstallasjoner er en normsamling som tar for seg prosjektering og gjennomføring av elektriske lavspenningsinstallasjoner. NEK400:2018 er publisert av Norsk Elektroteknisk Komite (NEK), som består av 100 standardiseringskomiteer. Denne normsamlingen inneholder derfor en rekke krav man må følge ved prosjektering og gjennomføring av elektriske anlegg, med hensikt om å øke både sikkerhet og funksjon. NEK400:2018 er en norsk utgave av standardene IEC 60364-serien og CENELEC HD 60364-serien. I tillegg til dette inkluderer NEK400:2018 enkelt krav som følger av nasjonale normer. [8, 9]

2.3.2 Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg (FSE)

Forskrift om sikkerhet ved elektriske anlegg (FSE) er en forskrift om sikkerhet som montører og installatører følger ved arbeid og drift av elektriske anlegg. Denne forskriften ble vedtatt 28.april 2006 og trådte i kraft i 1.juni 2006. Forskrift om sikkerhet ved elektriske anlegg

(FSE) erstattet Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av lavspenningsanlegg (FSL) og Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av høyspenningsanlegg (FSH). Hensikten med denne forskriften er å ivareta mennesker, samt materielle verdier når det arbeides på elektriske anlegg. Derfor stilles det krav til planlegging av arbeid og sikkerhetstiltak. De som jobber på eller i nærheten av elektriske anlegg er ifølge denne forskriften pålagt å gjennomgå en årlig sikkerhetsopplæring. [10, 11]

2.3.3 Forskrift om leveringskvalitet (FOL)

Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet (FOL) er en forskrift utarbeidet av NVE som skal ivareta leveringskvaliteten, samt sikre tilfredsstillende drift, utbygging og utvikling. Fol trådte i kraft 1.januar 2005 og ble sist endret 1.juli 2020. 01.juli 2020. FOL skal medvirke til at elektrisiteten som nettselskapet leverer til sluttbrukeren er av tilfredsstillende kvalitet, og gjelder derfor for både de som drifter og eier, men også de som benytter seg av elektriske anlegg eller utstyr koblet til kraftsystemet. At det er tilfredsstillende kvalitet på elektrisiteten er essensielt for elektrisk utstyr, både når det gjelder funksjonalitet og økonomisk tap. Dersom leveringskvaliteten er redusert, vil elektrisk utstyr kunne ta skade. I følge FOL plikter nettselskaper å rette opp i eventuelle feil som fører til avbrudd så hurtig som mulig. Ved redusert leveringskvalitet i nettet plikter de som er årsak til dette, å forbedre de forholdene som foreligger, uavhengig av om det er nettselskap eller nettkunder som medfører dette. Å detektere redusert leveringskvalitet er nettselskapenes ansvar, samt at FOL stiller krav til hvordan henvendelser knyttet til leveringskvalitet skal behandles av nettselskapene. [12]

I tillegg til krav knyttet til ansvarsfordeling ved redusert spenning, inkluderer FOL også grenseverdier for spenningskvalitetsparametere [12]. Kapittel 3: krav til leveringspålitelighet og spenningskvalitet i FOL omtaler dette [13]. Spenningsfall i lavspenningsnettet omtales i § 3-3 Langsomme variasjoner i spennings effektivverdi. I henhold til § 3-3 gjelder følgende for spenningsfall i lavspenningsnettet: «*Nettselskap skal sørge for at langsomme variasjoner i spennings effektivverdi, er innenfor et intervall på ± 10 % av nominell spenning, målt som gjennomsnitt over ett minutt, i tilknytningspunkt i lavspenningsnettet.*» [13].

I henhold til § 3-6 Spenningsusymmetri er følgende gjeldene: «*Nettselskap skal sørge for at grad av spenningsusymmetri ikke overstiger 2 % i tilknytningspunkt, målt som gjennomsnitt over ti minutter.*» [13].

2.4 Fordelingstransformatorer

I overføringsnettet i Norge benyttes transformatorer for å transformere spenningen fra et nivå, til et annet, ved hjelp av elektromagnetisk induksjon. En transformator har en primær-

side og en sekundærside, og for en ideell transformator er effekten lik på både primær- og sekundærsiden. Grunnet formelen for effekt $P = U \times I$, vil konstant effekt på hver side av transformatoren medføre at dersom spenningen økes, må strømmen reduseres. Kapasiteten til en transformator er oppgitt i tilsynelatende effekt med enhet VA, og kalles for transformatorens merkeytelse.

I distribusjonsnett vil transformatoren typisk ha høyere spenning, men lavere strøm på primærsiden, og lavere spenning, men høyere strøm på sekundær siden. Denne rapporten tar for seg transformatorer i distribusjonsnett, kalt fordelingstransformatorer. En fordelingstransformator transformerer spenningen fra høyspent, vanligvis mellom 11 kV og 22 kV, ned til forbrukerspenning på 230 V eller 400 V. Dette er den siste transformatoren før sluttbruker, og er derfor en del av distribusjonsnett. I Norge finnes det omtrentlig 120 000 fordelingstransformatorer. [14]

I følge SINTEF har transformatorer en forventet levetid på 30 år, og levetiden avhenger i stor grad av belastningsgraden til transformatorene og omgivelsestemperatur. Dersom transformatorene driftes med nominell last, vil dette gi en driftstemperatur på omtrentlig 90 °C, og dermed en forventet levetid på 30 år. Videre sier SINTEF at en 8 °C økning, vil gi en halvering i forventet levetid. På samme måte vil også en nedgang på 8 °C i driftstemperatur medføre en dobling av forventet levetid. I Norge driftes mange transformatorer under nominell last, samt lav omgivelsestemperatur i store deler av året, noe som medfører at levetiden kan være over 30 år. [15]

På vinterstid godkjenner nettselskapene ofte en overbelastning på 20 % av nominell last over kortere perioder på utvendig betjente transformatorer, grunnet at en lavere omgivelsestemperatur gir bedre kjøleforhold. Dette medfører at man på sommeren ikke kan godta like stor overbelastning av transformatoren. [16]

2.4.1 Konsekvenser ved overbelastning av transformator

Overbelastning av trafo vil kunne medføre ulike problemer. I følge FOL, som nevnt i kapittel 2.3.3, må ikke spenningen være mer enn $\pm 10\%$ 230 V for IT-nett og 400 V for TN-nett. For at dette skal unngås, må man påse at blant annet spenningsfall i transformator-kretsen ikke blir for høyt. Hvor høyt spenningsfall man får i kretsen, avhenger i stor grad av effekten. Elbillader krever høy effekt og kan derfor føre til et for høyt spenningsfall enn hva kretsen er dimensjonert for. Spenningen justeres i transformatoren, slik at spenningen ikke er for høy ved lav last, samt at den ikke er for lav ved høy last. Dersom belastningen er for høy i forhold til dimensjoneringen, vil spenningen kunne falle under denne grensen. At spenningen er av tilstrekkelig kvalitet, er essensielt for å ikke skade elektrisk utstyr, samt unngå økonomisk

tap. [16]

En transformator har en gjennomsnittlig levetid på 30 år dersom den driftes i nominell last. Driftstemperaturen vil da være på 90 grader, men en økning på kun 8 grader vil kunne halvere denne. Dersom transformatoren belastes over nominell last, vil dette føre til en temperaturøkning i transformatoren og levetiden vil kunne reduseres drastisk ved overbelastning. I tillegg til dette vil raske endringer i lasten i transformatoren gi raske endringer i temperaturen. Dette er også noe som vil kunne redusere levetiden. Ved benyttelse av elbillader er nettopp dette av betydning. En elbillader vil medføre høy effekt over kort tid, og dersom mange lader samtidig, vil dette kunne føre til store endringer i belastningen. Temperaturforandringer i transformatoren vil kunne medføre at den utvider seg eller trekker seg sammen, og kan derfor utsettes for fuktighetsinntrengning. [15]

2.5 Linjer og kabler i lavspenningsnett

I distribusjonsnettene benyttes det linjer og kabler for å kunne overføre elektrisk energi, for eksempel fra fordelingstransformatoren ut til sluttbrukeren. I henhold til RENblad 9115 [17] skal tverrsnittet på en lavspenningskabel dimensjoneres med hensyn på overbelastning, kortslutning og spenningskvalitet. Ved dimensjonering av lavspenningsnett må det også benyttes riktig vern for beskyttelse mot overstrøm. For dimensjonering av kabler og linjer er ledningens strømføringssevne veldig viktig. I henhold til RENblad 9115 defineres ledningens strømføringssevne som «Den strømmen en ledning kan føre over lengre tid uten at temperaturen overstiger anbefalte verdier» [17]. Dersom kabelen belastes med en strøm høyere enn strømføringssevnen, kan isolasjonen ta skade og levetiden til kabelen reduseres.

2.5.1 Konsekvenser ved overbelastning av kabler og linjer

Kabler og linjer i distribusjonsnettene, samt sikringer, er også dimensjonert for en gitt belastning. En elbillader kan medføre overbelastning også for kabler og linjer, da elbillader er en stor belastning. Som nevnt i kapitlet ovenfor vil dette kunne medføre skade i isolasjonen, og dette vil kunne utgjøre en fare for kortslutning. Ifølge REN skal det ved dimensjonering av lavspenningsnett benyttes vern som beskytter mot overstrøm [17]. Elbilladere vil medføre en høyere strøm enn hva sikringene er dimensjonert for, og dette vil derfor medføre at sikringen løser ut, slik at kabelen ikke tar skade. Dermed vil den viktigste konsekvensen på kabler og linjer som følger av en økning av elbillader være spenningskvalitet. Kabler og linjer dimensjoneres også med hensyn på spenningskvalitet, og en overbelastning vil derfor kunne føre til et for høyt spenningsfall og at spenningen faller under grensen på $\pm 10\%$. Sikringer vil også kunne påvirkes som følger av en økning av andel elbilladere.

2.6 Energi og effekt

I denne rapporten omtales ofte både energibehov og effektbehov, samt effekttopper. For å kunne kartlegge utfordringer knyttet til økt andel elbilladere i det norske overføringsnett, er det essensielt å skille mellom disse. Energi defineres som mengden energi som kreves for å utføre et arbeid, mens effekt defineres som utført arbeid per tidsenhet. [18] Følgende forhold gjelder derfor mellom energi og effekt:

$$P = \frac{W}{t} \quad (2.1)$$

Hvor P er effekt, W er energi og t er tidsperioden. I denne rapporten benyttes både enfase og trefase, noe som medfører ulike måter å beregne effekten på. Følgende formel benyttes for å beregne henholdsvis enfase- og trefaseeffekt.

Enfaseeffekt i IT-nett:

$$P = U \times I \quad (2.2)$$

Enfaseeffekt i TN-nett:

$$P = \frac{U}{\sqrt{3}} \times I \quad (2.3)$$

Trefaseeffekt i TN-nett:

$$P = U \times \sqrt{3} \times I \quad (2.4)$$

Hvor P er effekt, U er linjespenning og I er strøm. Effekttopper er noe som inntreffer når effekten er høy over en gitt periode. For overføringsnett har effekttopper stor betydning, da komponenter er dimensjonert for å tåle en gitt belastning. Ved endringer i forbruksprofilen i husholdninger, ved at strømmen for eksempel blir benyttet annerledes og eller til forskjellige tidspunkt, vil de allerede eksisterende effekttoppene i nettet økes eller reduseres. En økning av allerede eksisterende effekttopper vil kunne føre til overbelastning av ulike deler av overføringsnett, som for eksempel fordelingstransformatorer, linjer og kabler.

2.7 Områdekonsesjon

I Norge har nettselskaper noe man kaller for områdekonsesjon. Når et nettselskap har områdekonsesjon innebærer dette at de har rett på å både bygge og drive et fordelingsnett, også kalt distribusjonsnett, innenfor et bestemt område. Spenningsnivået er i hovedsak opp til 22 kV, men i visse områder kan dette nivået strekke seg opp til 132 kV. Området kan inkludere alt fra en, til flere kommuner og større byer. Dersom et nettselskap har områdekonsesjon, innebærer dette at de kan som nevnt både bygge og drive et fordelingsnett, uten at man må legge frem hver enkelt sak for godkjenning hos Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Nettselskapet fører derfor selv saksbehandlingen knyttet til for eksempel utbygging av fordelingsnettet. Likevel må nettselskapene legge frem eventuelle tiltak til de interessenter som for eksempel en utbygging eventuelt måtte treffe, som for eksempel kommuner, statsforvalter og grunneiere. Hvis dette medfører at det kommer frem store innvendinger mot tiltaket, må saken legges frem for NVE. Områdekonsesjon medfører også et stort ansvar for nettselskapene, da de har plikt til å forsyne alle kundene under området definert av områdekonsesjonen [19]. Leveringsplikten innebærer at man som etablert kunde ikke skal måtte betale mer i nettleie dersom man er koblet til et fordelingsnett som krever mer vedlikehold, fremfor et nytt.

Dersom det er store årsaker for det, kan nettselskaper søke om fritak fra denne plikten. Dette kan gis ved noen tilfeller, for eksempel der hvor utbyggingen eller rehabilitering av et nett medfører vesentlig større utgifter enn inntekter. [20]

2.8 Nettleie

Alle sluttbrukere som benytter strøm, må betale nettleie. Som sluttbruker av strøm må man betale for mengden energi man benytter, og prisen per kWh varierer gjennom døgnet. Nettleie derimot er noe man må betale til det lokale nettselskapet i tillegg til denne summen, og skal dekke overføringen av strømmen til sluttbrukeren. For nettselskap skal inntektene fra nettleien dekke kostnader for blant annet overføring og transport av strøm, og vedlikehold eller utvikling av nettet. Hvor høy nettleien er, avgjøres av nettselskapene, men Reguleringsmyndigheten for energi (RME), kontrollerer at inntektene fra nettleien ikke overskrider det nettselskapene har rett til når det gjelder betaling fra kunder. [21]

Tidligere har nettleien bestått av et fastledd og en variabel del, et energiledd som varierer i takt med mengden strøm kunden bruker. Den nye nettleien vil fungere slik at den variable delen vil bli påvirket av når på døgnet kunden bruker strømmen. Det vil si at kunden

vil betale mer dersom de bruker mye strøm på et tidspunkt hvor strømmettet er kraftig belastet og det vil bli billigere for kunden å bruke strøm når strømmettet ikke er kraftig belastet.

Når det gjelder fastleddet vil dette bli erstattet av et kapasitetsledd. Dette leddet avhenger av hvor mye strøm kunden benytter samtidig. Nettleien bestemmes derfor av en såkalt prisstige, den timen i måneden kunden brukte mest strøm vil bestemme hvilket trinn kunden havner på og derav hva nettleien vil bli. [22]

2.9 Avanserte måle- og styringssystemer

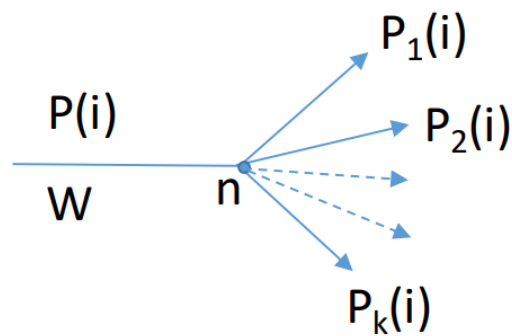
Avanserte måle- og styringssystemer (AMS) er en smart måler som kontinuerlig registrerer hvor stort forbruket til den aktuelle kunden er og rapporterer dette hver time eller hvert femtende minutt. I løpet av 2019 ble det installert AMS-måler hos alle strømkunder i hele Norge. Ved hjelp av AMS målerne effektiviseres lastberegninger og nettselskaper vil bedre vurdere om det er nødvendig å utbygge nettet eller ikke basert på reelle tall. I tillegg til dette kan AMS målerne bli brukt til overvåkning av spenningsnivå og avdekke mulige brudd på forskrifter om leveringskvalitet i kraftsystemet. Nettselskapene får raskt beskjed dersom det oppstår feil i nettet og kan derfor effektivt utbedre disse. [23]

2.10 Estimering av last på fordelingstransformator

For å kunne estimere lasten på en fordelingstransformator, kan man benytte ulike metoder. Ved dimensjonering av lavspenktretser er det essensielt å kartlegge maksimal effekttrekk. I denne rapporten benyttes to ulike metoder for estimering av last på en fordelingstransformator, henholdsvis estimering av last ved hjelp av AMS-målinger og Velanders formel.

2.10.1 Estimering av last ved hjelp av AMS-målinger

Ved dimensjonering av lavspenktettet, kan AMS-målinger være en verdifull ressurs. Ved benyttelse av AMS-målinger i lastmodellering vil man kunne øke påliteligheten i dimensjonering av lavspenktettet, og på denne måten tilpasse både nye nett, men også utbygginger, bedre til dagens belastninger. Dersom man baserer beregninger på AMS-målinger, vil man bedre kunne estimere hvilken last man kan forvente i et gitt punkt i nettet. Lastmodellering ved hjelp av AMS-målinger baserer seg på prinsippet vist i figur 2.1 og kan benyttes for å bestemme maksimalt effekttrekk for et punkt i nettet.



Figur 2.1: Benyttelse av AMS-målinger for lastmodellering [24]

For et punkt i nettet er effekttrekk gitt av følgende formel:

$$P(i) = P_1(i) + P_2(i) + \dots + P_k(i) \quad (2.5)$$

Hvor $P(i)$ er gjennomsnittlig effekt i gitt punkt for time i og $P_k(i)$ er gjennomsnittlig effektforbruk for last k i time i . Grunnet muligheten for avlesning av forbruket hver time eller hvert kvarter vil lastestimering ved benyttelse av AMS-målere gi en mer pålitelig lastprofil. Ved benyttelse av denne metoden vil man lettere kunne undersøke påvirkningen nye belastninger, som for eksempel elbillading, har på lastprofilen og maksimalt effekttrekk. Velanders formel baserer seg som nevnt i kapittel 2.10.2 på statistiske målinger, og vil ikke nødvendigvis være like pålitelig ved endringer i forbruksprofil. [25]

2.10.2 Velanders formel

Velanders formel er en metode man kan benytte for å estimere maksimal effekttrekk for en transformator krets. En forutsetning for benyttelse av Velanders formel er ensartede belastninger, som for eksempel kun husholdninger. Lastestimering ved bruk av Velanders formel har vist seg å være mer nøyaktig dersom man har 20 eller fler belastninger. Velanders formel er som følger;

$$P_{maks} = k_1 \times W + k_2 \times \sqrt{W} \quad (2.6)$$

Hvor P_{maks} er maksimal effekttrekk i kW for et bestemt punkt i nettet, W er årlig energiforbruk i kWh i gitt punkt og k_1 og k_2 er konstanter som er geografisk bestemt. k_1 og k_2

er derfor avhengig av blant annet beliggenhet og klima. Disse konstantene er forskjellige for ulike belastningskategorier, og bestemmes ved hjelp av statistiske målinger på gitt type belastning [26, 27]. På figur 2.2 kan man finne konstantene k_1 og k_2 .

Område	Enebolig/rekkehus		Blokker	
	k_1	k_2	k_1	k_2
Østlandet	0.00022	0.019	0.00023	0.024
Vestlandet	0.00022	0.015	1)	1)
Midt-Norge	0.00021	0.024	1)	1)

Figur 2.2: Konstantene k_1 og k_2 for ulike geografiske områder og belastningstyper [26]

2.11 Fordelingssystemer

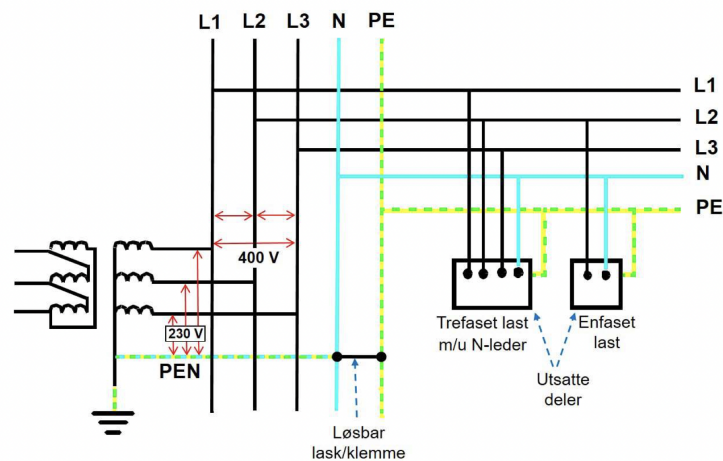
Som tidligere nevnt er det fordelingssystemet som skal overføre elektrisk energi fra fordelingstransformatoren og ut til sluttbrukeren. Fordelingssystemer blir definert som den systemmessige oppbyggingen av det lavspente distribusjonsnettet. I Norge benyttes det tre ulike nettsystem, henholdsvis TN-nett, IT-nett og TT-nett. Forkortelsene i nettsystemet beskriver anleggets jordingsforhold. IT-nett er det nettsystemet som er mest utbredt i Norge, men i dag bygger nettselskapene TN-nett der dette er mulig. Generelt er IT-nett lite benyttet i resten av Europa. TT-nett er også benyttet i Norge i liten grad, men omtales ikke mer detaljert da områdene omtalt i rapporten kun benytter TN-nett og IT-nett.

2.11.1 TN-nett

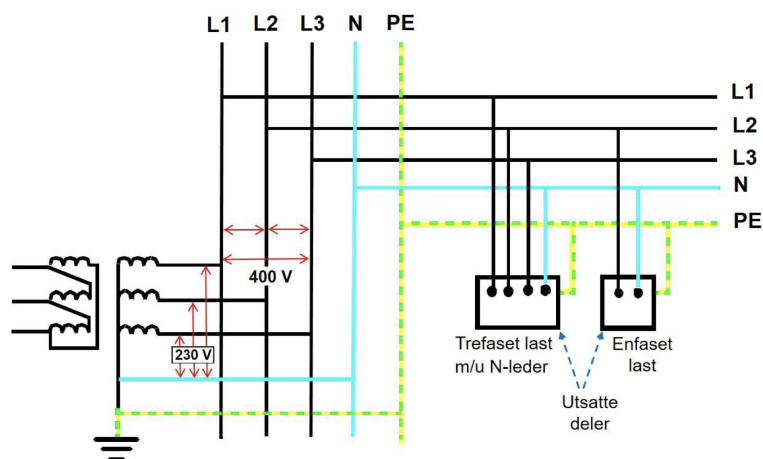
Forkortelsen TN står for «Terra Neutral», noe som vil si at nøytralpunktet på transformatoren er jordet, samt at utsatte deler i anlegget har direkte forbindelse til dette nøytralpunktet gjennom nøytrallederen. TN-nett kan utføres på tre ulike måter som TN-C-nett, TN-S-nett eller TN-C-S-nett. TN-C-nett viser til at nøytrallederen, N-leder, og beskyttelsesjordlederen, PE-lederen, er en kombinert leder. TN-S-nett viser til at N-leder og PE-leder er to separate ledere, mens TN-C-S viser til at N-leder og PE-leder er kombinert leder et sted i nettet. For alle TN-C-systemer, må N-leder og PE-leder separeres til to separate ledere ved første fordeling i en elektrisk installasjon. [25]

I et TN-nett blir N-leder ført frem til forbrukeren slik at det vil være tilgjengelig både 230V og 400V. Spenningen mellom fase og nøytralleddning, fasespenningen, er 230 V, mens spenningen mellom fasene, linjespenningen, er 400 V. Benyttelse av TN-nett har flere fordeler, men også noen ulemper. En av fordelene med dette systemet er at tapene i overføringsnettet blir mindre, fordi strømmen blir lavere ved høyere spenning. Siden strømmen er lavere vil man også i et TN-nett kunne benytte mindre tverrsnitt enn det man måtte benyttet i et IT-nett for å overføre samme effekt, noe som gjør TN-nett rimeligere å bygge. I tillegg til

dette er det et mer brannsikrert system med tanke på hvor raskt en jordfeil som oppstår blir løst ut. Nettet har likevel enkelte ulemper som økt fare ved berøring, fordi berøringsspenningen er høyere og det vil kunne være behov for bedre isolering. En annen ulempe er at dette systemet er dårlig egnet til bruk i medisinske anlegg eller nødstrømsanlegg. Grunnen for dette er nettopp at TN-nett løser ut ved første jordfeil, slik at livsviktige funksjoner kan miste strømtilførsel. Videre vil brudd på N-leder kunne føre til at spenningen øker fra 230V til 400V som vil kunne ødelegge enkelte apparater som er koblet til. [25]



Figur 2.3: TN-C-S-nett [25]



Figur 2.4: TN-S-nett [25]

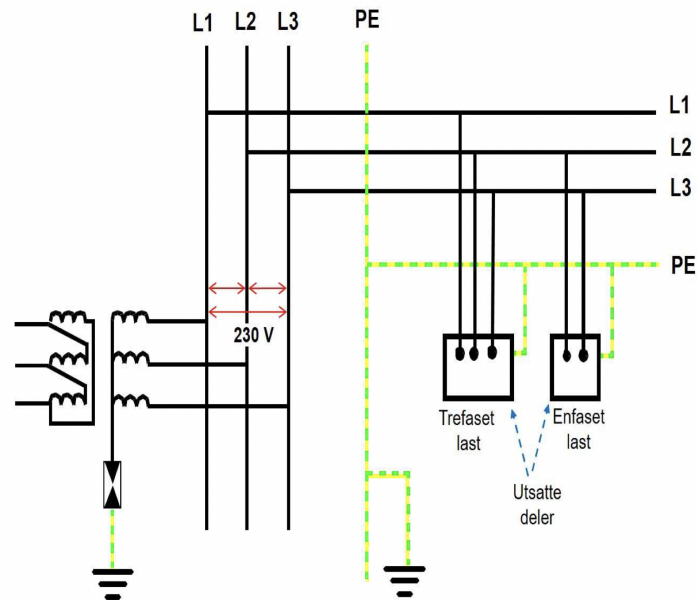
2.11.2 IT-nett

IT-nett er som tidligere nevnt det nettsystemet som er mest utbredt i Norge, og den nominelle spenningen for dette systemet er 230 V. Forkortelsen IT i IT-nett står for «Insulated Terra», som sier noe om hvordan transformatoren til energiselskapet er bygget opp. «I» som første bokstav viser at nettet er isolert fra jord eller at det er jordet gjennom høy impedans. Videre sier «T» som andre bokstav at utsatte deler i anlegget er jordet, uavhengig av systemjord. [25]

En av fordelene med dette nettet er at man kan ha stående jordfeil, men for bygg etter 1991 er det et krav at feilstrømmen enten varsles eller løses ut. At IT-nett kan driftes med en jordfeil, er hensiktsmessig i enkelte tilfeller hvor strømforsyning er kritisk. På grunn av dette er det krav om at det benyttes IT-nett i for eksempel medisinske anlegg. Likevel kan dette også skape noen problemer, da også topolt jordfeil ikke løses ut i noen tilfeller. Årsaken for dette er at selv ved to samtidig jordfeil vil strømmen likevel være så liten at overstrømsvernet ikke løser ut, selv om strømmen er vesentlig større enn ved enpolt jordfeil. [25]

I motsetning til et TN-nett vil berøringsspenningen på dette systemet være lavere, og feilstrømmen ved jordfeil vil være mindre enn ved et TT-nett. Grunnen til dette er at ved jordfeil på en fase vil returveien for feilstrømmen i de fleste tilfeller være i nettets kapasitanser mot jord. Feilstrømmen som oppstår blir derfor liten, grunnet den høye impedansen. [25]

I likhet med et TN-nett er det enkelte ulemper med et IT-nett. Ved lynnedslag vil et IT-nett kunne oppføre seg som et TT-nett dersom overspenningsvernet kortslutter. I tillegg vil et IT-nett kreve et større tverrsnitt i forsyningsnettet for å overføre lik effekt, sammenlignet med et TN-nett. Siden linjespenningen i et IT-nett er 230 V, vil man ikke kunne benytte 400 V med mindre man setter opp en egen transformator i installasjonen til dette formålet [25].



Figur 2.5: IT-nett [25]

2.12 Elbil og elbilladere

Denne rapporten omtaler elbiler, som innebærer elektriske personbiler som kun driftes av strøm. En elbil har en elektrisk motor, fremfor forbrenningsmotor i personbiler som driftes på for eksempel diesel og bensin. Her i Norge har man sett en voksende popularitet knyttet til elbiler, og per i dag står elbil for 54 % av nybilsalget i Norge [28]. Ingen andre land kan vise til en så stor andel elbiler blant nybilsalget [29].

2.12.1 Ulike metoder for elbillading

Ved en økning av antall elektriske personbiler, vil man også se en økning i andel private elbilladere. Dersom man skal installere en egen ladestasjon for elbil, må man påse å følge gjeldende lover og normer knyttet til dette. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB), har publisert en veiledning [30] som tar for seg installasjon av elbilladere i samarbeid med Norsk Elektroteknisk Komite (NEK), Elbilforeningen og Nelfo. Denne veiledningen har som hensikt å sikre en trygg installasjon av elbilladere, samt gi råd og veiledning til installatører og lignende. I Norge finnes mange boliger med eldre elektriske anlegg, som ikke er dimensjonert for den nye belastningen som en elbillader er. Veiledningen tar for seg hvordan elbilladeren skal monteres, helt fra overbelastningsvernet i boligen frem til laderen.

Veiledningen legger aller først til grunn de grunnleggende prinsippene man må følge i en elektrisk installasjon. Blant annet innebærer dette at alle installasjoner skal være egnet til det man skal benytte det til. Dette behovet skal avgjøres med kunden, og i forbindelse med elbillader vil dette være ulike ønsker knyttet til ladetid, plassering og antall ladere. Før installasjon er det viktig at man kartlegger tilgjengelig kapasitet i det elektriske anlegget. Det er lite hensiktsmessig å installere en lader med høyere effekt enn det som er tilgjengelig i anlegget. Ansvarer for installasjonen må også avgjøres. Kunden kan selv velge å kjøpe inn ønsket lader, men da er det viktig at denne undersøkes av installatøren slik at den er forsvarlig å benytte. Installatøren må også sørge for at prosjekteringen av ladeinstallasjonen er i orden og at samsvarserklæringen er på plass.

Ytre påvirkning er også noe man må undersøke ved installering av elbillader. Elbilladere kan være utsatt for ytre påvirkning, som blant annet påkjørsel, om overflaten der hvor kableen skal ligge kan slite på kableen og klima. Eksempler på ytre påkjenning som følger av klima, er vanninntrengning, snø og saltsprut fra vei eller sjø. Dersom man benytter ladere som ikke er produsert i Norge, er det verdt å merke seg at disse ikke alltid er tilpasset forholdene her i Norge, både knyttet til snø og lave temperaturer. Tilleggsbeskyttelse på laderen burde vurderes dersom dette er tilfelle.

Ved installering av en elbillader er det også andre faktorer man må ta hensyn til. De fleste elbilene på markedet er dimensjonert for enten enfase 230 V eller trefase 400 V, da med tilgjengelig nøytralleder. Trefase på IT-nett vil derfor kunne skape problemer, og gjennomgås nærmere i kapittel 7.6.4. De største elbilene på markedet vil kreve en elbillader med en sikring på 32 A. Her er det viktig å merke seg at en elbillader med så høy kapasitet kan både skape problemer for installasjonen, men også foranliggende nett. Blant annet kan en elbillader på denne størrelsen føre til ubalanse og støy på nettet, samt kapasitetsproblemer i foranliggende nett. I boligen vil også en elbillader på 32 A kunne skape kapasitetsproblemer i boligen. I slike tilfeller må man derfor vurdere tilgjengeligheten på overbelastningsvernet i boligen.

Elbilladere deles inn i tre ulike kategorier, hurtiglading, semi-hurtiglading og normallading. For husholdninger vil det være mest naturlig å benytte seg av normallading. Veiledningen utgitt av DSB omtaler 3 ulike modus for normallading i husholdninger, og disse vil bli gjennomgått i dette kapittelet. Felles for alle de 3 er at det skal være et uttak per bil, samt at alle kurser for elbilladere skal beskyttes med et strømstyrt jordfeilvern type B, med en utløserstrøm på 30 mA i henhold til NEK400:2018 avsnitt 722.411.3.3. Kravet om jordfeilvern type B, bunner i at elbilens egen lader produserer likestrøm. På grunn av dette er det ikke sikkert at en vanlig jordfeilbryter vil detektere denne jordfeilen, og at den derfor ikke løser

ut.

Mode 1

Mode 1 innebærer at det kun benyttes en vanlig kabel mellom stikkontakt og elbilen, og benyttes i hovedsak på eldre biler eller andre mindre kjøretøy som motorsykler. Når man omtaler dagens elbiler, er denne løsningen utdatert. Kabelen har ingen styringsboks, og strømmen styres derfor av elbilen. Ladestrømmen ligger vanligvis på mellom 8 og 13 A, og det er dokumentert at denne strømmen kan over langvarig belastning føre til varmegang i kabelen og i verste tilfelle brann. Dersom stikkontakten er sikret med 16 A, anbefaler DSB at denne sjekkes daglig. For normallading hjemme mener DSB at det kun er to alternativer, nemlig mode 2 eller mode 3, men de anbefaler sterkt å benytte mode 3.

Mode 2

Mode 2 innebærer at det benyttes en egnet kabel for elbilen, med en styringsboks kalt In-Cable Control Box (ICCB). Denne kabelen følger som oftest med bilen, og omtales i mange tilfeller som en «nødlader» dersom en fastmontert elbillader ikke er tilgjengelig. Kabelen kobles til en vanlig stikkontakt, og ladestrømmen er vanligvis mellom 8 og 16 A. På styringsboksen har man også mulighet for å redusere denne ladestrømmen, dersom det er ønskelig. Det er også styringsboksen på laderen som overvåker jordforbindelsen, samt at den også kontrollerer om det er jordfeil i bilen. Dersom styringsboksen detekterer en feil, vil ladingen stoppe. Ved installasjon av mode 2 skal hver lader ha en egen stikkontakt, sikret med overstrømsvern og jordfeilbryter type B. Man kan også benytte allerede eksisterende stikkontakt, men denne skal ikke være sikret med en høyere sikring enn 10 A.

Mode 3

Mode 3 innebærer at det benyttes en egen fastmontert elbillader for lading av elbilen, spesialtilpasset til dette formålet. På bakgrunn av dette vil denne føre til bedre sikkerhet og er derfor anbefalt. Kontakten som er spesialtilpasset for dette har tre faseledere, jord og en pilotkontakt som styrer ladestrømmen. I motsetning til vanlig stikkontakt som benyttes i mode 1 og 2, er denne kontakten tilpasset belastningen som lading av en elbil vil medføre. Elbilladeren omtalt som mode 3 inkluderer en ladeboks som er fastmontert, med egen kabel med en av tre mulige kontakter for elbiler. De tre mulige typene er type 1, type 2 og tesla. Ved mode 3 lading kan man benytte enten enfase, tofase eller trefase, hvor trefase i det fleste tilfeller anbefales å kun benytte på TN-nett. Dette forklares nærmere i kapittel 7.6.4

I mode 3 benyttes det 30 mA jordfeilbryter type B, hvis ladeboksen ikke har egen jordfeilbryter noe som ofte er tilfelle. Det fremkommer av veiledningen at i følge avsnitt 8.4 i NEK EN 61851-1 [31] skal det maksimalt benyttes sikringer på 70 A for enfase og 63 A for trefase.

Ladeboksen fastmontert på veggen, og ytre påvirkninger må derfor vurderes som tidligere nevnt i kapittelet. Oppheng av kabelen er også en fordel slik at man ikke kjører over denne. [30] Vanligvis sikres elbillader med en sikring på enten 16 A eller 32 A. Mode 3 har også ofte mulighet for laststyring, slik at laderen selv kan fordele den effekten som er tilgjengelig [32]. Det er også viktig å nevne at det i tillegg er et krav om at laderen er beskyttet av et overspenningsvern i installasjonen i henhold til NEK400 avsnitt 722.443.3.1 Spesielle beskyttelsestiltak mot overspenninger [33].

2.12.2 Ulike elbilladere på markedet

På markedet i Norge finnes det flere ulike ladere, men denne rapporten vil ta for seg Easee Home og Zaptec Go.

Zaptec Go

Zaptec Go er en kompakt ladeboks som er kompatibel mot alle elbiler og har en mulig ladeeffekt på opptil 22kW. Denne laderen benytter ladekontakt av type 2. [34]

Oppgitt ladeeffekt fra leverandør er følgende:

- 22kW ved 32A/3-fase TN-nett
- 12.7 kW ved 32A/3-fase IT-nett
- 7.4kW ved 32A/1-fase IT/TN

Easee

Easee er en lader med maks ladeeffekt på 22kW som er kompatibel med alle elbiler. Denne laderen benytter ladekontakt av type 2 og laderen vil automatisk detektere om bilen støtter 3-fas eller ikke. [35–37]

Oppgitt ladeeffekt fra leverandør er følgende:

- 22kW TN-nettverk
- 11kW TN-nettverk
- 7.4kW IT-nettverk / TN-nettverk
- 3.7kW IT-nettverk / TN-nettverk

Kapittel 3

Bakgrunn for oppgaven

Som følge av en økning av elbiler i private hjem vil belastningen på det elektriske nettet også øke. Hvor stor denne belastningen vil bli avhenger av hvordan bilparken vil komme til å endre seg de nærmeste årene. Derfor er det essensielt å undersøke hvordan situasjonen forholder seg i dag og hvordan den vil bli fremover som en følge av det grønne skifte og nye insentiver fra den norske regjering. I dette kapittelet vil det derfor bli drøftet årsaken til den forventede økningen, den norske transportplan samt miljøpåvirkningene elbilen har på omgivelsene.

3.1 Den forventede økningen av elbiler

For å kunne estimere antall ladere, men også for å kunne undersøke kapasiteten til transformatorer, er det viktig å undersøke den forventede veksten av elbiler. I dette kapittelet vil derfor blant annet markedet fremstilles slik at det senere i oppgaven kan lages en prognose for vekst i andel elbiler i årene fremover.

3.1.1 Sammenheng med problemstillingen

I dagens samfunn ser man en stadig økning av elbiler, foreløpig er omkring 13% av den totale andelen biler i Norge i dag registrert som elbiler og det er forventet at denne økningen vil fortsette. Etter hvert som samfunnet tilpasser seg den nye bølgen vil fler og fler investere i elbil, det vil resultere i behov for flere ladere hjemme i private hjem, og langs veien.

Foreløpig er det ikke alle som har elbil og de færreste har to elbiler i samme husstand. Likevel er det forventet at dette vil endre seg raskt etter hvert som fler og fler vil investere i elbiler, enten av egen vilje og ønske, eller som resultat av et påbud fra regjeringen. Dette vil, som drøftet kort tidligere, medføre en økt belastning på nettet. På grunn av dette er det viktig å kartlegge omfanget og konsekvensene av denne økte belastningen. Konsekvenser

dette kan medføre er blant annet overbelastning av fordelingstransformatorer, samt kabler og linjer. Med tanke på kostnadene og arbeid som er knyttet til en utvidelse og en oppgradering av nettet, vil det være viktig å undersøke denne problemstillingen.

I tillegg til dette ser man i dag en endring i forbruksmønsteret til kunder, dette er noe som i en tid fremover vil kunne fortsette å endres. Derfor vil det være et spørsmål knyttet til hvorvidt det er hensiktsmessig å utvide nettet dersom strømmen blir benyttet på en annen måte. Et annet forbruksmønster kan medføre at belastningen ikke øker merkbart, selv om man får nye belastninger som krever høy effekt. Det vil si at nettet potensielt kan være slik det er i dag.

Det vil være rimelig å forvente at det vil skje en økning av andelen elbiler i Norge i dag på bakgrunn av klimamålene regjeringen har satt, samt avtaler de har signert med andre land. I tillegg til dette har flere store bilprodusenter gått ut med at de fra en bestemt dato ikke vil produsere flere drivstoff biler, men heller sette søkelys på elbiler for å bidra til å redusere klimagassutslippene. For eksempel har Volkswagen gått ut med at de planlegger å stoppe produksjonen på kjøretøy med forbrenningsmotorer mellom 2033 og 2035. [38], Andre bilprodusenter som har vært villige til en omlegging er Volvo, Renault og Hyundai. [39]

3.1.2 Nasjonal transportplan

Siden 2004 har regjeringen hvert fjerde år kommet med en ny nasjonal transportplan, det vil si den blir gjennomgått, justert og vedtatt på nytt. Den nasjonale transportplanen beskriver hvilke vei-, jernbane-, havne- og flyplassprosjekter Norges politiske ledelse vil prioritere de neste ti årene i tillegg til hvor mye penger som skal bli benyttet på hvert område [40]. Derfor vil det videre bli drøftet deres plan for tiltak når det kommer til elbil og tilrettelegging for en stadig økning av elbiler og at det skal bli lettere for private å ta et mer miljøvennlig valg når det kommer til kjøretøy.

Under regjeringen til Erna Solberg ble det i 2018 lagt frem Nasjonal transportplan (NTP) for 2018 til 2029. I denne planen ble det satt en rekke mål omhandlende kjøretøy i fremtidens bilpark i Norge. Grunnet oppgavens hovedfokus om en massiv økning av elbilladere i privatboliger, vil et av målene være mest relevant. I NTP er det fastsatt et mål om at alle nyregistrerte personbiler fra år 2025 skal være nullutslippskjøretøy [41]. Nullutslippskjøretøy kan inkludere både elektriske kjøretøy og hydrogenbiler. I tillegg til dette er det også fastsatt i NTP at alle nyregistrerte lette varebiler fra år 2025 skal være nullutslippskjøretøy. Samme årstall gjelder også for bybusser, men i henhold til NTP skal disse være enten nullutslippskjøretøy eller benytte seg av biogass. For nyregistrerte tyngre varebiler, langdistansebusser

og lastebiler er kravet satt til år 2030, med en andel av nullutslippskjøretøy på henholdsvis 100%, 75% og 50% [42].

Som tidligere nevnt, er disse målene satt i NTP for 2018 til 2029, men alle disse målene er videreført i den nasjonale transport planen for 2022 til 2033. Lagt til grunn for den nasjonale transportplanen for 2022 til 2033 er det overordnede målet som man ønsker å nå innen år 2050. For transportsektoren innebærer dette at det innen 2050 skal være et transportsystem i Norge som både er effektivt miljøvennlig og trygt. For å fremstille ressursbruken i denne perioden, er det laget fem delmål under det overordnede målet. På figur 3.1 nedenfor kan man finne disse fem målene. Planen strekker seg over en periode på 12 år, med hovedvekt på de seks første årene når det gjelder utviklingen av transportsystemet i Norge. Selv om målene i seg selv er konkrete og relativt gjennomførbare, er det lagt en del forutsetninger i grunn for at gjennomføringen skal være mulig.



Figur 3.1: Mål for transportsektoren i 2050 [43]

En av de viktigste forutsetningene som er satt i NTP er at ingen prosjekter er låst. Med dette menes at man ikke vet hvilken teknologi som vil være tilgjengelig i fremtiden, og at man derfor ikke vet nøyaktig hva som vil være den beste løsningen i årene fremover. Derfor vil det kunne komme justeringer i årene fremover, noe som blant annet kan påvirke utviklingen av salget av elektriske kjøretøy i Norge. I hele verden er det et stort fokus på å redusere forbruket av fossilt drivstoff, noe som kan medføre nye teknologier knyttet til transportsektoren i fremtiden. På grunn av dette vil det derfor kunne gjøres justeringer i NTP, slik at man på best mulig måte både møter fremtidige utfordringer, samt utnyttelse av ny teknologi som automatisering, nye typer nullutslippskjøretøy eller intelligente transportsystemer. Når det gjelder elektriske kjøretøy i transportsektoren, vil målene angående «*Effektiv bruk av ny teknologi*» og «*Bidra til oppfyllelse av Norges klima- og miljømål*» være veldig sentrale. Sistnevnte mål innebærer blant annet at innen 2030 skal utslipp av klimagasser forårsaket av transportsektoren, halveres. Omlegging til nullutslippskjøretøy er en veldig viktig faktor dersom dette skal være gjennomførbart. [43]

Regjeringen ønsker å gjøre det lettere for privatpersoner å velge elbil, og et av tiltakene de kommer med er derfor å etablere flere elbilladere langs veien, ved for eksempel rasteplasser og lignende. I 2020 ble det innsatt rundt 300 nye ladestasjoner og 3200 nye ladepunkter, og det var til sammen 2960 ladestasjoner med anslagsvis 17 000 offentlige tilgjengelige ladepunkter for elbiler ved utgangen av 2020. 5219 av disse ladepunktene ga mulighet for hurtiglading. Likevel vil det være behov for fler ladere langs norske veier for å holde tritt med den forventede økningen av elbiler i årene fremover. Derfor har Norsk elbilforening anslått at det må installeres 1250 hurtigladerer hvert eneste år for å holde tritt med behovet. [44, 45]

Videre jobber Statens vegvesen nå med rasteplasser og døgnhvileplasser langs med riksveinettet. I desember 2020 vedtok regjeringen en ny strategi for rasteplasser langs riksveiene, og denne strategien gir føringer for å tilrettelegge for ladestasjoner. Det vil si at Statens vegvesen og Nye Veier AS ikke skal etablere og drive ladestasjonene, men legge til rette for at markedsaktørene møter forutsigbare rammevilkår. Her vil et viktig hensyn være å sørge for at brukere av forskjellige typer elbiler kan lade på rasteplasser hvor ladere blir montert. Dersom det ikke skjer, vil det være enkelte biler som ikke har mulighet til å lade på de nye stedene. En ulempe er at dette vil kunne være en bidragsyter til at enkelte vegrer seg fra å investere i elbil. I NTP finner man Nye Veier AS sitt prosjekt «EL 39» som et eksempel på tilrettelegging av infrastruktur for alternative drivstoff. Dette prosjektet innebærer at Nye Veier AS skal undersøke hvilke grep og tilrettelegging som kan gjøres i forbindelse med infrastruktur for elbillading langs veien, med mål om at ladeaktører skal kunne bygge ut flere ladestasjoner langs veien. Pilotprosjektet for EL 39 forgår på E39 på strekningen mellom Kristiansand og Ålgård [44].

Som nevnt har regjeringen gått ut med at i løpet av 2025 skal alle nyregistrerte biler i Norge være nullutslippsbiler. Dette medfører en stor endring hos private og krever som drøftet over, tiltak fra regjeringen for å kunne klare å gjennomføre dette. Foreløpig er det manglende informasjon når det gjelder hva regjeringen har som konkrete planer for at dette skal kunne gjennomføres ut over det som er drøftet i de to foregående avsnittene.

For å få flere til å velge elbil har regjeringen per i dag innført en rekke fordeler som avgiftsfritak, reduserte satser på bomveier, kjørerettigheter, tilgang til kollektivfelt, ingen merverdiavgift på kjøp, samt gratis eller reduserte parkeringsavgifter. Dette har resultert i en økning i salg av elbiler og det er forventet at denne økningen vil vedvare [46, 47].

Disse fordelene ble iverksatt for å motivere flere til å kjøre elbil og ved hjelp av disse vil

det være lettere å velge grønt med tanke på fordelene det gir. Fordelene er som nevnt, en bidragsyter til at folk velger å gå til innkjøp av en elbil. Hvor lenge disse fordelene vil vare, avhenger av hva regjeringen velger. Enkelte vil påpeke at dersom det skal være en fordel må det ligge til grunn et valg slik som det gjør i dag, altså at man kan velge å kjøre en fossil bil eller en elbil. Hvordan det vil forholde seg med disse fordelene når større deler eller hele bilparken er erstattet med elbiler eller andre nullutslippskjøretøy gjenstår å se.

I statsbudsjettet for 2022 er det blant annet fremmet et forslag om å avvikle fritaket på omregistreringsavgiften, samt innføre at også elbiler må betale full trafikkforsikringsavgift [48]. Det er derfor rimelig å anta at fordelene vil fases ut litt etter litt. Lokale fordeler er også per i dag regulert av enten kommune eller fylkeskommune og her er det derfor noe forskjeller. Parkeringsavgift, bompenger og bruk av kollektivfelt reguleres i dag av kommune eller fylkeskommune, og det vil derfor være ulikt på ulike steder i Norge. På noen steder kan dette være gratis, mens andre steder kan ha en lavere sats for elbiler. Gratis lading har også vært mulig i Oslo, men dette er blant fordelene som nå fases ut [47]. Det er derfor rimelig å anta at fordelene vil fases ut litt etter litt.

For å undersøke hvordan bilforhandlere håndterer og forholder seg til det nye påbudet fra regjeringen har gruppen har vært i kontakt med to forhandler på Gjøvik. Først ble Møller Bil Gjøvik kontaktet hvor de informerte om at de per i dag stort sett kun selger elbiler til private kunder som følge av stor etterspørsel. Derfor ga de uttrykk for at de ikke ser for seg at dette vil bli et problem, da de heller ikke tror trenden rundt elbil vil avta de neste årene. De eneste bilene de selger som ikke er elbiler er nyttekjøretøy til bedrifter som har behov for å frakte store ting og som ofte må benytte seg av henger. Fordi etterspørselen per nå er høy når det gjelder elbil er det lite sannsynlig at dette vil endre seg i nær fremtid, det vil si at de planlegger å fortsette som nå og ikke importere flere fossile biler enn det de helt sikkert kommer til å selge.

Videre kontaktet gruppen Sulland Gjøvik BMW som nevnte de samme tingene som det Møller Bil kommenterte. Sulland påpekte at de mest sannsynlig kommer til å selge fossilbiler en tid fremover, men at det er begrenset hvor mye nytt det vil være. Med dette mente de at hos Sulland kan man fremdeles bytte inn fossilbiler, ved kjøp av ny bil. Sulland vil derfor kunne ha tilgjengelig fossilbiler for salg i en stund fremover. I likhet med Møller planlegger ikke Sulland å ta inn flere fossile biler enn det de vet de vil selge før 2025, fokuset deres ligger med andre ord på elbiler. De selger som nevnt stort sett elbiler foruten de bilene som blir byttet inn og nyttekjøretøy.

Det virker som de forhandlerne gruppen har vært i kontakt med har klart å tilpasse seg

den nye reformen helt fint da de per nå selger stort sett bare elbiler. Det vil si at det mest sannsynlig ikke vil bli et problem for dem i fremtiden heller. Sulland, som nevnt i foregående avsnitt, påpekte at de vil fortsette å ta inn fossile biler som er registrert før 2025 for å kunne bytte de mot andre biler. Forhandlere er slik sett forberedt på den nye omveltningen som vil skje i norsk bilpark og vil ikke oppleve store utfordringer som de ikke er forberedt på.

3.1.3 Klimagassutslipp fra transportsektoren

Nasjonal transportplan (NTP), som tidligere nevnt, skal utslipp av klimagassene som følge av transportsektoren i Norge halveres innen 2030. Klimautslippene i Norge skyldes flere ulike faktorer, og blant annet står transport for 32 % av dette. Dersom man ser tilbake i tid, er det en økning på 23 % fra 1990 til 2020 [49]. I følge miljødirektoratet står veitrafikken for henholdsvis 54 % av utslippet i 2020 fra transportsektoren. I veitrafikken er det personbiler som slipper ut den største andelen av klimagasser, og står for hele 49 % av det totale utslippet ifølge miljødirektoratet [50]. Totalt vil dette utgjøre at veitrafikken står for 8,4 % av det totale utslippet i Norge, mens personbiler står for 4,12 % av det totale utslippet [51]. I følge Statistisk sentralbyrå (SSB) vil dette tilsvare 4,1 millioner tonn CO_2 ekvivalenter i 2020.

For å kunne redusere dette utslippet er det blitt gjennomført en rekke tiltak, som kan knyttes tilbake til den nasjonale transportplanen. Blant annet er elektrifiseringen av bilparken et viktig tiltak som også er vektlagt i NTP. Bruk av elektriske kjøretøy medfører ingen utslipp av klimagasser, spesielt her i Norge. Elektrisitet i Norge blir i hovedsak produsert ved hjelp av vannkraft, som er en fornybar energikilde. Dermed vil elbiler kun medføre klimagassutslipp ved produksjon. Imidlertid kan et økt bruk av elektriske kjøretøy i samfunnet medføre økte klimagassutslipp knyttet til for eksempel utbygging av både lav- og høyspentnettet, samt kraftproduksjonen. Et annet tiltak er økte avgifter knyttet til fossilt drivstoff, som gjør det vesentlig dyrere å benytte seg av kjøretøy som benytter dette.

I dag blir elbil sett på som en miljøvennlig bil som fler og fler går til innkjøp av. På tross av at den er miljøvennlig, har den på lik linje som andre type biler, en negativ påvirkning på miljøet og omgivelsene. Dette kommer fra produksjon og avfallshåndtering. Det er en kjent sak at all produksjon har et utslipp som påvirker miljøet i negativ grad. I henhold til Daimler kommer omtrentlig 44,7 % av elbilens CO_2 -utslipp fra produksjonen i sammenligning med diesel eller bensin som har 18% utslipp. Totalt sett har en elbil om lag 24 % mindre CO_2 -utslipp enn en bensinbil, beregnet etter EU-strøm [52].

3.1.4 Bilprodusenters planer for fremtiden

Flere store bilprodusenter har gått ut med at de jobber mot en elektrisk overgang i sin produksjon av biler, fler og fler ønsker å fase ut forbrenningsmotorproduksjon innen få år [53]. BMW har for eksempel gjort store investeringer for å bygge et anlegg som i fremtiden skal bli brukt til elbil produksjon, planen deres er å kun produsere elbiler innen 2024 og dermed bane vei for elbilproduksjon. [54]

Andre produsenter som Volkswagen og Daimler Benz har uttalt at de fremover vil bruke utviklingsressursene på elbiler til fordel for å opprettholde produksjon av fossile biler. Det er tydelig at flere bilprodusenter gjør tiltak for å redusere produksjon av fossile biler til fordel for økt produksjon av elbiler. Utviklingssjefen i Daimler Benz har uttalt følgende: «Vi har ingen planer om å utvikle en ny generasjon forbrenningsmotor; vi fokuserer på elektriske drivlinjer» [55].

3.2 Statistikk over salget av elektriske kjøretøy i Norge

For å anslå videre vekst av elbiler i området, samt energibehov knyttet til kapasitet på fordelingstransformatorer er statistikk et nyttig og viktig verktøy. Ved hjelp av statistikker er det mulig å anslå behovet som kommer i fremtiden og gjøre nødvendige endringer samt tiltak for å møte dette behovet. Dette kapittelet vil derfor kartlegge hvordan markedet i Norge har utviklet seg, samt gjennomsnittlig alder på personbiler.

3.2.1 Utvikling av salget av elektriske kjøretøy

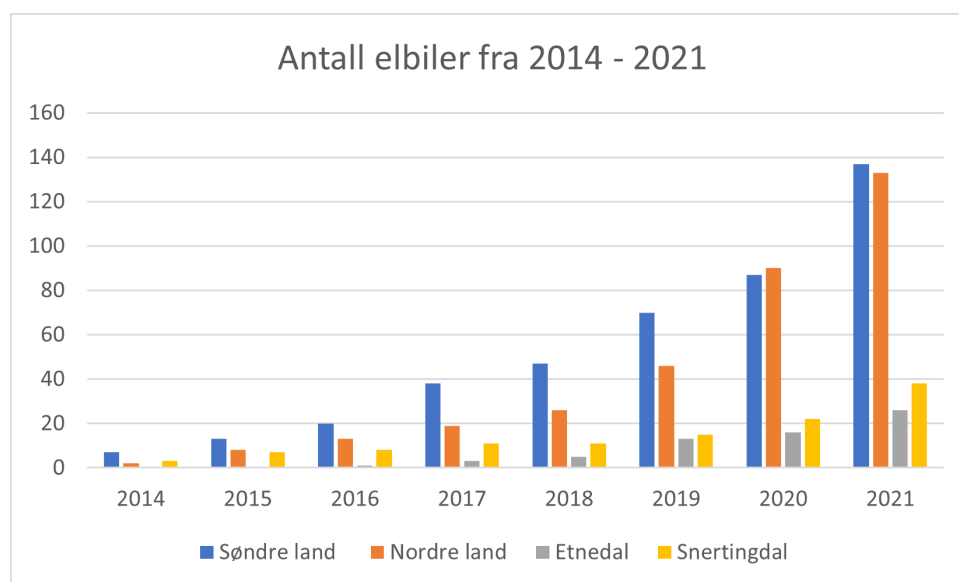
Innen salg av elektriske kjøretøy, ser man i dag en stor økning. Markedet for elektriske kjøretøy har derfor økt betraktelig de siste årene. Den markante økningen i salg av antall elektriske kjøretøy, vil også øke mengden ladere i privatboliger. Som tidligere nevnt vil dette kunne påvirke både den elektriske installasjonen i privatboliger, samt strømmettet. Andelen av elektriske kjøretøy i bilparken har økt betraktelig over kun få år, og det er forventet at denne økningen fortsetter. I 2020 var 54 % av alle nyregistrerte personbiler, elbiler [28]. Totalt i Norge var det i utgangen av 2021 registrert 460 734 elbiler, mens totalt 2 893 987 personbiler var registrert [56]. Dette tilsvarer derfor en andel på 15,92 %. I hele 222 av 356 kommuner sto elbiler for over halvparten av alle nyregistrerte personbiler. Dette er også tilfellet i konsesjonsområdet til Etna Nett AS, henholdsvis Søndre Land, Nordre Land, Etnedal og Snertingdal. I tabell 3.1 kan man se andel elbiler av nyregistrerte personbiler i de 4 kommunene for 2020. For Snertingdal er tallene for Gjøvik kommune benyttet, grunnet tilhørighet.

Tabell 3.1: Andel elbiler av nyregistrerte personbiler i prosent [28].

Kommune/tettsted	Andel elbiler [%]
Søndre Land	53
Nordre Land	55
Etnedal	63
Snertingdal	51

I tillegg til at andelen elbiler i nybilsalget har økt de siste årene, har også bruktimporten av elbiler økt. Dette viser at veksten i elbiler øker kraftigere enn kun det nybilsalget tilsier. I de tre første månedene av 2021 hadde bruktimporten av elbiler økt med 72 % i forhold til de tre første månedene i 2020. Hele 28,4 % av disse var elbiler som var tilnærmet ubrukte [57].

Det er forventet at andelen elektriske kjøretøy i nybilsalget skal øke i årene fremover. Nybilsalget har blitt noe redusert i begynnelsen av 2022, mens andelen elektriske kjøretøy har gått opp. I de første månedene av 2022 var hele 9 av 10 nyregistrerte personbiler, elektriske biler [58]. Totalt i Norge var det i utgangen av 2021 registrert 460 734 elbiler, en andel på 15,92 % av bilparken på totalt 2 893 987 personbiler [56]. For å få et innblikk i veksten av elektriske personbiler, er det i figur 3.2 fremstilt veksten fra 2014 til 2021 i kommunene hvor Etna nett AS har konsesjon. Som man kan se har det vært en tilnærmet eksponentiell vekst de siste 8 årene i Søndre land og Nordre land, mens Etnedal og Snertingdal har hatt en litt lavere vekst.

**Figur 3.2:** Antall elbiler fra 2014 - 2021 i Søndre land, Nordre land, Etnedal og Snertingdal

I de første månedene av 2022 har man sett en forsinkelse i levering av nye elektriske personbiler, i hovedsak grunnet mangel av halvledere. Hovedgrunnen for denne forsinkelsen

er koronapandemien [59], da mange store fabrikker led av nedstengninger i starten 2020. Blant annet rammet disse nedstengningene flere av verdens største produsenter av halvledere. På dette tidspunktet planla flere fabrikker å øke produksjonen grunnet økt etterspørsel som følge av økt popularitet blant elbiler, og nedstengningene førte derfor til store forsinkelser i produksjonen. Derfor er det forventet at det kan forekomme forsinkelser i leveranse av halvledere, og av den grunn elektriske kjøretøy i noen år fremover [60]. Dette kan derfor påvirke markedet for elektriske kjøretøy på ulike måter. Blant annet kan denne mangelen føre til mindre vekst i salget av elektriske kjøretøy enn det som er forventet, basert på tidligere år. På den andre siden kan man også på et tidspunkt få en kraftig økning av antall nyregistrerte elbiler, dersom produksjonen øker i omfang.

3.2.2 Gjennomsnittlig alder på personbiler

Som tidligere nevnt, slår den nasjonale transportplanen fast at alle nyregistrerte personbiler i 2025 skal være nullutslippskjøretøy. Likevel vil ikke dette innebære at alle personbiler i 2025 kommer til å være elektriske kjøretøy. Utfasingen av personbiler med fossilt drivstoff vil kunne ta varierende antall år, avhengig av blant annet alderen på kjøretøy i bilparken. I Norge er personbilene i gjennomsnitt 18,4 år gamle når de ikke lenger benyttes i trafikken. For å kunne estimere økningen av antall elbiler i bilparken, er dette essensielt. I tabell 3.2 vises gjennomsnittsalderen på personbiler i områdene til Etna Nett. For Snertingdal er tallene for Gjøvik kommune benyttet, da Snertingdal tilhører denne kommunen [61].

Tabell 3.2: Gjennomsnittlig alder på personbiler [61].

Kommune / tettsted	Gjennomsnittlig alder [år]
Søndre land	15
Nordre land	15
Etnedal	16
Snertingdal	12

Gjennomsnittsalderen på personbiler i hele Norge i 2020 er 11 år [28]. Dette viser at personbilene i områdene til Etna Nett er høyere enn gjennomsnittet på landsbasis. Årsaken til dette kan være flere. Blant annet kan det skyldes at områdene til Etna Nett ligger utenfor store byer, og at mennesker derfor ikke har samme nytten av nye personbiler. Dersom man sammenligner dette med gjennomsnittsalderen for når personbiler tas ut av trafikken, 18.4 år, ser man at en stor andel av bilene i disse kommunene må skiftes ut innen 3 til 4 år uavhengig av hvilke mål regjeringen har satt i Nasjonal Transportplan. Hvis regjeringen følger planen som er satt i NTP, vil som sagt nyregistrerte personbiler kun være nullutslippskjøretøy i 2025. Med en gjennomsnittsalder i kommunene som tilsier at mange personbiler må

skiftes innen 3 – 4 år, altså omkring 2025, viser at veksten også kan bli større både enn det den har vært før, men også større enn det man forventer. Man kan derfor kunne forvente en vekst som er noe høyere enn det tidligere statistikk kunne tilsi, og dette er essensielt å ta hensyn til ved beregning av fremtidig marked.

3.3 Årsaker til Norges suksess tilknyttet elektriske kjøretøy

Selv om Norge har lavt antall elektriske kjøretøy, er det likevel det landet hvor det er flest elektriske kjøretøy i forhold til antall innbyggere [42]. Grunnen til dette er sammensatt. Et viktig insentiv til dette kan være de mange fordelene Norge har vedtatt til de som velger å skaffe seg en elbil, i tillegg til gode forhold som legger til rette for vekst og implementering av elbiler i den norske bilparken.

3.3.1 Norges satsing på elektriske kjøretøy

Den norske regjeringen innført en rekke fordeler for de som velger å investere i elbil. Disse fordelene motiverer privatpersoner til å gå til innkjøp av en elbil for å bidra til å bli en nullutslipps nasjon og nå målene som er satt for klimaet og miljøet. Som tidligere nevnt inkluderer dette fritak fra bompenger, gratis eller redusert ferageavgift, benyttelse av kollektivfeltet og gratis eller redusert parkering. Per i dag er dette styrt av lokale myndigheter, men som hovedregel skal ikke elbileiere betale mer enn halv sats. I tillegg har også Norge lyktes i salget av elektriske kjøretøy grunnet nasjonale fordeler som fritak fra engangsavgift og merverdiavgift ved kjøp. Likevel er det som nevnt i statsbudsjettet for 2022 innført to nye avgifter på elbiler, nemlig trafikkforsikringsavgiften, tidligere årsavgiften, samt at det er innført omregistreringsavgift fra 1.mai 2022 [48, 62].

Det er fremmet forslag i statsbudsjettet for 2023 om at fritaket fra merverdiavgiften skal fjernes, og ertsattes med en støtteordning for elbiler opp til kr 500 000. Dersom dette forslaget blir vedtatt, vil det tre i kraft 1.januar 2023. På denne måten vil man som kjøper av en vanlig elbil få støtte, men dersom man ønsker en dyrere og finere elbil vil ikke dette medføre støtte. Regjeringen begrunner dette med at man nå kan få elbiler med lang rekkevidde, selv i de lavere prisklassene. Regjeringen ønsker å gi fordeler til de som kjøper vanlig elbiler fremfor fossilbiler, men ønsker ikke at staten skal bidra til kjøp av dyre elbiler for de som har råd til dette [63].

Norges suksess knyttet til elbiler kan derfor skyldes disse fordelene. Avgiftene i Norge benyttes ikke av alle andre land i Europa, noe som indikerer at de ikke kan gi samme fordeler. På den måten vil ikke andre europeiske land kunne vise til fordeler ved overgang til elbiler, bortsett fra i et miljøperspektiv, noe som kan forklare hvorfor Norge er landet med flest el-

biler per innbygger som nevnt innledningsvis [42].

En annen årsak knyttet til Norges suksess kan være økonomi. Ifølge Statistisk sentralbyrå (SSB) ligger Norges bruttonasjonalprodukt (BNP), 40 % over snittet til Den europeiske union (EU), noe som plasserer Norge på en fjerdeplass i Europa [64]. Kjøpekraften i Norge er derfor relativ høy, i forhold til mange land i Europa, noe som kan påvirke nybilsalget vesentlig mye. Innbyggere i et land med BNP vil kunne prioritere økonomien annerledes, da andre varer og tjenester er viktigere enn en ny elbil.

3.3.2 Norge i forhold til andre land i Europa

Norge sammenlignet med andre land i Europa har høy tilgang på fornybar energi, i tillegg til at Norge har større kapasitet på ledningsnett. Andre land i Europa benytter for eksempel gass til oppvarming av bolig [65–67], som vil si at de ikke benytter like mye strøm i private hjem som i Norge. Videre vil dette medføre at inntaket, altså størrelse på overbelastningsvernet, i boligene er mindre. Det igjen resulterer i økte utfordringer når det skal installeres ladere fordi de ikke har den samme kapasiteten tilgjengelig som det Norge har, både på nettet, men også i hver enkelt bolig.

Overgangen andre land i Europa må gjennomføre sammenlignet med Norge vil med andre ord være mye mer krevende med tanke på hvordan nettet er dimensjonert, samt ulike begrensninger man kan møte på i hver enkelt bolig. Her i Norge vil det derfor være lettere å installere en elbillader fordi det allerede er kapasitet på nettet og forholdene ligger til rette for det i private hjem

Som nevnt har Norge god tilgang på fornybar energi gjennom vannkraft. Den strømmen elbilen lader med er produsert på en miljøvennlig måte som bidrar til at elbilen helhetlig har et lavere utslipp, kontra om den lader med strøm som kommer fra for eksempel kullkraftverk. Det gjør Norge til et egnet sted for elbiler for å oppnå et så optimalt og lavt utslipp som mulig sammenlignet med land som ikke har de samme forutsetningene. I tillegg til at det kan sies at det allerede ligger til rette for å installere elbilladere i de fleste norske hjem, er det også gode muligheter for å montere ladere langs med veiene eller på parkeringsplasser. Ved at det blir installert en økt andel langs veiene, vil det gjøre det lettere å ferdes med elbil i Norge og flere vil derfor lettere gå til innkjøp av en elbil.

Kapittel 4

Metode

Kapittel 4 Metode beskriver metoder som er benyttet for å komme frem til resultatene som presenteres i rapporten. Formålet med å presentere metode er for å kunne gjenskape, validere, videreføre og kritisere resultatene i rapporten. Kapitlet gjennomgår og beskriver arbeidsmetoden for de ulike deler av oppgaven. Avsnitt 4.1.1 beskriver metode for kartlegging av dagens elbilmarked, innhenting av statistikker og data, og bearbeidelse av disse. Avsnitt 4.1.2 beskriver hvordan estimering av vekst i bilmarkedet ble utført og utarbeidelse av ulike scenarier. Avsnitt 4.2.1 beskriver hvilken informasjon om distribusjonsnett som ble hentet ut fra beregningsprogrammet trimble, samt hva dette ble benyttet til. Avsnitt 4.3 beskriver hvordan nødvendig informasjon knyttet til den elektriske installasjonen i boligen ble innhentet. Videre beskriver avsnitt 4.4.1 og 4.4.2 ulike metoder som ble benyttet ved kapasitetskontroll av fordelingstransformatorer. Tilslutt omtaler kapittel 4.4.3 validiteten og reliabiliteten til metoden som er benyttet.

4.1 Innhenting og behandling av data fra SSB

For å besvare problemstillingen gjennom prognose for videre vekst av elbiler og energibehovet som vil oppstå, har det vært nødvendig å innhente tall og data for å kunne kartlegge markedet som vil legge grunnlaget for videre benyttet metode.

4.1.1 Kartlegging av markedet

Det ble innhentet data fra SSB for de ulike kommunene beskrevet innledningsvis i kapittel 1, samt for tettstedet Snertingdal. For innhenting av ønsket data ble det benyttet statistikkbanken. I statistikkbanken hos SSB kan man lage detaljerte tabeller, med ønsket innhold for ulike årstall. Der det var tilgjengelig, ble det i denne oppgaven benyttet data fra 2008 til 2021. Fra statistikkbanken ble det derfor hentet ut gjennomsnittsalder for personbiler, antall elbiler og totalt antall personbiler for de respektive områdene beskrevet i kapittel 1.

Tabellene som ble benyttet ga data på kommunenivå, og på grunn av dette var det derfor ikke mulig å hente ut data for Snertingdal. SSB ble derfor kontaktet, og det ble tilsendt statistikk for antall elbiler, samt bilparken totalt i Snertingdal fra 2014 til 2021.

4.1.2 Prognose for videre vekst

I Excel ble innhentet data fra SSB sortert for å kunne estimere fremtidig vekst i årene fremover. Data omhandlende antall registrerte elbiler de siste årene, samt antall personbiler totalt ble benyttet som datagrunnlag for videre estimering av vekst i bilparken. For å kunne estimere utviklingen i årene fremover i bilparken, ble det beregnet prosentvis vekst de siste årene. Deretter ble det beregnet gjennomsnittlig vekst, både for elbiler og bilparken totalt, for å kunne benytte dette i prognosen frem til år 2025. Framskrivningene omhandlende bilparken i årene fremover basert på tidligere utvikling, er i rapporten omtalt som scenario 1. I tillegg til dette ble også innsamlet data benyttet for to andre scenarier, hvor veksten i andel elbiler enten reduseres eller økes. I scenario 2 er det antatt en lavere vekst enn hva markedet skulle tilsi, grunnet ulike årsaker som blant annet mangel på deler som er essensielle i en elbil. I scenario 3 er det antatt en høyere vekst enn hva markedet skulle tilsi, grunnet ulike årsaker som blant annet høy gjennomsnittsalder på personbilene i de fire områdene. Alle 3 scenarioene blir nærmere beskrevet i kapittel 5.3.

4.2 Innhenting og behandling av data for ulike transformator-kretser

Det ble innhentet data fra beregningsprogrammet Trimble og AMS-målere, Avanserte måle- og styringssystemer (AMS) for å besvare et av delmålene i rapporten som omhandler kapasitetskontroll av fordelingstransformatorer. Det ble undersøkt kapasiteten på transformatoren for ti ulike transformator-kretser. De ti ulike trafokretsene besto av syv tettbebygde boligområder, ett område med spredd bebyggelse, samt to hytteområder.

4.2.1 Data fra Trimble

Fra beregningsprogrammet Trimble ble det hentet ut informasjon knyttet til de ti ulike transformator-kretsene. Dette datagrunnlaget besto av informasjon om fordelingstransformatoren, samt informasjon om kabler og linjer i kretsen. Innhentet datagrunnlag var en lastflytberegning av lavspentkretsen, og måtte derfor sorteres før det kunne benyttes til be-

regninger. Datagrunnlaget ble sortert slik at kundene knyttet til fordelingstransformatorene ble funnet. Denne informasjonen ble senere knyttet opp mot AMS-målingene for å kunne kontrollere kapasiteten på fordelingstransformatorene.

I tillegg til dette ble det også hentet ut informasjon omhandlende årstall og kapasitet til alle transformatorene i hele området. Først og fremst måtte alle fordelingstransformatorene som forsyner kunder sorteres ut, da det kun er disse som er av interesse videre i rapporten. Videre ble fordelingstransformatorene sortert etter størrelse og årstall. For å kunne utføre en kapasiteteskontroll av alle fordelingstransformatorene i området, er man avhengig av å vite både størrelse og antall tilknyttede kunder til hver transformator. Det ble derfor innhentet datasett fra Trimble som ga ønsket informasjon. Dette datasettet inkluderte omtrentlig 15 000 kundepunkter, fordelt på over 900 fordelingstransformatorer. For at dette kunne benyttes i beregninger, måtte det kartlegges antall kunder tilkoblet hver fordelingstransformator.

Videre er det også essensielt å kartlegge kapasiteten på de ulike transformatorene. Grunnet begrensede spørringer man kunne benytte i programmet Trimble, medførte dette at man ikke kunne hente ut et datasett som inkludert de to ønskede variablene, henholdsvis kapasitet og antall tilknyttede kunder. Dermed måtte datasettet som inkluderte alle kundepunktene, ses i sammenheng med datasettet som inkluderte alder og kapasitet. I programmet Trimble har hver enkelt fordelingstransformator et unikt identifikasjonsnummer, og dermed måtte dette nummeret kobles sammen i de ulike datasettene. På denne måten ble det funnet antall kunder tilknyttet alle fordelingstransformatorene i området, med tilhørende kapasitet. Videre ble derfor denne informasjonen benyttet, sammen med gjennomsnittlig forbruk per kunde beregnet ved hjelp av AMS-målinger, for å kontrollere kapasiteten på alle fordelingstransformatorene. Deretter ble det estimert hvor mange av fordelingstransformatorene som ble overbelastet ved et utvalg ulike scenarioene. Knyttet til dette vil det være en risiko for feil, grunnet at summeringen av datasettene ble gjort i Excel. Det kan derfor være en risiko for at antall tilknyttede kunder kan være fravikende fra realiteten i noen tilfelle. Datasettet som ble tilsendt inneholdt informasjonen beskrevet ovenfor, men også vesentlig mer tilleggsinformasjon som for oppgaven ikke var av interesse. Dette måtte derfor lukes ut.

Scenarioene omtalt her, er ikke de samme som for prognosen i vekst, men likevel bygger de på hverandre. Ved estimering av maks belastning man kan forvente i fremtiden, er det benyttet seks ulike scenario hver, for totalt tre undersøkelser. De tolv første scenarioene tar for seg ulik grad av samtidighet i benyttelsen av elbillader gjennom dagen, ulik ladeeffekt, samt ulikt antall kunder med elbil. Disse scenarioene er nærmere beskrevet under kapittel 7.4 og 7.5. Videre tar de resterende seks scenarioene for seg kun ulik andel boliger med elbil, og er nærmere beskrevet under kapittel 7.4.1.

4.2.2 Data fra AMS-målere

For å kunne besvare et av delmålene i rapporten omhandlende kapasitetskontroll av fordelingstransformatorer ble det innhentet data fra AMS-målere. AMS-målinger ble innhentet for de ti transformatorkretsene. Det ble innhentet AMS-målinger for 12.februar 2021, da dette var den dagen med høyest timesforbruk som har blitt registrert [68]. Videre ble det også innhentet informasjon om årsforbruk for de samme ti transformatorkretsene. Datasettet som ble tildelt måtte sorteres, slik at det kunne kobles sammen med riktig data for transformator kretsene innhentet fra Trimble. Datasettene inkluderte både timesforbruk for 12.februar 2021, samt det totale årsforbruket i 2021. Før dataene kunne benyttes, måtte tilkoblede hus som kun var registrert, men ikke i bruk, lukes ut. Dette gjaldt både for timesforbruk, samt årsforbruk

Først ble gruppen fortalt at AMS-målinger ikke var mulig å hente ut på en enkel måte, og at dette derfor ville ta for mye tid. Derfor ble det undersøkt ulike metoder for estimering av lasten på transformatoren, men ingen metoder ga tilfredstillende resultat. En av metodene som ble vurdert var å kun benytte gjennomsnittstall for årsforbruk, og benytte Velanders formel for beregning av maks effekttrekk. Gjennomsnittlig årsforbruk ble funnet på SSB, og dette ble senest registrert i 2016. Ved benyttelse av dette i beregningen, ble maks effekttrekk usannsynlig høyt for alle de ulike transformatorkretsene. I følge beregningene som da ble gjort, var flere av transformatorene allerede overbelastet, uten at en økning av antall elbilladere i husholdningene ble tatt i betraktning. På bakgrunn av dette ble det derfor besluttet å igjen etterspørre AMS-målinger, grunnet resultatene som ble funnet ved bruk av gjennomsnittlig årsforbruk. Kun tre uker i forkant av innleveringen, ble det tilsendt AMS-målinger for de ulike transformatorkretsene. Selv om det var kort tid igjen, ble det besluttet å benytte disse for å kontrollere kapasiteten til fordelingstransformatorene ved en økning av antall elbilladere i private hjem. Dette ble gjort grunnet de urealistiske resultatene som ble oppnådd ved benyttelse av gjennomsnittlig årsforbruk, samt at gruppen ønsket et mer pålitelig resultat.

4.3 Innhenting og behandling av data fra VOKKS installasjon

Gruppen var i kontinuerlig dialog med ulike fagpersoner i bedriften knyttet til ulike problemer og for å innhente nødvendig informasjon om dagens situasjon. Videre ble NEK400 benyttet for å sikre at arbeidet som ble utført er innenfor gjeldende lover og regler.

4.4 Bestemmelse av kapasitet på transformator

Et av delmålene i denne rapporten omhandlet kapasitetskontroll av fordelingstransformatorer. Det ble derfor undersøkt om kapasiteten var tilstrekkelig, ved en økning av antall elbilladere i private hjem. For å undersøke denne kapasiteten ble det benyttet to ulike metoder for beregning, henholdsvis forventet effekttrekk ved hjelp av AMS-målinger og Velanders formel.

4.4.1 Forventet effekttrekk ved hjelp av AMS-målinger

For å kartlegge belastningen på de ulike fordelingstransformatorene, ble det også benyttet AMS-målinger. I denne metoden ble det benyttet reelle målinger, av timesforbruk gjennom en hel dag. Videre ble maksimalt effekttrekk hver time fra hver enkelt bolig summert, for å kunne kartlegge maksimal belastning på transformatoren. Som beskrevet i 4.2.2 ble det benyttet målinger fra 12.februar 2021. Aldri før har det blitt registrert et høyere timesforbruk enn 12.februar 2021, noe som gjør at dimensjoneringen blir mer pålitelig med tanke på overbelastning. Dersom transformatorene er tilstrekkelig på denne dagen, vil transformatorene i de fleste tilfeller også være tilstrekkelig ved tilsvarende kalde dager i fremtiden.

Ved benyttelse av AMS-målinger, vil man kunne estimere en mer nøyaktig belastning, også ved en økning av antall elbilladere i private hjem. Grunnen for dette er at man baserer beregningene på reelle målinger, samt at man kan ta hensyn til at elbillader er en relativt ny type belastning. En elbillader krever ofte høy effekt, og dette er noe man kan ta hensyn til ved benyttelse av denne metoden. I tillegg vil man ved benyttelse av denne metoden kunne ta hensyn til samtidighet, samt når på dagen ladingen av elbilen forekommer. Scenarioene som er benyttet ved kontroll av kapasiteten til fordelingstransformatorer er nærmere beskrevet i kapittel 7.3.2 og 7.3.3.

Selv om man kan få et mer pålitelig resultat ved benyttelse av AMS-målinger, har også denne metoden noen svakheter. For det første benyttes det kun målinger fra en dag i beregningene. Dersom man istedenfor hadde benyttet timesforbruk fra dagene med høyest strømforbruk gjennom flere år, ville dimensjoneringen blitt enda mer pålitelig. I tillegg var også 2021 preget av koronapandemi og hjemmekontor, noe som kan ha medført et høyere strømforbruk enn normalt. Dette kan også være årsaken til den relativt flate forbruksprofilen som er presentert i kapittel 7.1.1. For det andre vil det være en fare for overdimensjonering, ved at man benytter dagen med høyest strømforbruk som har blitt registrert. Det samme vil også være tilfelle dersom man benytter AMS-målinger fra den kaldeste dagen i året, da det kan hende at et tilsvarende høyt forbruk egentlig kun inntreffer et par ganger i året. I dette tilfelle vil en overdimensjonering bety at man antar at en overbelastning av transformatoren

inntreffer tidligere enn hva det i realiteten gjør. Samtidig vil benyttelse av denne metoden også medføre en fare for underdimensjonering ved at man benytter en dag med for lavt forbruk som grunnlag. Underdimensjonering vil tilsi at transformatoren blir overbelastet før det som er estimert. Dersom man tenker på leveringssikkerhet knyttet til elektrisitet, vil dette være mest alvorlig. Overdimensjonering vil være mest alvorlig dersom man skal vurdere det økonomiske aspektet knyttet til en eventuell utvidelse av strømmettet.

Knyttet til beregningene som er utført 7.3.2, 7.3.3 og 7.4.2 er det noen usikkerheter som kan ha påvirket resultatene som er fremstilt. For det første er det ikke kartlagt hvilke boliger som allerede har elbillader installert. På bakgrunn av dette vil boliger som allerede har installert elbillader, fremdeles inkluderes i beregningen. Dette medfører at det kan ha blitt beregnet med flere elbilladere, enn hva som faktisk er realiteten.

4.4.2 Velanders formel

Den første metoden som ble benyttet for å kontrollere kapasiteten på fordelingstransformatorene, var Velanders formel. Velanders formel beregner maks effekttrekk, basert på reelle målinger av totalt energiforbruk gjennom året. I formelen benyttes Velanders koeffisienter som er avhengig av hvilket område man befinner seg i. For å kontrollere kapasiteten på transformatorene, ble det benyttet gjennomsnittlig energibehov per dag. Hvor stort dette energibehovet er, samt hvordan det er beregnet, er omtalt i kapittel 6.2.3. Videre ble det kartlagt om kapasiteten til transformatoren var tilstrekkelig, med et visst antall boliger med elbilladere.

Denne metoden benyttes for å kunne sammenligne resultatene med AMS-målingene, selv om den har tydelige svakheter. Koeffisientene i Velanders formel baseres på målinger, og de kan dermed være utdatert i forhold til dagens lastprofil i husholdninger. En elbillader er også en ny type belastning, og den tas derfor ikke hensyn til ved benyttelse av Velanders formel. Ved lading av elbil kreves det ofte høy effekt, som medfører en ekstra belastning på strømmettet. I tillegg vil også samtidighet være viktig ved kontroll av kapasiteten. Dette er også noe man ikke får tatt hensyn til ved benyttelse av Velanders formel. Dette vil bli diskutert senere i rapporten, i kapittel 8.1.3.

4.4.3 Validitet og reliabilitet

Dataene som er innhentet er relevante for problemstillingen, fordi de legger grunnlaget for beregningene som er blitt utført og benyttet videre. I tillegg er målingene valide på bakgrunn av kilden de er hentet fra, som i dette tilfellet er AMS-målerne. Smartmåleren skal

i hvert tilfelle måle det reelle forbruket til kunden, det vil si at gyldigheten til dataene vil være sikker ved hver måling og dermed er dataene valide.

Reliabiliteten til dataene som er benyttet i denne metoden er pålitelige fordi de ble innhentet fra AMS-målerne som er et standardisert og kalibrert verktøy benyttet av nettleverandørene i Norge for å måle strømforbruket. Derfor vil det i utgangspunktet være mulig å gjenskape dette prosjektet ved å benytte den samme metoden og oppnå det samme resultatet. Som et resultat av få målinger som baserer seg på fjoråret, som var sterkt preget av koronapandemien, vil resultatet antagelig avvike ved den neste gjennomføringen. De innhentet målingene er avvikende fra det som er forventet, basert på historiske målinger.

[69]

Kapittel 5

Prognoser for vekst av elbiler

Andelen elbiler i Norge har vokst kraftig i de siste årene, og som tidligere nevnt vil en økt andel elbilladere kunne medføre overbelastning spesielt på distribusjonsnettene i Norge. For installasjonsbedrifter er også veksten i antall elbiler vesentlig informasjon, med tanke på personell som kreves i årene fremover, samt innkjøp av elbilladere. Statistikken for elbilsalget presentert i kapittel 4 er som nevnt viktig for å kunne estimere fremtidig vekst i antall elbiler i Norge. I dette kapitlet blir det derfor presentert prognose for tidligere vekst og ut fra dette peke på fremtidig vekst av antall elbiler i konsesjonsområdene til Etna Nett AS frem til år 2025, basert på data hentet fra Statistisk Sentralbyrå.

5.1 Tidligere prognoser for vekst av antall elbiler i Norge

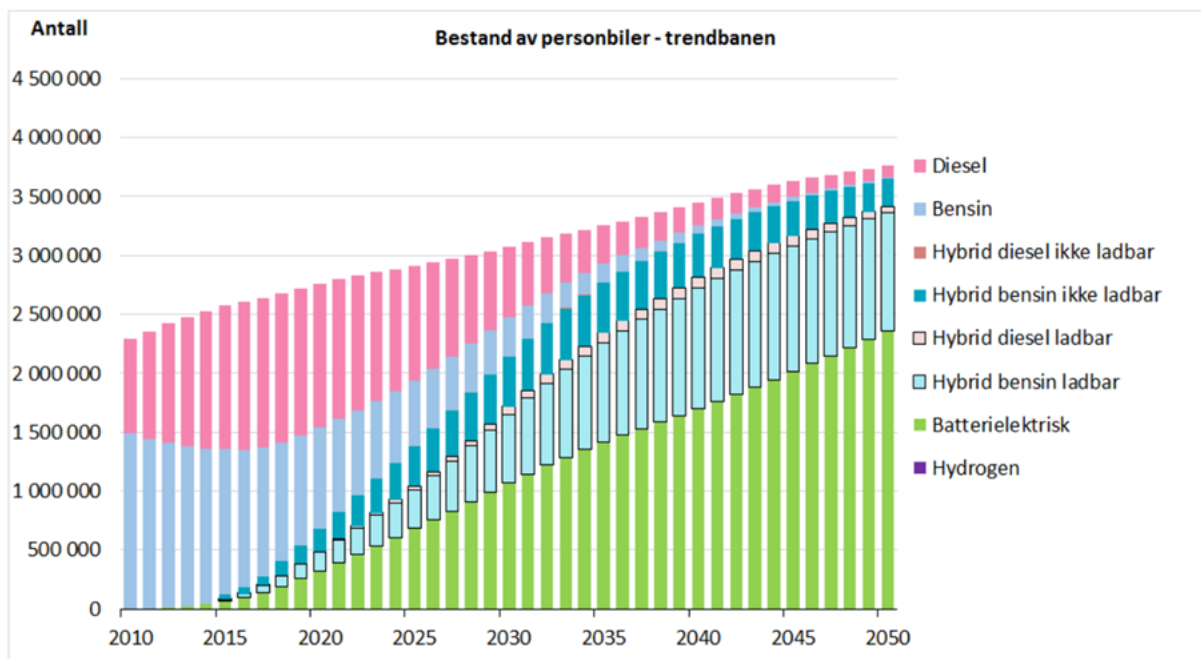
For å kunne estimere fremtidig marked for elbiler, er det som nevnt vesentlig å undersøke hvordan markedet har utviklet seg de siste årene. I tillegg til dette vil det også være hensiktsmessig å undersøke tidligere prognoser knyttet til veksten av elbiler. Ved å undersøke dette vil man kunne se hvilke framskrivninger som har vært mest korrekte, for å kunne finne den beste metoden for fremtidig prognose.

5.1.1 TØIs framskrivninger frem mot 2050

I 2016 publiserte Transportøkonomisk institutt (TØI), en rapport hvor de undersøkte kjøretøyparkens utvikling frem mot år 2025 ved hjelp av modellen bilgenerasjonsmodellen (BIG). Denne rapporten ble utarbeidet i et samarbeid mellom TØI, Statens vegvesen og SINTEF. Modellen BIG ble utviklet av TØI, og benyttes for å kunne estimere fremtidig vekst i bilparken [70].

TØI har lagt frem to ulike prognoser for vekst, hvor den første viser en videreføring av markedet for 2012 til 2015, mens den andre følger en ultralavutslippsbane basert på målene

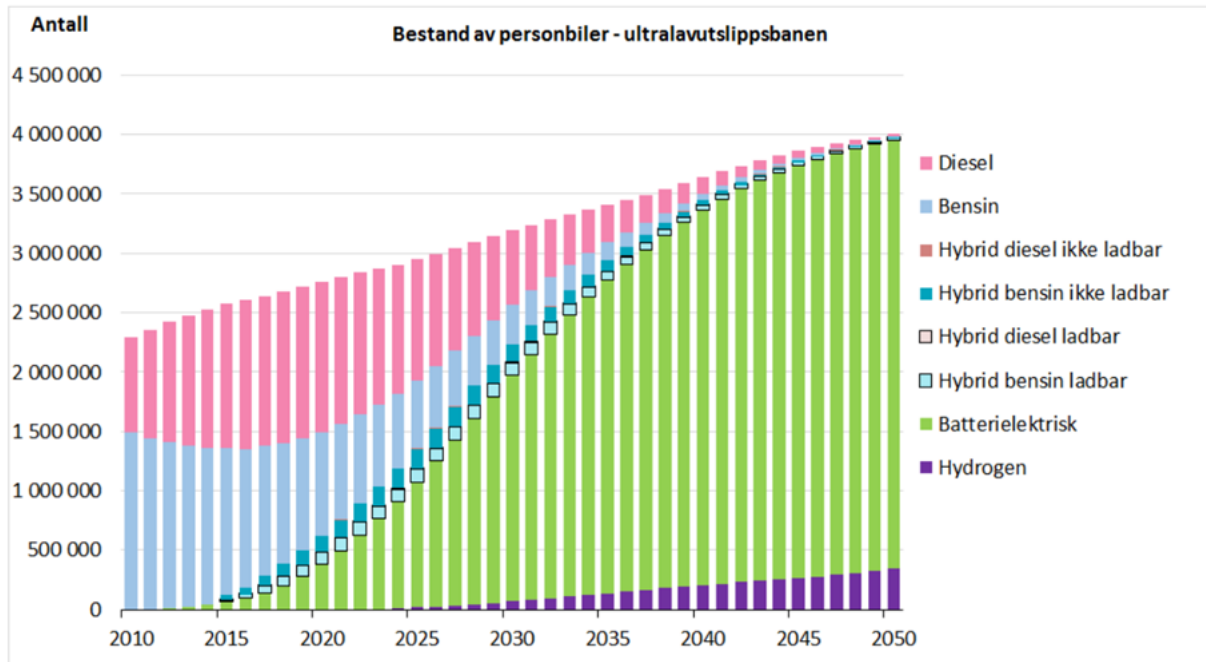
satt i nasjonal transportplan. Målene i NTP som er lagt til grunn i denne rapporten er lagt frem for 2018 – 2029, men inkluderer mange av de samme målene som planen lagt frem for 2022 – 2033. Blant annet inkluderer dette at det skal legges til rette for at flest mulig kan velge nullutslippskjøretøy ved anskaffelse av ny bil, samt at innen 2025 kun skal registreres nullutslippskjøretøy [71]. På figur 5.1 kan man finne prognosen fra TØI dersom markedet fremover følger samme vekst som tidligere.



Figur 5.1: Bestand av personbiler fra 2010 til 2050 ved videreføring av markedet [70]

Ved avlesning på figur 5.1, kan man se at TØI estimerte at det skulle være mellom 350 000 – 400 000 elbiler i Norge ved utgangen av 2021. Som nevnt i kapittel 3.2.1 var det i utgangen av 2021 registrert 460 734 elbiler totalt i Norge, noe som indikerer at veksten har økt de siste årene. Denne utviklingen inkluderer også at 94 % av nybilsalget i 2025 er elbiler, samt hybridbiler. Totalt står nullutslippskjøretøyene for 46 % av alle nyregistrerte biler i 2025. Med tanke på regjeringens planer om kun nullutslippskjøretøy i 2025, vil ikke denne utviklingen tilfredsstillende målene som er satt.

Som tidligere nevnt estimerte TØI også er framskrivning mot 2050, som legger målene presentert i NTP 2018 – 2029 til grunn. På figur 5.2 kan man finne TØIs prognose for vekst i bilparken, med målene satt i NTP 2018 – 2029 lagt til grunn.



Figur 5.2: Bestand av personbiler fra 2010 til 2050 etter ultralavutslippsbane [70]

Ved avlesning på figur 5.2 kan man se at TØI estimerte at det skulle være omtrentlig 400 000 – 450 000 elbiler i Norge i 2021, av omtrentlig 2 750 000 personbiler. Elbiler vil derfor være mellom 14,55 % og 16,36 % av bilparken i 2021. Dette er veldig nærmere det faktiske antallet på 460 734 elbiler, og denne modellen har derfor estimert en mer riktig prognose. Videre estimerer modellen at nullutslippskjøretøy, altså både elbiler og hydrogenbiler, skal utgjøre 36 % av den totale bilparken i 2025. Denne modellen følger som sagt målene satt i NTP 2018 – 2029, at det kun skal registreres nullutslippskjøretøy i 2025, og i følge modellen vil 96 % av nybilsalget i 2025 være nullutslippskjøretøy [70].

5.2 Fremtidig prognose for 2022 til 2025 basert på data-grunnlag fra SSB

Dette delkapittelet vil presentere prognose for vekst av elbiler fra år 2022 til 2025. Data-grunnlaget som er benyttet er hentet fra tabeller fra SSB, og det er hentet tall fra hver enkelt kommune. Det er valgt å kun undersøke veksten for helelektriske biler, og hybridbiler, både ladbare og ikke, vil derfor være inkludert i statistikken vedrørende resten av bilparken.

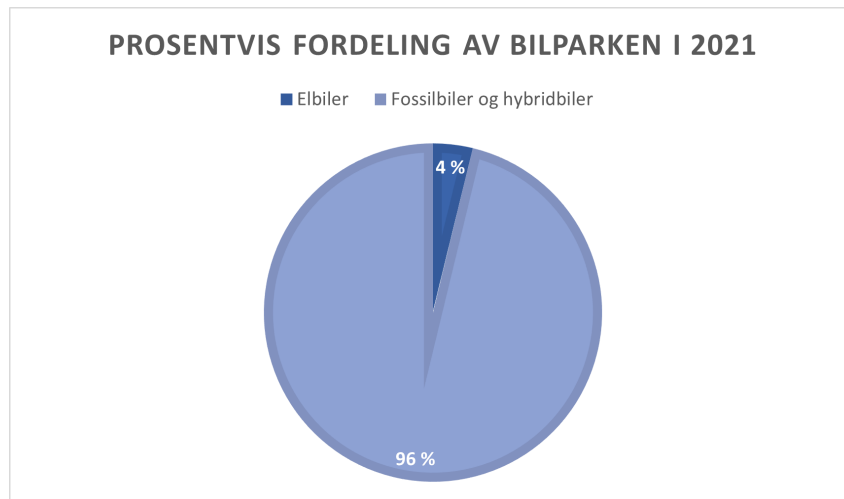
Beregningene er basert på totalt antall registrerte elbiler i kommunen, slik at man både tar hensyn til nyregistrerte elbiler, men også elbiler hvor det har blitt gjennomført et eierskifte. Grunnen til dette er at ved estimering av behovet knyttet til antall ladere, er man avhengig av å vite totalt antall og ikke kun de elbilene som er nyregistrert i kommunen. Ved å benytte

totalt antall registrerte elbiler i kommunen antar man at de som allerede eier en elbil, også har installert en elbillader. Behovet for ladere er derfor lik veksten av antall elbiler man kan forvente hvert enkelt år. Dette vil forklares nærmere under kapittel 7.6.2

For å kunne estimere veksten, er det beregnet prosentvis vekst fra de siste årene. For alle kommunene, bortsett fra Snertingdal, er det hentet datagrunnlag helt tilbake til 2008. Deretter er den prosentvise veksten analysert, og gjennomsnittsvekst for de siste årene er beregnet. Dersom det er veldig store variasjoner i veksten, er det beregnet gjennomsnitt fra årene hvor veksten er mer jevn. Dette er gjort for å kunne få best mulig estimat for veksten i fremtiden. Blant annet vil dette inkludere at vekstrater fra de første årene, ikke blir tatt med i gjennomsnittberegningen for videre vekst. Grunnen for dette er at vekstraten i de første årene, hvor det i de fleste tilfeller gikk fra å være registrert 1 til 2 - 4 elbiler, ble veldig høy. Det er derfor besluttet at vekstrater fra og med 200 % ikke tas med i beregningen av gjennomsnittsvekst, da dette kan gi en urealistisk høy vekst. Denne beregningen er gjort både for elbiler, samt bilparken generelt. Datagrunnlaget er hentet fra SSB, fra tabell 07849 [61].

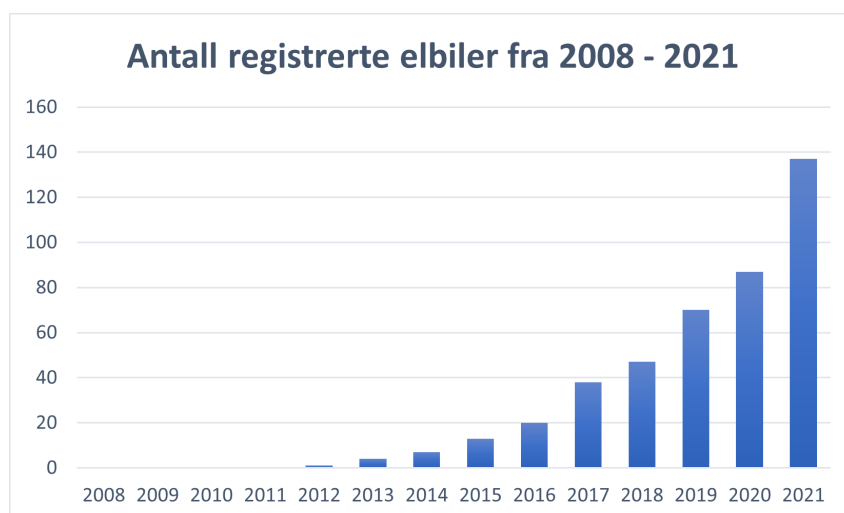
5.2.1 Søndre Land

I Søndre Land var det i 2021 registrert 137 elbiler, av totalt 3625 personbiler i kommunen. Dette tilsvarer en andel på 4 %. Sammenlignet med Norge er denne andelen veldig lav, da registrerte elbiler i Norge tilsvarer 15,92 % av bilparken som omtalt i kapittel 3.2.1 På figur 5.3 kan man se en visualisering av denne fordelingen i bilparken.



Figur 5.3: Prosentvis fordeling av bilparken i 2021 i Søndre Land

Selv om denne andelen er relativt liten, har veksten i antall registrerte elbiler vært høy de siste årene. Som man kan se på figur 5.4 har det siden 2012 vært en eksponentiell vekst i antall elbiler registrert i kommunen.



Figur 5.4: Antall registrerte elbiler fra 2008 - 2021 i Søndre Land

I Søndre Land har det vært en gjennomsnittlig vekst på 57,37 % fra 2014 til 2021. Vekstraten fra 2012 til 2013 er ikke tatt med i beregningen grunnet den høye veksten på 300 %. Som nevnt i kapittel 5.2 vil inkludering av dette kunne medføre en urealistisk høy vekst. I

bilparken generelt har det vært en gjennomsnittlig vekst på 1,35 %. I tabell 5.1 kan man finne resultatene fra beregninger av veksten, fra 2008 til 2021, for både elbiler og bilparken generelt.

Tabell 5.1: Veksten av elbiler og personbiler fra 2008 til 2021 i Søndre Land basert på markedet

Årstall	Antall elbiler	Vekst av elbiler [%]	Bilparken	Vekst i bilparken [%]
2008	0	-	3047	-
2009	0	-	3057	0,3
2010	0	-	3147	2,9
2011	0	-	3201	1,7
2012	1	-	3229	0,9
2013	4	300,0	3247	0,6
2014	7	75,0	3337	2,8
2015	13	85,7	3379	1,3
2016	20	53,8	3435	1,7
2017	38	90,0	3509	2,2
2018	47	23,7	3533	0,7
2019	70	48,9	3591	1,6
2020	87	24,3	3552	-1,1
2021	137	57,5	3625	2,1

Med en gjennomsnittsvækst på 57,37 %, vil bilparken bestå av 840 elbiler i 2025 av totalt 3825 personbiler. Andelen elbiler i bilparken vil da være på 21,97 %. I tabell 5.2 kan man se veksten i årene fremover, frem til år 2025 dersom veksten konstant er på 57,37 %.

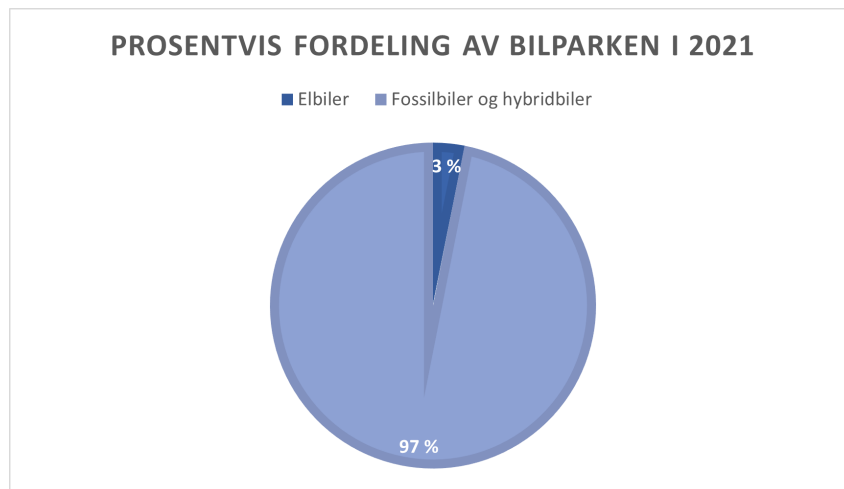
Tabell 5.2: Prognose for vekst i antall elbiler og biler frem til 2025 i Søndre Land basert på markedet

Årstall	Antall elbiler	Bilparken
2020	87	3552
2021	137	3625
2022	216	3674
2023	339	3724
2024	534	3774
2025	840	3825

5.2.2 Nordre Land

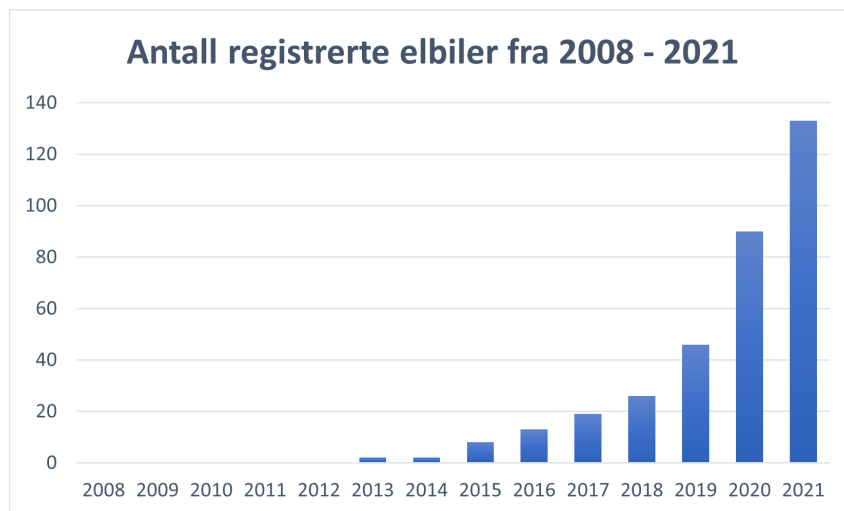
I Nordre Land var det i 2021 registrert 133 elbiler, av totalt 4286 personbiler i kommunen. Dette tilsvarer en andel på 3 %. Sammenlignet med Norge, med en andel på 15,92 %, er

også andelen elbiler i Nordre Land lav. På figur 5.5 kan man se en visualisering av denne fordelingen i bilparken.



Figur 5.5: Prosentvis fordeling av bilparken i 2021 i Nordre Land

Selv om andelen også i Nordre Land er relativt liten, har veksten i antall registrerte elbiler også vært høy de siste årene på samme måte som i Nordre Land. Som man kan se på figur 5.6 har det siden 2013 vært en eksponentiell vekst i antall elbiler registrert i kommunen.



Figur 5.6: Antall registrerte elbiler fra 2008 - 2021 i Nordre Land

I Nordre Land har det vært en gjennomsnittlig vekst på 60,97 % fra 2016 til 2021. Vekstraten fra 2013 til 2015 er ikke tatt med i beregningen av gjennomsnittlig vekst grunnet den høye veksten på 300 %, da dette vil, som omtalt i kapittel 5.2, medføre en urealistisk høy vekst. I bilparken generelt har det vært en gjennomsnittlig vekst på 1,37 %. I tabell 5.3 kan man finne resultatene fra beregninger av veksten, fra 2008 til 2021, for både elbiler og bilparken generelt.

Tabell 5.3: Veksten av elbiler og personbiler fra 2008 til 2021 i Nordre Land basert på markedet

Årstall	Antall elbiler	Vekst av elbiler [%]	Bilparken	Vekst i bilparken [%]
2008	0	-	3591	0,0
2009	0	-	3692	2,8
2010	0	-	3771	2,1
2011	0	-	3858	2,3
2012	0	-	3906	1,2
2013	2	-	3991	2,2
2014	2	0,0	4035	1,1
2015	8	300,0	4077	1,0
2016	13	62,5	4174	2,4
2017	19	46,2	4227	1,3
2018	26	36,8	4195	-0,8
2019	46	76,9	4219	0,6
2020	90	95,7	4249	0,7
2021	133	47,8	4286	0,9

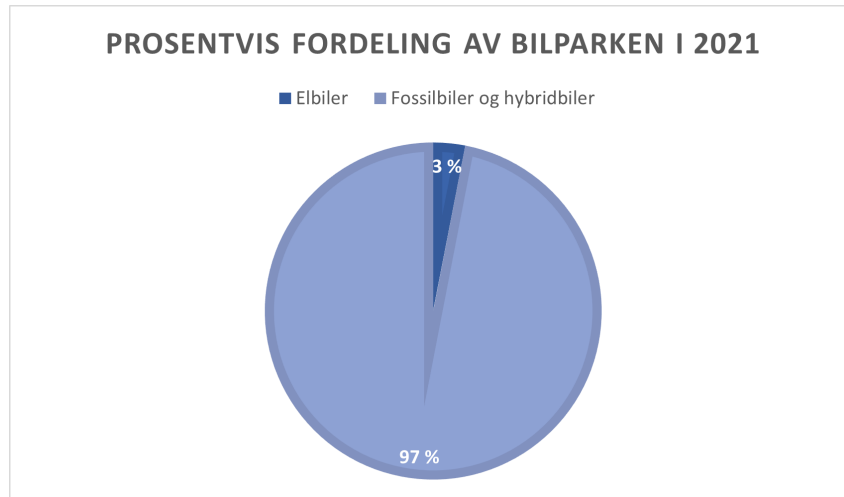
Med en gjennomsnittsvekst på 60,97 %, vil bilparken bestå av 893 elbiler i 2025 av totalt 4527 personbiler. Andelen elbiler i bilparken vil da være på 19,73 %. I tabell 5.4 kan man se veksten i årene fremover, frem til år 2025 dersom veksten konstant er på 60,97 %.

Tabell 5.4: Prognose for vekst i antall elbiler og biler frem til 2025 i Nordre Land basert på markedet

Årstall	Antall elbiler	Bilparken
2020	90	4249
2021	133	4286
2022	214	4345
2023	345	4405
2024	555	4465
2025	893	4527

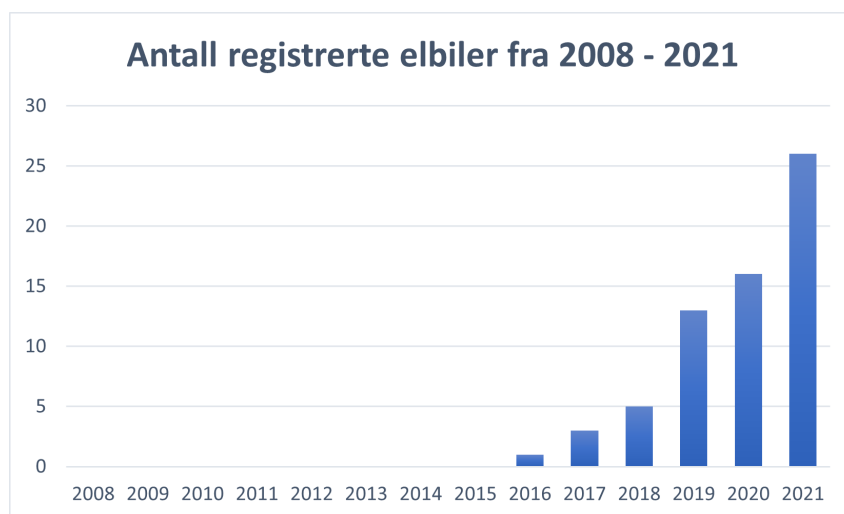
5.2.3 Etnedal

I Etnedal var det i 2021 registrert 26 elbiler, av totalt 854 personbiler i kommunen. Dette tilsvarer en andel på 3 %. Sammenlignet med Norge, med en andel på 15,92 %, er også andelen elbiler i Etnedal lavt. På figur 5.7 kan man se en visualisering av denne fordelingen i bilparken.



Figur 5.7: Prosentvis fordeling av bilparken i 2021 i Etnedal

Andelen elbiler i Etnedal er også relativt liten, men veksten i antall registrerte elbiler har vært veldig høy de siste årene. I Etnedal har veksten i antall elbiler vært høyere enn i både Søndre Land og Nordre Land. Som man kan se på figur 5.8 har det siden 2016 vært en eksponentiell vekst i antall elbiler registrert i kommunen.



Figur 5.8: Antall registrerte elbiler fra 2008 - 2021 i Etnedal

I Etnedal har det vært en gjennomsnittlig vekst på 78,06 % fra 2018 til 2021. Vekstraten fra 2016 til 2018 er ikke tatt med i beregningen av gjennomsnittlig vekst grunnet den høye veksten på 200 %, da dette vil, som omtalt i kapittel 5.2, medføre en urealistisk høy vekst. I bilparken generelt har det vært en gjennomsnittlig vekst på 1,21 %. I tabell 5.5 kan man finne resultatene fra beregninger av veksten, fra 2008 til 2021, for både elbiler og bilparken generelt.

Tabell 5.5: Veksten av elbiler og personbiler fra 2008 til 2021 i Etnedal basert på markedet

Årstall	Antall elbiler	Vekst av elbiler [%]	Bilparken	Vekst i bilparken [%]
2008	0	-	734	-
2009	0	-	749	2,0
2010	0	-	737	-1,6
2011	0	-	755	2,4
2012	0	-	758	0,4
2013	0	-	761	0,4
2014	0	-	778	2,2
2015	0	-	775	-0,4
2016	1	-	794	2,5
2017	3	200,0	862	8,6
2018	5	66,7	836	-3,0
2019	13	160,0	866	3,6
2020	16	23,1	851	-1,7
2021	26	62,5	854	0,4

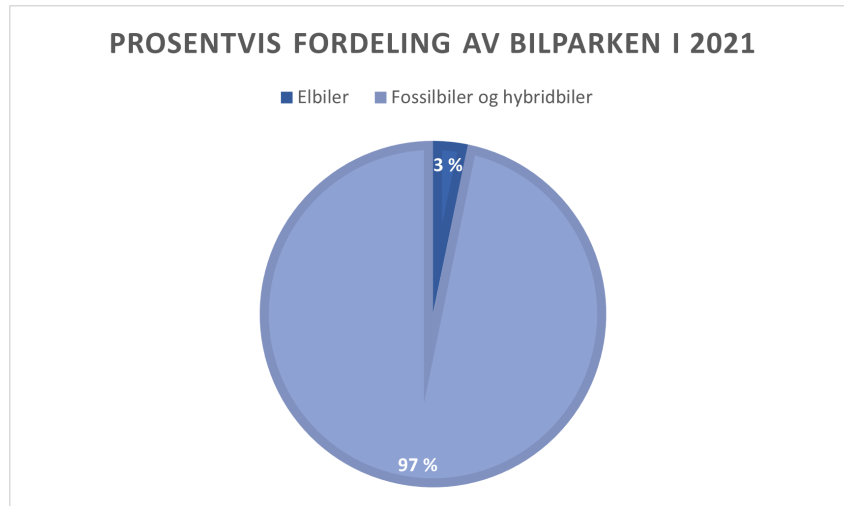
Med en gjennomsnittsvækst på 78,06 %, vil bilparken bestå av 261 elbiler i 2025 av totalt 896 personbiler. Andelen elbiler i bilparken vil da være på 29,17 %. I tabell 5.6 kan man se veksten i årene fremover, frem til år 2025 dersom veksten konstant er på 78,06 %.

Tabell 5.6: Prognose for vekst i antall elbiler og biler frem til 2025 i Etnedal basert på markedet

Årstall	Antall elbiler	Bilparken
2020	16	851
2021	26	854
2022	46	864
2023	82	875
2024	147	885
2025	261	896

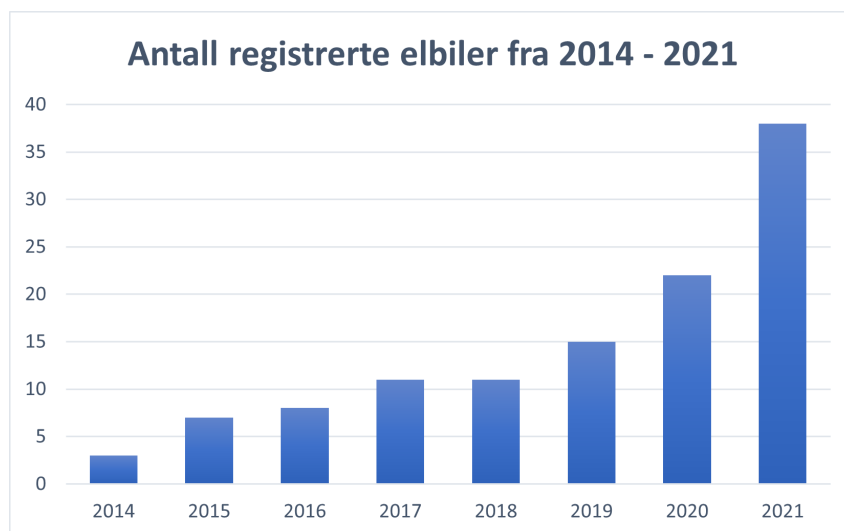
5.2.4 Snertingdal

I Snertingdal var det i 2021 registrert 38 elbiler, av totalt 1177 personbiler i kommunen. Dette tilsvarer en andel på 3 %. Sammenlignet med Norge, med en andel på 15,92 %, er også andelen elbiler i Etnedal lav. På figur 5.9 kan man se en visualisering av denne fordelingen i bilparken. Siden Snertingdal ikke er en egen kommune, er datagrunnlaget blitt tilsendt fra SSB etter forespørsel.



Figur 5.9: Prosentvis fordeling av bilparken i 2021 i Snertingdal

I likhet med både Søndre Land, Nordre Land og Etnedal er andelen elbiler i Snertingdal også relativt liten. Derimot er ikke veksten like kraftig i Snertingdal. Som man kan se på figur 5.10 er veksten mer lineær, og antall elbiler i Snertingdal vil derfor være lavere enn i Søndre Land, Nordre Land og Etnedal.



Figur 5.10: Antall registrerte elbiler fra 2014 - 2021 i Snertingdal

I Snertingdal har det vært en gjennomsnittlig vekst på 48,70 % fra 2014 til 2021. Grunnet ingen vekstrater over 200 %, er gjennomsnittsveksten beregnet ved å benytte beregnet vekst fra 2014 til 2021. I bilparken generelt har det vært en gjennomsnittlig vekst på 0,29 %. I tabell 5.7 kan man finne resultatene fra beregninger av veksten, fra 2014 til 2021, for både elbiler og bilparken generelt.

Tabell 5.7: Veksten av elbiler og personbiler fra 2014 til 2021 i Snertingdal basert på markedet

Årstall	Antall elbiler	Vekst av elbiler [%]	Bilparken	Vekst i bilparken [%]
2014	3	-	1154	-
2015	7	133,3	1182	2,4
2016	8	14,3	1180	-0,2
2017	11	37,5	1203	1,9
2018	11	0,0	1200	-0,2
2019	15	36,4	1202	0,2
2020	22	46,7	1172	-2,5
2021	38	72,7	1177	0,4

Med en gjennomsnittsvekst på 48,70 %, vil bilparken bestå av 186 elbiler i 2025 av totalt 1191 personbiler. Andelen elbiler i bilparken vil da være på 15,60 %. Snertingdal er derfor stedet hvor gjennomsnittsveksten er lavest, samt lavest andel elbiler i 2025 i følge prognosen. I tabell 5.8 kan man se veksten i årene fremover, frem til år 2025 dersom veksten konstant er på 48,70 %.

Tabell 5.8: Prognose for vekst i antall elbiler og biler frem til 2025 i Snertingdal basert på markedet

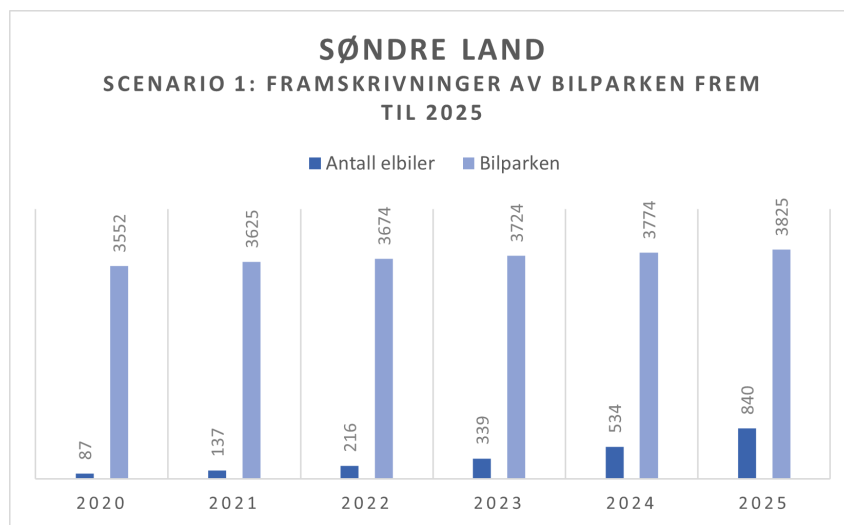
Årstall	Antall elbiler	Bilparken
2020	22	1172
2021	38	1177
2022	57	1180
2023	84	1184
2024	125	1187
2025	186	1191

5.3 Ulike scenarier for mulig vekst

Grunnet koronapandemien som har ført til mangel på halvledere, er det mange rundt omkring i hele Norge som venter på levering av elbil. Derfor er det grunn til å vurdere om veksten vil følge den samme raten som tidligere eller ikke. I dette kapittelet vil det derfor bli gjennomgått ulike scenarier for mulig vekst av andelen elbiler i Norge. Det er valgt å dele inn i tre ulike scenarier. Scenario 1 vil ta for seg forventet vekst basert på statistikk og tidligere vekst, scenario 2 vil ta for seg en lavere vekst grunnet ulike incentiver, mens scenario 3 vil ta for seg en høyere vekst enn tidligere, også grunnet ulike incentiver.

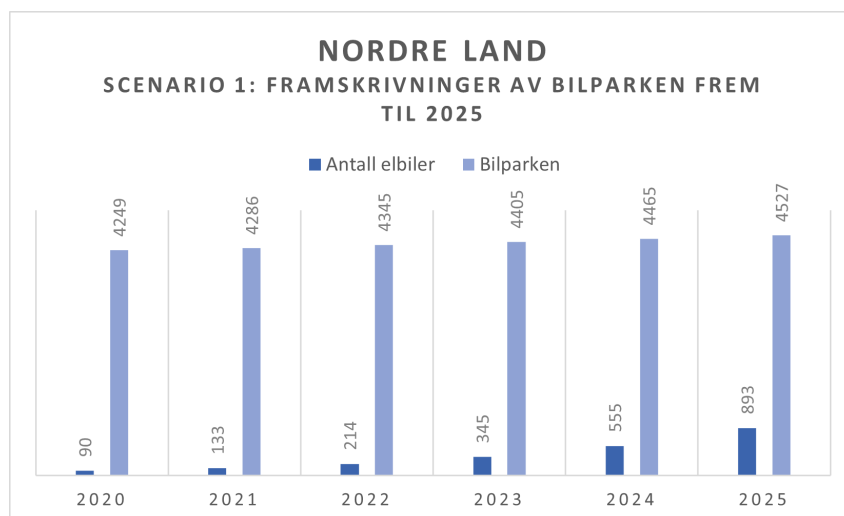
5.3.1 Scenario 1 - følger samme vekst som tidligere

Scenario 1 innebærer at fremtidig vekst for elbiler følger den gjennomsnittlige raten for de siste årene. Dette er presentert i kapittel 5.2, og baserer seg på datagrunnlag hentet fra SSB. For alle de 4 områdene er gjennomsnittlig andel elbiler i 2025 lik 21,6 %, men ved videre beregninger vil det benyttes en andel på 25 %. På figur 5.11 kan man se en visualisering av bilparken frem til år 2025 i Søndre Land, med antall elbiler og hele bilparken generelt. Andelen elbiler i 2025 er 21,97 %. Elbiler er medregnet også i bilparken, slik at dette er totalt antall personbiler i hele kommunen.



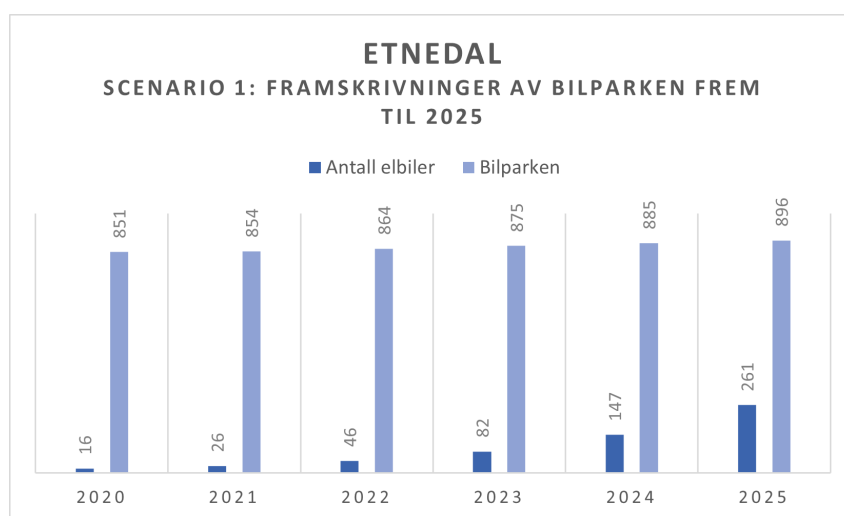
Figur 5.11: Scenario 1: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Søndre Land

På figur 5.12 kan man se en visualisering av bilparken frem til år 2025 i Nordre Land, med antall elbiler og hele bilparken generelt. Andelen elbiler i 2025 er 19,73 %.



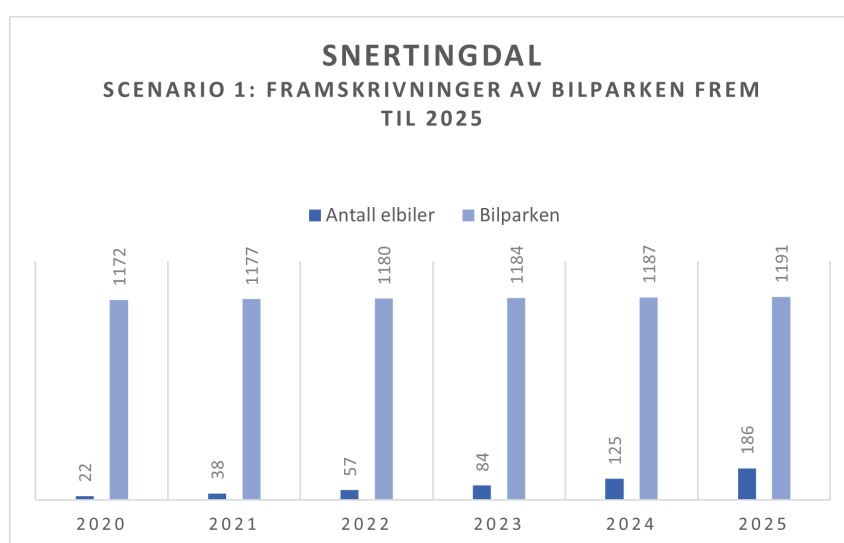
Figur 5.12: Scenario 1: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Nordre Land

På figur 5.13 kan man se en visualisering av bilparken frem til år 2025 i Etnedal, med antall elbiler og hele bilparken generelt. Andelen elbiler i 2025 er 29,17 %.



Figur 5.13: Scenario 1: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Etnedal

På figur 5.14 kan man se en visualisering av bilparken frem til år 2025 i Snertingdal, med antall elbiler og hele bilparken generelt. Andelen elbiler i 2025 er 15,60 %.



Figur 5.14: Scenario 1: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Snertingdal

5.3.2 Scenario 2 - Lavere vekst enn tidligere

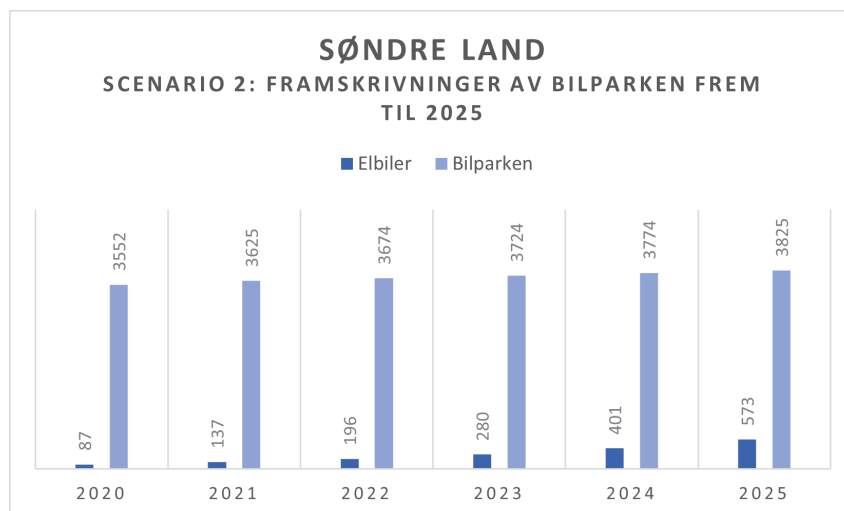
I Norge har man sett en økende popularitet knyttet til elbiler, og markedet har vokst vesentlig de siste årene. Likevel er det i dag ulike situasjoner i verden som kan tilsa at veksten kan avta noe, fremfor det statistikken tilsier. Dersom markedet for elbiler vokser med den samme raten, vil elbiler utgjøre mellom 15,60 % og 29,17 % i av bilparken i de 4 områdene som omtalt i kapittel 5.3.1. Det er flere ulike årsaker som kan føre til en lavere vekst en forventet. En av de viktigste er tilgang på elbiler. Som tidligere nevnt er det mangel på komponenter som er nødvendige ved produksjon av elbiler, da spesielt halvledere. Dette skaper usikkerhet knyttet til veksten av markedet, da det er utfordrende å vurdere tilgjengeligheten til elbiler i årene fremover.

En annen årsak for at veksten kan bli lavere enn det historikken tilsier er krigen i Ukraina, som begynte da Russland invaderte Ukraina den 24. februar 2022 [72]. Krigen i Ukraina medfører også mangel av komponenter som er viktig i produksjonen av elbiler. Dette, i tillegg til den allerede internasjonale mangelen av halvledere, medfører enda lengre ventetid hos fler billeverandører. Komponentmangelen som følger av krigen i Ukraina skyldes at fler av de store billeverandørene, som for eksempel Volkswagen, produserer deler til bilene sine i Ukraina. Særlig er det nettopp helelektriske biler som er hardest rammet. Volkswagens viktigste europeiske produksjonssted er lokalisert nettopp i Ukraina, og denne er nå stengt som følger av krigen [73].

Grunnet stor usikkerhet knyttet til varigheten av krigen, samt tilgjengeligheten av halvledere, er det utfordrende å fastslå akkurat hvordan dette vil påvirke veksten av elbiler her i Norge. Det er også utfordrende å estimere varigheten disse utfordringene har på mangelen av viktige komponenter. Dette fordi det kan ta alt fra ett til fler år før produksjonen tar seg opp igjen.

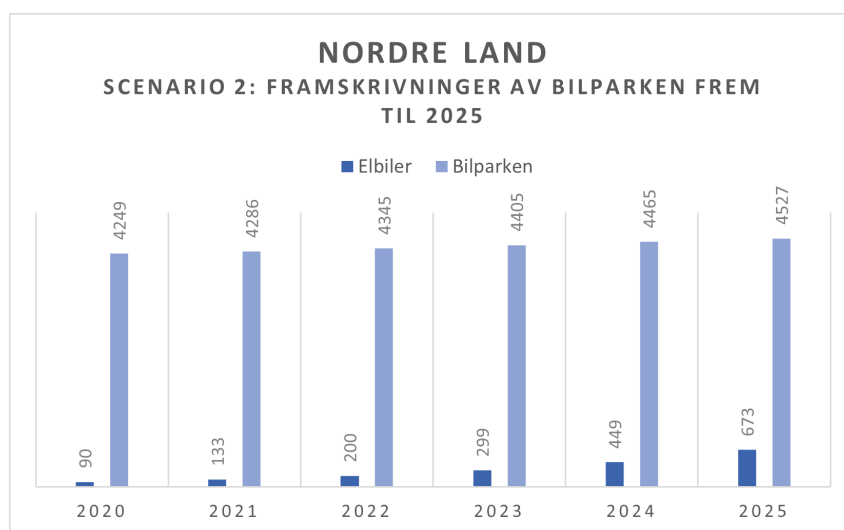
Økonomien i samfunnet kan også påvirke veksten av elbiler. I dagens samfunn ser man en stor økning på alt fra strøm til matvarer. Prisene for varer og tjenester stiger, mens lønnen forblir uforandret. Dette kan gjøre at færre har mulighet til å investere i en ny bil, og kan derfor også medføre en nedgang i veksten av antall elbiler i Norge. Scenario 2 tar derfor for seg en lavere vekst, som følger av utfordringene nevnt ovenfor. Fremfor å estimere en mulig vekst, er det antatt at elbiler skal utgjøre 15 % av bilparken i 2025. Veksten for hver kommune er derfor noe ulik, men sluttresultatet om at elbiler skal utgjøre 15 % i 2025 er likt for de ulike områdene.

På figur 5.15 kan man finne framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Søndre Land. For at andelen elbiler skal være lik 15 %, må den gjennomsnittlige veksten være lik 43 %.



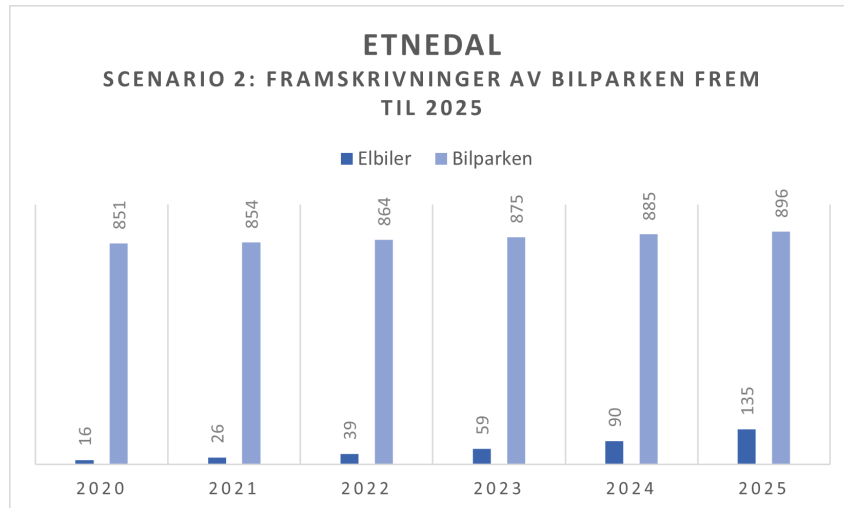
Figur 5.15: Scenario 2: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Søndre Land

På figur 5.16 kan man finne framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Nordre Land. For at andelen elbiler skal være lik 15 %, må den gjennomsnittlige veksten være lik 50 %.



Figur 5.16: Scenario 2: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Nordre Land

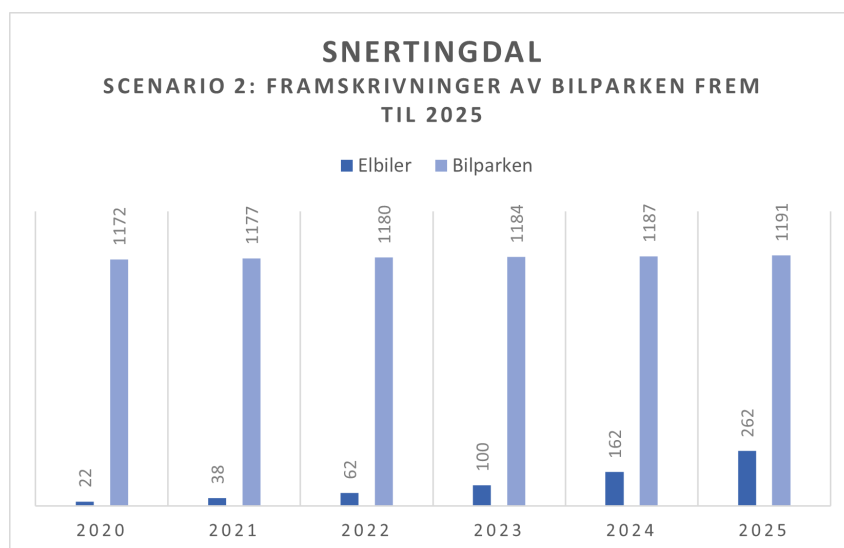
På figur 5.17 kan man finne framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Etnedal. For at andelen elbiler skal være lik 15 %, må den gjennomsnittlige veksten være lik 51 %.



Figur 5.17: Scenario 2: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Etnedal

På figur 5.18 kan man finne framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Snertingdal. For Snertingdal, avviker scenario 2, grunnet den lave gjennomsnittlige veksten i scenario 1. I scenario 1 ble andelen elbiler beregnet til kun 15,60 %, og dermed lik scenario 2 for lavere vekst. Scenario 2 for Snertingdal blir derfor prognose for bilparken frem til år 2025, dersom veksten øker og andelen elbiler i 2025 tilsvarende de andre kommunene i scenario 1. Siden veksten, i følge tidligere marked, er lav, er det derfor rimelig å anta at veksten kan øke i årene fremover.

I scenario 1 ble det beregnet at andelen elbiler i 2025 blir 21,97 %, 19,73 % og 29,17 % for henholdsvis Søndre Land, Nordre Land og Etnedal. Gjennomsnittlig tilsvarende dette en andel på 23,62 %. Dersom andelen elbiler i Snertingdal skal være 23,62 % i 2025, må den gjennomsnittlige veksten øke til 65 %. Andelen elbiler i 2025 er da 23,65 %.



Figur 5.18: Scenario 2: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Snertingdal

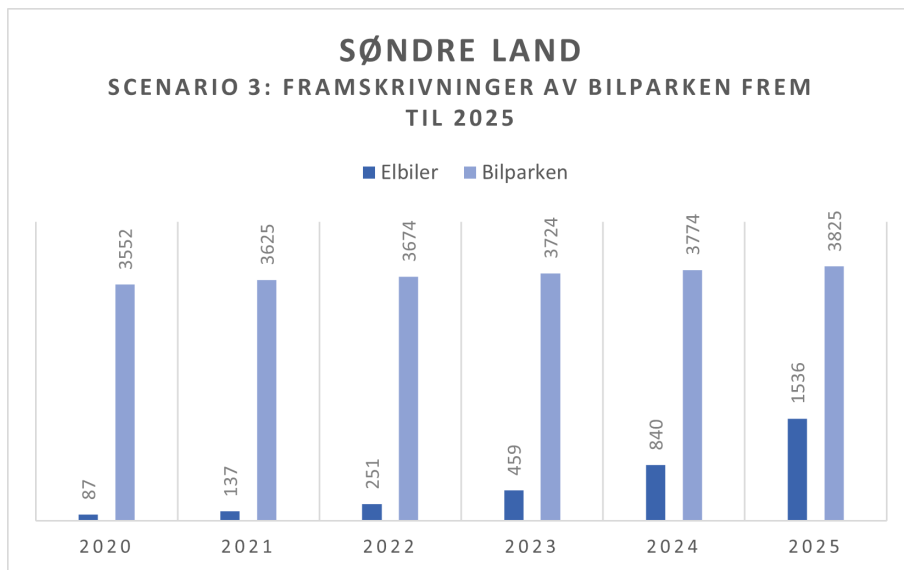
5.3.3 Scenario 3 - Høyere vekst enn tidligere

Populariteten for elbiler har økt de siste årene, og på grunn av dette er det rimelig å anta at populariteten øker ytterligere, også i årene fremover. Som nevnt i kapittel 3.2.2 er gjennomsnittsalderen på personbiler i Søndre Land, Nordre Land og Etnedal, på henholdsvis 15, 15 og 16 år. For Snertingdal er gjennomsnittsalderen for Gjøvik kommune benyttet, og denne er på 12 år. Snertingdal er forholdsvis lik de andre tre kommunene, og det er derfor rimelig å anta at gjennomsnittsalderen i Snertingdal mest sannsynlig er mer lik, fremfor gjennomsnittsalderen i Gjøvik kommune. Gjennomsnittsalderen er derfor høyere enn gjennomsnittet i Norge på 11 år. I Norge er personbiler i gjennomsnitt 18,4 år når de tas ut av trafikken, som nevnt i kapittel 3.2.2. En gjennomsnittsalder på 15 - 16 år, og en gjennomsnittlig levetid på 18,4 år, viser til at personbilene i kommunene gjennomsnittlig sett må byttes ut innen 2,4 - 3,4 år. På bakgrunn av dette, kan man se en økning i antall elbiler i årene fremover. Dersom personbilene uansett må byttes ut innen kort tid, kan dette medføre at man investerer i en elbil allerede nå, fremfor senere.

I tillegg til dette, kan også mangelen på deler i elbilen som man har sett den siste tiden, medføre en økt vekst i årene fremover. Grunnet mangel på halvledere og dermed stopp i produksjonen som beskrevet i kapittel 5.3.1, er det mange som venter på at elbilen skal bli levert. Å estimere når produksjonen tar seg opp igjen og det ikke lenger blir mangler på deler, er utfordrende, da dette kan ta alt fra ett til flere år. Derfor kan man ende opp i en situasjon hvor veksten øker kraftig på kort tid, grunnet at tilgangen på deler øker. Scenario 3 tar derfor for seg en høyere vekst, og andelen elbiler i 2025 settes til 40 %. I scenario 1 var andelen elbiler i 2025 gjennomsnittlig 23,63 %, og andelen elbiler i scenario 3 vil derfor være omtrentlig en dobling av dette. Veksten for hver kommune er noe ulik, men sluttresultatet om at elbiler skal utgjøre 40 % i 2025 er likt for de ulike områdene.

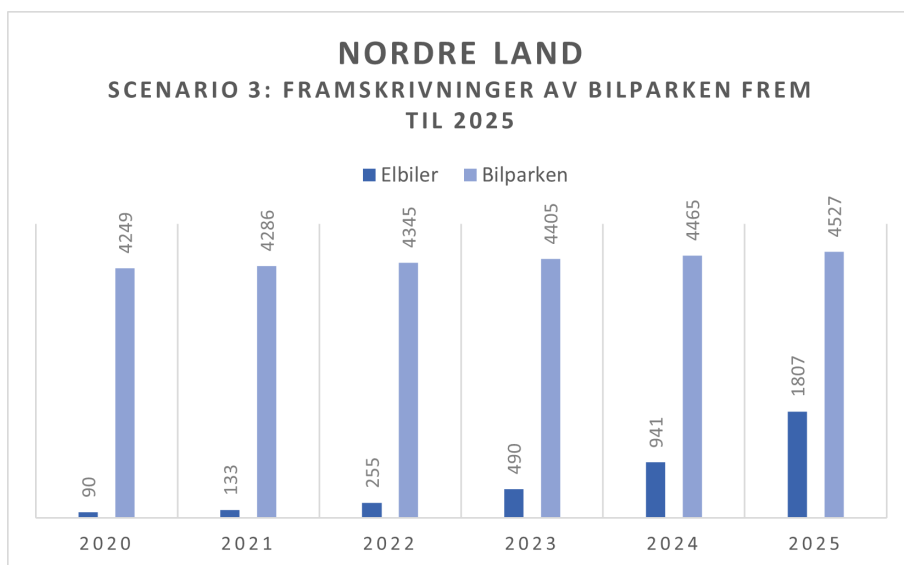
Valget knyttet til en andel på 40 % elbiler av bilparken, baserer seg også på framskrivningene presentert i kapittel 5.1.1. TØIs antagelser på elbilers andel av bilparken i år 2025 var 36 %, og det er derfor valgt å runde denne opp til 40 % ved beregninger. Grunnen for at nettopp denne framskrivningen er benyttet som grunnlag for valg av prosentandel elbiler i 2025, er at denne prognosen estimerte relativt riktig prognose når det gjelder andel elbiler i 2021 i forhold til realiteten. I tillegg baserer denne framskrivningen seg også på målene satt i NTP [70].

På figur 5.19 kan man finne framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Søndre Land. For at andelen elbiler skal være lik 40 %, må den gjennomsnittlige veksten være lik 83 %.



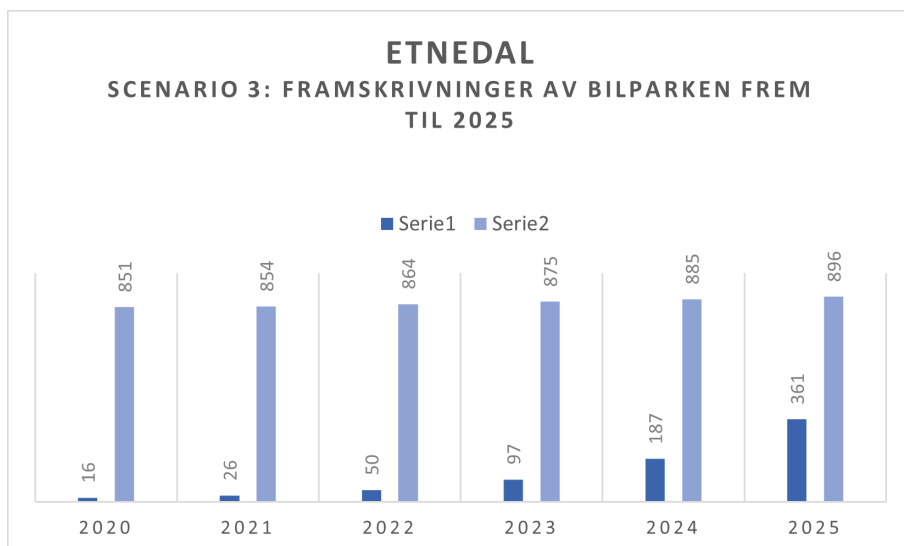
Figur 5.19: Scenario 3: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Søndre Land

På figur 5.20 kan man finne framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Nordre Land. For at andelen elbiler skal være lik 40 %, må den gjennomsnittlige veksten være lik 92 %.



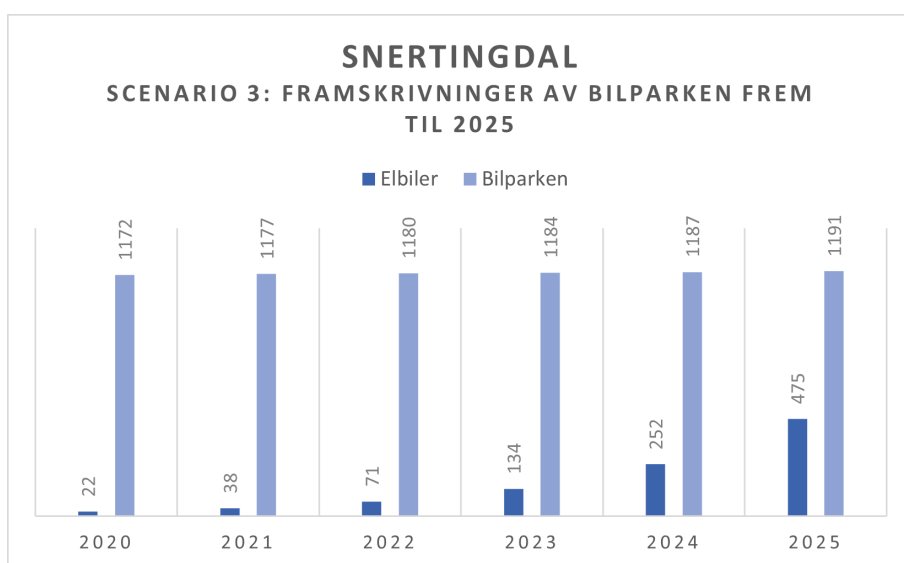
Figur 5.20: Scenario 3: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Nordre Land

På figur 5.21 kan man finne framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Etnedal. For at andelen elbiler skal være lik 40 %, må den gjennomsnittlige veksten være lik 93 %.



Figur 5.21: Scenario 3: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Etnedal

På figur 5.22 kan man finne framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Snertingdal. For at andelen elbiler skal være lik 40 %, må den gjennomsnittlige veksten være lik 88 %.



Figur 5.22: Scenario 3: Framskrivninger av bilparken frem til 2025 i Snertingdal

Kapittel 6

Energi og effektbehov knyttet til økt andel elbiler

For å kunne besvare problemstillingen har det i kapittel 5 blitt presentert prognoser for vekst av elbiler som legger grunnlaget for effektbehovet som fremstilles i dette kapittelet. Knyttet til økt andel elbiler i norske hjem vil det være økt behov for energi, noe som kan medføre at strømmettet i fremtiden blir overbelastet. På bakgrunn av dette er det derfor viktig å undersøke hvor mye energi som kreves ved lading av elbiler, og spesielt hvordan dette påvirker effektforbruket til boligen. Dette kapittelet vil derfor ta for seg effekttopper knyttet til lading av elbiler, mulige påvirkninger på strømmettet, samt en beregning av energiforbruket til elbilladere.

6.1 Økt effekttopper knyttet til elbilladere

I Norge benytter husholdningene elektrisitet til alt fra oppvarming til lading av mobiltelefonen, hvor førstnevnte og varmtvann er det som benytter mest strøm [65]. Hver husholdning vil benytte ulike mengder med elektrisitet, da dette avhenger av mange ulike faktorer. Blant annet vil strømforbruket i en husholdning påvirkes av antall beboere, hvilken fyringsmetode som benyttes og om beboerne benytter elbil eller ikke. Dersom elektrisitet benyttes til oppvarming, noe de aller fleste i Norge gjør, vil også størrelse på husholdningen og hvor godt huset er isolert ha stor påvirkning. Husholdninger vil ofte ha samme forbruksmønster når det kommer til elektrisitet. Dette innebærer at mange vil benytte seg av elektrisitet til samme tid, noe som igjen fører til effekttopper på strømmettet. Historisk sett er strømforbruket lavt på natten og høyere på ettermiddagen. Som beskrevet i kapittel 2.6 er effekttopper et stort effektforbruk over en gitt tid, som medfører store belastninger på strømmettet. Ifølge Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) er det også forventet at strømforbruket i Norge vil fortsette å øke i årene fremover [74].

Som tidligere nevnt er det oppvarming og varmtvann som krever mest elektrisitet i norske husholdninger. Likevel er det en ny type belastning som nå må tas hensyn til ved dimensjonering av strømmettet, nemlig elbilladere. Elbilladere som benyttes i husholdninger har en størrelse på mellom 3,7 kW og 22 kW 2.12.2. Denne ladeeffekten bestemmes både av sikringsstørrelse og om det er enfase- eller trefaselading. Belastningen kan derfor være av vesentlig størrelse når elbiler lades ved trefase enn ved enfase. Dersom mange husholdninger lader elbilen samtidig, vil dette kunne føre til en økt belastning på strømmettet. Samtidighet har også en stor betydning når det gjelder belastningen som følger av elbilladere. Belastningen på strømmettet blir vesentlig større, dersom for eksempel alle i samme nabolag lader bilen samtidig.

6.1.1 Hvordan vil strømmettet håndtere en økt andel elbiler?

I NVE rapporten «Hva betyr elbiler for strømmettet» [14] publisert i 2019, beskrives konsekvenser som følge av en økning av andel elbiler i samfunnet. NVE anslår at det kan være 1,5 millioner elbiler i Norge innen utgangen av 2030, og etter deres beregninger antar de at sentralnettet er i stand til å håndtere denne økningen. På landsbasis vil 1,5 millioner elbiler medføre et økt energiforbruk på omtrentlig 4 TWh, noe som kun utgjør 3 % av det totale strømforbruket i Norge. Som begrensning er det nevnt at de kun ser på konsekvensene som følger av at halvparten av bilparken på 3 millioner er elbiler i 2030, og dermed ser bort i fra energibehov som kreves til andre deler av transportsektoren.

Som nevnt antar NVE at sentralnettet i Norge vil håndtere den økte andelen elbiler i 2030, men understreker at samtidighet spiller en viktig rolle i denne antagelsen. Man vil kunne møte på problemer dersom samtidigheten i et område er høy, altså at mange lader samtidig. De viser derfor til at de største problemene man kan møte på ved en økt andel elbiler i samfunnet, befinner seg i distribusjonsnettet. Her er det fare for at fordelingstransformatorer, linjer og kabler blir overbelastet som følger av den økte belastningen elbilladere medfører. Dette blir undersøkt nærmere senere i rapporten.

Overbelastning som følger av en økt andel elbiler antas å inntreffe ofte i områder hvor nettet er svakt, et eksempel på dette er i hytteområder. I disse områdene kan også dårlig spenningskvalitet være en konsekvens. En elbillader kan trekke høy effekt på kort tid, noe som medfører en rask endring i belastningen på nettet. For svake nett vil dette kunne medføre variasjoner i spenninger som er utenfor kravet på $\pm 10\%$ beskrevet i kapittel 2.3.3. For lav spenning hos kunden kan blant annet føre til at lyset blinker eller at annet utstyr får en lavere spenning enn det utstyret er dimensjonert for [14].

6.1.2 Utjevning av effekttopper ved elbillading

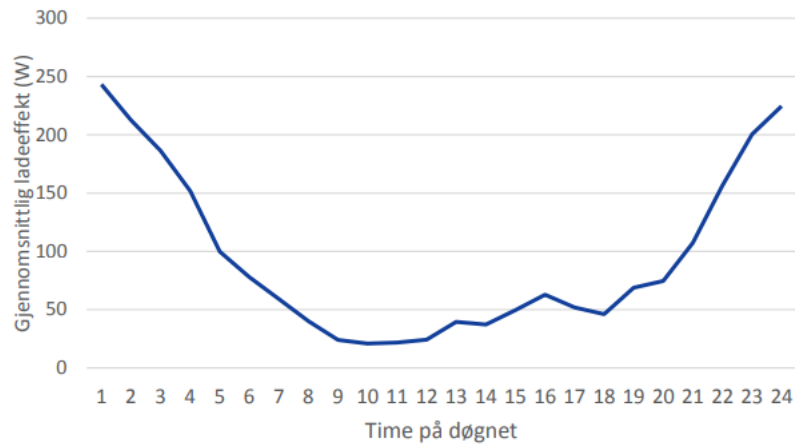
Effekttopper i strømmettet som følger av bruk av høy effekt over kort tid eller ved høy samtidighet i strømforbruket i et område, kan føre til at strømmettet må utvides for å unngå overbelastning. Høye effekttopper er derfor noe man vil unngå, grunnet den økte belastningen på strømmettet. Elbillading er en belastning som krever høy effekt over kort tid, og kan derfor forverre de allerede eksisterende effekttoppene i dagens forbruk. Fordelingstransformatorer er dimensjonert etter dagens forbruk og effekttopper, og dersom effekten øker vil dette kunne medføre at man behøver en transformator med høyere kapasitet.

For å kunne jevne ut forbruket og effekttoppene, er man derfor avhengig av at ladingen av elbiler enten skjer på et tidspunkt hvor belastningen ellers er lav, eller ved å unngå høy samtidighet i et område. For at nettet ikke skal bli overbelastet, vil det kunne være hensiktsmessig å kunne styre ladingen slik at man påser at effekttoppene holder seg innenfor et akseptabelt nivå. En forflytning av belastningen kan medføre at en eventuell utbyggelse kan utsettes eller ikke være nødvendig, og dette vil bli diskutert senere i rapporten, under kapittel 8.2.1.

Som tidligere nevnt spiller samtidighet en stor rolle når det gjelder effekttopper som følger av elbillading. Selv om elbillading er en relativt høy belastning på nettet, vil en elbillader likevel ikke kunne føre til overbelastning i et vanlig boligområde. Problemene dukker først opp når mange lader elbilen samtidig, slik at effekttoppene overskrider kapasiteten til både fordelingstransformatorene, samt linjer og kabler. Det vil derfor være hensiktsmessig å undersøke lademønsteret for elbiler, både for å undersøke når elbilene vanligvis lades og samtidighet. På denne måten vil man kunne undersøke om elbilladingen vanligvis skjer på tidspunkt hvor belastningen er lav eller høy.

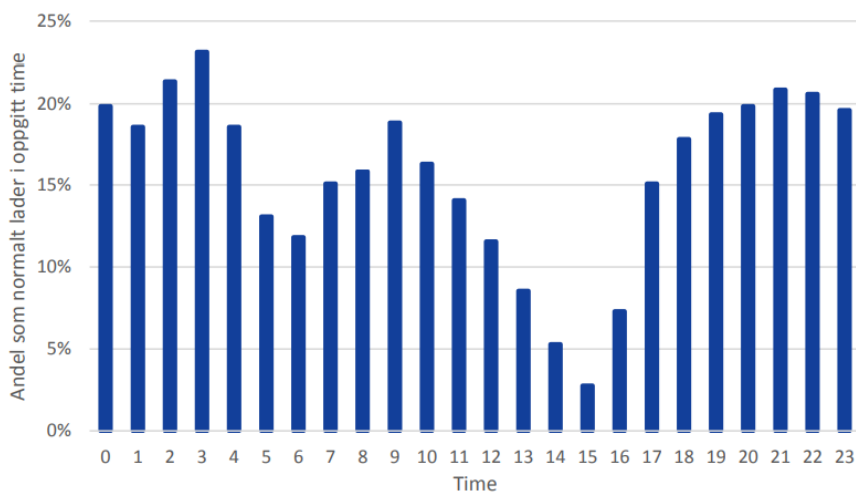
6.1.3 Lademønster for elbiler

Effekttoppene som følger av elbilladere blir i stor grad påvirket av samtidighet, og på grunn av dette er det vesentlig å undersøke lademønsteret av elbiler i husholdninger. I denne rapporten er det benyttet data analysert av NVE som forteller om lademønsteret til en vanlig husholdning. For å kunne undersøke lademønsteret for elbiler benyttet NVE seg av undersøkelser og målinger gjennomført av SINTEF i 2012 til 2015. På figur 6.1 kan man se gjennomsnittlig ladeprofil for en elbillader i en husholdning. Som man kan se vil de fleste lade bilen sin på natten, mens det vanligvis foregår lav andel lading på ettermiddagen.



Figur 6.1: Gjennomsnittlig ladeprofil for hjemmelading av elbiler [14]

Denne figuren er tatt med for å vise når ladingen i hovedsak skjer i en husholdning. Ladeeffekten er veldig lav, grunnet at målingene figuren er basert på også inkluderte dager hvor laderen ikke ble benyttet. Grunnet et smalt datagrunnlag for den gjennomsnittlige ladeprofilen, benyttet NVE seg også av en spørreundersøkelse utført av Tveter i 2014 [75]. På figur 6.2 kan man finne resultatene av denne undersøkelsen.



Figur 6.2: Andel som normalt lader i oppgitt time gjennom døgnet basert på spørreundersøkelse [75]

Videre inkluderte også spørreundersøkelsen spørsmål om hvor man helst ladet elbilen, om dette var hjemme, på arbeid, eller på ladestasjoner langs veien. Resultatene fra denne undersøkelsen viste at omtrentlig 90 % ladet elbilen hjemme, men at også hele 50 % også ladet elbilen på jobb [14].

6.2 Gjennomsnittlig forbruk per kilometer for elbiler

Ved å beregne hvor mye en elbil benytter på en kilometer, kan man estimere hvor høyt forbruk man kan forvente i løpet av en dag. Som tidligere nevnt, er det ifølge NVE distribusjonsnett og spesielt svake nett som kan bli overbelastet som følger av en økt andel elbilladere. En viktig del av denne oppgaven er å undersøke kapasiteten til fordelingstransformatorer og kontrollere om de er tilstrekkelig i størrelse, samt kontrollere at kabler og linjer fra transformatoren ikke blir overbelastet. I de påfølgende delkapitlene blir det derfor beregnet forventet energibruk av en elbil.

Datagrunnlaget for denne beregningen er hentet fra rekkeviddetester fra Norges Automobil-Forbund (NAF) vinteren 2022 og totalt ble 31 ulike elbiler testet. Testen ble som nevnt utført på vinteren 2022, under vanlige norske vinterforhold [76]. NAF oppgir at testen ikke er vitenskapelig, men en praktisk test som kan fortelle forbrukeren hva man kan forvente når det kommer til rekkevidde. Dette innebærer blant annet at testen utføres av helt vanlige sjåførere, samt at elbilen benyttes i trafikken akkurat slik en vanlig person ville gjort. Ruten som benyttes på testen er lik hvert år, og strekker seg fra Oslo til Dovre. Hvor langt man kommer i ruten, avhenger av rekkevidden til hver enkelt elbil. Denne ruten fører til at bilene må over fjelloverganger, og man får derfor testet hvordan stigning påvirker rekkevidden.

Sjåførene får en enkel instruks de må forholde seg til og det er å følge trafikken. Dette innebærer at de skal kjøre etter forholdene og fartsgrenser, og derfor heller ikke utføre forbikjøringer som er unødvendige. Hastigheten varierer mellom 60 km/t til 110 km/t. Rekkevidden til elbilene blir målt ved at de kjører helt til elbilen stopper, selv om bilen i forkant av dette varsler at man burde lade og hastigheten reduseres. Som tidligere nevnt bruker elbiler mer energi på vinteren grunnet oppvarming, og på grunn av dette er ingen av bilene forvarmet i forkant av testen. Dersom dette gjøres vil det ha et positivt utslag på rekkevidden [77].

Felles for de testede elbilene var det faktum at ingen av de oppnådde WLTP-rekkevidden. WLTP-rekkevidden henviser til en egen teststandard for elbiler, og er en forkortelse for «Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicle Test Procedure». For rekkevidden til elbiler er denne testen kun veiledende, og realiteten kan avvike fra dette noe man ser i denne testen. WLTP-testen utføres i to deler, hvor første del utføres på et laboratorium. Videre inkluderer testen en kjøretur på 23 km, hvor bilene benyttes i ulike hastigheter fra 56 km/t til 130 km/t. Det er flere grunner til at den målte rekkevidden i testen utført av NAF er kortere enn WLTP-rekkevidden. For det første utføres WLTP på sommerstid, med varmere temperaturer. I tillegg utføres også testene til NAF som nevnt i ulike omgivelser, fra Oslo til Dovre, slik at dette medfører ulike hastigheter og mer variasjon i helningen på veien [78].

Det er i denne oppgaven valgt å benytte rekkeviddetester utført på vinteren, da elbiler krever et høyere effektforbruk når temperaturen er lavere. Grunnen til dette er blant annet at det kreves mer energi til å opprettholde en behagelig temperatur inne i bilen, samt at snøføre fører til mer motstand for bevegelse. I tillegg vil også kulden føre til en lavere virkningsgrad i batteri, da de kjemiske prosessene i batteriene i elbilene går tregere [79]. I vedlegg B kan man finne det totale datagrunnlaget benyttet fra rekkeviddetesten fra NAF. WLTP-rekkevidden er også oppgitt i dette vedlegget, men er ikke benyttet i beregningene. Grunnen til dette er at rekkeviddetesten utført av NAF er bedre tilpasset norske forhold og gir derfor et mer realistisk estimat på det faktiske energiforbruket til en elbil.

6.2.1 Forventet kjørelengde på elbiler og energibehov per kilometer

I rekkeviddetesten til NAF ble totalt 31 ulike elbiler testet. I vedlegg B kan man finne den oppgitte rekkevidden for alle de testede elbilene. Batterikapasiteten til en elbil oppgis i kWh, og det er størrelsen på dette batteriet, samt energiforbruk per kilometer, som bestemmer hvor langt en elbil faktisk kan kjøre på et fulladet batteri. I denne oppgaven er dette hensiktsmessig å beregne for å kunne estimere hvor mye effektforbruk en elbillader krever under daglig bruk. Batterikapasiteten varierer mellom 45 kWh og 105,5 kWh i netto batterikapasitet. Med netto batterikapasitet menes det som er tilgjengelig når man kjører. Rekkevidden til de oppgitte bilene varierer mellom 320 til 645 km. For ulike modeller av Tesla er ikke batterikapasiteten oppgitt av leverandør, og kapasiteten er derfor ikke oppgitt.

For å gi et innblikk i kjørelengden for en elbil, er det i tabell 6.1 oppgitt rekkevidden til 8 ulike elbiler tilgjengelig i Norge [76]. Disse 8 bilene er valgt basert på de mest populære bilmerkene i Norge [80]. Testet rekkevidde henviser til testen utført fra NAF, mens WLTP er rekkevidden oppgitt fra leverandør. I samme tabell kan man også finne batterikapasiteten til de respektive elbilene.

Tabell 6.1: Rekkevidde og batterikapasitet for 8 ulike elbilmodeller

Bilmodell	WLTP [km]	Rekkevidde NAF-test [km]	Batterikapasitet [kWh]
Tesla Model 3 Standard Range Puls	448	346	-
Tesla Model Y Long Range AWD	507	451	-
Volkswagen ID.4	485	414	77
Volkswagen ID.3 pro S	539	435	77
Volvo C40 Recharge	437	333	75
BMW i4 M50	497	406	80,7
Audi Q4 e-tron 50 Quattro	459	347	76,6
Skoda Enyaq iV80	509	347	77

Av de 31 elbilene som ble testet er det også beregnet gjennomsnittlig rekkevidde, samt gjennomsnittlig batterikapasitet. Her er det vesentlig å nevne at målt rekkevidde påvirkes av en rekke faktorer, som for eksempel temperatur, mengde last i bilen og hvordan man kjører. Dersom man tester selv vil man kunne ende opp med en rekkevidde som er avviken- de fra testresultatet. Som tidligere nevnt er det essensielt å undersøket energiforbruket per kilometer, slik at dette kan benyttes ved videre beregninger på kapasitet på både fordelings- transformatorer, kabler og linjer. For å beregne energibehov per kilometer er det benyttet gjennomsnittlig rekkevidde og batterikapasitet for de 31 elbilene som ble testet av NAF vinteren 2022. Fremdeles benyttes ikke WLTP-rekkevidden, da denne ikke er tilpasset norske forhold på samme måte som testen utført av NAF.

Energibehovet per kilometer er hentet fra rekkeviddetesten til NAF [76], hvor de testet energiforbruket til elbiler på vinteren. Gjennomsnittlig energibehov per kilometer er be- regnet ut fra de 31 elbilmodellene som ble testet. I tabell 6.2 er det oppgitt energihov per kilometer for de 8 elbilene omtalt i tabell 6.1. For disse 8 bilene varierer energibehov per kilometer mellom 0,158 og 0,222 kWh / km.

Tabell 6.2: Energibehov per kilometer for 8 ulike elbilmodeller

Bilmodell	Energibehov per km [kWh / km]
Tesla Model 3 Standard Range Puls	0,158
Tesla Model Y long range AWD	0,158
Volkswagen ID.4	0,184
Volkswagen ID.3 pro S	0,173
Volvo C40 Recharge	0,222
BMW i4 M50	0,196
Audi Q4 e-tron 50 quattro	0,213
Skoda Enyaq iV80	0,203

I tabell 6.3 kan man finne gjennomsnittlig rekkevidde, gjennomsnittlig batterikapasitet og gjennomsnittlig energibehov per kilometer for elbil. Som man kan se i tabell 6.3 er gjen- nomsnittlig energiforbruk 0,19 kWh / km på de 31 testede elbilene, basert på rekkevidde testen utført av NAF. Fremdeles er det benyttet tall fra testen gjennomført vinteren 2022.

Tabell 6.3: Gjennomsnittlige verdier for elbiler

WLTP [km]	Rekkevidde [km]	Energibehov per km [kWh/km]	Batterikapasitet [kWh]
472,71	383,52	0,19	75,97

6.2.2 Ladeeffekt på elbilladere

Energiforbruk per kilometer er som sagt vesentlig ved beregning av belastningen elbilladere vil påføre strømmettet. Like viktig som dette er også ladeeffekten på elbilladere. Det gjennomsnittlige energibehovet forteller oss kun hvor mye energi elbilen krever, men dette forteller ikke hvor lenge man kan forvente at en elbil må lade daglig og hvor mye effekt dette kreves. Elbilladere benyttes på både IT-nett og TN-nett, samt med ulike sikringsstørrelser, noe som medfører at ladeeffekten varierer noe fra lader til lader. Ladeeffekten beskrevet i dette kapitlet baserer seg på mode 3 lading, beskrevet i kapittel 2.12. Her er det beskrevet at man i husholdninger vanligvis benytter 16 A eller 32 A sikring for elbilladere. Beregningene baserer seg på likningene for effekt beskrevet i kapittel 2.6, henholdsvis likning (2.2), (2.3) og (2.4). I tabell 6.4 nedenfor kan man finne ladeeffekt på ulike spenningsnivå, sikringsstørrelser, samt om det er enfase eller trefase. Her er det ikke beregnet trefase på IT-nett, grunnet problemer og utfordringer knyttet til trefaselading på IT-nett som vil bli nærmere beskrevet i kapittel 7.6.4.

Tabell 6.4: Ladeeffekt for ulike nettsystem og sikringsstørrelser

Nettsystem	Spenning [V]	Antall faser	Sikringsstørrelse [A]	Ladeeffekt [kW]
IT-nett	230	Enfase	16	3,7
IT-nett	230	Enfase	32	7,4
TN-nett	400	Enfase	16	3,7
TN-nett	400	Trefase	16	11,1
TN-nett	400	Enfase	32	7,4
TN-nett	400	Trefase	32	22,2

6.2.3 Forventet energibehov ved daglig lading av elbil

For å beregne forventet energibehov ved daglig lading av elbiler, benyttes forventet kjørelengde. Ifølge SSB er gjennomsnittlig kjørelengde i året for en personbil 11.288 km, noe som tilsvarer 30,93 km om dagen hver dag gjennom hele året [81]. Dette gjennomsnittet er basert på statistikk for hele Norge. For elbiler er gjennomsnittlig kjørelengde noe lengre, da den i 2020 var 14 399 km for innlandet, noe som tilsvarer 39,45 km hver dag [81]. Realistisk sett vil ikke en personbil bli benyttet hver dag hele året, samt at det kan være variasjoner i kjørelengden. Dersom man kun beregner gjennomsnittet basert på 5 dager kjøring i uken, tilsvarer dette 55,38 km hver dag. Området som undersøkes i denne rapporten er landlig, og det er derfor forventet at flere personer i kommunene har lengre kjørevei til jobb og annet. Derfor vil en kjørelengde på 55,38 km være akseptabelt. Ved kontroll av kapasiteten på fordelingstransformatorer senere i oppgaven er det også hensiktsmessig å benytte dette, for å undersøke verst tenkelig tilfelle.

I tabell 6.5 kan man finne energibehovet som kreves daglig for å kunne lade en elbil med gjennomsnittlig kjørelengde daglig per elbil på 55,38 km, basert på energibehov per kilometer på vinteren. Siden energibehovet for vinteren er langt til grunn i beregningen, kan man anta at energi som benyttes til oppvarming av bilen også er inkludert i beregningen.

Tabell 6.5: Daglig energibehov ved lading av elbil

Energibehov per km [kWh/km]	Kjørelengde [km]	Energibehov per dag [kWh]
0,19	55,38	10,52

Hvor lenge elbilen må lades for å lades opp 55,38 km, avhenger også av ladeeffekten som nevnt i kapittel 6.2.2. Laderen vil derfor bruke vesentlig lengre tid dersom man lader på en-fase og 16 A, fremfor trefase og 32 A. For den totale belastningen kan det være hensiktsmessig å benytte lavere effekt og lengre tid fremfor høy effekt og kort tid, dersom samtidigheten på laderne i et område er høyt. I tabell 6.6 nedenfor er det beregnet hvor lenge laderen minimum må benyttes, for å lade elbilen opp med ønsket mengde energi. For å beregne energi pr. time knyttet til ladeeffekten er det benyttet likning (2.1). Videre er energibehovet delt på energi pr. time, for å bestemme minimums ladetid pr. dag.

Tabell 6.6: Ladetid for å lade opp elbilen med ønsket kjørelengde

Ladeeffekt [kW]	Energi pr. time [kWh]	Energibehov [kWh]	Minimum ladetid [timer]
3,70	3,70	10,52	2,84
7,40	7,40	10,52	1,42
11,10	11,10	10,52	0,95
22,20	22,20	10,52	0,47

Kapittel 7

Konsekvenser for strømmettet

For å besvare problemstillingen omhandlende konsekvensene Etna nett vil oppleve, vil det i dette kapittelet bli presentert resultatet av beregningene som ble fremstilt i kapittel 6. I tillegg vil det bli gjennomgått hvilke praktiske utfordringer VOKKS Installasjon vil oppleve som følge av en økning av elbil ladere i private hjem, samt andre utfordringer knyttet til lading på de ulike spenningsystemene.

7.1 Informasjon om fordelingstransformatorene

Det har blitt undersøkt kapasiteten til 10 fordelingstransformatorer fra området til Etna nett ved en økning av andel elbiler. Det er valgt ut 7 boligområder, 1 boligområde med spredt bebyggelse, samt 2 hytteområder. I tabell 7.1 kan man finne kapasiteten på fordelingstransformatorene i de ulike områdene, antall tilknyttede kunder, samt alder på transformatorene. Alle transformatorkretsene er tilkoblet IT-nett.

Tabell 7.1: Informasjon om transformatorkretsene

Transformatorkrets	Kapasitet [kVA]	Antall tilknyttede kunder	Alder [år]
Boligområde 1	200	42	26
Boligområde 2	315	30	44
Boligområde 3	200	48	36
Boligområde 4	500	78	49
Boligområde 5	315	67	40
Boligområde 6	200	43	21
Boligområde 7	200	28	14
Spredt boligområde 1	100	6	13
Hytteområde 1	315	52	16
Hytteområde 2	100	31	4

I tabell 7.2 kan man finne gjennomsnittsalderen for 4 ulike transformatorkapasiteter.

Tabell 7.2: Gjennomsnittsalder på fordelingstransformatorene for ulike kapasiteter

Kapasitet [kVA]	Gjennomsnittsalder [år]
100	25
200	22
315	28
500	27

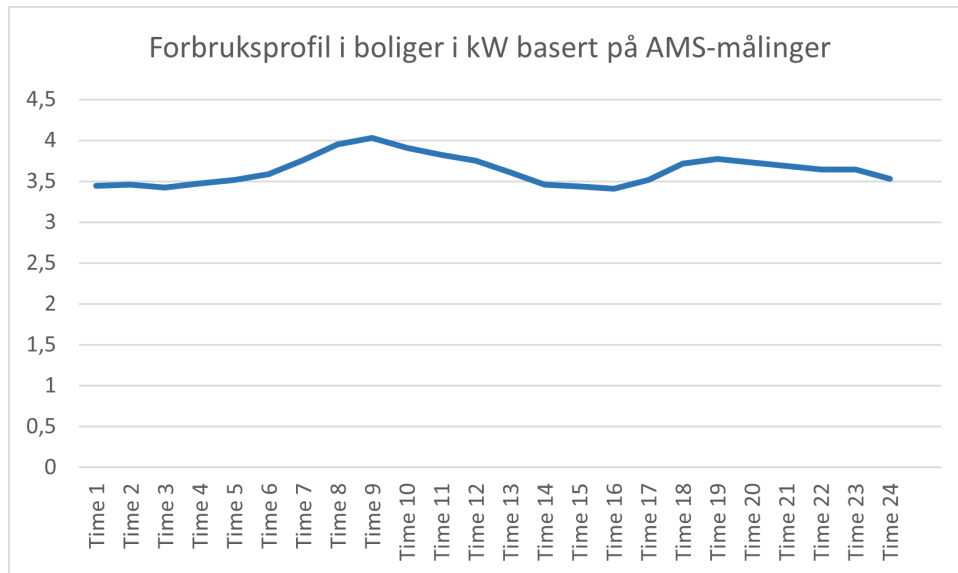
For å kunne anslå hvilken belastning en økning av andel elbiler vil medføre, er det essensielt å undersøke antall personbiler det er per bolig i området. Ved å gjøre dette vil man kunne estimere hvilken effekt eller energibehov en bolig vil medføre. I tabell 7.3 kan man finne antall boliger, samt personbiler i de tre kommunene. Antall boliger i hver av de tre kommunene, er hentet fra SSB [82–84]. Ved avlesning på tabellen kan se at det totalt er 8765 personbiler fordelt på 7739 boliger, noe som tilsvarer 1,13 personbiler per husstand i gjennomsnitt.

Tabell 7.3: Antall personbiler og boliger i Søndre land, Nordre land og Etnedal

Kommune	Personbiler	Boliger
Søndre land	3625	3171
Nordre land	4286	3687
Etnedal	854	881
Totalt	8765	7739

7.1.1 Gjennomsnittlig forbruksprofil for boliger

Ved hjelp av AMS-målingene ble det fremstilt en gjennomsnittlig forbruksprofil for boligene. På figur 7.1 kan man finne denne forbruksprofilen, og som man kan se er denne lite varierende, med ingen merkbare effekttopper.



Figur 7.1: Gjennomsnittlig forbruksprofil for boliger basert på AMS-målinger fra 12.februar 2021

7.2 Konsekvenser som følge av økt andel elbilladere som skal undersøkes

Distribusjonsnettene er dimensjonert for å tåle maks forventet last, og dersom lasten overskrider dette vil man kunne møte på utfordringer. Tradisjonelt sett er distribusjonsnettene enten dimensjonert ved hjelp av årlig energibruk eller maks effekttrekk. Ved en økning av andelen elbilladere i samfunnet, vil dette kunne skape problemer. En elbillader er en ny type belastning, og krever høy effekt over kortere tid. På grunn av dette vil distribusjonsnett som er dimensjonert ved hjelp av årlig energibehov, ikke ta hensyn til det ekstra effektbehovet en elbillader krever. Dette gjelder også dersom dimensjonering har blitt gjort ved hjelp av maks effekttrekk, dersom den økte effekten knyttet til elbilladere ikke er blitt tatt hensyn til. Ved en økning av elbilladere, vil man derfor kunne overbelaste distribusjonsnettene, som inkluderer både fordelingstransformatorer, linjer og kabler. Konsekvenser som følger av overbelastning er omtalt i kapittel 2.4.1. Som nevnt i kapittel 6.1.1 er spesielt svake nett utsatt for dette. [15]

7.2.1 Hovedpunkter som analysen vektlegger

På bakgrunn av ulike konsekvenser som følge av overbelastning av strømmettet omtalt i kapittel 2.4.1 og 2.5, er det lagt fokus på å kontrollere kapasiteten på fordelingstransformatorer, og om denne er tilstrekkelig ved en økning av andel elbilladere. For å kontrollere kapasiteten er det benyttet to ulike metoder, lastmodellering ved hjelp av AMS-målinger og Velanders metode, omtalt i henholdsvis kapittel 2.10.1 og 2.10.2. I denne rapporten antas mode 3 for ladere, som beskrevet i kapittel 2.12, da dette er anbefalt i følge veiledningen presentert av DSB, NEK, Elbilforeningen og Nelfo grunnet økt sikkerhet.

7.3 Kapasitetskontroll av fordelingstransformatorer ved hjelp av AMS-målinger

Første metoden som er benyttet for å kontrollere kapasiteten av fordelingstransformatorer ved en økning av elbilladere er lastmodellering ved hjelp av AMS-målinger. Det er benyttet målinger fra 12.februar 2021 som grunnlag og for å kunne undersøke om transformatoren er av tilstrekkelig kapasitet, er det valgt å benytte høyeste belastning i løpet av dagen. Videre er formel (2.5) benyttet for å bestemme maks effekttrekk på transformatoren, ved å summere maks effekt fra alle forbrukerpunkter. Dersom effekttrekket på transformatoren er kjent, kan man beregne kapasiteten ved hjelp av følgende formel:

$$S_{min} = \frac{P_{maks}}{\cos\phi} \quad (7.1)$$

Hvor S_{min} er minste transformator størrelse, P_{maks} er maks effekttrekk, samt $\cos\phi$ er lik effektfaktoren. I dette tilfelle settes effektfaktoren til 0,9, noe som er normalt ved dimensjonering for eneboliger. [24].

7.3.1 Ulike scenario benyttet for kapasitetskontroll med AMS-målinger

Ved undersøkelse av kapasiteten på transformatoren er det satt opp seks ulike scenario, scenario A1 - A6 og B1 - B2, for de to ulike ladeeffektene på henholdsvis 3,7 og 7,4 kW. Som nevnt i kapittel 6.2.2 er ladeeffekt i IT-nett henholdsvis 3,7 kW og 7,4 kW. Grunnet at alle transformator kretsene som undersøkes er IT-nett, vil kun disse ladeeffektene benyttes. De ulike scenarioene bygger på grad av samtidighet i ladingen, samt andel boliger med elbil-lader. Det er valgt å undersøke belastningen som kreves dersom andelen boliger med elbil er på henholdsvis 25 %, 40 %, 70 % og 100 %. Andel boliger med elbil på 25 % og 40% er basert på scenario 1 og 3 fra kapittel 5.2 prognose for vekst. Videre er 70 % og 100%

valgt for undersøke en kraftigere økning av andel boliger med elbil i fremtiden. Samtidig i elbilladere er valgt med bakgrunn i andel boliger med elbil. Ved høy andel elbiler, er det antatt en lavere samtidighet enn ved en lav andel elbiler. Grunnen for dette er at sannsynligheten for samtidig lading i et område hvor alle har elbil inntreffer, er liten grunnet ulikt lademønster. Som vist i kapittel 6.1.3 foregår hovedandelen av ladingen fra klokken 20 på kvelden til 7 på morgenen. Sannsynligheten for at alle starter laderen samtidig, er derfor liten.

I tabell 7.4 kan man finne beskrivelse av de ulike scenarioene for en ladeeffekt på 3,7 kW. I tillegg til samtidighet, samt andel elbil, inkluderer også tabellen total effekt de ulike scenarioene medfører. Denne totale effekten varierer basert på antall boliger tilknyttet transformatoren, og i tabell 7.4 vises scenarioene for hytteområde 1. Antall tilknyttede kunder på transformatoren varierer mellom 6 og 78 kunder, og ved å velge hytteområde 1 med 52 kunder vil man få et innblikk i hvilken effekt en økning av andel elbilladere vil medføre. Selv om tabellen inkluderer minimum ladetid, vil laderen trekke maks effekt frem til batteriet er fulladet, dersom ikke laderen er stilt inn på en lavere effekt. I dette tilfelle antas det derfor at alle elbilladere er stilt inn på maks ladeeffekt. I vedlegg A vil man kunne finne tilsvarende tabell for de resterende områdene.

Tabell 7.4: Scenario A1 - A6 ved en ladeeffekt på 3,7 kW og 52 tilknyttede boliger

Scenario	Ladeeffekt [kW]	Samtidighet [%]	Antall boliger	Antall elbil pr. bolig	Andel med elbil [%]	Total effekt [kW]	Minimum ladetid [h]
A1	3,7	50	52	1,13	25	27,18	2,84
A2	3,7	100	52	1,13	25	54,35	2,84
A3	3,7	75	52	1,13	40	65,22	2,84
A4	3,7	50	52	1,13	70	76,09	2,84
A5	3,7	25	52	1,13	100	54,35	2,84
A6	3,7	50	52	1,13	100	108,71	2,84

I tabell 7.5 kan man finne de seks ulike scenarioene for en ladeeffekt på 7,4 kW.

Tabell 7.5: Scenario B1 - B6 ved en ladeeffekt på 7,4 kW og 52 tilknyttede boliger

Scenario	Ladeeffekt [kW]	Samtidighet [%]	Antall boliger	Antall elbil pr. bolig	Andel med elbil [%]	Total effekt [kW]	Minimum ladetid [h]
B1	7,4	50	52	1,13	25	54,35	1,42
B2	7,4	100	52	1,13	25	108,71	1,42
B3	7,4	75	52	1,13	40	130,45	1,42
B4	7,4	50	52	1,13	70	152,19	1,42
B5	7,4	25	52	1,13	100	108,71	1,42
B6	7,4	50	52	1,13	100	217,41	1,42

7.3.2 Resultater for scenario A1 - A6 med ladeeffekt på 3,7 kW

I tabell 7.6 kan man finne resultatene for de seks ulike scenarioene ved en ladeeffekt på 3,7 kW for de ulike områdene. Som beskrevet i kapittel 2.4, kan en på vinterstid godta 20 % overbelastning på transformatoren. AMS-målingene benyttet som grunnlag er fra vinteren, og dermed benyttes dette. Med bakgrunn i dette er det valgt å fremstille resultatene i en tabell, med fargekoding. Dersom scenariet medfører at ruten blir grønn, er transformatorer belastet under merkeverdi, gul indikerer at transformatoren er belastet mellom merkeverdi og 20 % overbelastning, mens rød er over 20 % overbelastning. Dette medfører at rød markering indikerer at transformatoren bør oppgraderes for å imøtekomme den økende andelen elbiler som scenariet tilsier. Tabell 7.6 inkluderer også kapasitet på transformatoren, samt dagens belastning. Dagens belastning refererer til timen med høyest forbruk i løpet av 12.februar 2021, grunnet benyttelse av verst tenkelige tidspunkt.

Tabell 7.6: Maks belastning for de ulike transformatorkretsene for scenario A1 - A6 med ladeeffekt på 3,7 kW

Trafokrets	Kapasitet [kVA]	I dag [kVA]	A1 [kVA]	A2 [kVA]	A3 [kVA]	A4 [kVA]	A5 [kVA]	A6 [kVA]
Boligområde 1	200	131	155	180	189	199	180	228
Boligområde 2	315	185	203	220	227	234	220	255
Boligområde 3	200	227	255	283	294	305	283	339
Boligområde 4	500	346	392	437	455	473	437	528
Boligområde 5	315	351	390	429	444	460	429	506
Boligområde 6	200	220	245	270	280	290	270	320
Boligområde 7	200	131	147	163	170	176	163	196
Spredt boligområde 1	100	39	42	46	47	49	46	53
Hytteområde 1	315	166	196	226	238	250	226	287
Hytteområde 2	100	59	77	95	102	109	95	131

Som man kan se, vil de ulike scenarioene kun medføre en overbelastning i fire av ti transformatorer. Tre av disse er allerede belastet over merkeverdi, før man legger til den ekstra effekten som en elbillader medfører.

7.3.3 Resultater for scenario B1 - B6 med ladeeffekt på 7,4 kW

I tabell 7.6 kan man finne resultatene for de seks ulike scenarioene ved en ladeeffekt på 7,4 kW for de ulike områdene. Her er den samme fargekodingen benyttet for å vise henholdsvis de som er belastet under merkeverdi, de som er belastet mellom merkeverdi og 20 % overlaster, samt de som er belastet over dette.

Tabell 7.7: Maks belastning for de ulike transformatorcircene for scenario B1 - B6 med ladeeffekt på 7,4 kW

Trafokrets	Kapasitet [kVA]	I dag [kVA]	B1 [kVA]	B2 [kVA]	B3 [kVA]	B4 [kVA]	B5 [kVA]	B6 [kVA]
Boligområde 1	200	131	180	228	248	267	228	326
Boligområde 2	315	185	220	255	269	283	255	324
Boligområde 3	200	227	283	339	361	383	339	450
Boligområde 4	500	346	437	528	564	600	528	709
Boligområde 5	315	351	429	506	538	569	506	662
Boligområde 6	200	220	270	320	340	360	320	420
Boligområde 7	200	131	163	196	209	222	196	261
Spredt boligområde 1	100	39	46	53	56	58	53	67
Hytteområde 1	315	166	226	287	311	335	287	408
Hytteområde 2	100	59	95	131	145	160	131	203

Av tabellen vises det at en ladeeffekt på 7,4 kW vil medføre en overbelastning på et tidspunkt for ni av ti transformatorer.

7.4 Kapasitetskontroll av fordelingstransformatorer ved hjelp av Velanders formel

For kapasitetskontroll av fordelingstransformatorer ved hjelp av Velanders formel, ble det benyttet årlig energiforbruk for 2021 registrert av AMS-måleren. Videre ble Velanders formel, samt koeffisientene for østlandsklima, som omtalt i kapittel 2.10.2 benyttet.

7.4.1 Ulike scenario benyttet for kapasitetskontroll med Velanders formel

Ved benyttelse av Velanders formel ble det også laget seks ulike scenario, henholdsvis scenario C1 - C6, for å kunne kontrollere kapasiteten til transformatorene. De ulike scenarioene baserer seg på andel med elbiler, samt årlig energibehov per elbil og antall elbiler per bolig. Årlig energibehov per elbil er beregnet ut i fra daglig energibehov knyttet til forventet kjørelengde, som omtalt i kapittel 6.2.3. Andel elbiler i scenario C1 og C2 er basert på andel elbiler som ble estimert i scenario 1 og 3 i kapittel 5.2. De resterende 4 scenarioene inkluderer en jevn økning på 15 % i andel elbiler for hvert scenario, og ender totalt på 100 %. I tabell 7.8 kan man finne beskrivelse av de ulike scenarioene.

Tabell 7.8: Scenario C1 - C6 for kontroll av kapasitet ved hjelp av Velanders formel

Scenario	Årlig energibehov pr. elbil [kWh]	Antall elbiler pr. bolig	Andel boliger med elbil [%]
C1	3839,80	1,13	25
C2	3839,80	1,13	40
C3	3839,80	1,13	55
C4	3839,80	1,13	70
C5	3839,80	1,13	85
C6	3839,80	1,13	100

For å estimere fremtidig belastning på transformatoren, ble årlig energibehov målt av AMS-målingene summert sammen med det forventede årlige energibehovet for de ulike scenarioene. Maks effektrett dette medførte ble beregnet ved hjelp av Velanders formel (2.6). Minste transformator kapasitet dette medførte ble beregnet ved hjelp av formel (7.1).

7.4.2 Resultater for scenario C1 - C6

I tabell 7.9 kan man finne resultatene fra beregningene. Her er det også benyttet samme fargekoding, for å fremstille hvilke transformatorer som vil ha tilstrekkelig kapasitet eller ikke. Kapasiteten i dag er beregnet ved hjelp av årsforbruk hentet ut fra AMS-målingene og Velanders formel, og skal derfor fremstille den reelle belastningen i dag.

Tabell 7.9: Maks belastning for de ulike transformator kretsene for scenario C1 - C6

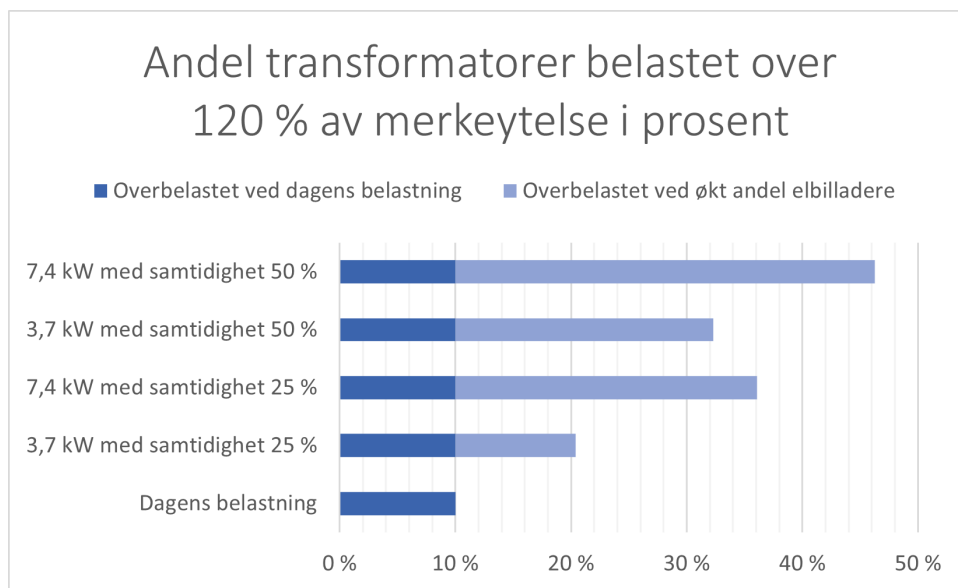
Trafokrets	Kapasitet [kVA]	I dag [kVA]	C1 [kVA]	C2 [kVA]	C3 [kVA]	C4 [kVA]	C5 [kVA]	C6 [kVA]
Boligområde 1	200	107	119	126	134	141	148	155
Boligområde 2	315	180	189	194	199	205	210	215
Boligområde 3	200	230	244	252	260	268	276	284
Boligområde 4	500	322	344	356	369	382	395	408
Boligområde 5	315	326	345	356	367	378	389	400
Boligområde 6	200	210	222	229	236	243	250	258
Boligområde 7	200	128	136	141	145	150	155	160
Spredt boligområde 1	100	39	41	42	43	44	45	46
Hytteområde 1	315	170	185	194	204	213	222	231
Hytteområde 2	100	57	66	72	77	83	88	94

Som en kan se vil en økning av andel elbilladere kun medføre overbelastning i tre av ti transformatorer, og dette er transformatorene som allerede er overbelastet ved dagens belastning. De sju andre transformatorene vil, i følge beregningsresultatene fra Velanders formel, takle den økte belastningen som følger av en økt andel elbilladere.

7.5 Andel overbelastede transformatorer i hele området til Etna nett

Ved benyttelse av data omhandlende alle transformatorene i området til Etna Nett, som inkluderer både kapasitet og antall tilkoblede kunder, ble det estimert andel av transformatorene som kan bli overbelastet ved ulike scenario. For å undersøke dette ble det benyttet scenario A5, A6, B5 og B6, hvor andelen boliger med elbil er på 100 %. Scenario A5 og A6 benytter ladeeffekt på 3,7 kW, med samtidighet på 25 %, mens scenario B5 og B6 benytter ladeeffekt på 7,4 kW, med samtidighet på 50 %. På figur 7.2 kan man se andelen transformatorer som er estimert overbelastet, både ved dagens belastning, men også ved en økende andel elbilladere i samfunnet.

Beregningene er utført ved hjelp av gjennomsnittlig maks effekttrekk for bolig, på henholdsvis 4,03 kW. Videre er ladeeffekten som hvert enkelt av scenarioene medførte, summert sammen med allerede eksisterende forbruk. At transformatoren er overbelastet innebærer at den er belastet over 120 % av merkeytelsen, som omtalt i kapittel 2.4.



Figur 7.2: Andel transformatorer belastet over 120 % av merkeytelsen ved andel boliger med elbil på 100 %

7.6 utfordringer i det elektriske anlegget i private boliger knyttet til montering av elbillader

Dette kapitlet vil ta for seg delen som omhandler hvordan økningen av elbiler i private hjem vil påvirke VOKKS Installasjon og hvordan de kan imøtekomme bestemte utfordringer og problemer. For å kunne kartlegge hvilke tilpasninger som må gjøres i det elektriske anlegget hos en kunde er det hensiktsmessig å ha informasjon om hvordan situasjonen er i dag, derfor vil kapitlet innlede med beskrivelse av dagens situasjon.

7.6.1 Informasjon om hvordan situasjonen er i dag

Per i dag har VOKKS Installasjon tre til fire montører som jobber med montasje av elbilladere, på sikt vil denne andelen øke i takt som etterspørselen rundt elbil og ladere blir større. Det blir satt av omtrentlig tre til fire timer per montasje hvor dette inkluderer kjøring, montasje og sluttkontroll. Det vil si at en montør på en typisk dag vil kunne montere to ladere.

I dag benytter VOKKS Installasjon 50 A eller 63 A hovedsikring for inntaket med 50 mm² inntakskabel. Ved å benytte 50 mm² fremfor 25 mm² sikrer bedriften seg for mulig utvidelser av anlegget i, samt at de tar hensyn til tap i overføringen da mindre kabelverrsnitt medfører en høyere impedans. På hytter vil det vanligvis bli montert 32A hovedsikring, men dette vil kunne variere fra anlegg til anlegg. I følge saksbehandleren hos VOKKS Installasjon benytter de i hovedsak 32 A sikring ved montering av elbillader.

Når det gjelder kostnader knyttet til installasjon blir kunden tilbudt pris avhengig av hvilken lader de ønsker montert. Pris for Zaptec landeenheten ligger på en fastpris på kr. 13 490-, og pris for Easee ligger på en fastpris som kommer på kr. 14 490-. I følge saksbehandler i VOKKS Installasjon har bedriften på det nåværende tidspunkt montert 134 ladere, hvorav 84 ladere ble montert i 2021 og 50 ble montert i 2020. Den forventede veksten for de kommende årene til og med 2025 har blitt presentert i kapittel 5.3.

7.6.2 Antall elbilladere som må monteres frem til år 2025

En økende andel elbiler i samfunnet vil ikke bare påvirke strømmettet, men også installasjonsbedrifter. Installasjonbedrifter er de som må ta hånd om montering av elbilladere, og derfor vil en økning av antall elbiler kunne medføre en økning av antall ansatte bedriften vil trenge. Dette kapitlet vil derfor ta for seg hvor mange elbilladere VOKKS Installasjon kan forvente og måtte installere i årene fremover, basert på veksten presentert i scenario 1 i kapittel 5.3.1, samt antall årsverk knyttet til monteringen av elbilladere.

Som omtalt i kapittel 5.2 er prognosen frem til og med år 2025, basert på totalt antall registrerte elbiler i kommunene. På denne måten vil man ta hensyn til både eierskifte, samt eventuell vraking. Antall elbilladere som må monteres hvert år, vil derfor være lik økningen av antall registrerte elbiler. Dette innebærer også at man antar at de som allerede eier en elbil, også har montert en elbillader. Dersom man selger en elbil, samt kjøper en ny, vil man fremdeles ha en lader man kan benytte.

Ved en økning i etterspørselen knyttet til montering av lader, vil man også kunne se en økning i antall montører man trenger. I følge saksbehandleren i VOKKS Installasjon benytter en montør i gjennomsnitt 4 timer totalt på en montering av en elbillader. Dette inkluderer også kjøring til og fra der hvor monteringen finner sted. For å estimere arbeidet som kreves for å montere antall forventede elbilladere i årene fremover, er det besluttet å benytte årsverk. Et årsverk beregnes å være på totalt 1750 timer. I tabell 7.10 kan man finne antall årsverk som kreves for å imøtekomme estimert vekst av antall elbilladere, fra 2022 til 2025. Denne tabellen inkluderer også totalt antall ladere som må installeres hvert år i Søndre land, Nordre land, Etnedal og Snertingdal, basert på prognose presentert i scenario 1 i kapittel 5.3.1.

Tabell 7.10: Antall årsverk som kreves for å imøtekomme estimert vekst av antall elbilladere

Årstall	Tidsbruk pr. lader [h]	Totalt antall ladere	Tidsbruk [h]	Ett årsverk for elektrikere	Antall årsverk
2022	4	198	794	1750,00	0,45
2023	4	318	1272	1750,00	0,73
2024	4	510	2040	1750,00	1,17
2025	4	820	3280	1750,00	1,87

7.6.3 Tilpasninger i det elektriske anlegget i private boliger

Hovedsakelig vil utfordringer som blir drøftet i dette kapittelet være direkte knyttet til den nye forbrukerkursen som skal forlegges. Likevel vil det nevnes enkelte utfordringer og problemer som kan oppstå som ikke direkte omhandler montasje av laderen, men som vil være hensiktsmessig å drøfte med kunden om å utbedre med tanke på sikkerhet av det elektriske anlegget og personer.

Før montasje vil montøren gjennomføre en befarings hos kunden for å innhente nødvendig informasjon om anlegget. Blant annet omhandler dette størrelse på inntaket, altså overbelastningsvernet i boligen. I tillegg til dette må man kartlegge om boligen har overspenningsvern, da det er krav om dette i henhold til NEK400:2018 avsnitt 722.443.3.1, samt at tilkoblingspunktet for elbilladeren er beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern med merkeutløserstrøm

≤ 30 mA, i henhold til NEK400:2018 avsnitt 722.411.3.3. Plassering av laderen må også diskuteres i samråd med kunden. I henhold til NEK400:2018 avsnitt 722.305.101 skal det benyttes en egen forbrukerkurs for tilkoblingspunkt grunnet samtidighet på 1, dersom dette tilkoblingspunktet skal forsyne et elektrisk kjøretøy. Det er viktig at montøren jobber på et spenningsløst anlegg når en ny forbrukerkurs skal tilkobles i sikringsskapet og at det gjennomføres sikkerhetstiltak dersom anlegget skal være spenningsløst over en lengre tid. Dette er beskrevet i «Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg» § 14-15 [10].

Videre er det spesifisert i NEK400:2018 avsnitt 722.305.101 at dersom tilkoblingspunktet er i en frittliggende garasje, kan tilkoblingspunktet for laderen installeres på allerede eksisterende forbrukerkurs, men denne forbrukerkursen skal kun forsyne annet utstyr og stikkontakter som er i nærhet av laderen. Dersom det ikke er mulig å gjennomføre en slik befaring vil bedriften be kunden om å sende bilde av sikringsskapet samt kursfortegnelse, og videre vil den ansvarlige i bedriften kartlegge hvilke muligheter kunden har.

Først og fremst må hovedsikringen til boligen måtte kontrolleres før jobben skal utføres. I enkelte tilfeller vil hovedsikringen være for liten til at det kan bli installert en ny forbrukerkurs i installasjonen. En forbrukerkurs som forsyner en elbillader skal også beregnes med en samtidighet på 1. Her må bedriften som gjennomfører arbeidet, avklare med nettleverandøren om det er mulig at inntaket økes til neste mulige størrelse. I forbindelse med montering av elbilladere, er det også mange nettselskap som krever melding dersom det blir installert enfase eller tofase ladeinntak. Grunnen for dette er at nettselskapen må påse å fasefordele belastningen ved høyt effektuttak på kun en eller to faser, da laderen trekker maks effekt til elbilen er ladet helt opp. Det vil også være en viss problematikk knyttet til enfase eller trefase anlegg. Dersom kunden har enfase inntak, men har behov for en trefaselader, må inntaket endres. Da må nettleverandør inkluderes i vurderingen, slik at inntakskabelen blir byttet, samtidig som inntaket blir endret.

Andre utfordringer som kan oppstå er knyttet til eldre anlegg og boliger. I eldre boliger kan det elektriske anlegget være gammelt og utdatert, og det er viktig at montøren informerer kunden om at dette må skiftes til nyere standard. Dersom deler av anlegget gjør at tilkoblingen av den nye kursen blir vanskelig eller ikke mulig, bør dette skiftes samtidig som kunden får installert laderen. Det er viktig å informere kunden om viktigheten av å oppdatere et gammelt anlegg til dagens standard, for å tilfredsstille nye krav og for at sikkerheten i anlegget er tilstrekkelig. For eksempel er det i dag et krav som sier at kulokabel skal byttes ut til godkjent kabel dersom forbrukerkursen skal føres videre, samt sikringer dersom det ikke er benyttet automatsikringer. Videre vil det også være problemer knyttet til ujordete anlegg. Dersom man skal installere en elbillader på et ujordet anlegg, må det opprettes en jord-

forbindelse. Dette er både viktig for funksjonen på elbilladeren som krever jordforbindelse, men også for overspenningsvernet. Ved overspenning i installasjonen, vil overspenningsvernet lede spenningen mot jord, og er derfor avhengig av en jordforbindelse. Dette er som nevnt et krav ved installering av elbillader, som omtalt i kapittel 7.6.1. Det som er drøftet i de foregående avsnittene er ikke direkte problemer, men utfordringer som må håndteres for at jobben skal utføres.

7.6.4 Utfordringer knyttet til enfase- og trefaselading på ulike nettsystemer

Gruppen har vært i kontakt med komitéleder i «NK69 - Elektriske kjøretøy for offentlig veg med ladeinfrastruktur», og medlem i «NK64 - Lavspenningsanlegg» i forbindelse med utfordringer knyttet til elbillading på de ulike nettsystemene henholdsvis TN 400V og IT 230V. I utgangspunktet er det lite utfordringer knyttet til lading av elbiler på TN 400 V nettet da det er dette nettsystemet laderne er designet for å være tilkoblet. Det gjelder både ladestasjoner og nødladekabel på enfase- og trefaseanlegg.

Utfordringer som kan oppstå på IT 230 V nettet er knyttet til mode 2 lading og trefase lading som i hovedsak dreier seg om N-lederen. Ved mode 2 lading blir det benyttet strøm via stikkontakt. Styringsenhet på ladekabelen skal detektere om det er jord i stikkontakten den er tilkoblet, og dette skjer ved at det blir målt impedans mellom fas og jord. I praksis vil denne styringsenheten ikke klare å måle dette ved tilkobling på IT-nett, noe som går utover driftssikkerheten og personsikkerheten ved lading. Derfor blir denne lademetoden i hovedsak benyttet som nødlading og grunnet utfordringene den presenterer, er det forventet at denne lademetoden vil tas ut av NEK400 når det kommer ny utgave i 2022 [85, 86].

Når det gjelder elbillading på IT 230V nettet vil det i utgangspunktet være enfase lading som er veien å gå med tanke på utfordringene som oppstår ved trefase lading. I NEK EN 62196-2 [87] beskrives det hvordan type 2 kontakten skal utformes og brukes. For at man skal ha mulighet for trefase lading på 230V nettet må nøytralpinnen på type 2 kontakten benyttes, fase L1 blir tilkoblet L1, fase L2 blir tilkoblet L2 og fase L3 blir tilkoblet N. Dette medfører at fasen som er tilkoblet nøytrallederen, må føre en strøm tilbake som er $\sqrt{3}$ ganger større enn det som er normalt, nemlig 16 A. Ledningssystemet er ikke dimensjonert for dette, og det kan oppstå fare for materiell og personell.

Enkelte ladestasjoner måler N-leder og manipulerer signalet som går fra ladestasjonen til bilen, som sier hvor mye ampere bilen skal trekke. Når ladestasjonen detekterer at bilen trekker mer enn 16A og det går over 16A i L3 som opptrer som N-lederen, vil den justere

ned signalet og det vil gå $\pm 10A$ i fasene L1 og L2 og 16 - 17A i L3 som opptrer som N-lederen. På tross av at dette er en sikkerhetsfunksjon er det et avvik fra NEK:400 og det kan derfor ikke skrives samsvarerklæring på en slik løsning i henhold til NEK:400. I følge FEL §10 [88] er det ikke et krav om å følge NEK:400, men dokumentasjonen på arbeidet som er utført skal dokumentere at sikkerhetsnivået er like godt eller bedre enn arbeid utført i henhold til krav i NEK:400.

Kapittel 8

Diskusjon

Dette kapitlet vil ta for seg ulike synspunkter og innfallsvinkler til problemstillingen som er presentert. Lastmodellering med ulike ladeeffekter ved hjelp av AMS-målinger og Velanders formel vil bli diskutert. I tillegg vil det bli drøftet ulike faktorer som vil påvirke belastningen som kommer fra elbilladere. Videre blir det kort drøftet fordeler og usikkerheter knyttet til beregningsmetodene som er benyttet. Til slutt blir det presentert en løsning som kan bli implementert i fremtiden samt det etiske og bærekraftige aspektet av løsningen.

8.1 Elbilladers påvirkning på fordelingstransformatorer

I dette kapitlet diskuteres resultatene, presentert i kapittel 7.3.2, 7.3.3 og 7.4.2, knyttet til elbilladers påvirkning på fordelingstransformatorer. Dette gjøres med den hensikt å undersøke hvilke faktorer som har størst betydning når det gjelder belastningen på transformatoren. I tillegg vil det også bli drøftet fordeler ved lastmodellering med bruk av AMS-målinger.

8.1.1 Lastmodellering med AMS-målinger - Scenario A1 - A6 med ladeeffekt på 3,7 kW

For de ulike scenarioene med en ladeeffekt på 3,7 kW, ble fire av ti transformatorer overbelastet. Tre av disse transformatorene var allerede belastet over merkeytelse, før den ekstra belastningen forårsaket av elbilladere ble lagt til. Den ekstra belastningen som følger av scenario A1 førte derfor til at samtlige av de tre transformatorene ble belastet over 20 % over merkeytelse. På bakgrunn av dette vil transformatorene i boligområde 3, boligområde 5 og boligområde 6 måtte oppgraderes dersom andelen elbilladere øker. Alderen på transformatorene i boligområde 3, 5 og 6 er henholdsvis 36, 40 og 21 år. Som omtalt i kapittel 2.4 er levetiden på en transformator 30 år, dersom den driftes med nominell last. Grunnet den allerede høye alderen, samt at levetiden reduseres drastisk ved overbelastning, vil en

økning av elbilladere medføre at kapasiteten på transformatorene må økes.

For de resterende transformatorene, ble kun boligområde 1, boligområde 4 og hytteområde 2 utsatt for overbelastning ved de ulike scenarioene. For boligområde 1 og 4 inntraff dette først ved scenario A6, og belastningen var fremdeles under 120 % av merkeytelse. Dette vil derfor ikke medføre at transformatoren må oppgraderes, men kan indikere at man burde vurdere enn oppgradering av kapasiteten når transformatoren uansett skal skiftes ut grunnet levealder. For hytteområde 2, ble transformatoren belastet over 120 % av merkeytelsen i scenario A6. Scenario A6 innebærer at alle i hele området har elbil, samt at samtidigheten er på 50 %. Siden dette er et hytteområde vil dette kun inntreffe i sjeldne tilfeller, og dersom det skulle inntreffe er ikke belastningen vesentlig over 120 % av merkeytelse. På bakgrunn av dette, er det ikke nødvendig at denne transformatoren økes i kapasitet kun på grunn av overbelastning ved scenario A6. Resterende transformatorer var belastet under merkeytelse for alle de ulike scenarioene. For å knytte tilbake til prognosen, som i gjennomsnitt medførte en andel på 25 % elbiler i 2025, vil nesten alle fordelingstransformatorene håndtere økningen som dette medfører, selv med en samtidighet på 100 %. Transformatorene som ikke vil håndtere dette, er de som allerede er belastet over merkeytelse ved dagens belastning.

8.1.2 Lastmodellering med AMS-målinger - Scenario B1 - B6 med ladeeffekt på 7,4 kW

For de ulike scenarioene med en ladeeffekt på 7,4 kW, ble hele ni av ti transformatorer overbelastet på et tidspunkt. Spesielt vil scenarioene med høy samtidighet i ladingen medføre en overbelastning av samtlige transformatorer, nærmere bestemt scenario B3, B4 og B6, med en samtidighet på henholdsvis 75 %, 50 % og 50 %. Transformatoren i spredt boligområde 1 vil ikke bli overbelastet ved noen scenarier, selv med høy samtidighet og en ladeeffekt på 7,4 kW. Grunnen for dette kan være at transformatoren ved dagen belastning, er belastet under 50 % av merkeytelsen. Den tilgjengelige kapasiteten her er derfor mye høyere enn på de resterende transformatorene.

I dag benyttes i hovedsak en sikring på 32 A ved montering av en elbillader, som nevnt i kapittel 7.6.1. På IT-nett, vil dette medføre en effekt på 7,4 kW, som dette beregningsresultatet er basert på. Denne høye effekten kan medføre en rekke konsekvenser, som for eksempel støy og ubalanse i nettet. Ved sammenligning med scenario med ladeeffekt på 3,7 kW, kan man se at en ladeeffekt på 7,4 kW gir vesentlig høyere belastning på transformatoren og vesentlig flere transformatorer blir overbelastet i de ulike scenarioene. Resultatene fra nettopp denne beregningen er veldig relevant for fremtidig utvikling.

8.1.3 Lastmodellering med Velanders formel - Scenario C1 - C6 ved benyttelse av årlig energibehov knyttet til elbilladere

Lastmodellering ved hjelp av Velanders formel medførte resultater forskjellig fra de to andre, som ble beregnet ved hjelp av lastmodellering med AMS-målinger. Ifølge lastmodellering med bruk av Velanders formel, vil alle transformatorene som driftes under merkeytelse, ikke overbelastes ved en økning av andel elbilladere. Dersom man kun setter søkelys på dagens belastning på transformatoren, vil Velanders formel, samt lastmodellering ved hjelp av AMS-målinger, medføre relativt likt resultat. Å benytte Velanders formel på dagens forbruk kan derfor fungere, men som nevnt i kapittel 2.10.2 vil ikke Velanders formel nødvendigvis ta hensyn til nye type belastninger i strømmettet. På bakgrunn av dette, samt beregningsresultatene, kan man se at Velanders formel egner seg dårlig for lastmodellering ved en økning av andel elbilladere.

I henhold til beregningsresultatene, vil kun boligområde 3 bli belastet over grensen på 120 % av merkeytelse for alle de seks scenarioene. Likevel vil disse beregningsresultatene gi en feilaktig fremstilling av elbilladeres påvirkning på strømmettet. Som man kan se er alle transformatorene som antas overbelastet i de ulike tilfelle, allerede overbelastet med dagens belastning. I alle de ulike transformator-kretsene medfører en økning av andel elbillader, en jevn økning av belastning på transformatoren. Dermed ville de resterende transformatorene også blitt overbelastet, dersom dagens belastning var høyere.

Velanders formel estimerer maks effekttrekk med bakgrunn i årlig energiforbruk. På grunn av dette vil man ikke kunne ta hensyn til ønsket samtidighet, og konsekvensene av dette kommer tydelig frem i beregningsresultatene. I henhold til beregningsresultatene, vil en økende andel elbiler i samfunnet, medføre en lav økning i maks effekttrekk som kreves. For eksempel vil en andel på 100 % elbiler i boligområde 1, kun medføre et ekstra effekttrekk på 48 kVA. Dette tilsvarer en effekt på 43,2 kW, eller kun 11,67 ladere med en ladeeffekt på 3,7 kW. Som man kan se er dette langt unna realiteten, hvor scenario 6 innebærer 100 % av boligene med elbil. I henhold til det ekstra effekttrekket beregnet ved hjelp av Velanders formel, vil den økte belastningen i realiteten kun tilsvare en andel på 24,6 % med elbil, dersom man antar 1,13 elbiler per bolig.

Dette vil ikke nødvendigvis bety at Velanders formel ikke kan benyttes ved lastmodellering, men heller at koeffisientene som benyttes i formelen må oppdateres. Koeffisientene er basert på statistiske målinger og varierer fra område til område. På grunn av at koeffisientene er basert på tidligere forbruksmønstre, vil ikke formelen ta hensyn til store endringer i forbruksmønsteret knyttet til effektforbruk som skjer i dag. Denne formelen vil derfor ikke

være optimal, spesielt i dette tilfellet når det gjelder den kraftige økningen av elbiler som resulterer i økt belastning på strømmettet. I dag skjer det store lastendringer i forbruksprofilen som følge av en økning av elbilladere i private hjem. Elbillader er en ny type belastning som krever høy effekt over kort tid. Koeffisientene som er utarbeidet for flere år siden, vil derfor ikke ta hensyn til en så ny type belastning. Ved benyttelse av Velanders formel vil det ekstra energibehovet som kreves gjennom året som følger av elbilladere, legges til allerede eksisterende forbruk, og formelen skiller på grunn av dette ikke mellom energibehov knyttet til elbilladere eller energibehovet knyttet til resten av husholdningen. Grad av samtidighet er allerede bestemt av koeffisientene, og man kan ikke beregne med ønsket samtidighet, som man kan ved lastmodellering ved hjelp av AMS-målinger. Formelen gjelder også kun for ensartede belastninger, og belastningene er dimensjonert etter statistiske målinger og vil derfor ikke ta hensyn til elbillader.

8.1.4 Faktorer som påvirker belastningen fra elbilladere

Lastprofilen i husholdninger har opp gjennom tidene vært preget av effekttopper, som oftest inntreffer på ettermiddag. Ved undersøkelser av AMS-målinger, ble det oppdaget at denne lastprofilen har endret seg, som man kan se på figur 7.1 i kapittel 7.1.1. Dagens belastning i husholdninger, basert på mottatte AMS-målinger, er mer jevn enn det man historisk har sett. Gjennomsnittlig effekttrekket for boliger varierte kun mellom 3,4 og 4 kW, og er dermed lavere enn hva en elbillader vanligvis trekker. Dermed var ikke lenger effekttoppene tydelig, og det var utfordrende å avgjøre når det ville være hensiktsmessig å lade elbilen med bakgrunn i dette. Som vist i kapittel 6.1.3 kunne man se at den største andelen av ladingen forgikk på natten. I kapittel 6.1.2 ble det derfor nevnt at ved å plassere elbilladingen på natten, ville dette medføre reduserte effekttopper, fremfor å plassere ladingen på ettermiddagen. Ved videre undersøkelser ble det fastslått at dette ikke hadde like stor betydning som antatt, grunnet lite variasjoner i lastprofilen.

Dette medførte at andre variabler hadde vesentlig mer å si for belastningen på transformatoren. Ved undersøkelse med to ulike ladeeffekter ved lastmodellering med AMS-målinger, ble det kartlagt at samtidighet i ladingen, samt ladeeffekt har stor betydning. Som vist i tabell 7.6 vil en ladeeffekt på 3,7 kW i få tilfeller føre til overbelastning, med mindre transformatoren allerede er overbelastet med dagens belastning. Dersom man sammenligner dette med resultatene for scenario med ladeeffekt på 7,4 kW, vil vesentlig fler av transformatorene bli overbelastet, selv om andelen elbilladere og samtidighet er uforandret. I denne sammenligningen må man se bort i fra boligområde 3, 5 og 6 da de allerede er belastet over merkeytelse med dagens belastning.

Selv om en ladeeffekt på 7,4 kW medfører overbelastning i flere av transformatorene for de

ulike scenarioene, vil også samtidighet spille en viktig rolle for graden av overbelastning. Som man kan se vil de fleste transformatorene bli overbelastet i scenario B4, hvor samtidigheten er 50 % og andelen med elbil er på 70 %. Likevel, vil transformatorene i de fleste tilfellene håndtere den økte belastningen som følger av scenario B6, hvor andelen elbiler er 100 %, mens samtidigheten kun er 25 %. Dermed vil en høyere andel kunne benytte seg av elbilladere, uten at transformatoren blir belastet over 120 % av merkeytelse, dersom samtidigheten er lav. Scenario B5 fører kun til belastning over 120 % av merkeytelsen i hytteområde 2. Økes samtidigheten til 50 %, som i scenario B6, kan man se at samtlige transformatorer unntatt spredt boligområde 1, vil bli belastet over 120 % av merkeytelsen.

Gjennom kapasitetskontroll av fordelingstransformatorer er det funnet ut at samtidighet og ladeeffekt har mest betydning dersom man skal undersøke om transformatoren håndterer den økte belastningen som følger av en økning av elbilladere i samfunnet. Dersom ladeeffekten eller samtidigheten holdes på et lavt nivå, vil de fleste transformatorene undersøkt håndtere den økte belastningen, forutsatt at transformatoren ikke er overbelastet over merkeytelse med dagens belastning. Som vist i kapittel 7.5 vil 11 % av alle transformatorene i hele området bli overbelastet ved en ladeeffekt på 3,7 kW og samtidighet på 25 %, forutsatt at alle boliger har elbil. Øker man samtidigheten til 50 %, vil andel overbelastede transformatorer doble seg.

For at man skal unngå å måtte oppgradere alle transformatorene ved en økning av andel elbilladere, burde derfor styring av elbilladere som presentert i kapittel 8.2.1, vurderes. Ved gjennomføring av dette, slik at enten ladeeffekt eller samtidighet holdes på et lavt nivå dersom strømmettet er kraftig belastet, vil man kunne unngå kostbare utbygginger. Tabell 7.6 viser at selv ved en høy andel elbiler kan lade flere samtidig, så lenge ladeeffekten holdes på et lavt nivå, i dette på 3,7 kW. Videre viser tabell 7.7 at transformatorene også kan håndtere en høy andel elbiler med høy ladeeffekt, så lenge samtidigheten holdes på et lavt nivå. Ved høy samtidighet i ladingen, anbefales det derfor at man benytter lav effekt for å unngå overbelastning av fordelingstransformatorer. Ved å innføre dette kan man unngå kostbare utbyggelsler av strømmettet.

8.1.5 Fordeler med AMS-målinger ved lastmodellering

Å benytte AMS-målinger ved lastmodellering vil være en stor fordel for nettselskapene. AMS-målerne er allerede installert i alle boliger, og gir et mer reelt innblikk i forbruket. Ved å benytte reelle målinger, vil det være mulig å dimensjonere strømmettet mer korrekt etter det reelle forbruket. Man vil på denne måten kunne dimensjonere strømmettet etter det høyeste forbruket man kan forvente, og ta forhåndsregler knyttet til dette. Med andre ord vil de enkelt kunne se når det oppstår endringer i forbruksmønsteret til kundene og gjøre

tilpasninger knyttet til dette. I motsetning til Velanders formel vil man kunne ta hensyn til nye type belastninger som oppstår i husholdningene.

8.2 Løsninger for fremtiden

Som nevnt i kapittel 8.1.4 er det grad av samtidighet, samt andel elbilladere som i størst grad påvirker om transformatoren bli overbelastet eller ikke. I dette kapittelet vil det bli drøftet en fremtidig løsning som i hovedsak vil dreie seg om styring av laderne for å kunne unngå overbelastning, samt etiske utfordringer knyttet til den aktuelle løsningen.

8.2.1 Styring for å redusere samtidighet og ladeeffekt

Tidligere har strømleverandører opplevd effekttopper på gitte tidspunkter gjennom dagen som følge av stort trykk og belastning på nettet. Beregningene som er gjennomført i denne rapporten viser derimot at forbruksprofilen har jevnet seg mer ut sammenlignet med tidligere. Det vil som nevnt kunne være et resultat av målingene fra det foregående året hvor koronapandemien påvirket vanene til de aller fleste. Utfordringen som presenterer seg i dag er derfor knyttet til samtidighet og ladeeffekt som vil kunne bli løst ved styring av elbilladere.

Ladeeffekten til en elbillader kan justeres, og denne må derfor ikke være stilt inn til maks hele tiden. Det vil si at det vil være mulig å installere en styringsenhet som vil redusere ladingen når den totale belastningen er for høy for nettet å håndtere. Dersom alle ladere som er tilknyttet en krets vil ha denne styringsenheten, vil det være mulig å senke den totale belastningen tilstrekkelig slik at nettet ikke kneler. Denne styringsenheten vil også kunne redusere ladeeffekten, dersom grad av samtidighet er for høy i forhold til hva transformatoren kan håndtere.

Denne formen for styring må skje automatisk, det vil si at dette ikke er noe privatpersonene vil gjøre, men det vil bli styrt fra nettleverandøren sin side. Dette kan gjøres ved at det monteres en senderenhet plassert i for eksempel kabelskapet som er tilknyttet en rekke mottakerenheter som er plassert foran elbilladeren. Det vil kontinuerlig bli sendt data om belastningen på nettet til senderen, og den vil være programmert slik at den basert på verdiene den mottar, avgjør om den totale belastningen er for høy eller ikke. Dersom den avgjør at belastningen overskrider et bestemt punkt, vil den sende et signal til mottaker enhetene som vil redusere ladingen til et gitt punkt. Når den totale belastningen har sunket til et akseptabelt nivå vil senderen på nytt gi beskjed til mottakerenhetene om at de nå kan øke

ladingen til det nivået de var på i utgangspunktet. Slik vil belastningen kunne bli styrt på en enkel og effektiv måte, uten at det går ut over komforten til beboerne. På sikt vil styringen presentert over skje ved hjelp av AMS-målerne eller ved å benytte Internet of things (IoT) [89].

8.2.2 Bærekraft og etikk

Hensikten med dette prosjektet var å undersøke konsekvensene strømmettet vil oppleve som følge av en kraftig økning av elbilladere. I dette kapittelet vil det kort bli diskutert aspektet rundt bærekraft og etikk. Når det gjelder økningen av elbiler vil mange se på det som et steg i riktig retning innenfor bærekraft. Elbilene bidrar til et redusert utslipp når de er på veiene, men de vil som beskrevet tidligere i kapittel 3.1.3 ha et utslipp som kommer fra produksjon av selve bilen, men også fra strømmen den benytter ved lading. Den vil likevel ha et mindre utslipp enn fossile biler, og derfor vil den bli sett på som miljøvennlig og bærekraftig. I Norge derimot produseres store deler av elektrisiteten ved hjelp av vannkraft, noe som medfører at elektrisiteten også er miljøvennlig.

I takt med økningen av elbiler i private hjem, øker belastningen på det elektriske nettet. En åpenbar og den umiddelbare løsningen på denne utfordringen vil være å utvide nettet slik at kapasiteten på transformatorer, linjer og kabler økes. Dette er en omfattende og kostbar løsning, ikke bare for nettselskapene, men også for naturen og miljøet. Derfor er det viktig at det blir undersøkt andre muligheter som er mer bærekraftig enn en utvidelse for å imøtekomme denne problemstillingen.

I kapittel 8.2 ble det presentert en fremtidig løsning for styring av elbiler for å redusere effekttoppene og den generelle belastningen på nettet. Denne løsningen vil praktisk sett være gjennomførbar når det kommer til selve styringen og overføring av nødvendig data. Utfordringen med en slik løsning vil presentere seg i personvern og hvorvidt denne løsningen er etisk med tanke på privatlivet til kundene samt utfordringene knyttet til hacking.

Kapittel 9

Konklusjon

Gjennomførte prognoser for vekst i bilparken, har lagt grunnlaget for estimeringen av energi- og effektbehovet knyttet til en økt andel elbilladere i private boliger. Kapasitetskontrollen av fordelingstransformatorene som baseres på scenario presentert i kapittel 7, utføres ved hjelp av to ulike metoder, henholdsvis lastmodellering ved hjelp av AMS-målinger og Velanders formel. Ved hjelp av disse to metodene ble det identifisert hvilke faktorer som har betydning for overbelastning av fordelingstransformatorene.

På bakgrunn av beregningene som ble utført, ble det avklart ved hvilke scenarier de ulike fordelingstransformatorene overbelastes. I området til Etna nett ble ti ulike fordelingstransformatorer undersøkt, både i boligområder og hytteområder, og det ble avklart at tre av ti transformatorer allerede var overbelastet ved dagens belastning. Ved scenario A1 - A6 med ladeeffekt på 3,7 kW vil sju av ti transformatorer tolerere belastningen, ved scenario B1 - B6 med ladeeffekt på 7,4 kW vil to av ti transformatorer tolerere belastningen og ved scenario C1 - C6 med Velanders formel vil sju av ti transformatorer tolerere belastningen som følge av økt andel elbiler i private hjem. I tillegg viser beregningsresultatene at ved lav samtidighet eller ved lav ladeeffekt vil fordelingstransformatorene i det undersøkte område håndtere den økte andelen elbiler i private hjem, sett bort fra de transformatorene som allerede er overbelastet ved dagens belastning. Her er det viktig å ta i betraktning at det ikke er behov for at de to tilfellene inntreffer på samme tid for å unngå at fordelingstransformatorene overbelastes.

Videre vil en av utfordringene VOKKS Installasjon må imøtekomme være knyttet til enfase- og trefaselading på de ulike nettsystemene. På bakgrunn av dette konkluderes det med at det på TN-nett ikke medfører utfordringer knyttet til trefaselading, men at det ikke er å anbefale trefaselading på IT-nett grunnet fare for feil og redusert sikkerhet. Ved montasje av elbilladere vil det måtte gjennomføres undersøkelse og tilpasninger i den elektriske installasjonen i boligen, knyttet til oppgraderinger grunnet kapasitet og alder på anlegget.

Kapittel 10

Videre arbeid

Analysen som er presentert i denne rapporten legger grunnlaget for videre arbeid. Avgrensningene som er beskrevet i kapittel 1.2 vil åpner for ytterligere å gå i dybden i problemstillingen som er presentert, og for å undersøke konsekvensene av økt andel elbiler i private boliger ytterligere.

10.1 Avgrensninger skaper muligheter

For å få fullstendig oversikt over hvordan situasjonen rundt elbiler vil arte seg videre i fremtiden, både når det gjelder dimensjonering og kostnader; vil det derfor være hensiktsmessig å undersøke fler aspekter av denne saken. Det vil være nyttig å undersøke og kontrollere om tapene i transformatorene vil være økende ved økt belastning og eventuelt hvilke konsekvenser det vil medføre, når det gjelder videre arbeid.

Videre, for en helhetlig konsekvensutredning, vil det være hensiktsmessig å undersøke hvordan en økt andel av elbiler i private boliger vil påvirke resten av strømmettet. Det inkluderer større deler av distribusjonsnettet enn det som er undersøkt her samt regionalnettet og transmisjonsnettet.

I tillegg til dette vil det også være hensiktsmessig å utføre en fullstendig konsekvensutredning omhandlende distribusjonsnettet. I denne rapporten er det ikke beregnet spenningsfall eller kortslutning. Det var ikke mulig å utføre spenningsfallberegninger grunnet manglende informasjon knyttet til trinnkobleren på transformatoren som bestemmer spenningen som leveres ut til kunden, samt omfanget knyttet til arbeid som dette hadde medført. Som omtalt i kapittel 2.3.3, skal spenningen holde seg innenfor en grenseverdi på $\pm 10\%$. Dersom transformatoren belastes for mye, vil det være en risiko for at spenningen faller under denne grenseverdien. Konsekvensene av dette er beskrevet i kapittel 2.4.1. Kortslutningsstrømmer vil også være viktig å beregne og kontrollere på nytt, dersom kapasiteten på transformato-

ren økes.

I tillegg til dette vil det være lønnsomt å gjennomføre en økonomisk analyse knyttet til utskiftelese av fordelingstransformatorer, linjer og kabler for å avgjøre om det vil være etisk, samt bærekraftig å utvide strømmettet nå sammenlignet med senere.

10.2 Kapasitetskontroll av linjer og kabler

Grunnet sen tilgang til AMS-målinger, som beskrevet i kapittel 1.2 avgrensninger, var det ikke mulig å kontrollere kapasiteten på linjer og kabler grunnet mangel på tid. Overbelastning av linjer og kabler kan likevel være en utfordring som dukker opp ved økt andel elbilladere i samfunnet, og konsekvensene som følger av dette er nevnt i kapittel 2.5. Likevel skal kablene og linjene i distribusjonsnettet være dimensjonert med tilhørende sikring som skal beskytte mot overstrøm, i henhold til REN 9115 [17]. Dermed skal sikringen i anlegget beskytte kablet, slik at denne løser ut før kablet tar skade. Ved undersøkelse av beregningsresultatene fra Trimble mottatt fra bedriften, ble det kartlagt at belastningsgraden på kablet, altså hvor mye kablet er belastet i forhold til strømføringssevnen, var lav i de fleste tilfellene. Dermed kan det være en indikasjon på at linjer og kabler kan håndtere den økte belastningen som følger av en økt andel private elbilladere. Likevel vil det være hensiktsmessig å undersøke dette ytterligere for å forsikre seg om at kablene og linjene, samt sikringene, håndterer den økte belastningen.

10.3 Spenningsusymmetri ved høy andel enfase-lading

En konsekvens som følger av en økning av andel elbiler som ikke blir kontrollert i denne oppgaven er grad av usymmetri i spenningen. Som omtalt i kapittel 2.3.3 skal ikke grad av usymmetri overskride 2 %. Usymmetri i spenningen inkluderer blant annet at effektivverdien er ulik i fasene. Dette er derfor noe som kan oppstå ved store enfase belastninger, noe en elbillader koblet i enfase vil være grunnet den høye effekten den krever. Ifølge NVE vil enfase elbilladere kunne medføre skjevspenning i distribusjonsnettet. SINTEF har også utført målinger knyttet til dette som viser at kun en elbillader på 32 A enfase vil kunne medføre en betydelig usymmetri, selv om nettet er sterkt. Dermed vil flere ladere i et svakt nett, kunne medføre at grenseverdiene i FOL overskrives. Ved enfase lading vil spenningen i en fase kunne synke, slik at grenseverdien på 2 % usymmetri overskrives. Benyttelse av trefaselading vil kunne redusere denne påvirkningen en elbillader har på usymmetri i spenningen. Dette vil som nevnt ikke undersøkes i rapporten, men vil som vist ha betydning i forhold til spenningskvaliteten. Dette er derfor noe som burde undersøkes ytterligere. [14]

Litteraturliste

- [1] Jon Gisle. «NELFO.» (2021), Tilgjengelig: <https://snl.no/NELFO> (sjekket 18.05.2022).
- [2] Inventura. «Nå SKAL det være nullutslippsbiler.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.inventura.no/fagblogg/na-skal-det-vaere-nullutslippsbiler/> (sjekket 18.05.2022).
- [3] K. A. Rosvold og L. O. Askheim. «Transmisjonsnett.» (2022), Tilgjengelig: <https://snl.no/transmisjonsnett> (sjekket 02.02.2022).
- [4] Norges vassdrags- og energidirektorat. «Nett.» (2021), Tilgjengelig: <https://www.nve.no/energi/energisystem/nett/> (sjekket 02.02.2022).
- [5] Norges vassdrags- og energidirektorat. «Utformingen av overføringsnett i Norge.» (2021), Tilgjengelig: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/nettvirksomhet/nettleie/utformingen-av-overforingsnett-i-norge/> (sjekket 02.02.2022).
- [6] REN. «RENbladseriene.» (u.å.), Tilgjengelig: <https://www.ren.no/retningslinjer-og-verktoy> (sjekket 13.05.2022).
- [7] REN. «Om REN.» (u.å.), Tilgjengelig: <https://www.ren.no/om-oss/om-ren> (sjekket 13.05.2022).
- [8] Norsk elektroteknisk komite. «Kort om NEK.» (u.å.), Tilgjengelig: <https://www.nek.no/om-nek/kort-om-nek/> (sjekket 13.05.2022).
- [9] Norsk elektroteknisk komite. «NEK 400:2018 Elektriske lavspenningsinstallasjoner.» (u.å.), Tilgjengelig: <https://www.nek.no/produkter/nek-400/> (sjekket 13.05.2022).
- [10] Lovdata.no. «Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg.» (2006), Tilgjengelig: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-04-28-458/kapiv#kapiv> (sjekket 08.02.2022).
- [11] Nelfo. «FSE.» (u.å.), Tilgjengelig: <https://www.nelfo.no/elektroteknikk/elsikkerhet/regelverk/fse/> (sjekket 10.02.2022).
- [12] Reguleringsmyndigheten for energi. «Forskrift om leveringskvalitet.» (u.å.), Tilgjengelig: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/nettvirksomhet/leveringskvalitet/forskrift-om-leveringskvalitet/> (sjekket 13.05.2022).

- [13] Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet. «Forskrift om leveringskvalitet.» (2020), Tilgjengelig: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-11-30-1557> (sjekket 13.05.2022).
- [14] C. H. Skotland, E. Eggum og D. Spilde, «Hva betyr elbiler for strømmettet?» Norges vassdrags- og energidirektorat, 74-2016, 2016. Tilgjengelig: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_74.pdf.
- [15] B. Stene, T. M. Sneve og K. Brekke, «Aldersfordeling for komponenter i kraftsystemet,» Norges vassdrags- og energidirektorat, 8-2005, 2005. Tilgjengelig: https://publikasjoner.nve.no/rapport/2005/rapport2005_08.pdf.
- [16] Martin Lillebo, Henrik Kirkeby and Thor Holm, «Prosumenters innvirkning på lavspente distribusjonsnett,» Nr. 9/2020, u.å.
- [17] «RENblad 9115 | Prosjektering av lavspentnett,» REN AS, 06/2021, 2021.
- [18] Nasjonal digital læringsarena. «Elektrisk energi, effekt og virkningsgrad.» (u.å.), Tilgjengelig: <https://ndla.no/nb/subject:1:8c5a9fdd-4fa4-456b-9afe-34e7e776b4e7/topic:9a14a193-5d47-498d-bdd9-40769d8887c7/resource:1:16981> (sjekket 17.05.2022).
- [19] Norges vassdrags- og energidirektorat. «Områdekonsesjon.» (2021), Tilgjengelig: <https://www.nve.no/konsesjon/konsesjonsbehandling-av-nettanlegg/omradekonsesjon/> (sjekket 17.01.2022).
- [20] Norges vassdrags- og energidirektorat. «Fritak for leveringsplikt.» (2021), Tilgjengelig: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/nettvirksomhet/nettilknytning/fritak-for-leveringsplikt/> (sjekket 17.01.2022).
- [21] Norges vassdrags- og energidirektorat. «Nettleie.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/kunde/nett/nettleie/> (sjekket 13.05.2022).
- [22] Gudbrandsdal Energi. «Aktuelle spørsmål og svar om ny nettleie.» (2021), Tilgjengelig: <https://www.ge.no/geavisa/ny-nettleiestruktur-sporsmal-svar> (sjekket 17.05.2022).
- [23] Enova. «Smarte strømmålere (AMS).» (u.å.), Tilgjengelig: <https://www.enova.no/privat/smarte-strommalere-ams/> (sjekket 13.05.2022).
- [24] I. Norheim, *Kompendium i elektrodelen i emnet FENG2001 Elektriske Energisystem og fjernvarme*. Gjøvik: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet - [NTNU], 2020.
- [25] E. H. Hansen, *Elektroinstallasjoner*. 2021, ISBN: ISBN 978-82-7610-012-9.
- [26] «RENblad 8007 | KARTLEGGING AV BELASTNING I LAVSPENNINGSNETT,» REN AS, 05/2021, 2021.

- [27] SINTEF Energi AS, «SINTEF Planleggingsbok for kraftnett – Fastlegging av belastninger ved analyser av lavspentnettet, kompendium: elektriske energisystemer», 2014.
- [28] B. Andresen. «Over halvparten av nye personbiler er elbiler.» (2021), Tilgjengelig: <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/artikler-og-publikasjoner/over-halvparten-av-nye-personbiler-er-elbiler> (sjekket 28.01.2022).
- [29] Energi og Klima. «Utrulling av elbiler.» (2021), Tilgjengelig: <https://energiogklima.no/klimavakten/utrulling-av-elbiler/> (sjekket 03.03.2022).
- [30] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. «Lading av elektriske biler.» (2015), Tilgjengelig: https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/elsikkerhet-els/veiledninger-pdf/elbil_installatoer.pdf (sjekket 12.03.2022).
- [31] *Ladesystemer for elektriske biler - Del 1: Generelle bestemmelser*, ser. NEK 61851-1:2019. Norsk elektroteknisk komite, 2019, bd. 61851-1:2019.
- [32] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. «Elbil - lading og sikkerhet.» (2020), Tilgjengelig: <https://www.dsb.no/lover/elektriske-anlegg-og-elektrisk-utstyr/tema/elbil---lading-og-sikkerhet/#etablering-av-ladepunkter> (sjekket 12.03.2022).
- [33] *Elektriske lavspenningsinstallasjoner = Electrical low voltage installations*, nob, 6. utg., ser. NEK (trykt utg.) Oslo: Norsk elektroteknisk komite, 2018, bd. 400:2018, ISBN: 978-82-91974-85-9.
- [34] Zaptec. «Zaptec Go.» (u.å.), Tilgjengelig: https://zendesk.zaptec.com/hc/article_attachments/4410409676433/NO_ZAPTEC_GO_PRODUCTSHEET_13102021.pdf (sjekket 13.05.2022).
- [35] Easee. «Easee.» (u.å.), Tilgjengelig: <https://easee.com/no/> (sjekket 13.05.2022).
- [36] Easee. «Easee Home Produktblad.» (u.å.), Tilgjengelig: https://easee-media-content-ec8c9e4.s3.eu-west-1.amazonaws.com/wp-content/uploads/2021/02/03155728/NO_Easee_Home_Produktblad.pdf (sjekket 13.05.2022).
- [37] Elbilgrossisten. «Easee ladebokser & ladeutstyr.» (u.å.), Tilgjengelig: https://www.elbilgrossisten.no/collections/easee?gclid=EAIaIQobChMI26_l7t7X9wIVBQWiAx32rQxHEAAYBwE (sjekket 13.05.2022).
- [38] Deutsche Welle. «Volkswagen to stop making combustion engine cars by 2035 in Europe.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.dw.com/en/volkswagen-to-stop-making-combustion-engine-cars-by-2035-in-europe/a-58066090> (sjekket 14.03.2022).

- [39] E24. «EU vurderer å fase ut bensin- og dieslbiler innen 2035.» (2021), Tilgjengelig: <https://e24.no/det-groenne-skiftet/i/rWW6Me/eu-vurderer-aa-fase-ut-bensin-og-dieslbiler-innen-2035> (sjekket 16.03.2022).
- [40] Sveinung Berg Bentzrød. «Slik ble grunnen revet vekk under Nasjonal transportplan.» (2021), Tilgjengelig: <https://www.aftenposten.no/norge/nyhetsanalyse/i/176lBq/slik-ble-grunnen-revet-vekk-under-nasjonal-transportplan?code=zINLsv9S3PdxCz8rYGYNUQuVC6mnrPPizLvVs34u9oC0EwUDUyIox59UAB0tXne> (sjekket 14.03.2022).
- [41] Det kongelige samferdelsdepartementet. «Nasjonal transportplan 2019-2029.» (2017), Tilgjengelig: <https://www.regjeringen.no/contentassets/7c52fd2938ca42209e4286%20fe86bb28bd/no/pdfs/stm201620170033000dddpdfs.pdf> (sjekket 07.02.2022).
- [42] Regjeringen.no. «Norge er elektrisk.» (2021), Tilgjengelig: https://www.regjeringen.no/no/tema/transport-og-kommunikasjon/veg_og_vegtrafikk/faktaartikler-vei-og-ts/norge-er-elektrisk/id2677481/ (sjekket 31.03.2022).
- [43] Samferdselsdepartementet. «Meld. St. 20 (2020–2021) Nasjonal transportplan 2022–2033.» (u.å.), Tilgjengelig: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-20-20202021/id2839503/?ch=1> (sjekket 09.02.2022).
- [44] Det kongelige samferdelsdepartementet. «Nasjonal transportplan 2022-2033.» (2020).
- [45] L. Godbolt. «2020: Kraftig vekst i antall hurtigladere.» (2021), Tilgjengelig: <https://elbil.no/2020-kraftig-vekst-i-antall-hurtigladere/> (sjekket 13.05.2022).
- [46] F. E. Abrahamsen, S. G. Ruud og A. Gebremedhin, «Moving Toward a Sustainable Energy System: A Case Study of Viken County of Norway,» *Energies*, årg. 13, nr. 22, s. 5912, 2020.
- [47] Norges Automobil-Forbund. «Dette er fordelene for elbiler.» (2021), Tilgjengelig: <https://nye.naf.no/elbil/bruke-elbil/dette-er-fordelene-for-elbiler/> (sjekket 22.03.2022).
- [48] Regjeringen. «Tilleggsnummer til Statsbudsjettet 2022: Endringer i bilavgiftene.» (2021), Tilgjengelig: <https://www.regjeringen.no/no/statsbudsjett/2022/tilleggsnummer/tilleggsnummer-til-statsbudsjettet-2022-skatter-og-avgifter/tilleggsnummer-til-statsbudsjettet-2022-endringer-i-bilavgiftene/id2884933/> (sjekket 01.04.2022).
- [49] Miljødirektoratet. «Klimagassutslipp fra transport i Norge.» (2021), Tilgjengelig: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/klimagassutslipp-fra-transport/> (sjekket 04.03.2022).

- [50] Miljødirektoratet. «Klimagassutslipp fra veitrafikk i Norge.» (2021), Tilgjengelig: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/klimagassutslipp-fra-veitrafikk/> (sjekket 04.03.2022).
- [51] Miljødirektoratet. «Norske utslipp og opptak av klimagasser.» (2021), Tilgjengelig: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/> (sjekket 04.03.2022).
- [52] K. F.Jenssen. «FAKTA OM ELBILER.» (u.å.), Tilgjengelig: <https://www.naf.no/her-finner-du-naf/lokalavdelinger/lokalavdeling-bodo/artikkel/fakta-om-elbiler/> (sjekket 21.02.2022).
- [53] Ø. B. Fossum. «Mercedes-Benz slutter med bensin og diesel - Satser kun elektrisk.» (2021), Tilgjengelig: <https://dinside.dagbladet.no/motor/satser-kun-elektrisk/74277929> (sjekket 08.04.2022).
- [54] M. Valle. «BMW skal slutte med produksjon av forbrenningsmotorer i Tyskland.» (2020), Tilgjengelig: <https://www.tu.no/artikler/bmw-skal-slutte-med-produksjon-av-forbrenningsmotorer-i-tyskland/502975> (sjekket 08.04.2022).
- [55] M. Paus. «Gigantisk satsing: Om ikke ett stort problem løses flopper elbilene.» (2020), Tilgjengelig: <https://www.nettavisen.no/okonomi/om-ikke-ett-stort-problem-loses-flopper-elbilene/s/12-95-3423938503> (sjekket 24.03.2022).
- [56] Statistisk sentralbyrå. «Bilparken.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/landtransport/statistikk/bilparken> (sjekket 31.01.2022).
- [57] Opplysningsrådet for veitrafikken. «Bruktimport av «nye» elbiler skyter fart.» (2021), Tilgjengelig: <https://ofv.no/aktuelt/2021/bruktimport-av-nye-elbiler-skyter-fart> (sjekket 04.02.2022).
- [58] Opplysningsrådet for veitrafikken. «Nybilsalget ned – elbilandelen kraftig opp.» (2022), Tilgjengelig: <https://ofv.no/aktuelt/2022/nybilsalget-ned-elbilandelen-kraftig-opp> (sjekket 11.03.2022).
- [59] Norges Automobil-Forbund. «Lang ventetid blir lengre for elbilkjøperne.» (2022), Tilgjengelig: <https://nye.naf.no/elbil/elbil-nytt/lang-ventetid-blir-lengre-for-elbilkjoperne> (sjekket 31.03.2022).
- [60] N. Plikk. «Forventer trøbbel godt ut i 2024.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.tek.no/nyheter/nyhet/i/a79p3L/forventer-troebbel-godt-ut-i-2024> (sjekket 31.03.2022).
- [61] Statistisk sentralbyrå. «Bilparken, tabell 07849.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.ssb.no/statbank/table/07849> (sjekket 19.04.2022).

- [62] R. Korsvoll. «Nye avgifter på elbil fra 2022 - De ukjente elbil-avgiftene.» (2022), Tilgjengelig: <https://dinside.dagbladet.no/motor/de-ukjente-elbil-avgiftene/75051253> (sjekket 29.04.2022).
- [63] Finansdepartementet. «Revidert nasjonalbudsjett - Merverdiavgiftsfritaket for elbiler erstattes med en tilskuddsordning.» (2022), Tilgjengelig: https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/merverdiavgiftsfritaket-for-elbiler-erstattes-med-en-tilskuddsordning/id2912423/?utm_source=www.regjeringen.no&utm_medium=rss&utm_campaign=RSS-2581966-ownerid216-documentTypeaktuelt/nyheter (sjekket 12.05.2022).
- [64] B. L. Sandstå. «Norsk BNP 40 prosent over EU-snittet.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.ssb.no/priser-og-prisindekser/konsumpriser/statistikk/sammenlikning-av-prisniva-i-europa/artikler/norsk-bnp-40-prosent-over-eu-snittet> (sjekket 28.03.2022).
- [65] Olje- og energidepartementet. «ENERGIBRUKEN I ULIKE SEKTORER.» (u.å.), Tilgjengelig: <https://energifaktanorge.no/norsk-energibruk/energibruken-i-ulike-sektorer/> (sjekket 15.03.2022).
- [66] Teknisk Ukeblad. «EU forbereder seg på utfasing av gass.» (2020), Tilgjengelig: <https://www.tu.no/artikler/eu-forbereder-seg-pa-utfasing-av-gass/485381> (sjekket 22.04.2022).
- [67] Norges vassdrags- og energidirektorat. «Energibruk utenfor Norge.» (2021), Tilgjengelig: <https://www.nve.no/energi/energisystem/energibruk-effektivisering-og-teknologier/energibruk-utenfor-norge/> (sjekket 31.03.2022).
- [68] Statnett. «Nok en ny forbruksrekord i Norge.» (2021), Tilgjengelig: <https://www.statnett.no/om-statnett/nyheter-og-pressemeldinger/nyhetsarkiv-2021/nok-en-ny-forbruksrekord-i-norge> (sjekket 03.05.2022).
- [69] Sigmund Grønmo. «kvantitativ metode.» (2021), Tilgjengelig: https://snl.no/kvantitativ_metode (sjekket 16.05.2022).
- [70] L. Fridstrøm og V. Østli, «Kjøretøyparkens utvikling og klimagassutslipp,» *Framskrivninger med modellen BIG. Institute of Transport Economics*, 2016.
- [71] Regjeringen.no. «Meld. St. 33 (2016–2017) Nasjonal transportplan 2018–2029.» (u.å.), Tilgjengelig: https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-33-20162017/id2546287/?q=2025&ch=1#match_0 (sjekket 17.02.2022).
- [72] J. Holm-Hansen og M. Paulsen. «Ukraina-konflikten.» (2022), Tilgjengelig: <https://snl.no/Ukraina-konflikten> (sjekket 27.04.2022).
- [73] Benny Christensen. «Ukraina-krigen stopper produksjonen av elbiler.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.tv2.no/a/14614579/> (sjekket 23.03.2022).

- [74] Norges vassdrags- og energidirektorat. «Samlet energibruk.» (2021), Tilgjengelig: <https://www.nve.no/energi/energisystem/energibruk-effektivisering-og-teknologier/samlet-energibruk/?ref=mainmenu> (sjekket 31.03.2022).
- [75] H. T. Tveter, «Large scale transition from conventional to electric vehicles and the consequences for the security of electricity supply: a demand side analysis of electricity consumption,» masteroppg., 2014.
- [76] Norges Automobil-Forbund. «Elbiler i vintertest: Ingen klarte rekkevidden oppgitt i reklamen.» (2021), Tilgjengelig: <https://nye.naf.no/elbil/bruke-elbil/test-rekkevidde-vinter-2022> (sjekket 31.01.2022).
- [77] Norges Automobil-Forbund. «Stor oversikt over rekkevidde og ladehastighet for elbiler i Norge.» (2021), Tilgjengelig: <https://nye.naf.no/elbil/bruke-elbil/elbiltest> (sjekket 10.02.2022).
- [78] Norges Automobil-Forbund. «Kortere rekkevidde enn det produsentene lover.» (2020), Tilgjengelig: <https://nye.naf.no/elbil/bruke-elbil/test-rekkevidde-vinter-2020> (sjekket 04.02.2022).
- [79] Norges Automobil-Forbund. «Alt du må vite om elbil og kulde.» (2020), Tilgjengelig: <https://nye.naf.no/elbil/bruke-elbil/slik-forbereder-du-elbilen-pa-vinter-og-kulde/> (sjekket 14.03.2022).
- [80] M. Valle. «Dette er de mest solgte bilene i 2021.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.tu.no/artikler/dette-er-de-mest-solgte-bilene-i-2021/516204> (sjekket 14.02.2022).
- [81] Statistisk sentralbyrå. «Kjørelengder.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/landtransport/statistikk/kjorelengder> (sjekket 25.04.2022).
- [82] Statistisk sentralbyrå. «Søndre Land (Innlandet).» (2022), Tilgjengelig: <https://www.ssb.no/kommuneareal/sondre-land> (sjekket 18.05.2022).
- [83] Statistisk sentralbyrå. «Nordre Land (Innlandet).» (2022), Tilgjengelig: <https://www.ssb.no/kommuneareal/nordre-land> (sjekket 18.05.2022).
- [84] Statistisk sentralbyrå. «Etnedal (Innlandet).» (2022), Tilgjengelig: <https://www.ssb.no/kommuneareal/etnedal> (sjekket 18.05.2022).
- [85] Ladestasjoner.no. «Hva er Mode 1, 2, 3 og 4?» (u.å.), Tilgjengelig: <https://www.ladestasjoner.no/lading/kode-mode/> (sjekket 28.04.2022).
- [86] Norsk elektroteknisk komite. «NEK 400:2022 nærmer seg ferdig.» (2021), Tilgjengelig: <https://www.nek.no/nek-4002022-naermer-seg-ferdig/> (sjekket 29.04.2022).

- [87] *Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 2: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for a.c. pin and contact-tube accessories*, ser. NEK 61851-1:2019. Norsk elektroteknisk komite, 2017, bd. 62196-2:2017.
- [88] Lovdata.no. «Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg.» (1999), Tilgjengelig: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1998-11-06-1060#KAPITTEL_3 (sjekket 15.02.2022).
- [89] Nettvett.no. «Tingenes internett.» (2020), Tilgjengelig: <https://nettvett.no/tingenes-internett/> (sjekket 18.05.2022).

Vedlegg A

Scenario A1 - A6, samt B1 - B6 for alle transformatorkretsene

Tabell A.1: Boligområde 1

	Ladeeffekt [kW]	Samtidighet [%]	Antall boliger	Antall elbil pr. bolig	Andel med elbil [%]	Total effekt [kW]	Minimum ladetid [h]
Scenario A1	3.7	50 %	42	1.13	25 %	21.95	2.84
Scenario A2	3.7	100 %	42	1.13	25 %	43.90	2.84
Scenario A3	3.7	75 %	42	1.13	40 %	52.68	2.84
Scenario A4	3.7	50 %	42	1.13	70 %	61.46	2.84
Scenario A5	3.7	25 %	42	1.13	100 %	43.90	2.84
Scenario A6	3.7	50 %	42	1.13	100 %	87.80	2.84
<hr/>							
Scenario B1	7.4	50 %	42	1.13	25 %	43.90	1.42
Scenario B2	7.4	100 %	42	1.13	25 %	87.80	1.42
Scenario B3	7.4	75 %	42	1.13	40 %	105.36	1.42
Scenario B4	7.4	50 %	42	1.13	70 %	122.92	1.42
Scenario B5	7.4	25 %	42	1.13	100 %	87.80	1.42
Scenario B6	7.4	50 %	42	1.13	100 %	175.60	1.42

Tabell A.2: Boligområde 2

	Ladeeffekt [kW]	Samtidighet [%]	Antall boliger	Antall elbil pr. bolig	Andel med elbil [%]	Total effekt [kW]	Minimum ladetid [h]
Scenario A1	3.7	50 %	47	1.13	25 %	24.56	2.84
Scenario A2	3.7	100 %	47	1.13	25 %	49.13	2.84
Scenario A3	3.7	75 %	47	1.13	40 %	58.95	2.84
Scenario A4	3.7	50 %	47	1.13	70 %	68.78	2.84
Scenario A5	3.7	25 %	47	1.13	100 %	49.13	2.84
Scenario A6	3.7	50 %	47	1.13	100 %	98.25	2.84
<hr/>							
Scenario B1	7.4	50 %	47	1.13	25 %	49.13	1.42
Scenario B2	7.4	100 %	47	1.13	25 %	98.25	1.42
Scenario B3	7.4	75 %	47	1.13	40 %	117.90	1.42
Scenario B4	7.4	50 %	47	1.13	70 %	137.55	1.42
Scenario B5	7.4	25 %	47	1.13	100 %	98.25	1.42
Scenario B6	7.4	50 %	47	1.13	100 %	196.51	1.42

Tabell A.3: Boligområde 3

	Ladeeffekt [kW]	Samtidighet [%]	Antall boliger	Antall elbil pr. bolig	Andel med elbil [%]	Total effekt [kW]	Minimum ladetid [h]
Scenario A1	3.7	50 %	48	1.13	25 %	25.09	2.84
Scenario A2	3.7	100 %	48	1.13	25 %	50.17	2.84
Scenario A3	3.7	75 %	48	1.13	40 %	60.21	2.84
Scenario A4	3.7	50 %	48	1.13	70 %	70.24	2.84
Scenario A5	3.7	25 %	48	1.13	100 %	50.17	2.84
Scenario A6	3.7	50 %	48	1.13	100 %	100.34	2.84
<hr/>							
Scenario B1	7.4	50 %	48	1.13	25 %	50.17	1.42
Scenario B2	7.4	100 %	48	1.13	25 %	100.34	1.42
Scenario B3	7.4	75 %	48	1.13	40 %	120.41	1.42
Scenario B4	7.4	50 %	48	1.13	70 %	140.48	1.42
Scenario B5	7.4	25 %	48	1.13	100 %	100.34	1.42
Scenario B6	7.4	50 %	48	1.13	100 %	200.69	1.42

Tabell A.4: Boligområde 4

	Ladeeffekt [kW]	Samtidighet [%]	Antall boliger	Antall elbil pr. bolig	Andel med elbil [%]	Total effekt [kW]	Minimum ladetid [h]
Scenario A1	3.7	50 %	78	1.13	25 %	40.76	2.84
Scenario A2	3.7	100 %	78	1.13	25 %	81.53	2.84
Scenario A3	3.7	75 %	78	1.13	40 %	97.84	2.84
Scenario A4	3.7	50 %	78	1.13	70 %	114.14	2.84
Scenario A5	3.7	25 %	78	1.13	100 %	81.53	2.84
Scenario A6	3.7	50 %	78	1.13	100 %	163.06	2.84
<hr/>							
Scenario B1	7.4	50 %	78	1.13	25 %	81.53	1.42
Scenario B2	7.4	100 %	78	1.13	25 %	163.06	1.42
Scenario B3	7.4	75 %	78	1.13	40 %	195.67	1.42
Scenario B4	7.4	50 %	78	1.13	70 %	228.28	1.42
Scenario B5	7.4	25 %	78	1.13	100 %	163.06	1.42
Scenario B6	7.4	50 %	78	1.13	100 %	326.12	1.42

Tabell A.5: Boligområde 5

	Ladeeffekt [kW]	Samtidighet [%]	Antall boliger	Antall elbil pr. bolig	Andel med elbil [%]	Total effekt [kW]	Minimum ladetid [h]
Scenario A1	3.7	50 %	67	1.13	25 %	35.02	2.84
Scenario A2	3.7	100 %	67	1.13	25 %	70.03	2.84
Scenario A3	3.7	75 %	67	1.13	40 %	84.04	2.84
Scenario A4	3.7	50 %	67	1.13	70 %	98.04	2.84
Scenario A5	3.7	25 %	67	1.13	100 %	70.03	2.84
Scenario A6	3.7	50 %	67	1.13	100 %	140.06	2.84
<hr/>							
Scenario B1	7.4	50 %	67	1.13	25 %	70.03	1.42
Scenario B2	7.4	100 %	67	1.13	25 %	140.06	1.42
Scenario B3	7.4	75 %	67	1.13	40 %	168.08	1.42
Scenario B4	7.4	50 %	67	1.13	70 %	196.09	1.42
Scenario B5	7.4	25 %	67	1.13	100 %	140.06	1.42
Scenario B6	7.4	50 %	67	1.13	100 %	280.13	1.42

Tabell A.6: Boligområde 6

	Ladeeffekt [kW]	Samtidighet [%]	Antall boliger	Antall elbil pr. bolig	Andel med elbil [%]	Total effekt [kW]	Minimum ladetid [h]
Scenario A1	3.7	50 %	43	1.13	25 %	22.47	2.84
Scenario A2	3.7	100 %	43	1.13	25 %	44.95	2.84
Scenario A3	3.7	75 %	43	1.13	40 %	53.93	2.84
Scenario A4	3.7	50 %	43	1.13	70 %	62.92	2.84
Scenario A5	3.7	25 %	43	1.13	100 %	44.95	2.84
Scenario A6	3.7	50 %	43	1.13	100 %	89.89	2.84
<hr/>							
Scenario B1	7.4	50 %	43	1.13	25 %	44.95	1.42
Scenario B2	7.4	100 %	43	1.13	25 %	89.89	1.42
Scenario B3	7.4	75 %	43	1.13	40 %	107.87	1.42
Scenario B4	7.4	50 %	43	1.13	70 %	125.85	1.42
Scenario B5	7.4	25 %	43	1.13	100 %	89.89	1.42
Scenario B6	7.4	50 %	43	1.13	100 %	179.78	1.42

Tabell A.7: Boligområde 7

	Ladeeffekt [kW]	Samtidighet [%]	Antall boliger	Antall elbil pr. bolig	Andel med elbil [%]	Total effekt [kW]	Minimum ladetid [h]
Scenario A1	3.7	50 %	28	1.13	25 %	14.63	2.84
Scenario A2	3.7	100 %	28	1.13	25 %	29.27	2.84
Scenario A3	3.7	75 %	28	1.13	40 %	35.12	2.84
Scenario A4	3.7	50 %	28	1.13	70 %	40.97	2.84
Scenario A5	3.7	25 %	28	1.13	100 %	29.27	2.84
Scenario A6	3.7	50 %	28	1.13	100 %	58.53	2.84
<hr/>							
Scenario B1	7.4	50 %	28	1.13	25 %	29.27	1.42
Scenario B2	7.4	100 %	28	1.13	25 %	58.53	1.42
Scenario B3	7.4	75 %	28	1.13	40 %	70.24	1.42
Scenario B4	7.4	50 %	28	1.13	70 %	81.95	1.42
Scenario B5	7.4	25 %	28	1.13	100 %	58.53	1.42
Scenario B6	7.4	50 %	28	1.13	100 %	117.07	1.42

Tabell A.8: Spredt boligområde 1

	Ladeeffekt [kW]	Samtidighet [%]	Antall boliger	Antall elbil pr. bolig	Andel med elbil [%]	Total effekt [kW]	Minimum ladetid [h]
Scenario A1	3.7	50 %	6	1.13	25 %	3.14	2.84
Scenario A2	3.7	100 %	6	1.13	25 %	6.27	2.84
Scenario A3	3.7	75 %	6	1.13	40 %	7.53	2.84
Scenario A4	3.7	50 %	6	1.13	70 %	8.78	2.84
Scenario A5	3.7	25 %	6	1.13	100 %	6.27	2.84
Scenario A6	3.7	50 %	6	1.13	100 %	12.54	2.84
<hr/>							
Scenario B1	7.4	50 %	6	1.13	25 %	6.27	1.42
Scenario B2	7.4	100 %	6	1.13	25 %	12.54	1.42
Scenario B3	7.4	75 %	6	1.13	40 %	15.05	1.42
Scenario B4	7.4	50 %	6	1.13	70 %	17.56	1.42
Scenario B5	7.4	25 %	6	1.13	100 %	12.54	1.42
Scenario B6	7.4	50 %	6	1.13	100 %	25.09	1.42

Tabell A.9: Hytteområde 1

	Ladeeffekt [kW]	Samtidighet [%]	Antall boliger	Antall elbil pr. bolig	Andel med elbil [%]	Total effekt [kW]	Minimum ladetid [h]
Scenario A1	3.7	50 %	52	1.13	25 %	27.18	2.84
Scenario A2	3.7	100 %	52	1.13	25 %	54.35	2.84
Scenario A3	3.7	75 %	52	1.13	40 %	65.22	2.84
Scenario A4	3.7	50 %	52	1.13	70 %	76.09	2.84
Scenario A5	3.7	25 %	52	1.13	100 %	54.35	2.84
Scenario A6	3.7	50 %	52	1.13	100 %	108.71	2.84
<hr/>							
Scenario B1	7.4	50 %	52	1.13	25 %	54.35	1.42
Scenario B2	7.4	100 %	52	1.13	25 %	108.71	1.42
Scenario B3	7.4	75 %	52	1.13	40 %	130.45	1.42
Scenario B4	7.4	50 %	52	1.13	70 %	152.19	1.42
Scenario B5	7.4	25 %	52	1.13	100 %	108.71	1.42
Scenario B6	7.4	50 %	52	1.13	100 %	217.41	1.42

Tabell A.10: Hytteområde 2

	Ladeeffekt [kW]	Samtidighet [%]	Antall boliger	Antall elbil pr. bolig	Andel med elbil [%]	Total effekt [kW]	Minimum ladetid [h]
Scenario A1	3.7	50 %	31	1.13	25 %	16.20	2.84
Scenario A2	3.7	100 %	31	1.13	25 %	32.40	2.84
Scenario A3	3.7	75 %	31	1.13	40 %	38.88	2.84
Scenario A4	3.7	50 %	31	1.13	70 %	45.36	2.84
Scenario A5	3.7	25 %	31	1.13	100 %	32.40	2.84
Scenario A6	3.7	50 %	31	1.13	100 %	64.81	2.84
Scenario B1	7.4	50 %	31	1.13	25 %	32.40	1.42
Scenario B2	7.4	100 %	31	1.13	25 %	64.81	1.42
Scenario B3	7.4	75 %	31	1.13	40 %	77.77	1.42
Scenario B4	7.4	50 %	31	1.13	70 %	90.73	1.42
Scenario B5	7.4	25 %	31	1.13	100 %	64.81	1.42
Scenario B6	7.4	50 %	31	1.13	100 %	129.61	1.42

Vedlegg B

Resultater av rekkeviddetest

Tabell B.1: Resultater av rekkeviddetest utført av NAF [76]

Modell	WLTP [km]	Forbruk [kWh/100 km]	Målt vinteren 2022 [km]	Forbruk [kWh/100 km]2	Målt sommeren 2021 [km]	Forbruk [kWh/100 km]3	Batterikapasitet (netto: rådighet under kjøring) [kWh]
Mercedes benz EQS 4matic	645	17.2	513	20.7			90
Tesla model 3 long range	614	14.7	521	14.8			
BMW iX xDrive50	591	21.4	503	21			105.2
Volkswagen ID.3 pro S	539	16.3	435	17.3	564	13.5	77
Kia EV6 2WD	528	16.5	429	17.3			77.4
Polestar 2 LR single motor	517	18.6	400	17.9			75
Skoda Enyaq iV80	509	17.69	347	20.3	522	14.5	77
Tesla Model Y long range AWD	507	16.9	451	15.8			
BMW i4 M50	497	19	406	19.6			80.7
NIO ES8	488	x	425	19.1			100
Audi Q4 e-tron 40	485	18.6	380	19.8			76.6
Volkswagen ID.4	485	18.35	414	18.4	532	14.5	77
Kia EV6 4WD	484	18	428	17.3			77.4
Hyundai IONIQ 5 2WD	481	16.8	408	17.2			72.6
Skoda Enyaq iV80X	477	18.24	403	19			77
Polestar r Long Range Dual Motor	476	20.2	340	21.8			75
Volkswagen ID.4 GTX	475	18.6	353	21.7			77
Xpeng P7	470	19.4	383	16.2			80.9
Audi e-tron GT	463	21.08	392	20.6	528.1	16.1	85
Hyundai IONIQ 5 AWD	460	17.7	369	18.7	502	14.4	72.6
Audi Q4 e-tron 50 quattro	459	19.1	347	21.3			76.6
Porsche Taycan 4 Cross Turismo	456	28.1	402	21.5			83.7
Tesla Model 3 Standard Range Puls	448	14	346	15.4	454.4	12.2	
Volvo C40 Recharge	437	21.1	333	22.2			75
Mercedes benz EQB 350 4MATIC	407	18.1	315	20.8			66.5
BMW iX xDrive40	402	20.7	309	21.6			71
Mercedes benz EQA 250	401	18.1	351	19.5	451	15	66.5
BYD Tang	400	21.6	356	23.44			86.4
Cupra Born	395	15.4	339	16.9			58
Opel Mokka-e	338	16.2	263	16.4	332.4	13.8	45
Peugeot e-2008	320	15.6	228	17.9	332	13.7	45

