



Hvordan vil en omfattende elektrifisering av transportsektoren påvirke kraftsystemet?

NVE-notat

Forfattere:

Dag Spilde og Christer Skotland



Innhold

1	Sammendrag	3
2	Forutsetninger bak analysen	5
3	Beskrivelse av transportsektoren	6
3.1	Veitransport	7
3.2	Banetransport.....	10
3.3	Kysttransport og fiskebåter.....	11
3.4	Samlet kraftbehov til transport ved omfattende elektrifisering	12
4	Beskrivelse av distribusjonsnett.....	13
5	Lademønster og fordeling mellom ladested.....	16
5.1	Lademønster	17
5.1.1	Lading hjemme	17
5.1.2	Hurtiglading.....	18
5.1.3	Lading på jobb.....	19
5.2	Fordeling mellom ladested	19
5.3	Samlet ladeprofil for elbiler.....	20
6	Effektscenarier.....	22
6.1	Sammenlagring.....	24
7	Utfordringer (kapasitet) i distribusjonsnett på grunn av elbiler.....	25
7.1	Effektprofil og elbillading	25
7.2	Kapasitet og belastning i distribusjonsnett	28
7.2.1	To distribusjonsnett	28
7.2.2	Fordelingstransformatorer fra andre nettselskap	31
7.2.3	Tolkning av resultatene.....	32
7.3	Smart lading av elbil.....	32
8	Elektriske varebiler.....	34
9	Utfordringer i nettet ved elektrifisering av busser og ferjer	34
10	Befolkning og reisevaner.....	36

1 Sammendrag

NVE har i dette notatet gjort en analyse og vurdering av hvordan en omfattende omlegging til elektrisitet i transportsektoren kan påvirke kraft- og effektbehovet i Norge. Vurderingene er gjort med ulike beregningseksempler, gjennom drøfting av resultater og ved å se på forhold som kan påvirke resultatene. Med elektrisk drift menes i dette notatet batterielektriske kjøretøy. Ulike hybridløsninger blir ikke drøftet her.

De viktigste funnene i analysen er:

- Omfattende elektrifisering av transportsektoren i Norge kan skape utfordringer i dagens distribusjonsnett. Først og fremst for transformatorer.
- Eventuell full elektrifisering av transport er normalt ikke fullført før om 20 til 30 år.
- I løpet av 20 til 30 år vil mye av dagens transformatorer og kraftledninger i distribusjonsnettene være skiftet ut og således være bedre rustet til å takle full elektrifisering av transport.
- Systemer for smart lading og flytting av last kan redusere utfordringer i kraftnettet når mange lader elbilen sin samtidig
- Analyser av kraftbalansen i Norge/Norden tyder på at det er nok kraft i det nordiske kraftmarkedet til en omfattende elektrifisering av transport i Norge.

Transportsektoren omfatter fire hovedgrupper transportmidler eller transportformer; veitransport, banetransport, kysttransport og lufttransport. Lufttransport blir holdt utenfor analysen fordi tidligere utredninger har konkludert med at det er vanskelig med en omfattende elektrifisering av lufttransport. Innen banetransport går allerede det meste på elektrisitet. Elbiler er en vel utprøvd teknologi innen veitransport. Innen kysttransport er det ferger, passasjerskip og landstrøm til båter i store havner som peker seg ut som mest aktuelt.

Full elektrifisering av transportsektoren i Norge vil ta mange år og er nok ikke realistisk å oppnå før tidligst i 2040, så sant det ikke gjennomføres drastiske offentlige tiltak eller det skjer teknologiske og samfunnsmessige endringer som endrer bildet totalt. I dette notatet er det antatt at en eventuell full elektrifisering av transportsektoren først er oppnådd rundt 2050. Full elektrifisering vil da si elektrifisering av dagens transportmidler pluss ekstra kjøretøy som kommer til mot 2050. Voksende befolkning i Norge er den sterkeste driveren for flere personbiler, mens økonomisk utvikling betyr mye for vekst i antall yrkeskjøretøy.

NVEs beregninger viser at elektrifisering av alle kjøretøy innen veitransport, all banetransport og alle båter og skip kan gi en elektrisitetsbruk på over 20 TWh i 2050. Da er det lagt inn en vekst i antall kjøretøy, mer kollektivtransport og flere båter enn i dag. Dette er gjort på bakgrunn av forventninger om økt befolkning. For deler av veitransporten, som trailere og turbusser, vil det være krevende med batterielektrisk drift, på grunn av tunge kjøretøy, høy energibruk og lange kjørelengder. Tilsvarende problemstillinger kan gjelde for deler av skip- og båttransporten. Dersom man holder langtransport og båter/skip som er mindre egnet for batterielektriske drift utenfor, har NVE beregnet at det kan være behov for rundt 15 TWh elektrisitet til transportsektoren i 2050 ved full elektrifisering.

Omfattende elektrifisering av transportsektoren kan føre til overbelastning på transformatorer i distribusjonsnett. NVE har gjort beregninger av økt effektuttak fra elbiler i to boligområder i og fant at dersom 50 prosent eller mer av elbilene ladet samtidig, ville dette gi overbelastning på mange transformatorer og noen kraftledninger/kabler i de to områdene. Dette gjelder dersom alle bilene i områdene var elektriske. En forespørsel fra NVE til alle nettselskap med distribusjonsnett, viste at dette distribusjonsnett er bedre/nyere enn gjennomsnittet av distribusjonsnett i landet, slik at kraftledninger og transformatorer kan være enda dårligere andre steder.

Selv om dagens distribusjonsnett kan være sårbart ved omfattende elektrifisering av transportsektoren, vil mange transformatorer og store deler av ledningsnett være skiftet ut og forbedret innen en eventuell full elektrifisering er gjennomført. Dersom det tas høyde for større effektbehov til transport ved fornying av distribusjonsnett fremover, vil både transformatorer og kraftledninger være bedre rustet til å takle en omfattende elektrifisering av transportsektoren enn dagens nett. Målinger av lading fra elbiler utført av SINTEF og spørreundersøkelser utført av Elbilforeningen, viser i tillegg at det normalt sett ikke vil være så høy samlagringsfaktor som 50 prosent og at mye av ladingen vil komme sent på kvelden og om natten. Dette kommer blant annet av ulike rutiner og reisevaner hos folk. Til slutt kan systemer for smart lading flytte lading av elbiler fra tidspunkt på døgnet med høy belastning i kraftnettet til tidspunkt med lavere belastning. Batterier kan også være en mulighet for å avlaste kraftnettet i forbindelse med lading av elektriske kjøretøy.

Ekstreme tilfeller av samlagring kan likevel oppstå i forbindelse med ferier og høytider når mange bileiere må lade samtidig i hytteområder og når de kommer hjem fra ferie. Spenningskvalitet og kortslutningsytelse er ikke analysert i dette notatet og dette kan gi utfordringer enkelte steder når mange lader bilen samtidig.

Elektriske varebiler og elektriske busser kan trekke mye effekt rundt sentraler/depot for kjøretøyene og dette kan skape utfordringer for distribusjonsnett i de aktuelle områdene. Mens busser blir brukt store deler av døgnet og lader mellom rutene, tyder erfaringene fra de som har elektriske varebiler i dag på at disse bilene blir satt til lading når arbeidsdagen er slutt. Maksimallast fra elektriske varebiler kan derfor komme på ettermiddag eller kveld.

Analysen utført av DNV-GL og Siemens/Bellona viser at det er mulig å elektrifisere opp til halvparten av ferjestrekningene i Norge. Erfaringer fra den batterielektriske ferjen Ampere viser imidlertid at både kraftnett og ladesystemer på båter og på land kan være for svakt til å håndtere de store effektuttakene som er nødvendig for at elektriske ferjer skal fungere optimalt. Dersom halvparten av ferjestrekningene i Norge skal elektrifiseres vil det derfor kreve bedre kraftnett og ladesystemer (for eksempel batteribank på land). Landstrøm til båter i havner kan også økes i forhold til dagens bruk, men forutsetter bedre elektrisk infrastruktur i havnene.

2 Forutsetninger bak analysen

For å kunne vurdere hvordan en omfattende omlegging kan påvirke kraft- og effektbehovet i Norge må man lage noen antagelser om hvordan sentrale faktorer vil utvikle seg framover. Omlegging til full eller høy andel av elektriske kjøretøy i transportsektoren vil ta mange år, slik at man i en slik analyse må lage noen anslag på hvordan transportsektoren i Norge vil se ut om 20 til 30 år. I denne utredningen strekker analyseperioden seg frem til 2050.

Grunnen til at analyseperioden er så lang som til 2050, er ønsket om å se på konsekvenser for kraftsystemet ved full elektrifisering av transportsektoren. I første halvdel av 2015 utgjorde elbiler 18,4 prosent av nybilsalget av personbiler. Det vil ta noen år før elbiler eventuelt vil stå for hele nybilsalget av personbiler og eventuelt varebiler. Med en antatt levetid på 15 til 20 år for en personbil er det derfor først etter 2040 at det er realistisk med bare elbiler i Norge. Å nå et slikt mål innen 2050 er kanskje det mest realistiske anslaget.

Det antas i denne analysen at det er en tett sammenheng mellom antall personbiler og befolkningsutvikling i Norge. Utvikling i befolkning fremover baserer seg på Statistisk sentralbyrå sitt mellomalternativ for befolkningsframskrivning. Denne framskrivningen er vist i Tabell 2-1 og viser at SSB forventer en sterk befolkningsvekst frem mot 2030, men at veksten så avtar mot 2050. Det er i denne analysen lagt inn en lignende utvikling i personbilparken mot 2050 som for befolkningen, men med en litt svakere årlig vekst. Dette gjelder spesielt mot slutten av perioden. Bakgrunnen for dette er en antagelse om at en høyere andel av befolkningen reiser kollektivt framover og at det dermed blir færre bilreiser. Høyere kollektivandel av antall reiser har vært en trend i Norge siden 2005 og myndighetene ønsker å legge til rette for at dette skal fortsette. Spesielt gjelder dette byene. Dette medfører også at det forventes en relativt sterk vekst i kollektivtransport som buss og bane mot 2050.

Et annet poeng med å bruke en lang analyseperiode er at det i denne analysen skal ses på utfordringer i kraftnettet ved elektrifisering av transportsektoren. Det tar ofte mange år fra utfordringer i nettet identifiseres til ferdige linjer/kabler og transformatorer er installert. Når man bygger nye linjer må man også bygge med tanke på utvikling i elektrisk effekt mange år frem i tid. De kraftlinjene som planlegges i dag, og de neste årene, bør derfor være dimensjonert for antatt elbruk og effekt langt frem i tid.

Tabell 2-1 Sammenheng mellom befolkningsutvikling og personbiler i Norge.

Norge	2014	2030	2040	2050
	Millioner	Millioner	Millioner	Millioner
Befolkning SSB MMMM	5,1	5,9	6,3	6,6
Personbiler	2,5	2,9	3,1	3,3
Varebiler ¹	0,5	0,6	0,65	0,7

¹ Varebiler og kombibiler inntil 7,5 tonn.

Økende befolkning vil også gi behov for mer varetransport. Antallet varebiler i Norge har økt mye de siste 15 årene, sannsynligvis på grunn av flere folk og bedre økonomi. Den siste befolkningsframskrivingen til Statistisk sentralbyrå antyder noe lavere vekst i befolkning framover enn det historisk har vært de siste 15 årene og Finansdepartementet spår i Perspektivmeldingen fra 2013 en lavere vekst i norsk økonomi framover enn det har vært de siste 20 til 30 årene. Dette taler for noe lavere vekst i varetransport framover enn den veksten som har vært siden årtusenskiftet. Det er likevel lagt inn en betydelig vekst i antall varebiler i Norge mot 2050 i dette notatet.

En annen viktig forutsetning som er lagt inn i denne analysen, er at ved full elektrifisering vil fremtidens elbilpark ligne dagens fossile elbilpark. Det betyr at elbilen blir bil nummer en for mange familier og dette vil føre til at den gjennomsnittlige elbil vil ha en årlig kjørelengde som tilsvarer dagens fossile biler. Det er lagt inn noe avtagende årlig kjørelengde mot 2050, på grunn av antagelsen om høyere kollektivandel i trafikken. Teknologisk utvikling kan gjøre motorene til elektriske kjøretøy mer effektive og dette er illustrert i tabellene i notatet ved en høy og lav kraftbruk per kilometer. Kraftbruk per kilometer og årlig kjørelengde er to variabler som påvirker samlet forbruk av elektrisitet til transport mye.

3 Beskrivelse av transportsektoren

Transportsektoren kan deles inn i fire hovedgrupper; Veitransport, banetransport, kysttransport og luftfart. I tillegg brukes det bensin og diesel til maskiner og redskaper. Se Tabell 3-1.

Veitransport omfatter personbiler, varebiler, busser, lastebiler, trailere, tankbiler, mopeder og motorsykler. Den største gruppen både i antall og forbruk av drivstoff er private personbiler, men trailere og busser bruker i snitt seks til syv ganger så mye energi per kilometer som personbiler og kjører flere ganger så langt per år som personbiler og dette fører til et betydelig samlet forbruk av drivstoff hos disse store kjøretøyene. Tabell 3-1 viser at det 2014 ble brukt diesel og bensin tilsvarende 40,6 TWh til veitransport.

Kysttransport omfatter ferger, innenriks kysttransport og fiskebåter. Det ble i 2014 brukt fossile drivstoff tilsvarende 14,6 TWh innen kysttransport. Utenriks skipsfart blir ikke analysert eller omtalt i dette notatet.

Banetransport omfatter tog, T-bane og trikk. Tabell 3-1 viser at det meste av banetransporten ble drevet av strøm i 2014.

Maskiner og redskaper omfatter alt fra traktorer, anleggsmaskiner, militære kjøretøy til gressklippere og motorsager. Maskinene går på diesel, mens redskapene bruker bensin.

Luftfart i Tabell 3-1 er innenriks flytrafikk. Rapporter fra Miljødirektoratet og Avinor tilsier at det er lite sannsynlig med en storstilt elektrifisering av fly mot 2030. Elektrifisering av fly blir derfor ikke analysert i denne rapporten.

Tabell 3-1 Energi til transport i 2014. Kilde SSB – energibalansen.

	Sum energi	Bensin/ diesel	Marin ¹ gassolje	Jet- parafin	LNG	Strøm	Bio
	TWh	TWh	TWh	TWh	TWh	TWh	TWh
Veitransport	42,3	40,5			0,2	0,1	1,5
Kysttransport ²	13,0	0,5	11,3		1,2		
Luftfart	4,8			4,8			
Banetransport	0,9	0,2				0,7	
Maskin/redskap	Ca. 7	7					
Sum Transport	68	48,2	11,3	4,8	1,4	0,8	1,5

¹ Omfatter her også tungolje.

² Inkluderer fiskebåter

3.1 Veitransport

Innen veitransport er det mest aktuelt å elektrifisere personbiler, varebiler og busser. Elektriske personbiler og varebiler finnes det allerede mange av og elektriske bybusser er også en utprøvd teknologi. Turbusser, trailere og tankbiler som kjører over store avstander vil ha større utfordringer med elektriske motorer. Kombinasjon av høyt drivstofforbruk og lange kjøreavstander gir behov for svært store og tunge batteri for denne typen langtransport. Ulike kombinasjoner av hybridteknologier kan være aktuelt for trailere og busser som skal gå over

store avstander. Motorsykler, mopeder og elsykler har vi sett bort fra i denne analysen, da det antas at disse vil bruke begrenset med elektrisitet ved elektrifisering, samt at de hovedsakelig brukes i sommerhalvåret og derfor ikke vil være kritisk for kraftnettet i Norge.

I Tabell 3-2 er det laget anslag på hvor mye elektrisitet det er behov for dersom all veitransport i Norge skulle gått på elektrisitet. Dersom alle registrerte biler, busser, lastebiler og motorsykler i 2014 var elektriske, har NVE anslått at de ville trenge nærmere 12 TWh elektrisitet. Dersom all veitransport skal elektrifiseres vil dette ta minst 20 til 30 år. I Tabell 3-2 er det derfor også gjort et anslag på antall kjøretøy og elbruk til veitransport i 2050. Anslaget på antall kjøretøy framover er gjort med utgangspunkt i SSBs befolkningsframskrivninger. Det er også på nivå med det Miljødirektoratet har brukt i sin rapport om utslippsbaner mot 2030 (M-386 - 2015). Dette anslaget på kjøretøy gir et beregnet behov på 14,6 TWh elektrisitet i 2050, dersom alle kjøretøy skal elektrifiseres. Det er viktig å understreke usikkerheten i disse anslagene på elektrisitet til transport. Teknologisk utvikling, samfunnsmessige endringer og politiske føringer kan endre bildet og gi en annen elbruk framover enn det som er anslått her.

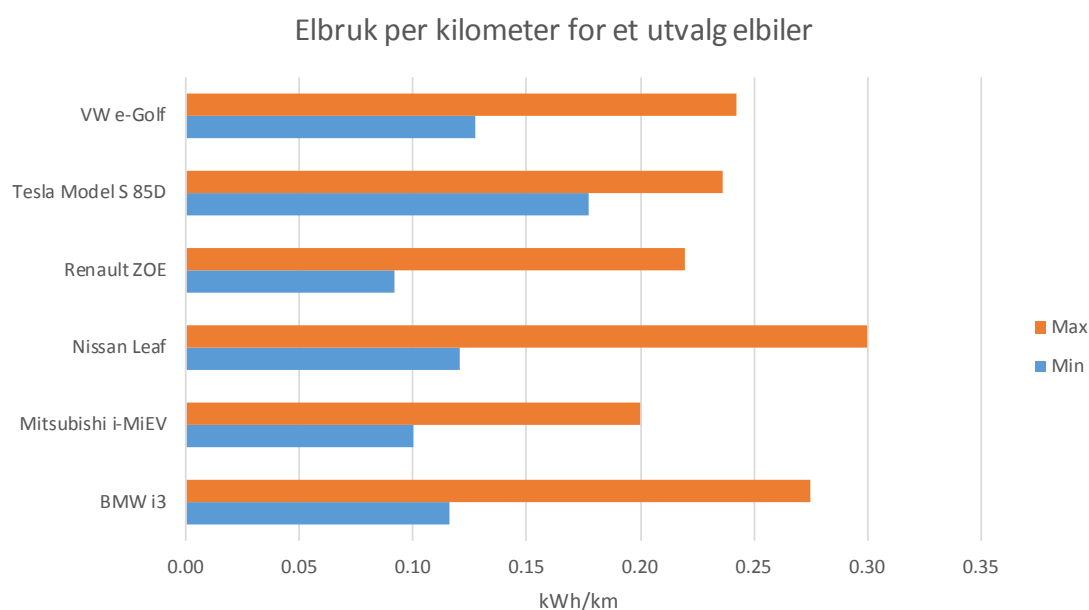
Tabell 3-2 Anslag på elbruk til veitransport dersom alt elektrifiseres.

	2014			2050 anslag		
	Kjøretøy	Elbruk per km	Anslag ¹ elbruk	Kjøretøy	Elbruk per km	Anslag elbruk
	1 000	kWh/km	TWh	1 000	kWh/km	TWh
Personbiler	2 555	0,2	6,8	3 300	0,2	7,9
Varebiler	472	0,25	1,8	650	0,25	2,6
Busser	17	1,2	0,7	20	1,2	1,0
Lastebil, trailere	79	1,2	2,4	100	1,2	3,0
Motorsykler	207	0,1	0,1	250	0,1	0,1
Sum			11,8			14,6

¹ Kjørelengder per kjøretøy er hentet fra SSBs transportstatistikk.

En faktor som betyr mye for samlet elbruk til veitransport er elbruk per kilometer. Det er store forskjeller i elbruk per kilometer mellom sommer og vinter og mellom ulike kjørestiler. Figur 3-1 viser minimum og maksimum elbruk per kilometer for et utvalg personbiler, basert på tall som NAF, Forbrukerrådet og Elbilforeningen har hentet inn. For en Nissan Leaf kan elbruken per kilometer variere fra 0,12 kWh/km til 0,30 kWh/km. Lignende forskjeller er det for de andre

bilmodellene i Figur 3-1. For å kunne gjøre beregninger av samlet elbruk til personbiler ved omfattende elektrifisering er det nødvendig med et gjennomsnittstall og ut fra de nevnte erfaringstallene, kan 0,2 kWh per kilometer virke som et rimelig gjennomsnittstall for sommer og vinterkjøring.



Figur 3-1 Elbruk per kilometer for utvalgte biltyper. Kilde NAF og Teknisk Ukeblad.

Varebiler i Tabell 3-2 består av et stort utvalg ulike kjøretøy, fra små varebiler til store kombinerte biler på inntil 7,5 tonn. Gjennomsnittlig elbruk per kilometer vil nok derfor være noe høyere for denne kjøretøygruppen enn for personbiler. I dette notatet brukes 0,25 kWh per kilometer som en gjennomsnitt for varebiler.

En elbruk per kilometer på 1,2 kWh for busser og lastebiler er også et grovt estimat som kan diskuteres. I Stavanger er det to batterielektriske busser som går mellom Stavanger og Sandnes og tekniske data viser at disse bussene bruker ca. 1 kWh per kilometer om sommeren og 1,4 kWh om vinteren. Utprøving av de samme bussene i Finland viste enda lavere elbruk per kilometer, men på grunn av begrenset erfaring med batterielektriske busser for nordiske forhold, velger NVE å forholde seg til forbrukstallene fra bussene i Stavanger og bruker 1,2 kWh per kilometer som gjennomsnittlig elbruk i elektriske busser over året. En elbruk per kilometer på 1,2 kWh er også i tråd med det Miljødirektoratet bruker i sin rapport om utslippsbaner mot 2030.

I dette scenariet for veitransport mot 2050 er det antatt at elbruken vil øke som følge av flere kjøretøy. Det er imidlertid flere forhold som vil begrense veksten i elbruk til veitransport. For

det første er det myndighetenes mål at en høyere andel av transportbehovet i Norge skal tas via banetransport, kysttransport, sykling eller til fots. Dersom dette lykkes kan det veksten innen veitransport bli mindre enn det som er antatt i denne beregningen. Tilsvarende kan ny og bedre teknologi redusere elbruken per kilometer for de ulike kjøretøyene og bidra til å begrense den samlede bruken av elektrisitet til veitransport.

Det siste forholdet som kan begrense bruken av elektrisitet innen veitransport er utfordringene med batterielektrisk drift innen langtransport. Tunge biler, ofte tung last og lange transportavstander vil medføre behov for store og tunge batterier i trailere, tankbiler og turbusser. Dette kan gi så store utfordringer at det ikke er gjennomførbart å elektrifisere disse kjøretøyene de nærmeste årene. Store kraftige hurtigladestasjoner langs de mest brukte transportveiene kan likevel gjøre det praktisk mulig å bruke batterielektrisk drift til langtransport en gang i fremtiden.

I Tabell 3-3 er anslag på elbruk til veitransport avgrenset til de typer kjøretøy som det er mest aktuelt å elektrifisere med batteridrift. Totalt kan dette gi en samlet etterspørsel etter elektrisitet til veitransport på over 12 TWh ved full elektrifisering i 2050.

Tabell 3-3 Anslag på elbruk til veitransport det er mest aktuelt å elektrifisere med batteridrift.

	2014			2050 anslag		
	Kjøretøy	Elbruk per km	Anslag elbruk	Kjøretøy	Elbruk per km	Anslag elbruk
	1 000	kWh/km	TWh	1 000	kWh/km	TWh
Personbiler	2 555	0,2	6,8	3 300	0,2	7,9
Varebiler	472	0,25	1,8	650	0,25	2,6
Bybusser	10	1,2	0,5	12	1,2	0,6
Lette lastebiler		1,2	1,0		1,2	1,2
Sum			10,1			12,3

3.2 Banetransport

Banetransport omfatter tog, trikk og T-bane. Til sammen ble det brukt 0,7 TWh elektrisitet til banetransport i 2014. Mens trikk og T-bane utelukkende går på elektrisitet, blir 20 prosent av togtrafikken drevet av diesel. Det er planer om å elektrifisere gjenværende dieselstrekninger. Miljødirektoratet har beregnet at dette vil øke bruken av elektrisitet med 0,06 TWh. Flere folk og høyere andel som reiser med bane i Norge vil ventelig øke elektrisitetsbruken til

banetransport. Bedre tog, ny teknologi og økt fokus på energibruk hos eiere av banene, vil dempe veksten i elbruk som følge av flere tog og flere turer. Siden 2004 har endret kjøreadferd redusert elbruken til NSB med 18 prosent (kilde Jernbaneverket). Sammen med nye tog (FLIRT) og ny teknologi som tilbakefører elektrisitet ved oppbremsing vil dette dempe veksten i elbruk til bane fremover.

Reisevaneundersøkelsen til TØI viser at andelen som reiser med kollektivtransport har økt siden 2005 og med planer om fortsatt vekst i kollektivtransporten er det i denne analysen lagt inn en vekst i elbruken til banetransport mot 2050. Inklusiv elektrifisering av de gjenstående dieseltogene, anslår NVE at elektrisitet til banetransport vil øke fra dagens 0,7 TWh til rundt 1 TWh i 2050. Da er det tatt høyde for de nevnte effektiviseringstiltakene.

Tabell 3-4 Anslag på elbruk til banetransport.

	2014	2050
	TWh	TWh
Tog, trikk og T-bane	0,7	1,0

3.3 Kysttransport og fiskebåter

Kysttransport omfatter fiskebåter, ferger, offshoreskip og andre kystskip. Totalt brukte disse fartøyene 13 TWh fossilt drivstoff i 2014. Petroleumsdestillater var det mest brukte drivstoffet til båter og skip i 2014. Dette vises i Tabell 3-5.

Det er laget flere rapporter om muligheter for elektrifisering av båter og skip det siste året og de konkluderer med at det er mulig å elektrifisere ferger med overfartstid under en halv time og at større skip kan bruke strøm fra land når de ligger i havn. Analyser utført av DNV-GL og en analyse utført av Siemens og Bellona viser at rundt halvparten av dagens ferger og passasjerskip i norske farvann kan elektrifiseres innen 2030. Dette vil medføre et behov for elektrisitet på rundt 240 GWh. Miljødirektoratet har i sin rapport om utslippsbaner mot 2030 beregnet at dersom alle ferger og passasjerskip i norske farvann ble elektrifisert, ville dette kreve 780 GWh elektrisitet. I tillegg definerer de dette tiltaket som mindre krevende, noe som tilsier at det er fullt gjennomførbart.

DNV har estimert at båter og skip har et samlet drivstofforbruk på 1,9 TWh når det ligger i havn. De har videre estimert at 0,8 TWh av dette drivstofforbruket kan erstattes med elektrisitet og at dette vil gi en elektrisitetsbruk på 290 GWh.

I Tabell 3-5 er det oversikt over forbruket av ulike typer drivstoff til kysttransport og fiskebåter i 2014 og scenario for mulig forbruk av elektrisitet i 2030 og 2050. Tabellen viser at det ble brukt bare fossile drivstoff til båter og skip i Norge i 2014. Dersom Miljødirektoratets tiltak for

elektrifisering av ferjer, passasjerskip og havner ble fulgt, ville det redusert forbruket av marine gassoljer med ca. 3 TWh i 2030 og gitt en elektrisitetsbruk på anslagvis 1,1 TWh.

En mulig full elektrifisering av alle båter og skip i Norge er ikke aktuelt før etter 2030. Her er året 2050 brukt, uten at det er gjort noen vurderinger av hvor realistisk dette er. Ved å bruke de samme tallene for virkningsgrad på forbrenningsmotorer og elmotorer som Miljødirektoratet brukte i sine analyser av elektrifisering av ferjer og havner, vil det være behov for rundt 5 TWh elektrisitet dersom alle båter og skip i Norge skal elektrifiseres. Det er da også lagt inn en vekst i den samlede flåten av skip og båter. Det må understrekes at alle tallene for elektrifisering av kysttransport og fiskebåter i dette notatet er svært usikre, da det er lite erfaringstall på området.

Tabell 3-5 Scenarier for elbruk til kysttransport og fiskebåter.

	2014	2030	Full elektrifisering
Drivstoff	<u>TWh</u>	<u>TWh</u>	<u>TWh</u>
Marine gassoljer	11,0	8,0	0
Bensin	0,6	0,6	0
Tungolje	0,5	0,5	0
LNG	1,1	1,1	0
Elektrisitet	0	1,1	5

Selv om det samlede behovet for elektrisitet til skip og båter er betydelig lavere enn for veitransport, er forbruket konsentrert til enkeltpunkter der det vil være behov for mye kraft på kort tid. Dette vil sette høye krav til kraftnettet i de aktuelle områdene og gi behov for forsterkninger og utbygging flere steder. Dette kommer vi tilbake til under kapitlet om effekt.

3.4 Samlet kraftbehov til transport ved omfattende elektrifisering

Summert opp viser vurderingene og beregningene til NVE at dersom all veitransport, bane og sjøtransport som kan elektrifiseres bruker batterielektrisk motor en gang i fremtiden, er det behov for i underkant av 15 TWh elektrisitet. I tillegg kommer det av maskiner og redskaper som kan gå på elektrisitet. Totalt kan det da være snakk om et elbehov på 15 til 16 TWh elektrisitet. På grunn av levetid på opp til 20 år på ulike typer kjøretøy og fordi det fortsatt er en lav andel av nye kjøretøy som er elektriske, vil det ta mange år før transportsektoren kan komme opp i et slikt kraftbehov.

4 Beskrivelse av distribusjonsnett

Distribusjonsnett i Norge er definert som nett med spenning 22 kV eller mindre. Videre er dette nettet inndelt i det høyspente og lavspente distribusjonsnett, som defineres av nett med spenning over og under 1 kV. Distribusjonsnett er tradisjonelt bygd opp for å levere strøm ut til kunden. Ut fra regionalnettet vil strøm transformeres ned til høyspent distribusjonsnett – for så å bli fordelt til kunden ved hovedsakelig radielle forbindelser i lavspenningsnett.

NVE mottar årlig en teknisk og økonomisk rapportering gjennom eRapp. eRapp er et rapporteringssystem som nettselskaper, kraftprodusenter og andre områdekonsesjonærer benytter til teknisk og økonomisk rapportering til NVE. I denne rapporteringen inngår blant annet antall transformatorer mellom høyspent og lavspente distribusjonsnett, og antall km linjer fordelt på spenningsnivå.

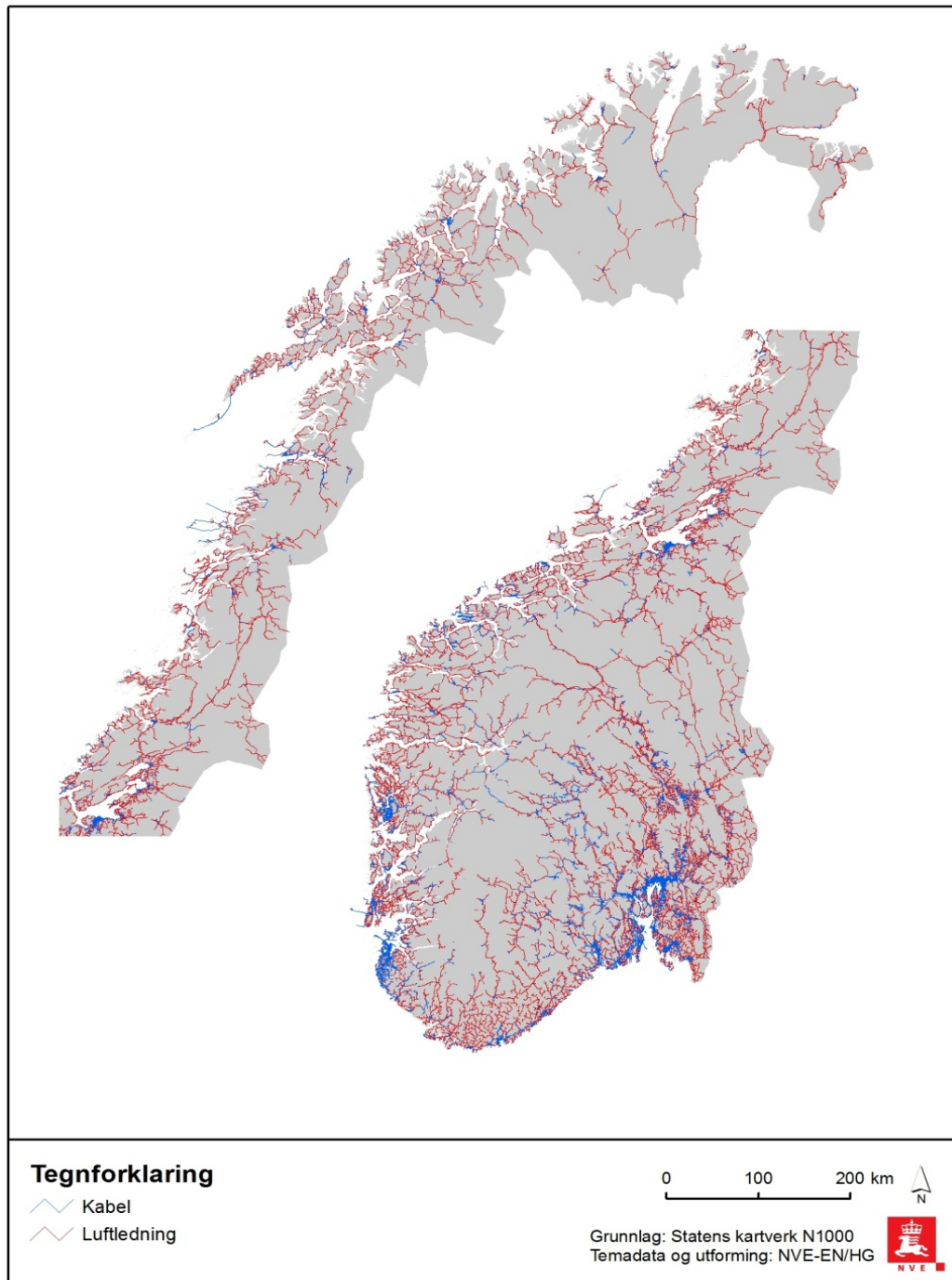
Tabell 4.1 Komponenter i distribusjonsnett 31.1.2013 - rapportert inn i eRapp

	Høyspent DN	Lavspente DN
Antall transformatorer	2 314	132 498
Total transformator ytelse (kVA)	113 907 725	42 065 196
Lengde luftlinje (km)	59 622	93 044
Lengde jordkabel (km)	39 106	105 652
Lengde sjøkabel (km)	1 753	348

Antall transformatorer i Tabell 4.1 er referert til laveste spenningsnivå, det vil si de transformatorene som her er fremstilt under lavspente distribusjonsnett er fordelingstransformatorer som er bindeledd mellom det høyspente og det lavspente distribusjonsnett. Antall målepunkt hos kunder i hele distribusjonsnett er i samme rapportering i overkant av 2,9 millioner.

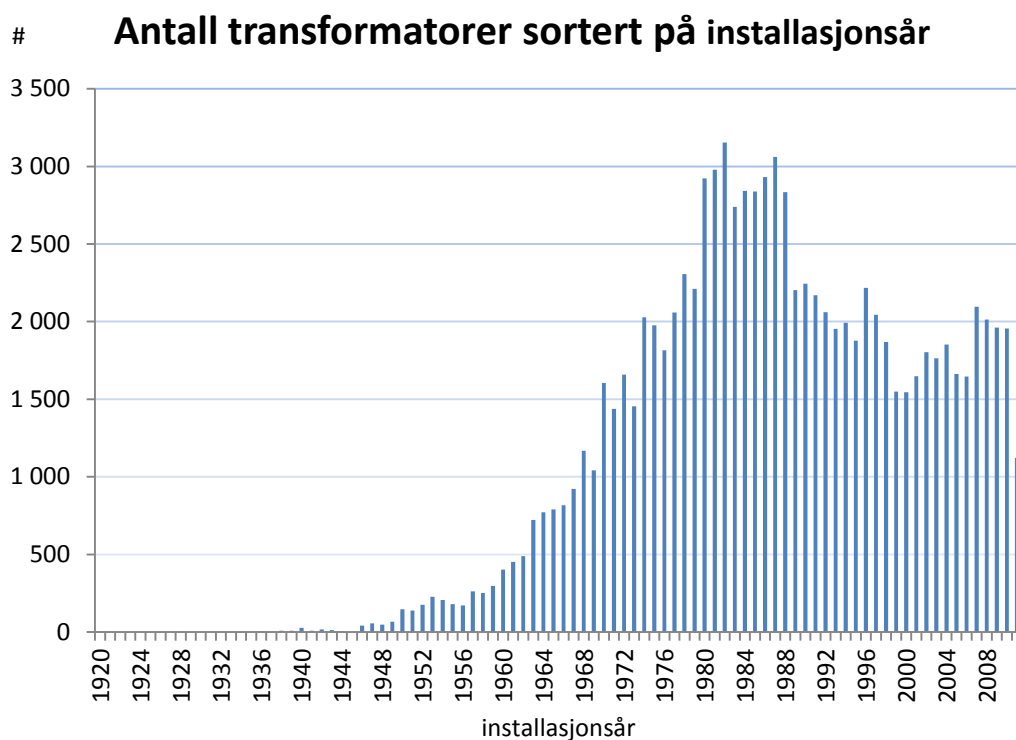
Som Tabell 4.1 viser har distribusjonsnett svært mange komponenter og stor utstrekning. Til sammenligning har sentralnettet og regionalnettet til sammen omtrent 30 000 km ledninger (luft, sjø og jord). Dette har sin naturlige forklaring i at nett på høyere spenningsnivå kan overføre mye mer energi, og det dermed trengs mindre nett.

Utover rapporteringen i eRapp gjennomførte NVE i 2011/2012 en innsamling av mer utfyllende data for det høyspente distribusjonsnett. Disse dataene er oppsummert i NVE-rapport 2-2014 «Det høyspente distribusjonsnett». Detaljerte komponentdata ble samlet inn, inkludert alder, spenning, ledningslengde og geografisk plassering. Figur 4-1 viser plassering og utstrekning av det høyspente distribusjonsnett i Norge som kom frem i denne innsamlingen.

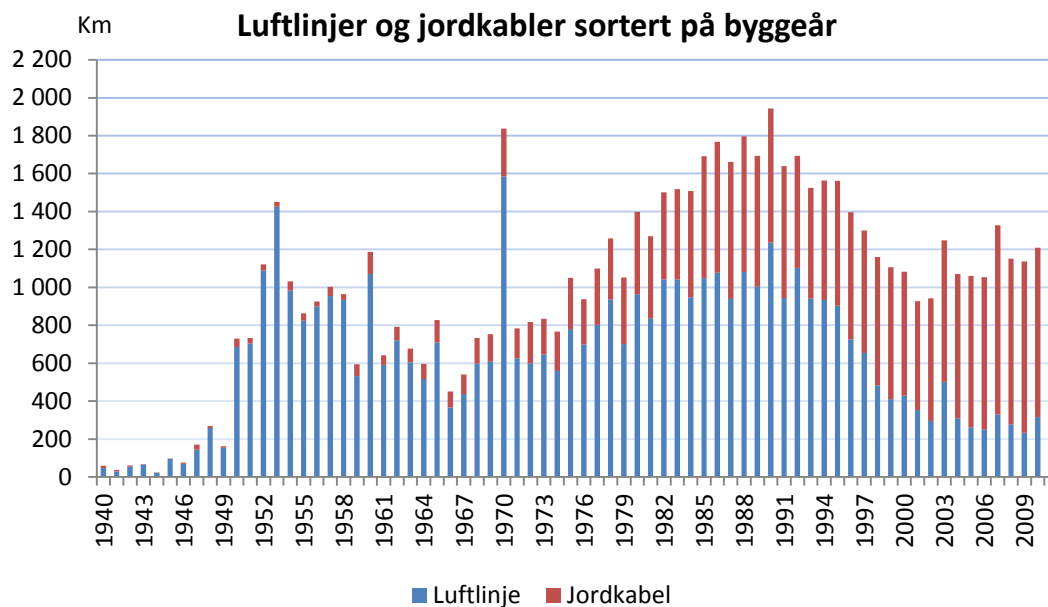


Figur 4-1 Det høyspente distribusjonsnett i Norge. Røde linjer viser luftlinjer og blå jordkabler

Figur 4-2 indikerer byggeår for fordelingstransformatorer mellom høyspent og lavspent distribusjonsnett og Figur 4-3 indikerer byggeår for luftlinjer og jordkabler i det høyspente distribusjonsnettet i 2011/2012. Det kan se ut som at Norge de siste 10-15 årene har vært gjennom en periode med lave investeringer i det høyspente distribusjonsnettet. Dette skyldes at landet er fullt ut elektrifisert og har hatt tilstrekkelig kapasitet i det eksisterende nettet, samt at nettet ennå ikke hadde nådd en tilstand hvor det har vært behov for store reinvesteringer. Alder er en faktor for tilstanden til nettet, men den er ikke den eneste faktoren for når en komponent bør skiftes ut, og antageligvis ikke den viktigste. Dette kan antas på bakgrunn av at omtrent en tredel av luftlinjene i nettet har høyere alder enn midlere anslått levetid på 40 år; fra tall i *Aldersfordelingen for komponenter i kraftsystemet* (NVE og SINTEF, 2005). Tilstanden til komponentene vil avhenge av alder, belastningsgrad, vedlikehold, klima, miljø m.m. Linjer med høy belastning og på utsatte plasseringer vil kanskje ha en levetid som er mindre enn forventet. Andre linjer kan ha en mye lenger levetid. Noe av det eldre nettet kan være linjer som ikke er i bruk, men som står som reserve og derfor aldri vil føre til reinvestering.



Figur 4-2 Installasjonsår for fordelingstransformatorer i distribusjonsnettet – omtrent 15 000 av 113 000 fordelingstransformatorer ble ikke rapportert inn med installasjonsår og er utelatt fra grafikken.



Figur 4-3 Byggeår for luftlinjer og jordkabler i det høyspente distribusjonsnett – 22 % av luftlinjer og 36 % av jordkabler var ikke oppgitt byggeår for.

Utover datainnsamlingen fra 2012 har NVE også utarbeidet en aldersindikator ved å se på forholdet mellom nettanleggenes akkumulerte avskrivninger og historisk kostnad. Jo høyere andel de akkumulerte avskrivningene utgjør av den historiske investeringskostnaden, jo eldre er nettanleggene. Når alle anleggene er helt avskrevet, er andelen 100 prosent. Aldersindikator for bransjen er for hele distribusjonsnett, uten å skille mellom høyspent og lavspent.

5 Lademønster og fordeling mellom ladested

For å vurdere hvordan en omfattende omlegging til elektrisitet i transportsektoren kan påvirke effektbehovet i Norge har NVE brukt ulike innfallsvinkler og datakilder for å anslå lademønster. Datakildene omfatter målinger av elbillading og spørreundersøkelser distribuert fra Elbilforeningen og Transportøkonomisk Institutt.

SINTEF har i perioden 2012-2015 utført målinger på en rekke ladepunkter for elbiler, både hurtigladestasjoner og ladere hjemme hos folk. NVE har fått tilgang på disse dataene og videre systematisert disse. Videre har NVE fått tilgang på data for lading fra en arbeidsplass i Østfold fra 1. august til 1. desember 2014. De siste dataene er benyttet for å forsøke å konstruere et mønster for jobblading på dagen.

En annen metode er spørreundersøkelse om elbileieres ladevaner. Elbilforeningen distribuerte en spørreundersøkelse i desember 2013 blant alle sine medlemmer og mottok ca. 400 svar på en

rekke spørsmål angående ladevaner. Svarene er brukt til å korrigere resultatene i målingene til SINTEF.

Transportøkonomisk Institutt har også utført en spørreundersøkelse blant 1 721 elbileiere der de blant annet undersøker hvor elbilene lades. Resultatene er hentet fra TØI rapport 1329/2014.

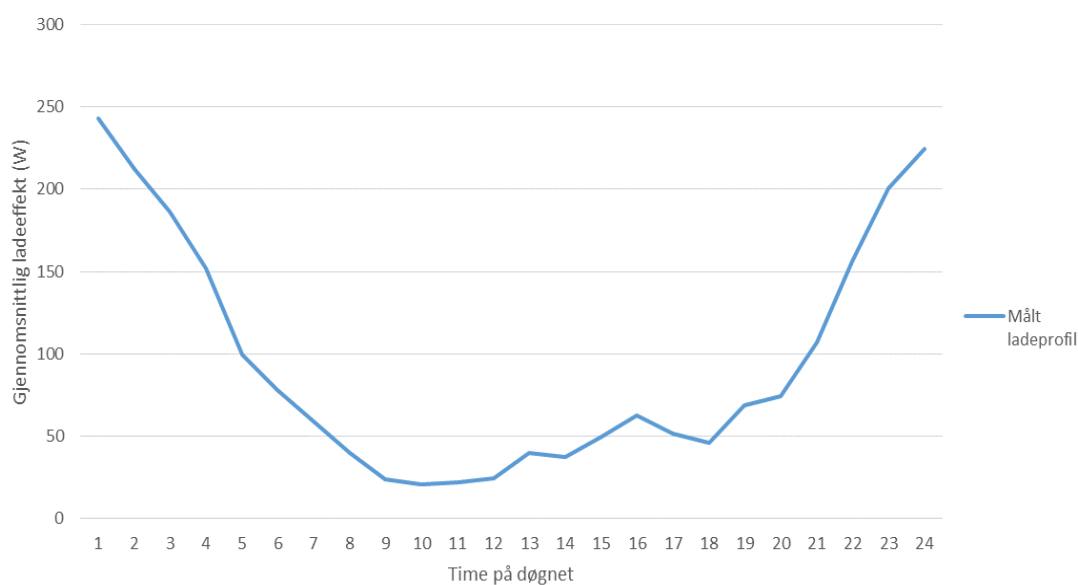
5.1 Lademønstre

Ut i fra disse kildene vil NVE forsøke å anta lademønstre samt fordeling mellom hjemme-, jobb- og hurtiglading for personbiler i Norge. For å tilpasse oppgaven til tiden til rådighet antas det at all lading skjer på disse tre stedene. En ikke ubetydelig andel lading skjer på offentlige ladestasjoner, men det antas at denne andelen vil synke etter hvert og overtas av hurtigladestasjoner med betaling.

I sum gir dette oss et ganske bra bilde av lademønsteret til elbileiere i dag og hvordan det kan bli dersom hele bilparken blir elektrisk.

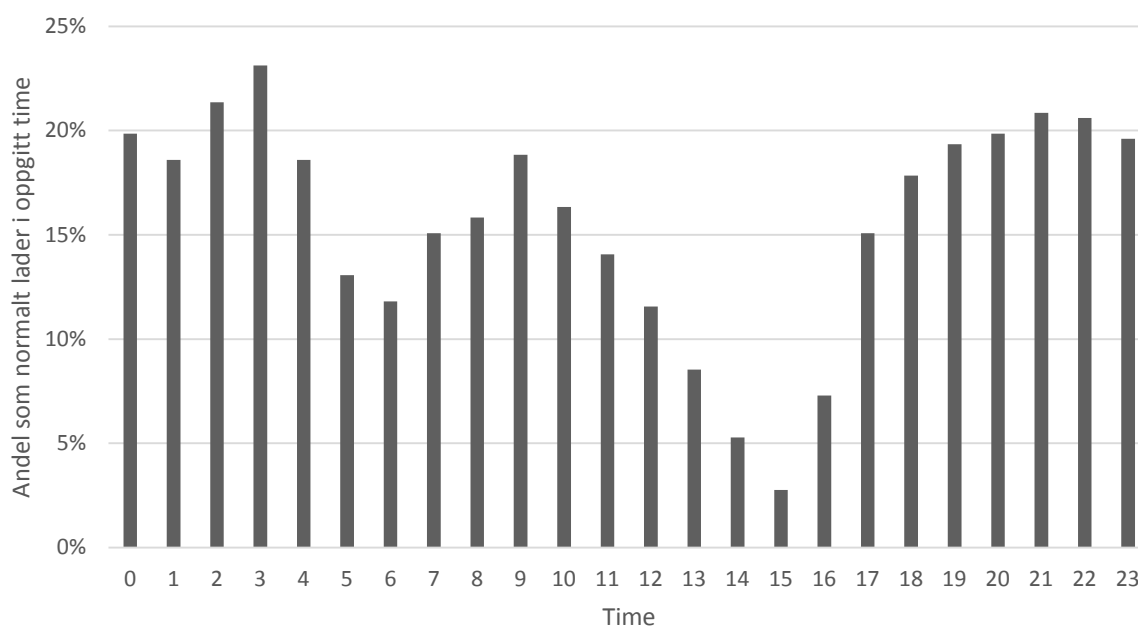
5.1.1 Lading hjemme

Målingene av hjemmelading utført av SINTEF omfatter fire ulike elbilbrukere over en periode på 9 til 12 uker. Gjennomsnittlig ladeprofil fra målingene, uavhengig av ukedag, årstid og ladestasjon er vist i Figur 5-1. Figuren viser at ladetoppen kommer klokken 24 på natten og at det er lite lading på forbrukstoppen til husholdninger rundt kl 18 på ettermiddagen. Det er ikke stor nok variasjon i lademønsteret over uka til å hevde at lading i ukedagene er veldig annerledes sammenlignet med helgene.



Figur 5-1 Gjennomsnittlig ladeprofil for hjemmelading av personbiler. Kilde SINTEF.

Datagrunnlaget fra målingene av hjemmelading er begrenset og det vil være nødvendig å tilpasse profilen mot spørreundersøkelsen distribuert fra Elbilforeningen. I et av spørsmålene i undersøkelsen ble elbileiere bedt om å krysse av for når de normalt lader bilen. Man skulle i svaret ta hensyn til gjenværende kapasitet i batteriet samt at batteriet ble fulladet uavhengig av når man drar ut kontakten. Svarene er vist i *Figur 5-2* og gir en form for ladeprofil over døgnet.



Figur 5-2 Svar på spørsmålet: «...kryss ut de timene der du mener el-bilen din normalt lader i løpet av et døgn (utelat de timene der kontakten står i mens bilen er fulladet)» (antall=397)

NVE antar at lading om ettermiddagen samt natten hovedsakelig er lading hjemme, mens lading fra time 7 til 15 er på arbeidsplassen. Spørreundersøkelsen viser en høyere andel lading i tidsrommet fra klokka 17 enn SINTEFs målinger. Siden disse målingene er basert på få enheter legger NVE mest vekt på spørreundersøkelsen. På bakgrunn av dette kan det lages en totalprofil for hjemmelading. Denne profilen er, sammen med profiler for jobb- og hurtiglading, vist i *Figur 5-4*.

5.1.2 Hurtiglading

Målingene SINTEF har utført av hurtiglading omfatter to års kontinuerlig måling for tre hurtigladestasjoner i Norge og er således ganske omfattende. Målingene viser at det er liten forskjell i bruk av hurtiglader i helg og ukedager. Bruken av hurtiglading på vinteren er også omtrent det samme som på sommeren. Ladeprofilen fra disse målingene viser at den største andelen hurtiglading utføres rundt kl 17 på ettermiddagen. *Figur 5-4* viser ladeprofilen for

hurtiglading, men fordi dette er svært lite benyttet blir effektbidraget svært lite sammenlignet med jobb- og hjemmelading.

Elbilforeningen hadde også spørsmål om hurtiglading i sin undersøkelse og svarene fra denne viser at hurtigladere benyttes etter samme mønster som målingene fra SINTEF. Siden de to undersøkelsene ga tilnærmet lik profil, blir SINTEF sine målinger NVEs ladeprofil for hurtiglading i denne analysen.

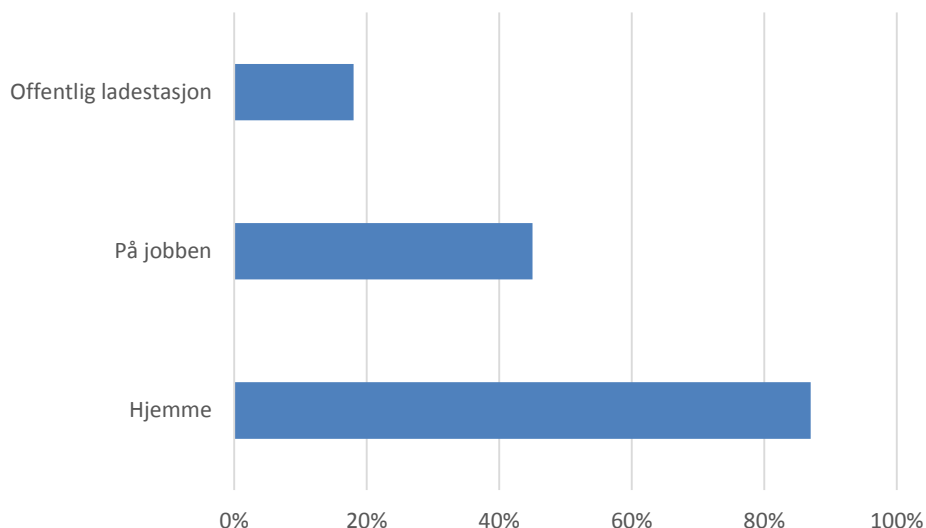
5.1.3 Lading på jobb

NVE har mottatt måleserier fra Fortum Charge&Drive for lading ved «Inspiria Science Center», som er en arbeidsplass i ukedagene og besøkssenter i helgene. Målingene har foregått over et halvt år og resultatene viser at ladingen starter kl 06 på morgenen, stiger jevnt til midt på dagen og synker mot kl 18. Dette lademønsteret er til en viss grad sammenfallende med Elbilforeningens undersøkelse vist i Figur 5-2, men denne viser at ladetoppen er kl 9 på morgenen og faller etter dette. Ettersom mange kommer på jobb i 8-tiden på morgenen og vil som regel lade bilen med en gang, er det rimelig å anta at en jobbladeprofil vil ha en topp i 9-tiden. Ved å kombinere resultatene fra Elbilforeningens spørreundersøkelse og Fortums måleserier, kan profil for jobblading antas å ha form som vist i Figur 5-4.

5.2 Fordeling mellom ladested

For å beregne påvirkningen av elbillading på distribusjonsnettet er det viktig å vite hvor elbilene lader. For å anslå hvor mye av ladingen til elbiler som vil foregå hjemme, på jobb og som hurtiglading finnes noen spørreundersøkelser det er mulig å støtte seg til, blant annet tidligere omtalt spørreundersøkelser.

Resultatet av spørsmålet «Hvor lader du el-bilen daglig» fra undersøkelse distribuert av Elbilforeningen er vist i Figur 5-3. Hjemmelading dominerer med nesten 90 % daglig bruk, mens nesten halvparten av elbileiere lader også på jobben. Som en kan se blir offentlig ladestasjon også noe benyttet men som tidligere forklart vil dette ikke inkluderes i analysene. Undersøkelsen viser at hurtiglading blir svært sjeldent benyttet, og 55% oppgir at de aldri benytter hurtiglading. (Offentlig ladestasjon er ikke hurtiglading.)



Figur 5-3 Svar på spørsmålet: "Hvor lader du el-bilen daglig?" (antall=397)

Undersøkelsen til TØI viser omtrent det samme ladefordeling. Hjemmelading benyttes daglig av omtrent 60-70% av elbileierne. Omtrent 40% lader tilnærmet daglig på jobb og hurtiglading blir svært sjeldent benyttet. Så godt som ingen benytter hurtiglading mer enn 2 ganger i uken og 70 % benytter denne ladeformen sjelden eller aldri. Dette samsvarer godt med Elbilforeningens undersøkelse hvor 55 % oppgir at de aldri benytter hurtiglading.

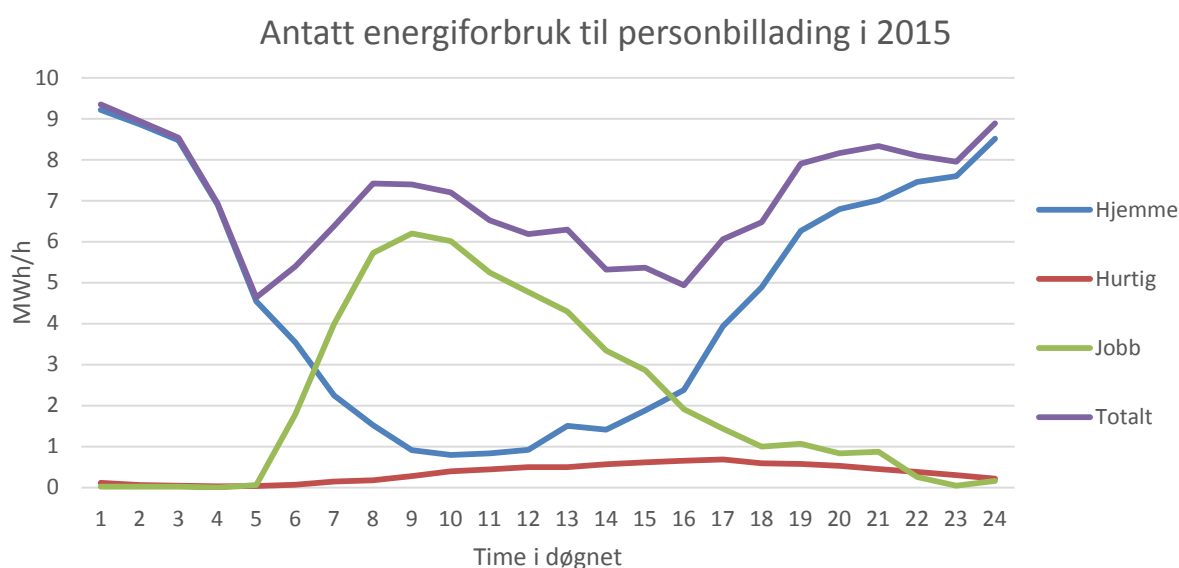
Ut i fra tallene i spørreundersøkelsene er det vanskelig å trekke sikre slutninger om hvor folk lader. Det kan med sikkerhet konstateres at hjemmelading er det som er hyppigst benyttet, mens hurtiglading brukes sjeldnere. For videre scenarioarbeid benytter vi en energifordeling av hjemme-, jobb- og hurtiglading på hhv. 65%, 25% og 10% ved en full elektrifisering av personbilparken.

Denne fordelingen kan selvsagt endre seg i fremtiden og vil være avhengig av teknologi, rammebetingelser og hvordan infrastrukturen for lading vil utvikle seg. Mange av dagens elbilprodusenter anbefaler å begrense hurtiglading til et minimum for å forlenge batterilevetiden, men dette kan endre seg med ny teknologi.

5.3 Samlet ladeprofil for elbiler

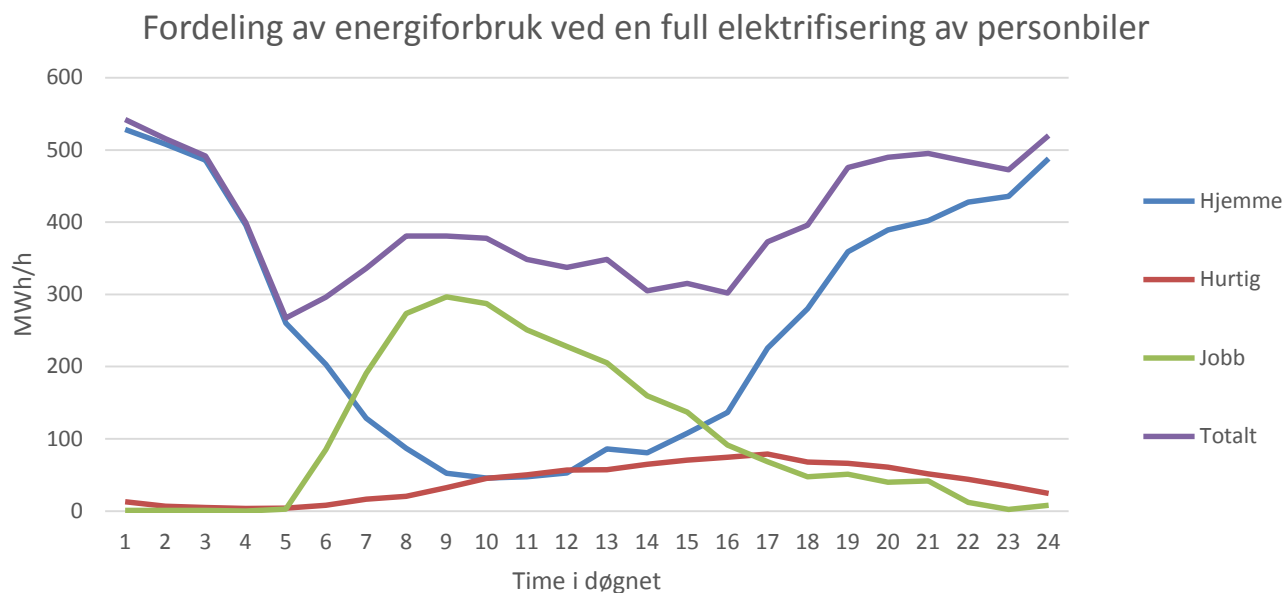
De antatte lademønstrene samt den antatte fordelingen mellom de ulike ladestedene forklart i avsnitt 5.1 og 5.2, kan settes sammen og gi oss en antatt fordeling av effekt eller energiforbruk gjennom døgnet. Det er i dag over 50 000 elbiler i Norge med en anslått kjørelengde på 6 000 km/år/bil. Med et forbruk på 0,2 kWh/km vil dette gi totalt 60 000 MWh i årlig

elektrisitetsforbruk. Ved å anta at ladingen fordeler seg jevnt utover året tilsvarer dette 165 MWh pr. dag. Ved å fordele denne energimengden på de antatte ladeprofilene og fordelingene, vil energiforbruket over døgnet fortone seg som vist i Figur 5-4. Dette er da med en antagelse om at det er like mye lading på en gitt dag i januar som i august. Trolig er energiforbruket noe høyere på vinteren enn sommeren, som diskutert i avsnitt 3.1.



Figur 5-4 Antatt ladefordeling over døgnet for dagens elektriske personbilpark

Ved en antatt full elektrifisering av transportsektoren i 2050 vil det totalt være 3 300 000 elektriske personbiler i Norge. Med en rekkevidde og årlig kjørelengde opp mot dagens personbiler (12 000 km/år) vil disse bruke rundt 7,9 TWh i året. Hvis vi antar at fordelingen av hjemme-, jobb og hurtiglading holder seg konstant, vil dette gi en samlet ladeprofil og effektbehov for personbiler som vist i Figur 5-5. Det høyeste energiforbruket pr. time blir da på 1,2 GW og vil inntreffe på natten.



Figur 5-5 Antatt ladeprofil og effektbruk for personbiler over døgnet ved en fullelektrifisering av personbilparken i Norge

Energiforbruket vist i Figur 5-5 viser fordeling av personbillading over døgnet, gitt at personbiler lades som NVE antar at de gjør i dag. Det betyr at man ikke har tatt i bruk ny teknologi for flytting av ladetid samt at ladingen ikke er påvirket av eventuelle prissignaler. Denne fordelingen av lading over døgnet vil allikevel benyttes i senere analyser da dette vil gi informasjon om hva som vil være resultatet dersom man ikke forsøker å påvirke adferden til elbileiere.

6 Effektscenarier

I tillegg til når på døgnet ladingen utføres er størrelsen på ladeeffekten for hjemmelading av avgjørende betydning for belastningen på nettet, og spesielt distribusjonsnettet. De fleste biler har en maksimal ladeeffekt for hjemmelading på under 3,7 kW. Dette er den maksimale effekten man kan få fra et én-fase-anlegg med 16 A sikring. Enkelte av de nyere elbilene, som Renault Zoe og Tesla Model S, er tilpasset en hjemmeladeeffekt på inntil 7 og 11 kW. For å lade med denne effekten uten større inngrep må huset være koblet til et 400 V TN-nett, som bare omfatter 20-30% av dagens husholdningskunder.

Dagens elbileiere lader normalt med en effekt på mellom 2,3 og 3,7 kW, men det er vanskelig å si noe sikkert om dette. Igjen må vi støtte oss til elbilforeningens undersøkelse fra 2013. Der mente 40% av elbileierne at de lader på en kurs med 10 A sikring og 46 % lader fra 16 A. En åpenbar svakhet ved dette spørsmålet er at man kan fint lade med en lavere effekt enn 3,7 kW

selv om sikringen til denne kursen er 16 A. Ifølge elbilforeningen er det veldig få som har hjemmelading på 11 kW.

Vi kan anta at fremtidens elbileiere ønsker større ladeeffekt hjemme som en følge av økt batteristørrelse på bilene. Dagens mindre elbiler har batteripakker på rundt 25 kWh, mens Tesla har en batteripakke på 60-85 kWh. Etersom det tar ca. 16 timer å lade opp 80% av en batteripakke på 75 kWh med en 3,7 kW lader er det rimelig å anta at mange ønsker høyere ladeeffekt enn dette hjemme. Tabell 6-1 viser ladetiden for en rekke ulike ladeeffekter og batterikapasiteter.

Tabell 6-1 Ladetid for 80 % av batteriet i timer som en funksjon av ladeeffekt og batterikapasitet. Rekkevidden er beregnet med et forbruk på 0,2 kWh/km.

Batterikap. (kWh)	Rekkevidde med 80% av batterikap. (km)	Ladeeffekt (kW)		
		2,3	3,7	11
25	100	9 t	5 t	2 t
50	200	17 t	11 t	4 t
75	300	26 t	16 t	5 t
100	400	35 t	22 t	7 t

Ut i fra tallene i Tabell 6-1 skulle en tro at alle ønsker 11 kW-ladere i hjemmet. For mange husholdninger krever en slik ladeeffekt større investeringer i det elektriske anlegget, som sannsynligvis vil sette en begrensning på denne ladeeffekten. Samtidig er det ikke hver dag man trenger å lade 80 % av batterikapasiteten på kort tid, og mange kan lade bilen over natta. I tillegg er det slik at mange velger å lade batteriet før det er kommet ned til 20 % av kapasiteten.

Det er vanskelig å estimere en gjennomsnittlig ladeeffekt for dagens elbilbrukere, og enda vanskeligere å forutsi fremtidig ladeeffekt. Fra informasjonen over velger vi å anta en gjennomsnittlig ladeeffekt på 3,1 kW for dagens hjemmeladere og 5,6 kW ved en nær fullelektrisk personbilpark. Dette er beregnet ut fra ut fra en fordeling på ladeeffekter som vist i Tabell 6-2.

Tabell 6-2 Antatt fordeling av hjemmelading i 2015 og ved full elektrifisering.

Effekt	2,3 kW	3,7 kW	11 kW	Snitt
Andel 2015	70 %	25 %	5 %	3,1 kW
Antatt andel ved full elektrifisering	20 %	50 %	30 %	5,6 kW

6.1 Sammenlagring

Hvor mange elbiler som lades samtidig kalles sammenlagring og er viktig å kjenne til for å beregne samlet påvirkningen på kraftnettet. Ut fra resultatene fra Elbilforeningens undersøkelse kan det se ut til at sammenlagningsfaktoren er så lav som 25%. Samtidig fremstår dette som en ganske lav sammenlagring og en skal ikke se bort i fra at dette tallet er høyere på enkelte tidspunkt på døgnet og gjennom året. I deler av distribusjonsnettet der befolkningen er forholdsvis homogen, er det rimelig å anta at sammenlagningen er høyere. Eksempler på dette kan være hyttefelt med stor andel elbileiere som kommer til hytta på skjærtorsdag, eller i boligfelt hvor folk kommer hjem søndag kveld fra vinterferie og ønsker å lade elbilen.

For å ta høyde for ulike nivå på sammenlagningsfaktor blir det i dette notatet vist beregninger med sammenlagningsfaktor på både 25, 50 og 75 %. Samlet sett vil antagelsene beskrevet over kunne gi noen scenarier for gjennomsnittlig ekstra effektuttak pr. husholdning fra maksimal last.

I scenario 1 antar vi at bilparken ikke er fullt elektrifisert og at det er under én bil pr. husholdning. Behovet for ladeeffekt er satt til 4,6 kW, som er mellom dagens snitt og ladeeffekt ved full elektrifisering. I scenario 2 og 3 antar vi at bilparken er fullelektrifisert og at gjennomsnittlig ladeeffekt er 5,6 kW. Forskjellen på scenario 2 og 3 er sammenlagningsfaktoren. I scenario 2 antar vi at 50 % av bileierne lader samtidig, mens det i scenario 3 er 75 % samlagring. Disse tre scenariene gir et ganske bra spenn i ladeeffekt for elbiler og er derfor bra til å analysere ytterpunkter for effektbehov for elbiler.

Analysene blir gjennomført i Netbas, som er et beregningsverktøy til analyser av kraftnett. I Netbas er husholdning enheten som definerer antall kunder i et område. I våre analyser må derfor alle variable relateres til husholdninger. Når det gjelder biler per husholdning var det i 2014, 2 349 460 husholdninger i Norge og 2 555 443 personbiler. Noe som gir et gjennomsnitt på 1,09 biler per husholdning. NVE antar at biler per husholdning vil variere en del mellom ulike områder og gjør derfor analyser med ulik tetthet av biler.

De tre faktorene: antall biler pr. husholdning, ladeeffekt og forventet sammenlagningsfaktor, vil gi oss tall på forventet økt effektuttak fra maksimal last. Tabell 6-3 viser de tre scenariene fordelt per husholdning. Disse scenariene vil bli benyttet i senere analyser for å beregne kapasiteten i distribusjonsnettet.

Tabell 6-3 Scenarier for økt gjennomsnittlig last per husholdning.

Scenario	Antall biler pr. husholdning	Ladeeffekt (kW)	Sammenlagring	Tillegg effekt pr. hush. i makslast(kW)
1	0,8	4,6	0,25	0,9
2	1,3	5,6	0,50	3,7
3	1,3	5,6	0,75	5,5

7 utfordringer (kapasitet) i distribusjonsnettet på grunn av elbiler

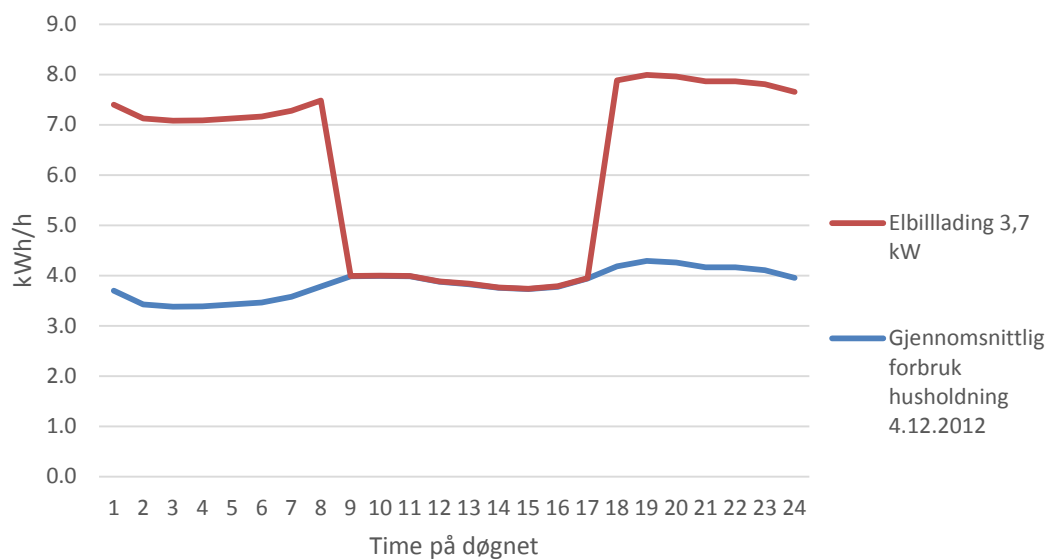
De største utfordringene er knyttet til kapasitet i nettet og påvirkning på spenningskvaliteten i distribusjonsnettet. Det er en rådende oppfatning ute hos nettselskapene at spenningsvariasjoner som en følge av elbillading er en større utfordring enn kapasiteten. På grunn av tiden til rådighet vil NVE fokusere på hvordan kapasiteten i distribusjonsnettet vil bli påvirket av elbiler.

Omfanget av oppgaven er begrenset til å beregne kapasitet og eventuelt overbelastning i høyspent distribusjonsnett, dvs. for spenningsnivå mellom 1 og 22 kV. Kapasitet på transformatorer i regionalnettet, samt kapasiteten på linjene fra fordelingstransformator frem til sluttkunden er ikke beregnet. En fordelingstransformator endrer spenningen ned til 230 eller 400 V og er den siste transformatoren mellom husholdningskunden og distribusjonsnettet.

7.1 Effektprofil og elbillading

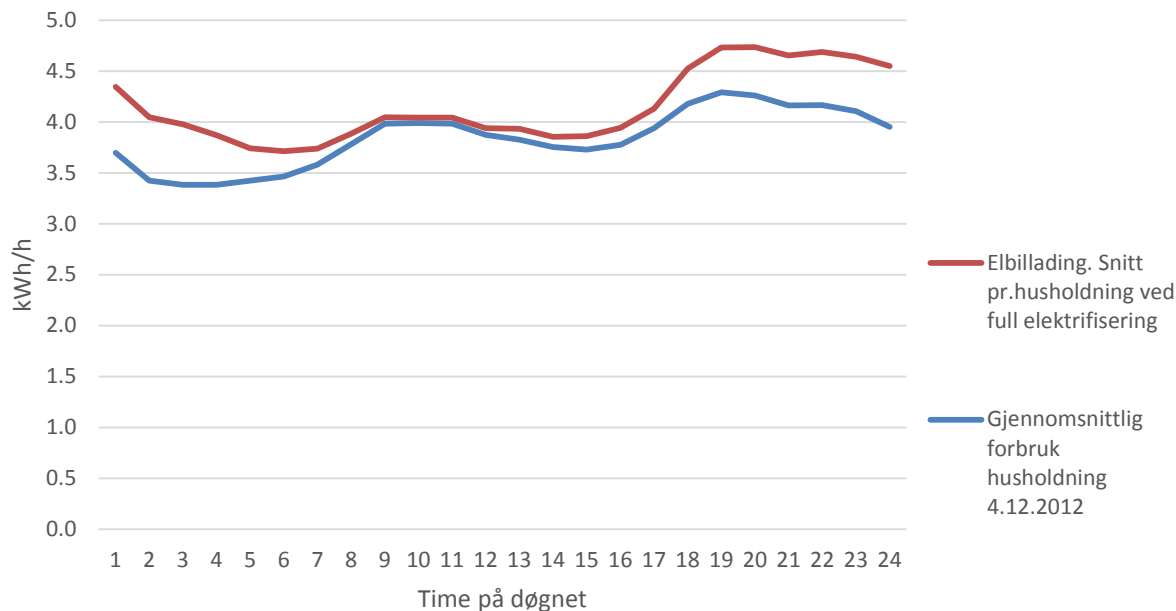
For å vurdere hvordan elbillading vil påvirke kapasiteten i nettet kan effekten fra elbillading sammenlignes med eksisterende effektforbruk hos en gjennomsnittlig husholdning. NVE har benyttet data fra et nettselskap med AMS. Ved beregning av kapasitet i nettet er det viktig å forstå at nettet dimensjoneres for å dekke den dagen, eller de timene, i året med høyest last. Dagen med hittil høyest maksimallast for alle husholdningskundene til målingene inntraff tirsdag 4.12.2012. Det gjennomsnittlige forbruket varierte denne dagen fra 3,4 til 4,3 kWh/h¹. Det høyeste forbruket inntraff mellom kl 18 og 19. Hvis alle husholdningene på denne dagen hadde ladet elbilen sin med en 3,7 kW lader fra klokka 18 til 19 ville maksimalt forbruk ha doblet seg til 8 kWh/h. Denne situasjonen er vist i Figur 7-1.

¹ Grunnen til at det her benyttes enheten kWh/h og ikke kW er for å vise at det er gjennomsnittlig effekt over en time som vises og ikke det høyeste momentane forbruket denne timen.



Figur 7-1 Gjennomsnittlig forbruk for husholdningskunder 4.12.2012, pluss en tenkt lading av elbil på 3,7 kW for alle disse husholdningene

Forbruket vil i dette tilfellet overgå kapasiteten i nettet, men det er lite trolig at alle vil lade samtidig. Et mer sannsynlig scenario kan være å bruke profilene fra forventet lademønster som forklart i kapittel 7. Ved å bruke hjemmeladeprofilen fra Figur 5-5 og legge den til makslastprofilen, vil gjennomsnittlig maksimal last over døgnet stige med 10 % fra 4,3 kW til 4,7 kW. Dette er illustrert i Figur 7-2.



Figur 7-2 Økt husholdningseffekt fra elbiler ved en full elektrifisering av personbilparken. Profilen forutsetter helt jevn fordeling av energiforbruket til elbillading over året.

Det må understrekes at dette er det teoretisk minste bidraget man kan forvente pr. husholdning. Grunnen til dette er at profilen forutsetter at de 7,9 TWh som går med til dette blir jevnt fordelt utover hele året og til hver husstand. Spesielt på distribusjonsnettnivå må en ta høyde for at fordelingen ikke blir så jevn som dette. Som forklart under kapittel 7 er dette en effektprofil som antar at elbilladingen foregår som den gjør i dag og at man ikke utnytter ledig kapasitet i nettet ved å lade mer om natten.

Belastningen pr. husholdning vil i disse to tilfellene øke med mellom 3,7 og 0,4 kW fra maksimallast. I virkeligheten vil nok økningen ligge et sted i mellom disse verdiene, men man kan ikke utelukke at belastningen i noen områder også blir høyere enn dette. Som omtalt i kapittel 8 tilbys det allerede hjemmeladere på 11 kW. Hvis tilstrekkelig mange husholdninger i samme nabolag skaffer seg en slik lader kan belastningen bli svært høy. Det er også rimelig å anta at kapasitetsproblemene blir mindre på regional- og sentralnettet fordi sammenlagingsfaktoren blir lavere.

7.2 Kapasitet og belastning i distribusjonsnett

For å undersøke hvordan elbillading vil påvirke kapasiteten i distribusjonsnett vil, effektøkningene fra Tabell 6-3 legges til dagens maksimumlast. Belastning på transformatorer og ledninger kan så regnes ut.

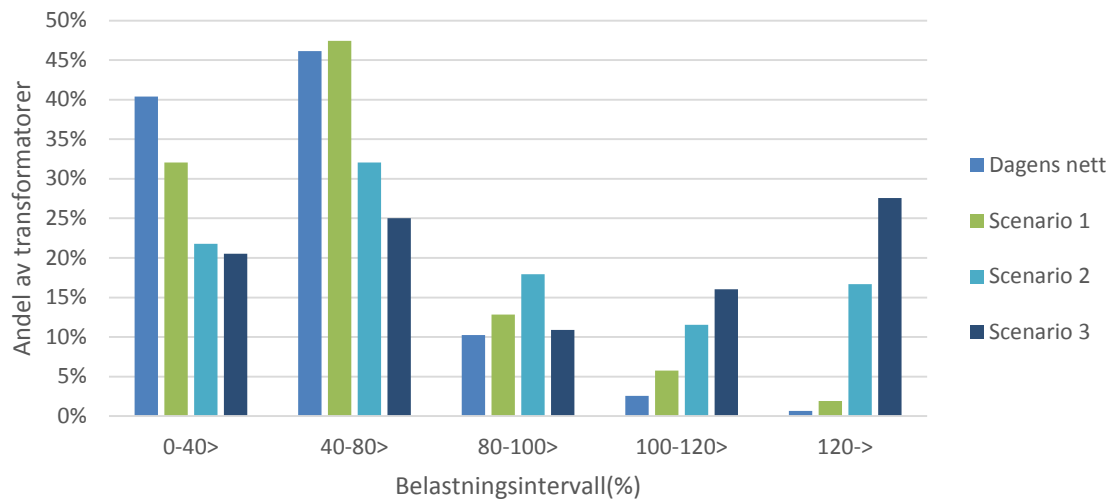
7.2.1 To distribusjonsnett

Som grunnlag for analysen har NVE fått tilsendt data for to ulike høyspent distribusjonsnett, ett bynært og ett fra distriktet. Det ene nettet er fra et boligområde med ca. 9000 sluttbrukere hvorav 8000 er husholdningsbrukere. Nettet er hovedsakelig kablet og består av til sammen 466 ledninger og 156 fordelingstransformatorer. Det andre nettet består av 97 fordelingstrafoer og 243 ledninger hvor omtrent 2/3 av disse er luftledninger.

Beregningene er utført i programmet Netbas, som er et verktøy benyttet av mange nettselskap. I dette programmet kan man blant annet øke lasten til husholdningsbrukerne og beregne belastningsgrad på transformatorer og linjer.

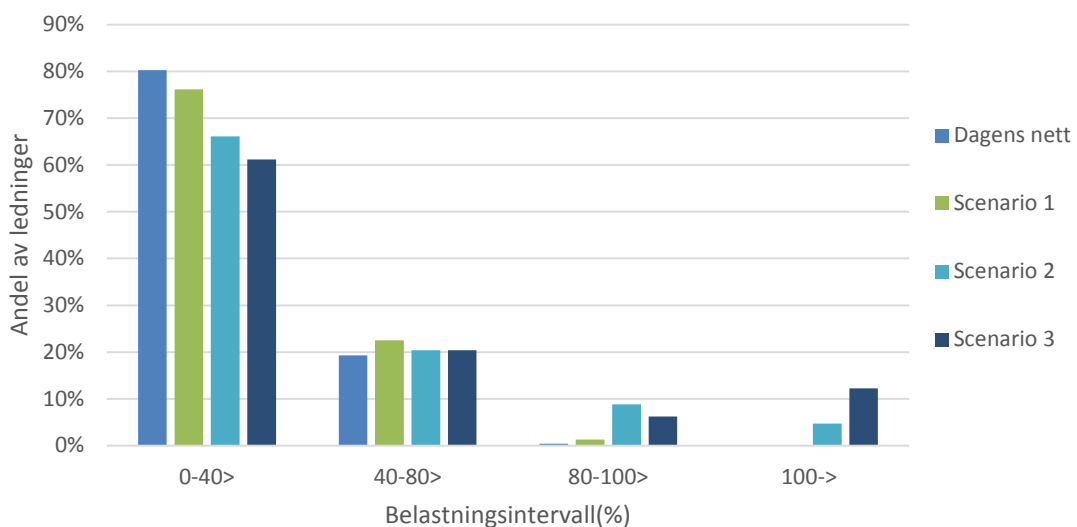
Når det gjelder belastningsgrad kan transformatorstasjoner belastes med inntil 120% i kortere perioder (ca. 15 min). Kabler og luftlinjer må derimot skiftes ut ved en belastningsgrad nær 100%. Grunnen til dette er at høy belastning ofte sammenfaller med lave temperaturer. Dette vil kjøle ned transformatorene, men ikke kablene som ligger i bakken.

Figur 7-3 viser fordeling av belastningen på transformatorene i bynært distribusjonsnett. Figuren viser at det kun er én transformator som blir belastet med over 120% og burde byttes i dagens nett. Ved økt effektuttak på grunn av elbiler tilsvarende scenario 1-3 må henholdsvis 2, 17 og 27 prosent av transformatorene byttes ut.



Figur 7-3 Fordelingen av belastning på totalt 156 fordelingstransformatorer i bynært distribusjonsnett. «Dagens nett» må forstås som «dagens belastning»

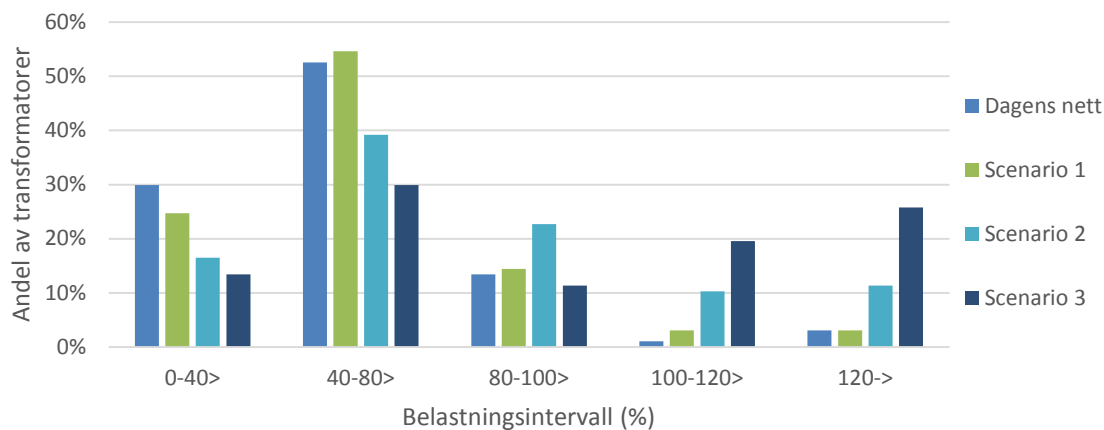
Figur 7-4 viser at det er betydelig mer kapasitet i ledningsnettet. Det er ingen kabler som er overbelastet i dagens system og det er bare i scenario 2 og 3, med mange elbiler som lader samtidig (50 % og 75 % samlagring) at det må skiftes ut ledninger.



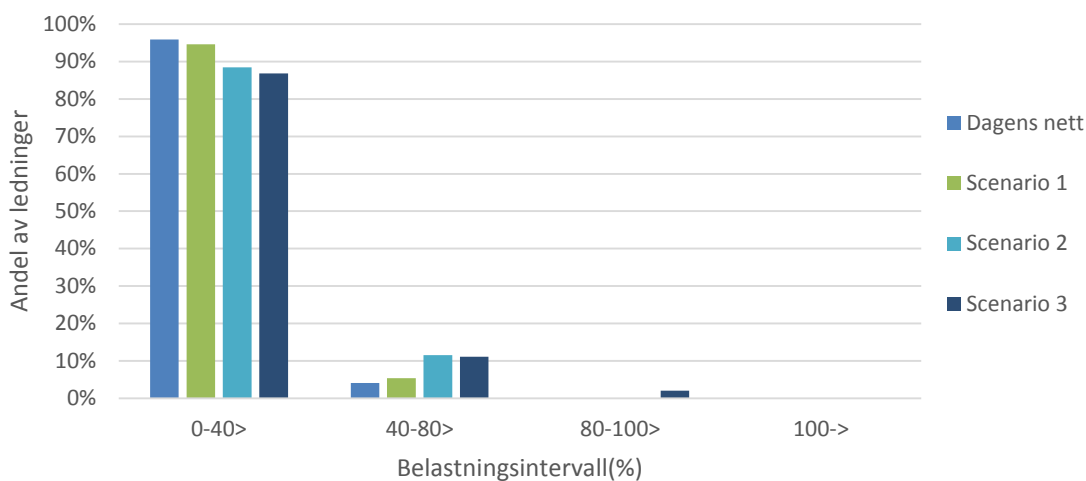
Figur 7-4 Belastning på kraftkabler.

Tilsvarende analyse for distribusjonsnettet på landet viser det samme bildet. Det er god kapasitet både i de fleste transformatorer og ledninger ved dagens belastning, men ved å legge til økt

effekt fra elbiler, tilsvarende scenario 2 og 3 oppå dagens maksimalforbruk, er det mange transformatorer som blir overbelastet. Dette er illustrert i Figur 7-5 og Figur 7-6.



Figur 7-5 Fordeling av belastningsgraden for transformatorer



Figur 7-6 Fordeling av belastning på ledningene

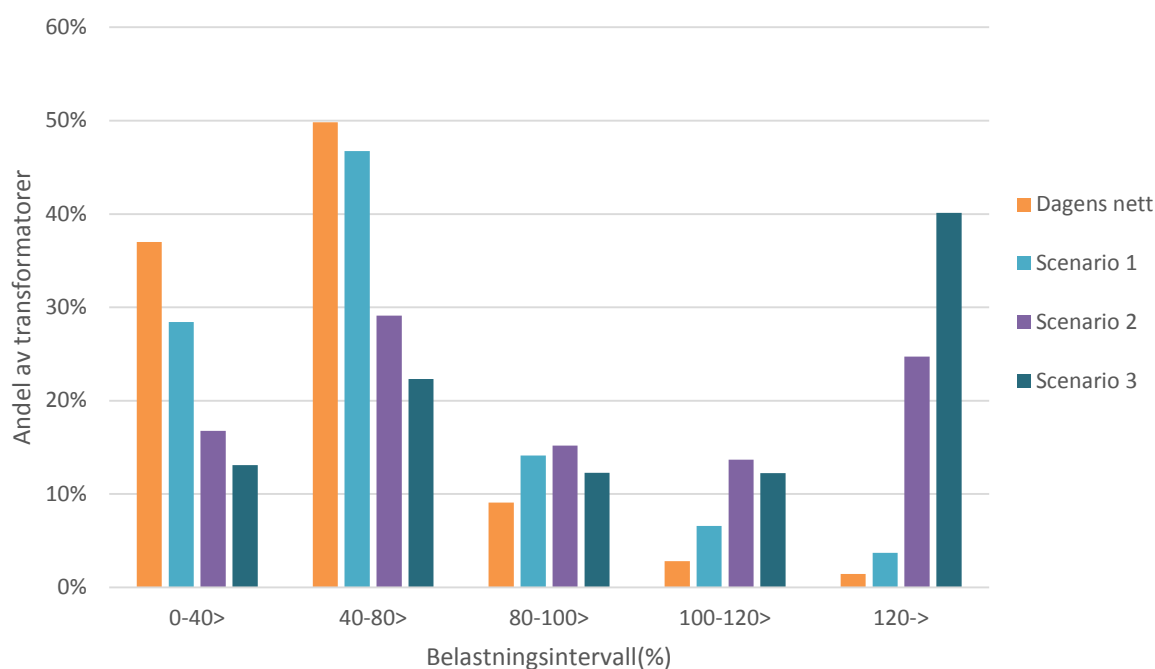
Summert opp viser analysene av de to områdene, at transformatorene er det mest utsatte komponentene ved økt effektuttak fra elbiler og at økt effekt fra elbiler tilsvarende scenario 2 og 3 kan gi behov for utskifting av mange transformatorer. Det ser ut til å være bedre kapasitet i kraftledninger og kraftkabler, men i et tettbygd område kan mange elbiler som lader samtidig også føre til overbelastning på flere kabler. Scenario 2 er med 50 % samlagring og scenario 3

med 75 % samlagring. Elbilforeningens undersøkelse av ladevaner viste imidlertid at lading av elbiler hjemme normalt sett var spredt utover døgnet og ikke oversteg 25 % samlagring. Den høyeste sammenlagingsfaktoren for lading fra elbiler ser også ut til å inntreffe på natten.

7.2.2 Fordelingstransformatorer fra andre nettselskap

Før sommeren 2015 sendte NVE en forespørsel til alle nettselskap med distribusjonsnett i Norge. Denne inneholdt en rekke spørsmål knyttet til effektkrevende apparater og elbiler, samt en forespørsel om å få tilsendt en liste over alle fordelingstransformatorer i nettet til de enkelte nettselskap. Denne listen skulle også inneholde transformatorenes kapasitet, maksimal belastningsgrad samt antall husholdningskunder under hver trafo. 33 nettselskap med til sammen 1,5 millioner sluttbrukere svarte på undersøkelsen. Svarene knyttet til effektkrevende apparatene fra undersøkelsen blir omtalt i delleveranse om lokale lagringsløsninger.

NVE har bearbeidet dataene for de 34 000 fordelingstransformatorene som er mottatt fra nettselskapene. Med den oppgitte informasjonen har det vært mulig å legge til en tilleggseffekt pr. husholdning tilsvarende scenario 1-3. Resultatene vil gi en viss formening om kapasiteten i transformatorene.



Figur 7-7 Fordeling av belastningen på 34 000 fordelingstransformatorer fra ulike steder i Norge.

Figur 7-7 viser at nesten 90% av dagens fordelingstransformatorer i dag har en belastningsgrad på under 80%, og omtrent 1% har en belastningsgrad på over 120%. Ved å øke effekten pr. husholdning vil naturlig nok belastningen øke, og i scenario 3 blir hele 40% av transformatorene overbelastet. En kan også se at andelen transformatorer som blir belastet i området 100-120% stiger betraktelig og disse kan ikke utelukkes for å være i en kritisk tilstand med henhold på kapasitet.

7.2.3 *Tolkning av resultatene*

Analysene som er utført gir en indikasjon på hva som blir konsekvensen ved en storstilt elektrifisering av personbilparken. Scenario 2 og 3 er ment å illustrere en full elektrifisering, og ut i fra resultatene kan det se ut til at over en tredjedel av alle fordelingstransformatorene har for liten kapasitet og må skiftes ut.

Fordelingstransformatorene i Norge har som regel en størrelse på mellom 20 og 1600 kVA², og har en kostnad fra ca. 40 000 til 200 000 kroner. Hvis alle komponentene i tilknytning til en nettstasjon må byttes ut vil kostnaden dobles. NVE har ikke regnet på de totale kostnadene da det er store usikkerheter knyttet til analysene. For det første er en full elektrifisering langt frem i tid, og ettersom en transformator har en levetid på omtrent 40 år vil de fleste av transformatorene ha blitt byttet ut innen den tid. Som regel er det en relativt lav kostnad å øke kapasiteten på en transformator hvis den uansett skal skiftes, men enkelte steder kan økt størrelse by på problemer pga. plassmangel. Det er også stor usikkerhet knyttet til nettselskapenes egne tall for nåværende maksimal last da dette er beregnede og ikke målte verdier. For eksempel oppdaget et nettselskap at de hadde mer kapasitet i nettet enn beregnet da de innførte AMS.

Det er også viktig å understreke at spesielt scenario 3 er et svært pessimistisk scenario med henhold på samtidighet i lading av elbiler og at det her antas at man ikke bruker ny teknologi for å hindre overbelastning i nettet.

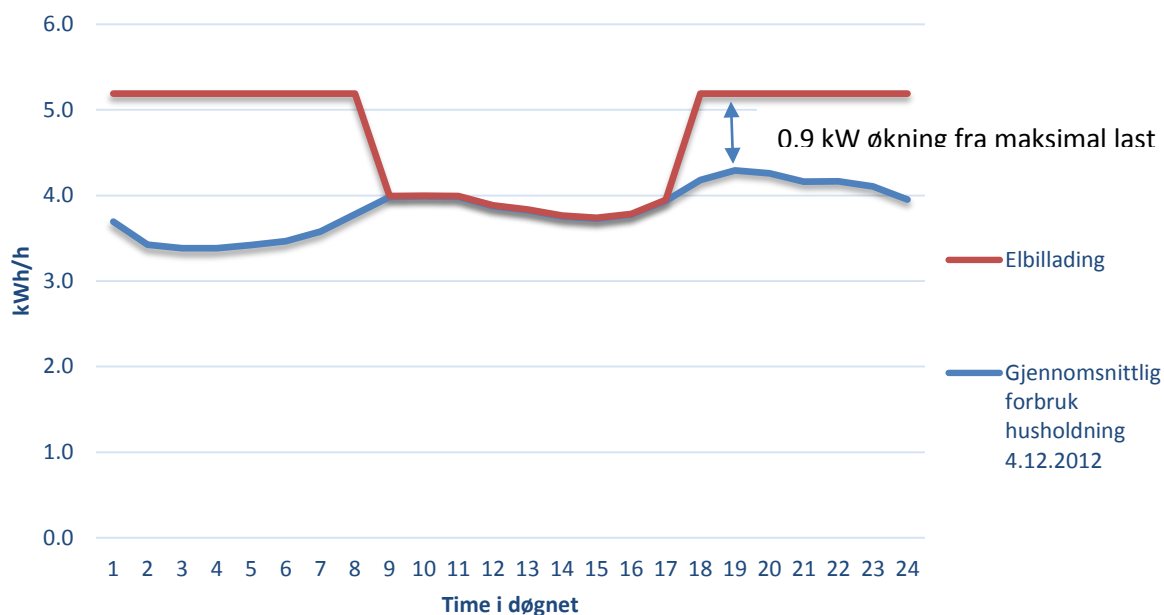
Selv om NVE antar at en fullelektrifisering av personbilparken vil skje langt frem i tid, kan vi ikke utelukke at det i enkelte områder kan oppstå kapasitetsproblemer innen få år. Spesielt utsatt er strømmettet til hyttefelt som er dimensjonert for lave laster uten elbillading. Dette er også noe nettselskapene selv er bekymret for.

7.3 **Smart lading av elbil**

Ut i fra beregningene over kan det se ut til at distribusjonsnettet har kapasitet til en økning på 0,9 kW pr. husholdning. Forutsetningen for denne effektøkningen er 0,8 biler pr. husholdning, gjennomsnittlig ladeeffekt på 4,6 kW og 25% samtidig lading (Scenario 1). En høyere effektøkning pr. husholdning kan selvsagt inntreffe, men ved smart lading kan man forhindre at effektøkningen fra nåværende maksimal last overstiger 0,9 kW. Dette kan illustreres ved å benytte det gjennomsnittlige forbruket for en husholdning med AMS, og legge til en elbillading

² 1 kVA er tilnærmet lik 1 kW

som er begrenset av 0,9 kW lastøkning fra maksimallast. Et tenkt tilfelle der man starter lading etter jobb kl 18 og avslutter kl 07 er illustrert i Figur 7-8.



Figur 7-8 Gjennomsnittlig forbruk for husholdningskunder med AMS 4.12.2012, inkludert en styrt elbillading for å ikke overgå 0,9 kW tillegg fra maksimal last.

I et slikt tilfelle vil den totale energimengden levert til en elbil bli 20 kWh, som tilsvarer en rekkevidde på 80 km med et vinterforbruk på 0,25 kWh/km. Det er altså fullt mulig å begrense elbilladingen slik at man ikke overgår kapasiteten i nettet samtidig som elbileiere får ladet bilen sin tilstrekkelig. Spørsmålet er hvordan nettselskapene skal forsikre seg om at elbillading ikke forårsaker kapasitetsproblemer i nettet. Effekttariffer er en mulighet, men ingen garanti for at folk vil begrense elbilladingen på dager med anstrengt kapasitet.

8 Elektriske varebiler

Det er i dette arbeidet ikke gjort en egen analyse av ladevaner og effekt for elektriske varebiler. Bakgrunnen er at det foreløpig er solgt lite elektriske varebiler i Norge og at det derfor er lite data å gjøre analyser på. Posten er bedriften med fleste elvarebiler i Norge og de kjøpte 300 nye elektriske varebiler i juni 2015. Dette ble gjort fordi det hadde gode erfaringer med varebiler i løpet at de fem siste årene.

Når eierne av varebilene vil lade batteriene er vanskelig å si noe sikkert om, men på bakgrunn av erfaringene til Posten er det grunn til å anta de vil sette bilene til lading når arbeidsdagen er slutt, slik at det er fullt batteri når de starter arbeidsdagen igjen neste dag. Ladingen vil da starte når bilen settes til lading og foregå til batteriet er fullt. Dette betyr at maksimal lading for elektriske varebiler vil inntreffe en gang på ettermiddag/kveld når det er flest varebiler som lader samtidig. Maksimal lading for elektriske varebiler kan på denne måten komme samtidig med maksimallast for husholdningene, fra klokka 18 til 19 på ettermiddagen. Dersom alle dagens 472 000 varebiler var elektriske, og med forventninger om enda flere varebiler fremover, kan derfor lading av varebiler skape utfordringer for distribusjonsnettet i enkelte områder.

9 Utfordringer i nettet ved elektrifisering av busser og ferjer

Mens personbiler og varebiler er preget av mange små kjøretøy som til sammen bruker mye elektrisitet og effekt, er store kjøretøy og fartøy preget av få enheter som bruker mye elektrisitet og effekt og som ofte må lade batteriene på kort tid. Busser og ferjer har mange likhetstrekk på den måten at batteriene må lades når de stopper for å ta på og slippe av passasjerer og at de da trenger mye effekt på kort tid for å lade opp batteriene for å holde ruten i gang. I Norge er det foreløpig en batterielektrisk ferje og to batterielektriske busser.

Ferjen Ampere går mellom Lavik og Oppedal i Sognefjorden og bruker 20 minutter på hver tur. Den har et batteri på 1 000 kWh og bruker rundt 150 kWh på hver tur. Ved begge fergeleiene er det hurtigladestasjoner på 300 kWh og meningen er at ladestasjonene skal kunne lade batteriet opp med like mye strøm som det brukes på en overfart. Det har imidlertid vist seg at det lokale kraftnettet på begge sider av fjorden er for svakt til at ferjen klarer å lade opp batteriet ved hvert havneanløp. Dette har ført til at ferjen hver dag må stå over avganger for at batteriet skal få stå lenge nok til lading. En løsning på problemet har vært å etablere en batteribank i hver havn som lader strøm fra nettet kontinuerlig og som ferja kan plugge til å lade fra når den er i havn.

Blant annet med bakgrunn i erfaringene fra ferjen Ampere har både DNV og Siemens/Bellona analysert hva som er mulig å elektrifisere av norske ferjer. Konklusjonen er at det er mulig å elektrifisere rundt halvparten av dagens bilferjer. Hovedsakelig de med overfart på under 30 minutter. Dette krever imidlertid samlede investeringer på flere milliarder i bedre kraftnett på land, ladesystemer ved havnene og ombygging av ferjene.

I Tabell 9-1 vises eksempler på beregnet kraftbruk, effektbehov og merkostnader ved elektrifisering av ferjestrekninger. Tabellen viser at samlet årlig kraftbehov ikke er svært høyt,

men at det må mye effekt til for at batteriene skal kunne lades opp i løpet av den tiden ferja står i havn. En ferje bruker rundt 10 minutter på å la biler og passasjerer komme i land og la nye komme om bord. I løpet av denne tiden må ferja lade opp batteriene. Siden det går litt tid med å få koblet ferja til ladesystemet, har ferja normalt 5 til 7 minutter disponibelt til lading i hver havn. Den korte ladetiden er grunnen til at det kreves så mye effekt til batterielektriske ferjer. Merkostnadene i siste kolonnen i Tabell 9-1 er derfor i stor grad kostnader til infrastruktur for lading.

Tabell 9-1 Eksempler på kraftbruk, effektbehov og merkostnader ved elektrifisering av ferjestrekninger. Kilde DNV-GL.

Strekning	Strøm per tur	Effektbehov (5 min.)	Årlig strømbruk	Merkostnad elektrifisering
	kWh	kW	GWh	Millioner
Tau - Stavanger	646	7 755	15,1	155
Molde - Vestnes	532	6 385	14,4	128
Geiranger-Hellesylt	860	10 322	5,0	138
Hjelmeland - Nesvik	199	2 383	2,8	16
Jondal - Tørrvik	284	3 407	3,9	23

De første batterielektriske bussene i Norge går i rute mellom Sandnes og Stavanger, en strekning på i underkant av to mil. I følge produsenten skal bussene bruke 0,9 kWh/km, men det er ikke opplyst under hvilke forhold dette gjelder. Lignende busser i Finland brukte 0,87 kWh/km på vinterstid. Tester av elektriske busser i andre land har imidlertid vist at det går med en del strøm til varme- og kjøleanlegg i bussen. Det er derfor ikke urimelig å anta at bussene i kalde Norge vil bruke noe mer strøm per kilometer enn oppgitt av produsenten for at bussene skal være varme nok vinterstid. For enkelhets skyld brukes det derfor her et forbruk på 1,2 kWh/km, noe som gir et forbruk 24 kWh på en strekning på 20 kilometer. Det er ikke informasjon om hvor lenge bussene står i depotene i hver ende av ruta, men et anslag på en halv time tilsier at det er nødvendig med et effektuttak på rundt 50 kW for å lade opp batteriet igjen på hvert bussdepot. Med mange elbusser kan dette fort gi et effektbehov på flere hundre kW i slike bussdepot i fremtiden. Det er sikkert mulig å innrette ladingen på måter som gir et lavere samlet effektbehov på bussdepotene, men bussentralene peker seg uansett ut som store effektbrukere ved høy grad av elektrifisering av busser. Dette kan gi behov for forsterkninger i det lokale og regionale nettet i de aktuelle områdene.

En annen måte å løse ladebehovet til busser er å installere ladesystemer på hver busstopp. Dette kan spre og muligens redusere effektbehovet i området bussene kjører, men er nok en dyr infrastruktur for lading. Vi har ikke hatt tid se på dette i denne analysen.

10 Befolkning og reisevaner

Siden vi i dette notatet antar at det er sammenheng mellom befolkning og transport og at elbilparken vil ligne dagens park av bensin- og dieslbiler ved full elektrifisering, er det nødvendig å se på sammensetning av Norges befolkning og deres reisevaner. Dette gjøres med utgangspunkt i SSBs befolkningsstatistikk og TØIs reisevaneundersøkelse. Sammensetning av befolkning og reisevaner gir oss et inntrykk av forskjeller mellom ulike segmenter av befolkningen. Kunnskap om dette har spesielt stor betydning for vår vurdering av ladevaner for elbiler ved full elektrifisering.

I januar 2014 var det 5,1 millioner innbyggere i Norge. De fleste bileiere er fra 18 til 80 år og 2014 utgjorde denne gruppen 3,8 millioner mellom. Av disse var det rundt 2,6 millioner arbeidstagere. Resten, rundt 1,2 millioner personer, er pensjonister, studenter, uføre og arbeidsledige. Disse gruppene er ganske ulike og har ulike vaner og rutiner. Hvordan bileiere utenfor arbeidslivet bruker bil og når de vil velge å lade en eventuell elbil er vanskelig å si noe sikkert om, men sannsynligvis vil både bilkjøring og lading av elbiler skje over store deler av døgnet.

Når det gjelder de 2,6 millionene arbeidstagerne så viser statistikken til SSB at rundt 1,7 millioner jobber innenfor det som kalles ordinær arbeidstid, som er definert til å være fra seks-sju tida om morgenen til fem-seks om ettermiddagen. Resten av arbeidstagerne jobber deltid, har andre arbeidstider eller jobber skift som varierer fra periode til periode. De 0,9 millionene arbeidstagere som jobber utenfor ordinær arbeidstid vil på samme måte som de som står utenfor arbeidslivet ha ulike kjørevaner og dermed ladevaner ved bruk av elbil.

Den siste store gruppen i denne gjennomgangen er de 1,7 millioner arbeidstagere som arbeider innenfor ordinær arbeidstid. Reisevaneundersøkelsen til TØI fra 2013, viser at 61 prosent av arbeidstagerne i Norge bruker egen bil til jobb. Resten er passasjerer i andres bil, reiser kollektivt, sykler eller går. Det er en lavere andel enn 61 prosent som bruker bil i byer og en høyere andel utenfor byene. Blant de som ikke bruker bil til jobb er det mange som ikke har bil, bilen står hjemme på dagtid eller den kan stå på en innfartsparkering. De som har bilen hjemme vil nok lade elbilen hjemme om de har bruk for den om ettermiddagen og/eller etter bruk om ettermiddagen. Stadig flere innfartsparkeringer har nå ladestasjoner der elbilere kan lade bilen sin når den står parkert om det er behov for det.

Blant de som bruker bil til jobb, er det nok mange som vil lade bilen på jobb om det er mulighet for det og hjemme etter jobb. Spesielt gjelder dette om vinteren, da elbilene bruker mer strøm per kilometer. Denne store gruppen av bileiere vil da trekkes strøm fra kraftnettet på de tidspunktene på døgnet det i dag brukes mest strøm, fra åtte til ti om morgenen og fem til seks på ettermiddagen. Det er først og fremst denne gruppen av bileiere som kan øke dagens maksimalforbruket per time og dermed skape utfordringer for kraftnettet. Det er likevel enkelt å sette inn timere i ladeutstyret til disse elbilene, slik at de starter å lade etter klokka ti om morgenen og til andre tidspunkt på ettermiddagen. Flere modeller har allerede slikt utstyr. De fleste som bruker bil til jobb parkerer den på jobb på dagtid og trenger den ikke før om

ettermiddagen. Så sant de ikke har lite strøm igjen på batteriet, holder det da for de fleste å lade en periode midt på dagen når kraftnettet er mindre belastet.

Reisevaneundersøkelsen til TØI viser også at folk drar hjem fra jobb over et større tidsrom enn de drar til jobb. Dette kan også bidra til at folk som bruker bil til jobb vil spre ladingen utover kvelden og natta. En undersøkelse utført av elbilforeningen blant dagens elbileiere tyder på at dette er tilfelle. Dessuten er det slik at dersom folk lader bilen sin ofte vil ladeperioden være kortere fordi de er mye strøm igjen i batteriet og de kan lettere stå over en lading.

Summert opp viser alle disse tallene for befolkning og reisevaner at Norges befolkning er svært sammensatt og har ulike vaner og rutiner, noe som vil begrense hvor mange som lader samtidig. I tillegg er det allerede i dag teknologier som enkelt kan flytte kraftbruk bort fra de mest belastede tidspunktene på døgnet. I Tabell 10-1 er det en oversikt over hovedtallene som er omtalt i dette kapitlet.

Tabell 10-1 Befolkning og reisevaner i Norge. Kilde SSB og TØI.

Befolkning	Antall
2014	Millioner
Samlet befolkning i Norge	5,1
Befolkning fra 18 til 80 år	3,8
Sum arbeidstagere i Norge	2,6
Arbeider som jobber deltid, skift og utenom ordinær arbeidstid	0,9
Arbeidere innenfor ordinær arbeidstid (klokka 06 til 18)	1,7
Arbeidere med ordinær arbeidstid som bruker bil til jobb	ca. 1,1