

Kan brukte el-bil batteri bidra til å jevne ut effekttoppene på strømnettet i Norge?

Amalie Eide
Martine Rønning

Bacheloroppgave i Energiteknologi
Bergen, Norge 2020



Kan brukte el-bil batteri bidra til å jevne ut effekttoppene på strømnettet i Norge?

Amalie Eide
Martine Rønning

Institutt for Maskin- og Marinfag
Høgskulen på Vestlandet
NO-5063 Bergen, Norge

IMM 2020-M82

Høgskulen på Vestlandet
Fakultet for Ingeniør- og Naturvitskap
Institutt for maskin- og marinfag
Inndalsveien 28
NO-5063 Bergen, Norge

Omslag fotografi © Norbert Lümmer

English title: Can second life EV batteries contribute to the Norwegian power grid by peak shaving?

Forfatter(e), studentnummer: Amalie Eide h571996
Martine Rønning h571986

Studieprogram:	Energiteknologi
Dato:	Mai 2020
Rapportnummer:	IMM 2020-M82
Veileder ved HVL:	Anne Sofie H. Bjelland
Oppdragsgiver:	HVL
Oppdragsgivers referanse:	Anne Sofie H. Bjelland
Antall filer levert digitalt:	10

Forord

Denne oppgaven er skrevet av energiteknologistudenter ved Institutt for Maskin- og Marinfag (IMM) ved Høgskulen på Vestlandet (HVL), og er gitt av Anne Sofie Handal Bjelland ved Institutt for Byggfag. Hovedtemaet er brukte el-bil batterier og strømmettet i Norge. En tidligere prosjektoppgave i MAS123 i studieforløpet har i stor grad bidratt til struktur i oppgaven og valg av passende metode.

Oppgaven er ikke et eksternt prosjekt fra industrien, men har i stor grad blitt formet ved hjelp fra flere forskjellige bedrifter. Oppgaven har blitt utformet med hjelp fra Sweco med inspirasjon fra Skipet i Bergen, et prosjekt av GC Rieber. BKK har gjort det mulig å foreta beregninger, da de har bidratt med forbruksdata. Videre har NVE bidratt med pris estimerer for fremtiden. Oppgaven er svært tverrfaglig og har bydd på utfordringer. Vi har fått hjelp av diverse bedrifter, som Heldal Eiendom, Eco Home og Eaton, for å nevne noen. I tillegg har vi benyttet tidligere forelesere ved HVL som har vært til stor hjelp.

Vi vil takke veilederen vår Anne Sofie Bjelland for en spennende oppgave, samt bidrag med relevante kontakter og tilbakemeldinger underveis. Videre vil vi sende en ekstra takk til energirådgiver og prosjektingeniør Asbjørn Orheim Stoveland i Sweco Norge AS og Torgeir Blikseth Ericson i Norges vassdrags- og energidirektoratet (NVE), som i stor grad har bidratt til at beregningene ble mulige.

Sammendrag

Strømnettet i dag er under stor belastning enkelte tider i døgnet. Forbruket av energi per innbygger øker stadig, samtidig som at flere apparater elektrifiseres, noe som bidrar til effekttopper på strømnettet. Videre økes salget av el-biler, noe som resulterer i en akkumulering av brukte el-bil batterier i årene som kommer. Denne oppgaven belyser hvordan brukte el-bil batterier kan håndteres og bidra til å jevne ut effekttoppene på strømnettet. Dette utfra et økonomisk-, samfunns- og miljøperspektiv.

Metoden som er tatt i bruk er kvalitativ, hvor det er benyttet en litteratur- og casestudie. I litteraturstudiet er det tatt i bruk funn fra ulike vitenskapelige artikler, faglitteratur, rapporter og statistikker. Relevante søkeord som «effekttopper», «kraftsystemet i Norge», «second life batteries», «litium-ion batteri», «spotpris», «uregulerbare energikilder» og liknende ble tatt i bruk i litteraturstudiet. Oppgavens første del baserer seg på generell teori som har sitt opphav i litteraturstudiet, som videre er nødvendig for å løse problemstillingen. I casestudiet er det belyst tre forskjellige scenarioer; en enebolig, et næringsbygg og et nabolag. Det er foretatt diverse beregninger for å se på økonomisk lønnsomhet ved installasjon av stasjonær batteribank. Ulike kostnadsbilder er presentert med varierende investeringskostnader, strømpriser, levetid og Enova tilskudd. Dette er gjort for å utvide oppgavens anvendelsesområde ettersom det er vanskelig å fastsette framtidige faktorer, da disse er usikre.

Problemstillingen er besvart med en litteratur- og casestudie da det generelt sett finnes få gjennomførte prosjekter med brukte el-bil batterier i Norge. Case studiet begrenser oppgaven til de variabler, forbruksdata og antagelser som er foretatt, og er dermed ikke nødvendigvis representativ for alle liknende prosjekter. På den andre siden gir oppgaven et innblikk i hvordan brukte el-bil batterier kan benyttes.

Abstract

The power grid is at times experiencing significant fluctuations during the day and night consumption, as more energy is consumed per capita as well as more of the daily used appliances are made electric – all resulting in an increased electrical power demand. As an important contributor to reduce Co₂ emissions, the sale of electric vehicles (EV) has significantly increased and is expected to further increase in the years to come. As a result, there is an increased need to establish processes and systems for handling and, if possible, re-use exhausted EV batteries. This thesis is intended to investigate if used EV batteries can be put in use as a tool to improve power management, by reducing the overall impact of power peaks on the grid. The thesis investigates the above in ways of an economical-, social- and environmental qualitative study.

The thesis is based on literature- and case studies. During the literature search, several scientific articles have been reviewed as well as subject literature, reports and statistics. The research is including keywords such as *“power peaks”*, *“the power grid in Norway”*, *“second life batteries”*, *“lithium ion battery”*, *“electricity price”*, *“irregular energy sources”* etc... The first part of the thesis is based on general theory which has its origins in the literature study, which furthermore is necessary to solve the problem. The case study highlights three different scenarios; a detached house, a commercial building and a neighborhood. Various calculations have been conducted to evaluate the financial profitability when installing a stationary battery bank. Different scenarios have been presented by varying investment costs, electricity prices, lifetime and subsidies. This is to extend the scope of the thesis, due to future factors which are uncertain.

This thesis addresses new and evolving topics related to the transformation to the low carbon emission society and increasing use of electric power as the fastest growing energy provider. By literature- and case studies, it addresses the possible application of exhausted EV batteries in private homes and businesses, and the possible economic and environmental impact. As this application is still in its early stage, there are few reference project and little experience available and new knowledge will be required and experienced before a recommendation for its application can be made.

Innholdsfortegnelse

1. Innledning	1
1.1 Problemstilling og oppgave.....	2
2. Metode	3
2.1 Litteraturstudie.....	3
2.2 Fremgangsmåte.....	4
2.3 Formler.....	5
2.4 Antagelser.....	5
2.5 Feilkilder.....	6
3. Bakgrunn og forstudie	8
3.1 Batteri.....	8
3.1.1 Oppbygging.....	8
3.1.2 Lade/utlade prosessen.....	9
3.1.3 Degradering/Aldringsprosessen.....	11
3.1.4 Alternativer til anvendelse av el-bil batterier etter endt liv i bil.....	12
3.1.4.1 Gjenbruk.....	13
3.1.4.2 Resirkulering.....	14
3.1.4.3 Delkonklusjon av anvendelse av batteri.....	17
3.1.5 Støtteordning.....	17
3.2 Energikilder.....	18
3.2.1 Solenergi.....	18
3.2.2 Vindenergi.....	20
3.2.3 Uregulerbare energikilder og batteribank.....	22
3.2.4 Delkonklusjon energikilde.....	22
3.3 Kraftsystemet i Norge.....	22
3.3.1 Strømnettet.....	23
3.3.2 Ustabilt nett.....	23
3.3.3 Effektopper og effektpriser.....	24
3.3.4 Virkning av batteri for å stabilisere kraftnettet.....	26
3.3.5 Kraftsystemet og energipris mot 2030.....	27
3.4 Sikkerhet.....	28
3.4.1 Årsaker til brann i litium-ion batteri.....	28
3.4.2 Sikkerhetsmekanismer i et litium-ion batteri.....	29
3.4.3 Regelverk, standard og forskrifter.....	30
3.4.4 Batteri installasjon i næringsbygg og bolig.....	30
3.4.5 Slukking av brann i litium-ion batterier.....	31
3.4.6 Batteribank ved strømbrudd.....	32
4. Scenarioer	34
4.1 Scenario 1- Enebolig.....	34
4.2 Scenario 2- Næringsbygg.....	37
4.3 Scenario 3- Nabolag.....	43
4.4 Virkningsgraden til batteriet.....	46
4.5 Beregninger basert på NVEs prisestimer for fremtiden.....	49
5. Diskusjon	53

<i>5.1 Løsning til strømmettet</i>	53
<i>5.2 Pris på nye- versus gamle batterier</i>	54
<i>5.3 Effekttariffen</i>	56
<i>5.4 Miljøaspektet og forbedringspotensialer</i>	57
<i>5.5 Sikkerhet</i>	58
<i>5.6 Oppsummering og relevansen av scenarioene</i>	59
6. Konklusjon	62
Referanser	63
Liste over Figurer	69
Liste over Tabeller	71
Vedlegg	72

1. Innledning

Biler med elektrisk batteri har kommet som et svar på den globale klimautfordringen verden befinner seg i, og dominerte bilmarkedet i Norge i 2019 [1]. Grunnet høy etterspørsel har industrien kommet langt både når det gjelder batterikapasitet, rekkevidde, energieffektivitet, sikkerhet og design, samtidig som at prisene stadig faller [2]. Flere og flere bilselskap melder seg på den elektriske trenden. I 2018 overskred den globale el-bilflåten 5,1 millioner enheter, som var en økning på 2 millioner fra 2017. Kina er verdens største elbilmarked, etterfulgt av Europa og USA. Når det gjelder markedsandelen av el-biler er Norge verdensledende, med en andel på rundt 46%, som er mer enn dobbelt så mye som landet med nest-størst andel [2]. I 2019 ble det solgt 142 381 personbiler i Norge, hvor 60 316 av disse var el-biler; en økning på over 30% fra 2018 [3].

Økningen har skjedd raskt, og er forventet å fortsette. Denne utviklingen er som nevnt positiv for miljøet, da det totale CO₂/NOX utslippet reduseres dersom man lader med fornybar strøm. Videre resulterer dette samtidig i færre bensin- og diesel-baserte biler på markedet [4]. Utviklingen er derimot ikke helt problemfri. Som et resultat av denne økningen, vil det komme en «eldrebølge» av brukte el-bil batterier, som må håndteres på en bærekraftig måte. I følge Bloomberg er det forventet at det vil komme over 3,4 millioner brukte el-bil batterier i 2025 på verdensbasis, sammenliknet med 55 000 som var tilfellet i 2018 [5].

Både innbyggertall og energiforbruk per innbygger har steget jevnt siden 1990, og i 2016 ble det målt en økning på 33% på maksimalt strømforbruk per time (effektforbruk) [6][7]. Norge har altså blitt mer energieffektive, men det har også ledet til utfordringer i strømmettet [6]. Driverne er klimapolitikk og teknologiutvikling. Overbelastning på nettet øker sjansen for strømbrudd, og det trengs en rask løsning som kan bistå til strømmettet i dag. I enkelte tilfeller er nødvendigvis ikke utbygging det beste alternativet, da dette både er tidkrevende, dyrt og ofte innebærer naturinngrep [8].

Det foreligger altså to problemer som stadig blir mer aktuelle. Strømmettet trenger avlastning i enkelte perioder av døgnet, og den forventede mengden el-bil batterier som kommer må håndteres. I tillegg øker stadig utbygging av uregulerbare, fornybare energikilder som også forstyrrer strømmettet. Oppgaven belyser hvordan el-bil batteriet kan gjenbrukes til andre

applikasjoner når batteriet ikke lengre er egnet i el-bil, og dermed jevne ut «eldrebølgen» av batterier som forventes å komme. I tillegg er det hensiktsmessig å utnytte batteriets fulle kapasitet før man eventuelt resirkulerer. Det er flere bedrifter i Norge som har prøvd dette. Eksempler kan være GC Rieber i Skipet [9], Heldal Eiendom i Skjold Stall [10], og Bislett stadion [11]. Videre sees det på hvordan batterier kan bidra til infrastrukturen i Norge, og hvorvidt dette er lønnsomt sett i et miljø-, samfunns- og økonomisk aspekt, og sikkerheten rundt det. Oppgaven tar til slutt for seg tre forskjellige scenarier hvor alle installerer batteribank av forskjellig størrelser, der første scenario er en bolig, andre et næringsbygg og siste et nabolag.

1.1 Problemstilling og oppgave

Oppgaven omhandler kraftsystemet i Norge i dag, og mulige endringer i framtiden i form av effektprising. Dagens strømnnett er preget av effekttopper og lokale flaskehals, som må håndteres. Videre ser man stadig en økende mengde utdaterte el-bil batterier som ikke lengre er egnet til bruk i bil. På bakgrunn av dette er det utarbeidet følgende problemstilling:

«Kan bruke el-bil batterier bidra til å jevne ut effekttoppene på strømnettet? Sett fra et økonomisk-, samfunns- og miljøperspektiv.»

2. Metode

I oppgaven er det brukt en kvalitativ metode, hvor det blir vektlagt tolking av data, dialoger og erfaringer fra tidligere prosjekter. Sekundærdata er samlet inn for å få en bred oversikt over tidligere arbeid, og eventuelle «hull» i forskningen [12]. Oppgaven løses ved først å foreta en litteraturstudie hvor det gjøres rede for relevante teorier som kan leses om i kap 3 *Bakgrunn og forstudie*, og deretter er disse teoriene benyttet for å løse scenarioene i kap 4 *Scenarioer*. Oppgaven er løst på denne måten, da det generelt sett finnes lite informasjon og gjennomførte prosjekter med brukte el-bil batterier. Det kommer stadig flere slike prosjekter, og man finner eksempler på både næringsbygg og eneboliger som installerer brukte el-bil batterier, gjerne sammen med solcellepanel[9][10][13]. De tre scenarioene i kap 4 er til for å se hvorvidt batteribankene lønner seg alene, og eventuelt hva som må til for at de skal bli økonomisk lønnsomme.

2.1 Litteraturstudie

Det ble gjennomført en litteraturstudie for innhenting av informasjon og datamateriale for å øke den eksterne validiteten i casestudiet [12]. En litteraturstudie innebærer å benytte funnene fra ulike vitenskapelige artikler, leksikon, faglitteratur, samt rapporter og statistikk som datamateriale. Med andre ord er det funnene i litteraturstudiet som skaper grunnlaget for oppgaven, i tillegg til at det gir faglig bredde og forståelse for leseren. Videre er litteraturstudiet essensielt for å kunne forstå resultatene i casestudiet [14].

Det har blitt tatt i bruk ulike kilder og relevante søkemotorer som: Google, Google Scholar, Oria, Web of Science, Science Direct og Engineering Village. Disse søkemotoren har gitt litteratur på både norsk og engelsk, noe som skaper et større overblikk over temaet, samt ulike synspunkter og funn. Kildene som er benyttet har blitt vurdert og sammenlignet, noe som har bidratt til å styrke kildenes pålitelighet og resultert i en faktabasert og nøytral oppgave [14]. Relevante nøkkelord som «brukt el-bil batteri», «thermal runaway», «lithium ion battery», «galvanisk celle», «solcelle», «resirkulering», «pyrometallurgisk- og hydrometallurgisk prosess», «høyenergibatteri», «demontering av høyenergibatteri» og liknende har vært viktige ord i søkeprosessen.

2.2 Fremgangsmåte

I kap 4 *Scenarier* er det foretatt en case studie for å undersøke tre forskjellige enkelttilfeller, som underbygger resultatet [15]. Case studiet tillater oss å gå i dybden og gir detaljerte resultater i hvert tilfelle, og dermed gjør det lettere å sammenlikne de forskjellige scenarioene. Scenarioene er basert på statistikk fra BKK for enebolig, næringsbygg og et nabolag. I scenario 1, 2 og 3 er det benyttet regneark i Excel utarbeidet i samarbeid med Sweco for økonomiske beregninger. Her er blant annet HVIS-, SUMMER- og SORTER-funksjoner tatt i bruk. Grensen for når batteriet skal brukes i hvert scenario, er bestemt ved prøving og feiling, og kan leses om i kap 4.1 *Scenario 1- Enebolig*, 4.2 *Scenario 2- Næringsbygg* og 4.3 *Scenario 3- Nabolag*. Først er forbruk per time summert både med og uten batteribank, i alle scenarioene. Strømprisene i scenario 1 og 3 er funnet ved å multiplisere forbruket med de variable leddene, dvs. både nettleie og spotpris, og deretter er de faste kostnadene lagt til. I scenario 2-næringsbygg er nettleien beregnet annerledes da det allerede eksisterer en form for effekttariff. Dette gjøres ved å finne høyeste effekttopp hver måned gjennom 2019, som videre multipliseres med en fast pris som differensieres etter sommer/vinter halvår og over 200kW/under 200kW, se vedlegg 1. Videre beregnes spotpris, variable- og faste ledd likt som for scenario 1 og 3. Besparelsen er så regnet ut ved å finne differansen mellom strømpris med og uten batteribank. Andre variabler er funnet basert på antagelser, som kan leses om i kap 2.4 *Antagelser*. Videre er det foretatt nåverdiberegninger, for mer informasjon se kap 2.3 *Formler*. Til slutt er det utarbeidet diagrammer basert på beregningene som er gjennomført. I kap 4.1 *Scenario 1- Enebolig*, 4.2 *Scenario 2- Næringsbygg* er det også foretatt ulike prisscenarier, hvor fire ulike effektledd sammenliknes med fire ulike investeringspriser.

I kap 4.4 *Virkningsgraden til batterier* er det utarbeidet et Excel-ark med oversikt over forholdet mellom spotpris i lavlast- og høylast perioden, se formel i kap 2.3 *Formler*. Spotprisene er hentet fra Nord Pool. Hovedpoenget bak beregningene er å finne ut hvor stor prisforskjellen må være mellom lavlast- og høylast perioden, for at det skal lønne seg med en stasjonær batteribank basert på virkningsgraden. Excel-arket tar kun for seg de variable leddene i strømprisen, og er gjort for å underbygge resultatene fra kap 4.1 *Scenario 1- Enebolig*, 4.2 *Scenario 2- Næringsbygg* og 4.3 *Scenario 3- Nabolag*. Det er også sett på framtidige forhold, ved bruk av estimerte spotpriser utarbeidet av NVE.

I kap 4.5 *Beregninger basert på NVEs prisestimer for fremtiden*, er det benyttet to Excel-ark, begge utarbeidet av NVE. Disse omhandler framtidige estimerte verdier av spotpris, samme som nevnt i avsnittet over, og nettleiepriser basert på mulige effekttariffer. Spotprisene er benyttet til å finne et gjennomsnitt per år. I Excel-arket med nettleieberegningene fra NVE, ble forbruket i de forskjellige senarioene lagt inn, og nettleieprisene i de forskjellige effekttariffmodellene kalkulert. Videre ble besparelse og nåverdien beregnet som forklart i avsnittet over, men da i sammenheng med de framtidig estimerte spotprisene.

2.3 Formler

$$NPV = B \times \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} - I$$

Net present value (NPV) eller netto nåverdi (NV) er en metode som beregner lønnsomheten i et prosjekt. Dersom $NPV > 0$ er prosjektet lønnsomt, ved $NPV = 0$ går prosjektet i 0 og ved $NPV < 0$ er prosjektet ulønnsomt. B =besparelse, r =realrente, n =levetid og I =investering.

Total kostnad uten bruk av batteri > total kostnad med bruk av batteri

$$Q_{off} \times P_{off} + Q_{peak} \times P_{peak} > (Q_{off} + \Delta Q) \times P_{off} + (Q_{peak} - \Delta Q \times \eta) \times P_{peak}$$

Ved å forenkle formelen står man til slutt igjen med:

$$\eta = \frac{P_{off}}{P_{peak}}$$

Q_{peak} er forbruk i høylastperioden uten batteri, P_{peak} er pris ved maks forbruk, Q_{off} er forbruk i lavlastperioden uten batteri, P_{off} er pris ved min forbruk, ΔQ er energi lagret i batteriet og η er virkningsgraden til batteriet.

2.4 Antagelser

I denne oppgaven er beregningene i senarioene basert på teoretiske antagelser ettersom det foreligger forskning og empiri bak analysen av hendelsene. Batteriene som skal brukes som brukte el-bil batterier antas å ha 80% kapasitet etter endt liv, og 10-20 års levetid [16]. Virkningsgraden antas å være 90% basert på en rapport fra NVE [17]. Videre antas det at de

brukte el-bil batteriene som brukes har en maks grense på rundt 90%, slik at aldringen bremses ved at batteriet aldri lades helt opp. Det skal også unngås total utladning [18]. Spotprisene for både 2019 og framtidige år er et gjennomsnitt av estimerte timesverdier fra NVE og registrerte verdier fra Nord Pool. Investeringene er basert på antagelser, tidligere prosjekter og dialog med produsenter av brukte el-bil batterier som Alternativ Energi, Eco Home og Eaton, se blant annet vedlegg 2 og 3. Investeringen innebærer installasjon, batteri, inverter, drift og vedlikehold. Det er sammenliknet priser fra flere leverandører for å styrke grunnlaget for prisanslagene. Alle beregningene er dimensjonert etter data i januar, da det antas at forbruket er høyest i denne perioden.

Besparelse er utarbeidet i de forskjellige tilfellene og baseres på forskjellige spotpriser og nettleiepriser, mens forbruket antas å være likt for alle år. Realrenten er differansen mellom nominell rente og inflasjon og er definert basert på antagelser, Norges Bank og dialog med foreleser ved HVL. Realrenten er umulig å fastslå med sikkerhet, men er valgt med hensyn til eventuell økning slik at prosjektet ikke er så sensitivt. Det er lagt inn variabler som med/uten Enova tilskudd, 10/15/20 års levetid, forskjellige investeringer og effektpriser da disse faktorene er usikre.

All forbruksdata er fra BKK og er fra Bergensområdet, og dermed er også spot- og nettleiepriser fra dette området. Siden beregningene er gjort med stort datagrunnlag, er det gjort neglisjeringer for enkelthetens skyld. Beregningene er kun basert på nettleie og spotpris, dvs. at kostnader til nettselskap neglisjeres da disse varierer mye mellom de ulike nettselskapene. Disse inkluderer ofte et påslag på spotprisen og et fastledd per måned. Pris for å lade opp batteriene på natten er også neglisjert for enkelthetens skyld. Kostnader knyttet til opplading av batteri og nettselskap utgjør en liten forskjell per måned, men ville gjort en forskjell på 20 år. Det er ikke belyst hvorvidt lokale nettutfordringer finnes, eller andre faktorer som kan endre behovet for batteribank, som smartløsninger, passivhus osv... i denne oppgaven [17].

2.5 Feilkilder

Det er foretatt mange beregninger i Excel, og store mengder data er prosessert. Det kan ha forekommet feil ved inntasting av diverse verdier og/eller formler. Videre er enkelte verdi funnet ved gjennomgang av data, og kan dermed være ukorrekt. De estimerte verdiene for

kraftpris fra NVE kan avvike fra virkeligheten. Det samme gjelder forbruksdataen fra BKK ettersom det både i scenario for enebolig og næringsbygg er foretatt et gjennomsnitt. Dette kan påvirke topp- og bunn verdier, og dermed påvirke beregningene og resultatet.

3. Bakgrunn og forstudie

I dette kapittelet forklares generell teori som er nødvendig for å besvare problemstillingen.

3.1 Batteri

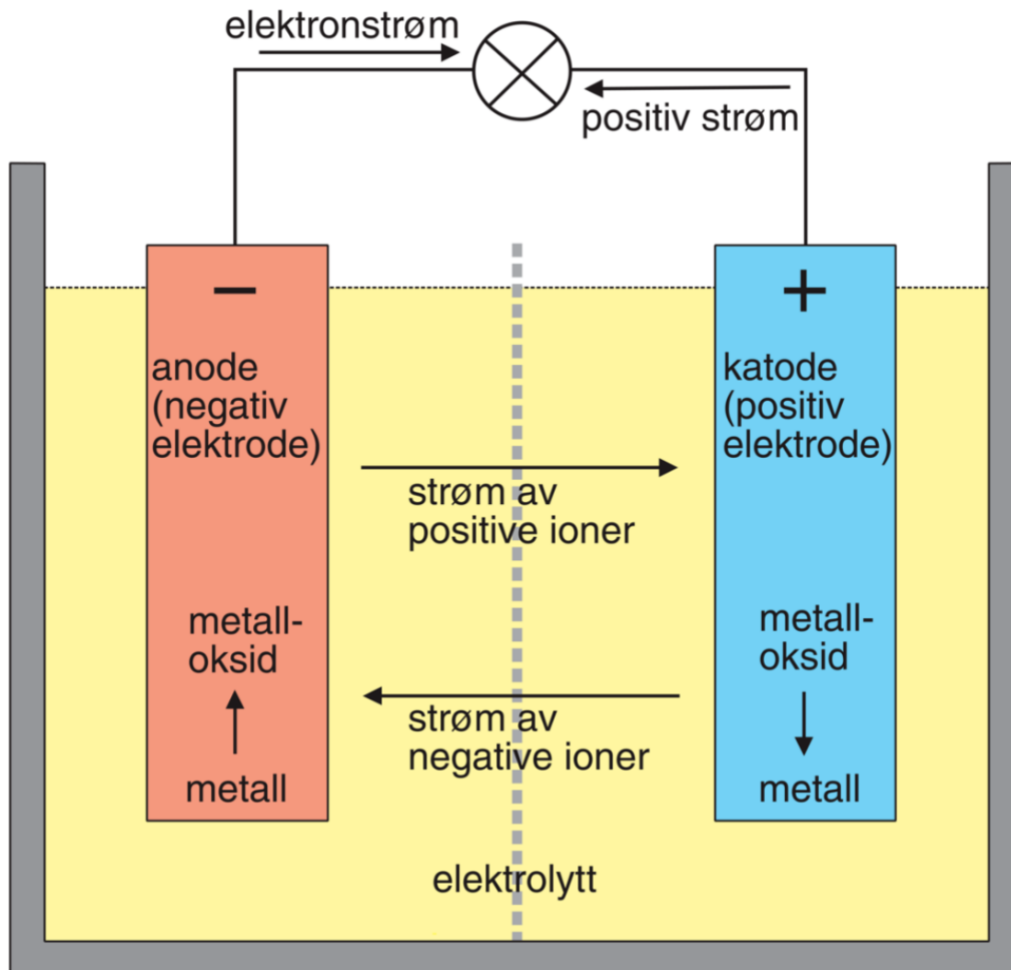
I elektriske biler brukes stort sett litium-ion batterier, og det er dermed de som blir belyst i dette kapittelet [19]. Litium-ion batteri blir stadig en større del av hverdagen, da miljøet har vært mye i fokus de siste årene. Flere engasjerer seg og prøver å løse dagens- og fremtidens utfordringer. Det finnes gode løsninger, men også problemer som gjenstår å løses. Erfaring har vist at det lønner seg å investere i grønne og bærekraftige løsninger, da dette vil kunne løse problemer for fremtiden og ikke bare midlertidige. Tidligere har man utnyttet en lineær økonomisk modell hvor man utvinner ressurser, produserer, bruker og kaster/forbrenner. Økonomisk og miljømessig lønner det seg å rette fokuset mot en sirkulær økonomi, som baserer seg på gjenbruk, reparere, oppusse/forbedre og gjenvinne. Det skal være en lukket sirkel, hvor minst mulig ressurser går til spille og hvor de mer eller mindre beholder samme kvalitet [20]. I dette kapittelet skal det belyses hvordan bruke el-bil batterier kan gjenbrukes, og også hvordan resirkuleringsprosessen til litium-ion batterier er i dag.

3.1.1 Oppbygging

El-bil batterier i dag baserer seg i størst grad på litiumteknologi. Litium utvinnes hovedsakelig gjennom gruvedrift eller saltkilder [21]. Den største litium-kilden er fra saltvann, hvor omtrent 70% av dagens utvinning kommer fra [22]. Litium-ion batterier er en samlebetegnelse for alle batteri der litium-ioner er de indre ladningsbærere i batteriet [23]. De har høy energi- og effekttetthet, dvs. de leverer mye energi i forhold til batteriets størrelse [24]. Dette gjør batteriet veldig anvendelig, og optimalt i blant annet el-biler.

Et batteri består av flere elektrokjemiske celler, også kalt galvaniske celler, som er satt sammen i moduler, som videre er montert i en batteripakke [25]. Cellene er koplet sammen i serie- eller parallell, for å oppnå nødvendig spenning og kapasitet. Hver enkelt celle består av en negativ og en positiv elektrode, henholdsvis anode og katode, som illustrert i Figur 1. Mellom anoden og katoden er det en elektrolytt og en separator. Elektrolytt er en løsning bestående av frie, bevegelige ioner, som dermed er elektrisk ledende. Separatoren hindrer

anoden og katoden i å berøre hverandre og dermed også i å kortslutte, og slipper kun gjennom ioner. Det er også en ytre elektrisk krets som kun leder elektroner fra anoden til katoden, og visa versa. [26][23].

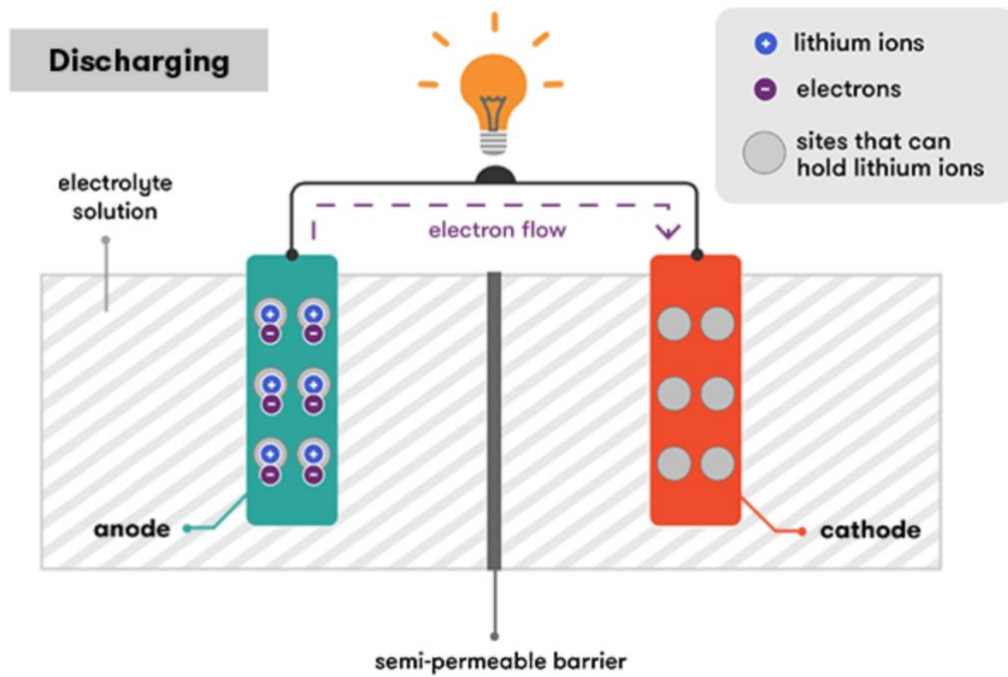


Figur 1- Galvanisk celle [27]

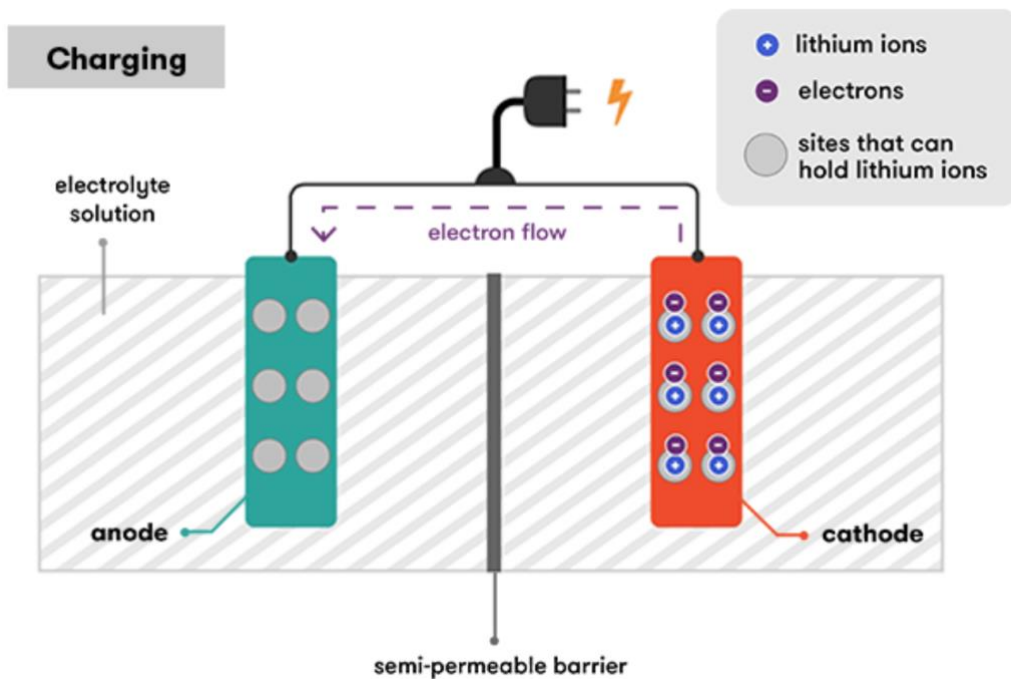
3.1.2 Lade/utlade prosessen

Den kjemiske prosessen som skjer inni et batteri når det utlades, er at Li^+ ioner vandrer gjennom separatorene via elektrolytten, mens elektroner vandrer via den ytre kretsen fra anode til katode. Dette skyldes at anoden er laget av et metall som gjerne gir fra seg elektroner (oksidierer), mens katoden består av en kjemisk forbindelse som gjerne tar imot (reduserer). På grunn av at elektrolytten ikke leder elektroner, må elektronutvekslingen skje gjennom den ytre elektriske kretsen. Disse elektronene i bevegelse kalles strøm. Denne prosessen er illustrert i Figur 2. Når det ikke er flere elektroner igjen som anoden kan gi fra seg, er batteriet

utladet. Prosessen er reversibel ved å koble batteriet til et strømuttak, som setter i gang samme prosess omvendt vei, og dermed lader opp batteriet, som illustrert i Figur 3 [23][28].



Figur 2- Utlading av et batteri [29]



Figur 3- Opplading av et batteri [29]

3.1.3 Degradering/Aldringsprosessen

Degradering eller aldring er prosessen hvor batteriet brytes ned. Det skjer uansett forhold, men det finnes enkelte forhold som er bedre enn andre. Det er hovedsakelig to faktorer som påvirker batteriets levetid: øyeblikkelige feil og progressiv aldring.

Øyeblikkelig feil er ofte en intern kortslutning, som fører til at battericellen ikke lengre kan lagre energi. Dette kan videre føre til ukontrollert og rask temperaturstigning, som kan resultere i brann eller eksplosjon. Øyeblikkelig feil kan også være eksponering for høye- eller lave temperaturer. Den andre prosessen, progressiv aldring, avhenger av antall og handler i stor grad om hvordan man oppbevarer og bruker batteriet. Her spiller faktorer som omgivelsestemperatur, SOC, DoD, C-raten og SEI en viktig rolle. Forklaring av de ulike begrepene er vist i Tabell 1. Her deler man ofte inn i kalender- og syklusaldring. Kalenderaldring skjer kontinuerlig, uavhengig om batteriet er i bruk eller ikke, og avhenger av eksterne forhold som omgivelsestemperaturen og spenningen i batteriet. Syklusaldring avhenger av lade- og utladnings raten og -forholdene [30].

Begrep	Forklaring
SOC- State of Charge	(100%=fullt, 0%=tomt), beskriver hvor mye energi batteriet har igjen. SOC burde være mellom 20-80%, for å hindre rask aldring [31].
DoD- Depth of Discharge	(100%=tomt, 0%=fullt) beskriver hvor mye energi batteriet har levert. Jo høyere DoD, jo mindre levetid [31].
SEI- Solid electrolyte interface	Etterhvert som batteriet lades opp og -ut, vil mengden litium minske, som igjen reduserer kapasiteten til batteriet. Dette er grunnet at når anoden kommer i kontakt med elektrolytten, dannes en skorpe, SEI, som hindrer videre reaksjon med elektrolytten. Denne skorpen binder opp litt av litiumet i batteriet, som øker den interne resistansen. Med tiden får skorpen sprekker, og ny skorpe dannes utenfor denne igjen. På denne måten bindes mer litium opp, og dermed minsker kapasiteten mer [16].
C- raten	C-raten spesifiserer hastigheten et batteri lades eller utlades

	i. Normalt sett er denne satt til 1C, som betyr at en får 1A på en time [32]. Jo lavere C-rate, jo mindre levetid [31].
--	---

Tabell 1- Degraderingsfaktorer

Ved å optimalisere forholdene kan en forlenge batteriets levetid, men dette kan også være problematisk. I og med at litium-ion batteriet er i en bil i dets første liv, vil det uansett bli utsatt for skiftende omgivelsestemperaturer. Omgivelsestemperatur blir imidlertid lettere å regulere når litium-ion batteriet ikke lengre har den hensikt å drive en bil, men være stasjonær batteribank. Kun på litium-ion batterier vil en lavere gjennomsnittlig SOC (kun til en nedre grense) være positivt for batteriets levetid [18]. Batteriet burde heller aldri lades helt ut til DoD=100% da dette reduserer levetiden til batteriet ved å øke den interne resistansen. Med andre ord burde batteriet verken lades fullt ut eller -opp for å optimalisere forholdene og forlenge levetiden [33].

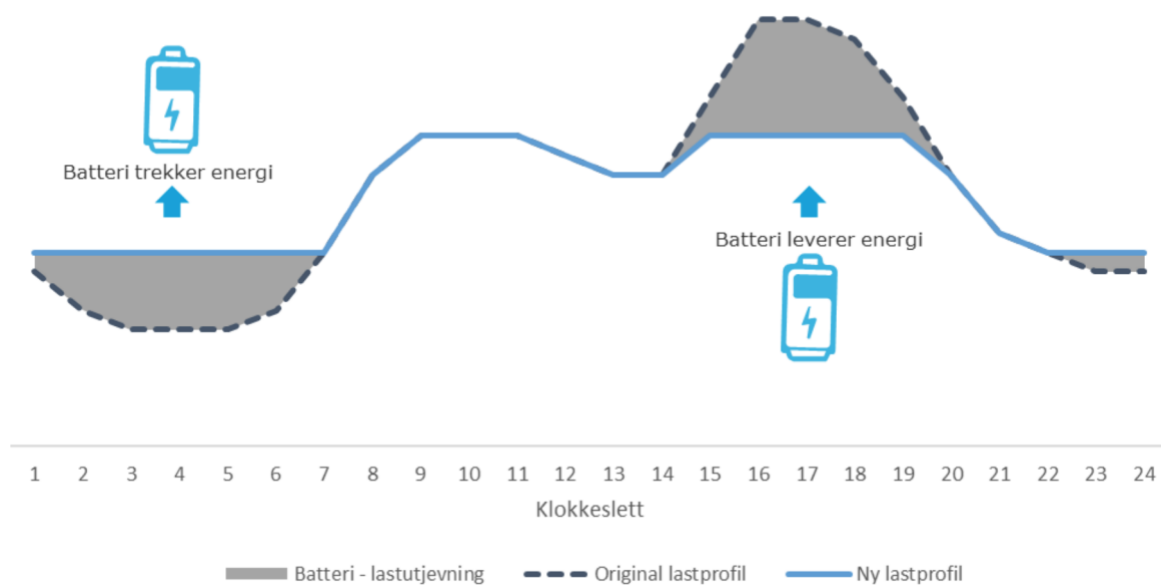
3.1.4 Alternativer til anvendelse av el-bil batterier etter endt liv i bil

I dag blir stadig flere biler elektrifisert. El-biler får ofte en garanti på 5-8 år, og etter rundt 10-15 år er ikke batteriet lengre egnet eller tilstrekkelig til å drive bilen [34][35][36]. Det gjenstår fortsatt ca. 80% igjen av dets originale kapasitet, som kan brukes til andre applikasjoner som ikke er like krevende [16]. Det er enda relativt få brukte el-bil batteri som har nådd dette stadiet, men snart kan dette bli tilfellet. Ifølge en rapport av Friends of the Earth Europa ble kun 5% av litium ion batteri i Europa resirkulert i 2013, mens det resterende ble deponert eller forbrent [37]. I 2016 kom EU reguleringen på at innsamlingsraten skulle være på 45wt% og gjenvinningsprosessen være minst 50wt% (% av totalvekt) [38]. Det arbeides stadig med å lage en plan for batterier etter endt liv for å minske utslipp, redusere behovet for kritiske råmaterialer og for å minske risikoen for mangel på råvarer i framtiden. Resirkuleringsprosessene er krevende prosesser som er vanskelig å få til i storskala anlegg da det stadig skjer endringer i batteriteknologien [2]. Bare i 2017 ble det presentert over 30 000 patenter innenfor batterifeltet, der ca. 50% var innenfor litium-ion teknologi [39]. Det er omdiskutert hva man burde gjøre med batteriet når det er «ferdig» i bilen [2][25][16][40], og det skal diskuteres videre i kap 5 *Diskusjon*. Hovedsakelig står det mellom gjenbruk og resirkulering når batteriets levetid i bilen er over.

3.1.4.1 Gjenbruk

El-bil batteriene kan benyttes som stasjonært energilagring etter endt liv i bil, i f.eks. bolig, næringsbygg eller i et distrikt [41]. Ved å bruke brukte el-bil batterier versus nye sparer man kloden for rundt 178 kg CO₂/kWh [42]. Når de brukte el-bil batteriene brukes igjen blir batteripakkene sendt inn til demontering, testing og sortering. Når batteripakken er demontert til cellenivå er det viktig å teste cellene, slik at man forsikrer seg om at det ikke er noe galt med dem. Denne prosessen kan være risikofull. Sorteringen går på at hver battericelle har et slags DNA, de er unike på sitt vis, som gjør at funksjonen varierer fra celle til celle. Når produsenter bygger nye batteripakker av brukte battericeller, sorterer de dem etter beste evne så deres karakteristikk er så lik hverandre som mulig [43]. Batteripakkene er i ulike størrelser, men kan i utgangspunktet koples sammen til ønskelig kapasitet [44][45].

En stasjonær batteribank kan brukes til å kutte effekttopper ved å lade om natten når strøm er billig (og helst grønn), og gi strøm når effekttoppene blir høye og strømmettet er under stor belastning. Dette illustreres i Figur 4. I Norge går ca. 80% av energiforbruket til strøm, noe som resulterer i at strømmettet blir svært belastet, og da spesielt enkelte perioder av døgnet [46]. I periodene hvor strømmettet er overbelastet, kan en stasjonær batteribank fungere som en avlaster for strømmettet. Dette kan videre resultere i at en slipper å bygge ut nettet enkelte steder, noe som er svært kostbart og tidskrevende [47].



Figur 4- Effekt av batteribank på strømmettet [47]

Brukte el-bil batterier kan også brukes sammen med uregulerbare energikilder, for å minske forskjellen mellom produksjon og forbruk som svekker stabiliteten i frekvensen på strømmettet [48]. På denne måten lagrer batteriet eventuell overskuddsenergi, som kan brukes senere ved behov. Dette forklares nærmere i kap 3.2 *Energikilder*.

Tilkoplingsmekanismer

Når batteriet koples til en bygning trengs det apparater og systemer som kan bidra til å omdanne og regulere strømmen. I dette delkapittelet fokuseres det på de mest essensielle mekanismene for å kunne ta i bruk en stasjonær batteribank.

For det første trengs en inverter/vekselsretter. Kort fortalt er det et apparat som omformer likestrøm (DC) til vekselstrøm (AC) med en høyere spenning [49]. Videre er BMS, battery management system, kun nødvendig ved bruk av litium-ion batterier, da de er spesielt sensitive for høy spenning og vekslende temperaturer i enkeltcellene. BMSen er en intern elektronikk som overvåker enkeltcellene, og sørger for at hver celle ikke har for høye verdier og at cellene er i balanse med hverandre. Det er ikke tilstrekkelig å kun se på den totale spenningen, da cellene er ulike og dermed sjeldent har samme spenning og intern motstand [43]. Cellene lades, utlades og aldres forskjellig med tid. BMSen balanserer cellene ved å tappe strøm jevnt fra cellene, og sørger for at de ikke overlades. Om en celle er i utrygg tilstand, og BMSen ikke klarer å få kontroll på situasjonen, kan denne styringsmekanismen kople denne cellen ut fra resten av batteripakken, for å forhindre videre ødeleggelse [43][50].

3.1.4.2 Resirkulering

Dersom man ser på en livsløpsanalyse av en el-bil, vil produksjonen av litium-ion batteriet være den mest miljøskadelige prosessen. Det er nettopp derfor det er så viktig med en effektiv resirkuleringsprosess, slik at man kan redusere utslippet og bruke råmaterialene så lenge som mulig [36]. Ved å bruke resirkulerte materialer reduseres CO₂ utslippene fra produksjon opp mot 90% [51].

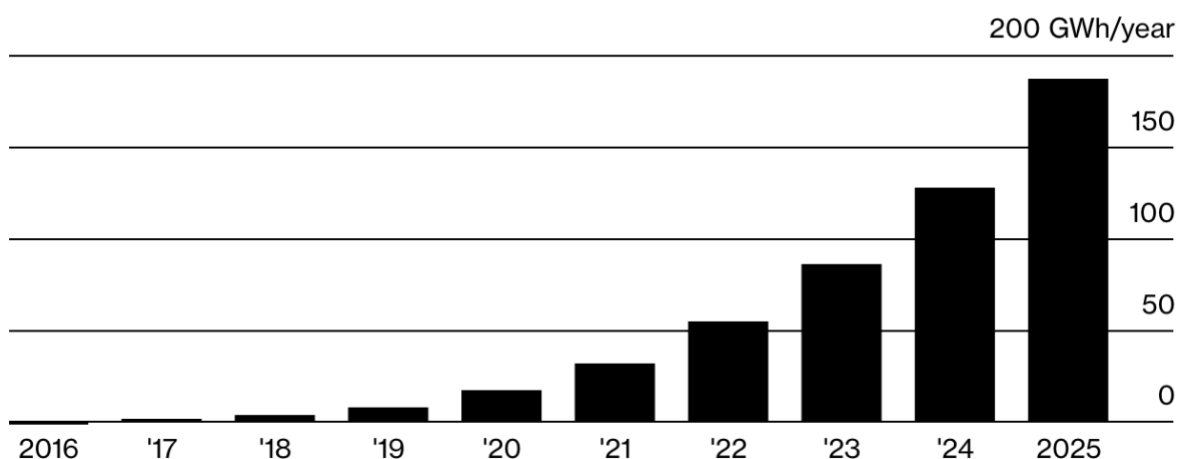
Det er forventet en økende etterspørsel etter litium-ion batterier, og dermed også råstoffer som litium, nikkel, kobolt og grafitt. Ut av disse utgjør kobolt størst risiko, men generelt sett byr utvinning av naturressurser på utfordringer når det kommer til bærekraft [4]. Råvarene i

litium-ion batterier er både dyre og energikrevende å utvinne, enkelte også miljøskadelige. Blant annet kan ekstraksjon av litium ha betydelig miljømessig påvirkning, grunnet vannforurensing og uttømming. Videre er det problemer knyttet til den store mengden vann som er nødvendig for å utvinne litium. Giftige kjemikalier er nødvendige for å behandle det, og en frigjøring av slike stoffer gjennom utvasking, søl eller luftutslipp kan skade lokalsamfunnet, økosystemer og matproduksjon [37]. Videre er det problemer ved utvinning av nikkel og kobolt. Mer enn halvparten av verdens kobolt utvinnes fra gruver i Kongo, som i utgangspunktet er et fattig land og vilkårene er dårlige både for arbeiderene og for miljøet. Et mer eller mindre monopol på kobolt i et slik land skaper utrygg og uetisk oppførsel. Helseskader, dødsfall, barnearbeid og forurensing er noen av konsekvensene [52][4][53][36].

Swelling Stockpile

Global pool of used electric-vehicle batteries is poised to grow rapidly

■ Cumulative capacity of used EV batteries



Figur 5- Framtidig avfalls-prognoser av Bloomberg [5]

Framtidig avfalls-prognose estimerer fire tonn kumulative “end-of-life” litium-ion batterier i 2030 [54]. Dette underbygges av Bloombergs analyser, i Figur 5 over, der man ser en bratt økning i den kumulative kapasiteten av brukte elbil batterier fram mot 2025. Disse tallene overskrider dagens globale resirkulerings kapasitet, samtidig som man ikke kan fortsette å deponere litium-ion batteriene, da det vil lede til et avfallsproblem. Videre vil mineraler som er knappe og dyre å utvinne gå til spille dersom man ikke resirkulerer [23]. Det finnes dessverre flere utfordringer ved resirkuleringsprosessen. Per i dag er tilgangen på brukte el-bil batterier liten da de fleste enda er brukbare i bil, og det er dermed vanskelig å få lønnsomhet i resirkuleringsprosessen når det er så få batterier som samles inn per år. Videre kan litium-ion

batterier, i motsetning til blybatterier, ha svært ulik oppbygging med forskjellig mengde råmaterialer og komponenter. Dette gjør det utfordrende å finne en resirkuleringsprosess som kan gjelde for alle el-bil batterier. I tillegg er teknologien i stadig forandring som gjør at dagens teknologi ikke nødvendigvis er relevant om noen få år. Videre er behandling av litium-ion batterier risikofylt og komplisert. Litium er giftig, svært reaktivt og sensitivt for høye temperaturer [37][28].

Resirkuleringsprosessen

Grunnet den store variasjonen i litium-ion batterier, finnes det forskjellige metoder for og grader av å resirkulere litium-ion batterier i dag. Resirkuleringsprosessene består hovedsakelig av pyrometallurgisk prosess eller en kombinasjon av mekanisk- og hydrometallurgisk prosess. Med dagen teknologi er det mulig å utvinne mer enn 90% av et litium-ion batteri [55].

Hovedformålet i en pyrometallurgisk prosess er å gjenvinne kobolt, nikkel og kobber. Først demonteres batteripakken, les om prosessen i kap 3.1.4.1 *Gjenbruk*, før avfall og metallene smeltes under høye temperaturer. Dette resulterer i en legering av metallene, hvor metallene videre kan utfelles fra legeringen ved utvasking. Denne prosessen er ekstremt energikrevende, risikofylt og kan være miljøskadelig om det ikke skjer under kontrollerte forhold. Prosessen gjenvinner ikke aluminium, litium og elektrolytt [38]. På den andre siden er fordelene med denne prosessen at litium-ion batteriene ofte kan behandles samtidig med andre type batterier og industriavfall [56].

I en mekanisk prosess må først battericellene deaktiveres. Det vil si at batteriene utlades slik at lagret energi fjernes og på denne måten reduserer risikoen for termiske ulykker. Videre demonteres batteripakken fysisk, der plastikk, aluminium og kobber separeres og resirkuleres som vanlig. Etter utladning og demontering knuses restene under lave temperaturer, som hindrer dannelse av miljøgasser [51][55]. I en hydrometallurgisk prosess ledsaget av en mekanisk forbehandling, er det mulig å resirkulere rene metaller som litium, grafitt, kobolt, mangan og nikkel. Prosessen omhandler utvasking, ekstraksjon, krystallisering og utfelling fra en flytende løsning. Prosessen er mindre energikrevende og gir høyere renhet i sluttproduktene enn i den pyrometallurgisk prosessen [54][55]. På den andre siden er

hydrometallurgisk prosess i dag komplisert, kostbar, risikofylt og kan slippe ut giftige stoffer [57].

For å kunne bruke materialer som er gjenvunnet igjen i et litium-ion batteri kreves ekstremt høy renhet av materialene, og kompleksiteten til litium-ion batterier gjør dette vanskelig. Om dette er økonomisk lønnsomt eller ikke, grunner stort sett i hvorvidt det er tilgjengelig materialer i naturen. Med andre ord bestemmes prisen ut i fra hvor tilgjengelig materialet er [54]. Utvikling og effektivisering av hydrometallurgiske prosess, for å kunne gjenvinne alle typer materialer i batteriet, blir nøkkelen for at litium-ion batterier skal bli en bærekraftig løsning [54].

3.1.4.3 Delkonklusjon av anvendelse av batteri

I oppgaven er det valgt å se på om batterier kan gjenbrukes før de resirkuleres, og hvorvidt dette lønner seg. På denne måten fokuseres det på om det er mulig å utnytte litium-ion batteriene fullt ut, og med dette redusere tap av brukbart, knapt materiale. Videre reduseres belastningen for resirkuleringsfirmaer, da ikke alle brukte litium-ion batterier resirkuleres direkte etter endt liv i bil. Dette jevner også ut det massive volumet med el-bil batterier som kommer, og på denne måten kjøper tid som kan være vesentlig for å komme opp med gode løsninger og effektivisering av resirkuleringsprosessen av litium-ion batterier. I tillegg kan en utnytte dette “problemet” til å bistå i strømmettet, som i dag er under et enormt press enkelte tider av døgnet. Dette blir diskutert senere i oppgaven.

3.1.5 Støtteordning

Det finnes ingen støtteordning spesifikt tilegnet investering i batteribank til bolig i dag, men det kan spekuleres i om Enovas ordning «Kommersiell utprøving av innovativ byggteknologi» vil støtte et slikt prosjekt. Videre er det allerede blitt gjennomført et prosjekt som støttes av Enovas ordning «Introduksjon av ny teknologi i bygg og områder».

«Kommersiell utprøving av innovativ byggteknologi» støtter de som bruker de beste innovative løsninger i sine bygg i dag, for å bidra til reduksjon i klimagassutslipp, effektuttak eller spesifikk energibruk. På denne måten vil kommersiell bruk av denne teknologien muligens øke og fremskyndes [58].

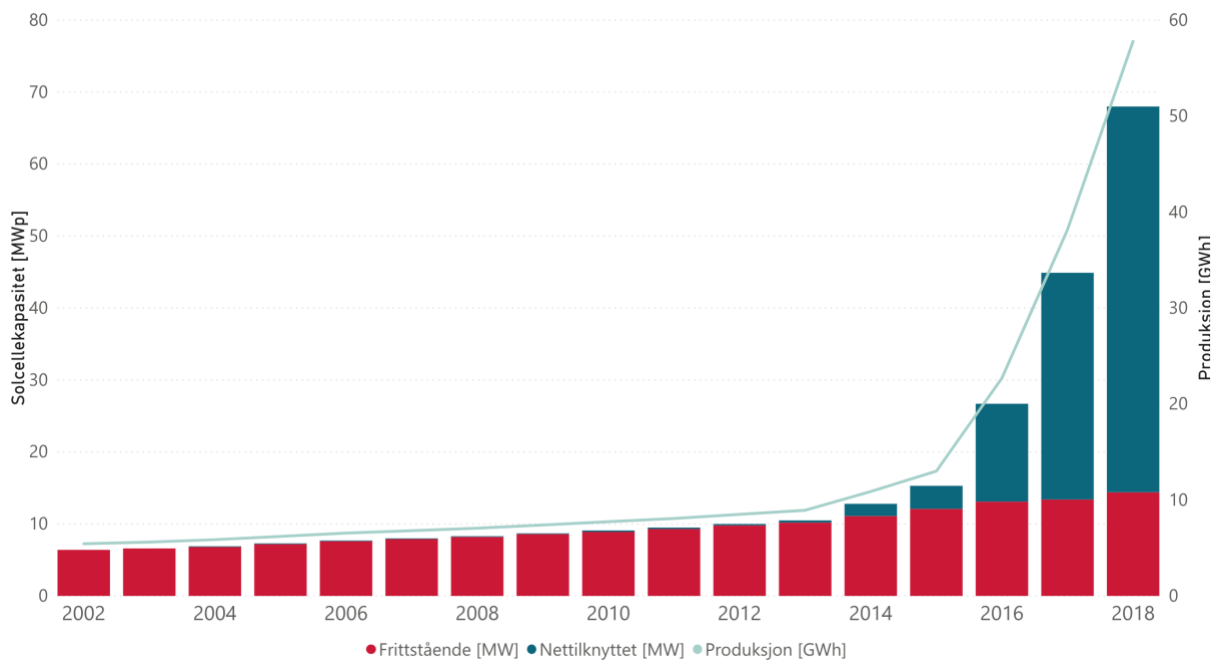
«Introduksjon av ny teknologi i bygg og områder» går ut på å utforske muligheter som fremmer utviklingen av ny energi- og klimateknologi for framtidige bygg og områder. Denne krever at innovasjonen innebærer en vesentlig forskjell fra dagens etablerte praksis og standard [59].

3.2 Energikilder

Det satses stadig i større grad på fornybare energikilder. Økt kunnskap og tydelige klimaendringer de siste årene har økt fokuset på grønn energi. Til tross for enorm vekst de siste årene, gjenstår en lang og omfattende vei for å kunne erstatte fossile brensler med fornybare energikilder [60]. I Norge kommer ca. 93% av energi fra vannkraft [61]. Fordelen med vannkraft er at det er en regulerbar energikilde, som betyr at man kan produsere energi etter behov. En kan se på magasinene som naturlige batterier [62]. Utbygging av fornybare energikilder i dag er stort sett av sol- og vindenergi, og disse kildene er ikke regulerbare, dvs. at produksjonsprofilen bestemmes av samtlige værforhold [17]. Dette gjør dem til gode kandidater for batterilagring.

3.2.1 Solenergi

I slutten av 2018 var det installert ca. 68MWp totalt i Norge, hvor ca. 1/3 av dette ble installert i løpet av dette året, som illustrert i Figur 6 [63]. Solkraft markedet i Norge er enda i en tidlig fase, og har økt kraftig de siste årene.



Figur 6- Utvikling av installert solkraft [63]

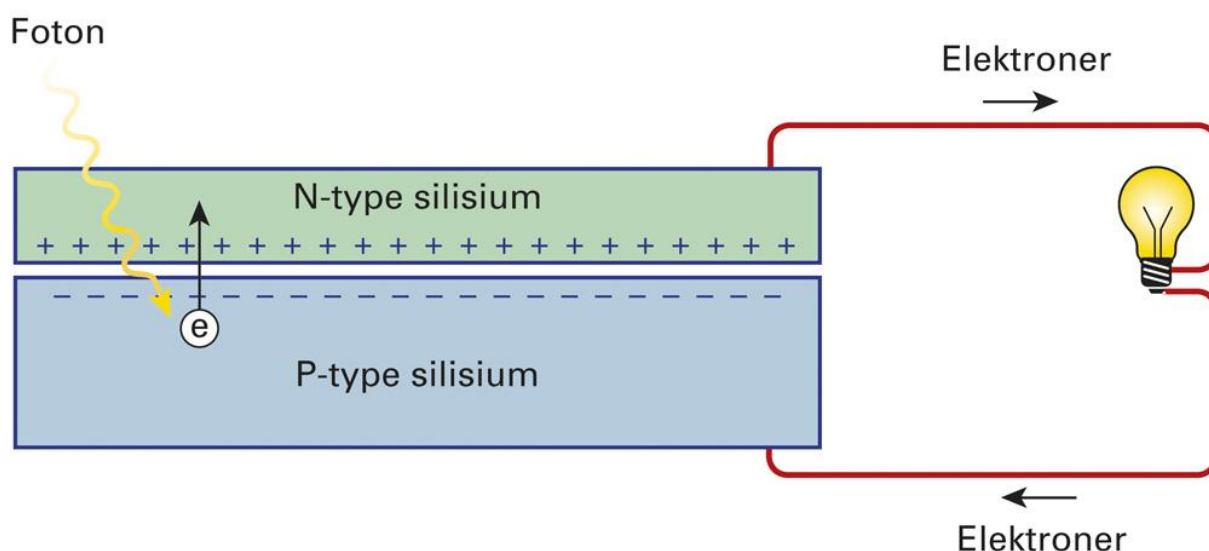
Solenergi er en fornybar energikilde som utnytter energien fra solen. Elektrisk energiproduksjon fra et solcellepanel oppgis med måleenheten Wp, Watt Peak. Energiproduksjon varierer med solforhold og temperatur, så for å kunne sammenlikne anlegg med hverandre er det fastsatt standardverdier for disse variablene [64]. Wp viser altså mengden effekt anlegget kan levere under standard testforhold [63].

Det skiller hovedsakelig mellom solfangere og solcellepanel når det gjelder omdanning av solenergi [65]. Kort fortalt omdanner solfangere solenergi til varme, mens solcellepanel omdanner solenergi til elektrisk energi. I denne oppgaven er det kun relevant med solcelleanlegg da det «danner» elektrisk energi som kan lagres i batterier [66].

Kort fortalt er solcellepanel laget av mindre celler. Disse cellene er ofte laget av silisium, som er halvledere. En halvleder er et materiale som under visse omstendigheter leder elektrisitet. I en solcelle er silisium med krystallinsk atomstruktur presset sammen til tynne lag, hvor hvert silisiumatom er koblet til hverandre ved fire sterke atombindinger som holder elektronene på plass og dermed ikke kan lede strøm [66]. Et solcellepanel bruker to lag silisium med forskjellige egenskaper, en N-type som har et ekstra elektron og en P-type som har et ekstra

hull, altså mangler et elektron. Dette er grunnet at de har blitt dopet med små defekter, henholdsvis fosfor og bor [66].

Slik som vist i Figur 7, kan elektronene vandre mellom P- og N-typen der de defekte silisiumlagene møtes. Videre skapes en barriere mellom lagene, en positiv og en negativ ladning på hver sin side. Energien solen sender kan sees på som bølger av små elektromagnetiske partikler, kalt fotoner. Når disse fotonene treffer silisiumcellene med en viss mengde energi, kan elektroner hoppe ut av sine bindinger. Det frie, negativt ladde elektronet trekkes mot N-siden, mens det frie, positivt ladde hullet trekkes mot P-siden. Elektronene som vandrer til N-siden samles på toppen av cellen og vandrer derifra gjennom en ytre krets tilbake til deres utgangsposisjon, og i denne prosessen dannes elektrisitet. Prosessen kan gjentas da elektronene ikke kan brukes opp. Hver enkelt celle gir relativt lite energi, men sammen kan de gi mye energi [66].

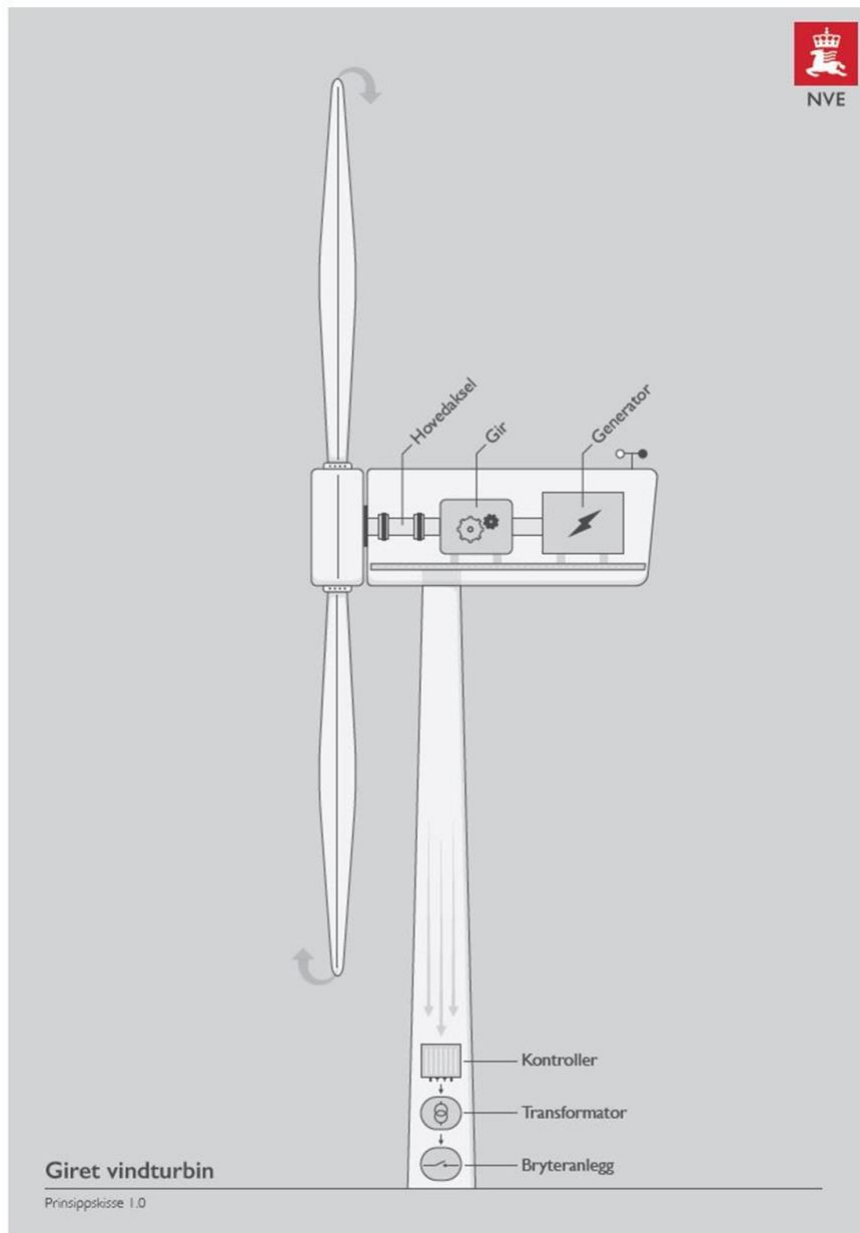


Figur 7- P-N overgang [67]

3.2.2 Vindenergi

I utgangen av 2018 hadde vindkraftverk i Norge en samlet installert ytelse på 1695 MW. Andel produksjon fra norsk vindkraftverk av total norsk elektrisitetsproduksjon har de siste tre årene økt fra 1,4 til 2,6% [68]. En vindturbin omgjør bevegelsesenergi i vinden til elektrisk energi. I likhet med solenergi er vindenergi uregulerbar, og det kan derfor være en god løsning å benytte batterier som energilager.

I Norge er den vanligste vindturbinen horisontalakslet med tre rotorblader festet på en horisontal aksel, som vist i Figur 8 [69]. Generatorhuset/nacellen er festet på toppen av et tårn som er fundamentert i bakken. Inni generatorhuset ligger generatoren, som igjen er festet til rotorbladene. Vinden setter rotorbladene i bevegelse, som fører til rotasjon i generatoren, som resulterer i elektrisitet. Denne strømmen har lavt spenningsnivå, og må derfor gjennom en strømomformer og transformator, for henholdsvis å sikre tilstrekkelig strømkvalitet og oppnå samme spenningsnivå som kraftnettet den skal leveres til.



Figur 8- Oppbygging av vindturbin [69]

3.2.3 Uregulerbare energikilder og batteribank

Både vind- og solenergi er relevante i denne oppgaven da de begge er uregulerbare energikilder. Solceller i småskala anlegg installeres ofte med batteri for å kunne lagre eventuell overskuddsenergi. Vindenergi skjer stort sett i form av storskala anlegg i Norge. Strøm er en ferskvare, hvor produksjon og forbruk skjer samtidig. Det er avgjørende at dette forholdet er i balanse. Dersom all produsert energi sendes direkte ut på strømmettet, vil det bli overbelastet. Dette har vært tilfellet i Tyskland, hvor det har vært en ubalanse mellom produksjon og forbruk grunnet uregulerbare energikilder. Det har blitt gjort prosjekter i Tyskland med store batteribanker med brukte el-bil batterier hvor deler av produsert energi lagres. På denne måten kan energi produsert bli utnyttet til det fulle, uten at det forårsaker forstyrrelser som kan svekke stabiliteten i frekvensen på strømmettet [17][70]. Både sol- og vind energi er optimalt til å lade opp batterier med, da det med sikkerhet er en kilde til grønn energi. I småskala sol- og vindenergi anlegg kombinert med batteri, avlastes strømmettet fordi energien er selvforsynt, samt som man ikke bruker strømmettet i like stor grad.

3.2.4 Delkonklusjon energikilde

Flertallet har verken solcellepanel eller vindmølle på/ved boligen sin i dag, og derfor brukes ikke disse løsningene senere i oppgaven da dette ville ha økt investeringen. I denne oppgaven ønskes det isolert sett å se på lønnsomheten ved å installere brukte el-bil batterier. Det er i midlertidig verdt å nevne, da det er en god løsning å bruke batteribank i kombinasjon med uregulerbare energikilder.

Selskap som installerer solcellepanel og vindmøller kombinert med batterier, kan i større grad bli bevisst og utnytte de batteriene som allerede er på markedet fullt ut, før de produserer nye. Dette vil resultere i at sannsynligheten for fremtidig knapphet av råmaterialer reduseres. Samtidig vil utslipp og energi brukt i forhold til produksjon, resirkulering og utvinning reduseres, og i tillegg er denne løsningen mindre tidskrevende. Dette bidrar i større grad til en sirkulær økonomi.

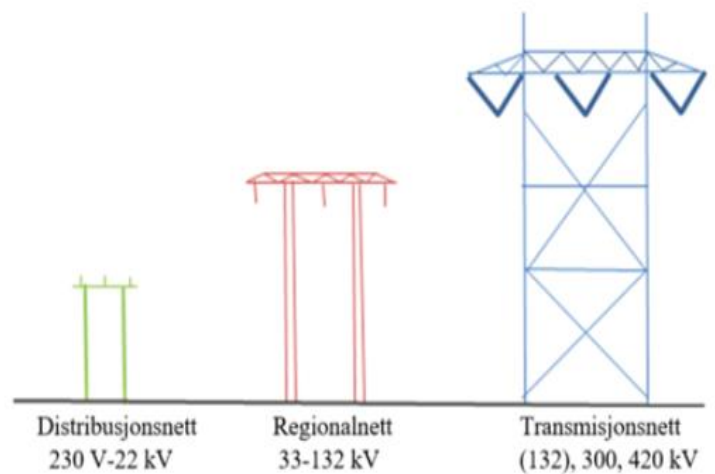
3.3 Kraftsystemet i Norge

Strømmettet er en viktig infrastruktur i dagens samfunn. Økende avhengighet av strøm i form av økende antall el-biler og større grad av etterspørsel i bolig fører til et sensitivt og følsomt

strømnett. I dagens moderne samfunn er en sikker og stabil strømforsyning avgjørende. Fremtidens strømnett vil trenge utbygging i form av økt infrastruktur eller avlasting, hvor deler av elektrisiteten som forbrukes i effekttoppene kan komme fra andre kilder. Strømnettet må dimensjoneres slik at det kan håndtere toppene i forbruket, som ofte oppstår på de kaldeste dagene hvor etterspørselen av elektrisitet er stor [71].

3.3.1 Strømnettet

Strømnettet håndterer variasjoner i produksjon og forbruk av kraft, og kan deles inn i tre deler: transmisjonsnett, regionalnett og distribusjonsnett, slik som vist i Figur 9 [72]. Transmisjonsnettet omhandler et landsdekkende system som knytter sammen forbrukere og produsenter. I Norge er det Statnett som har ansvar for transmisjonsnettet, og hovedoppgaven deres er å skape balanse i nettet og sørge for god leveringskvalitet. Regionalnettet er bindeleddet mellom transmisjonsnettet og distribusjonsnettet. Spenningen ligger normalt mellom 33-132 kV. Distribusjonsnettet er det lokale kraftnettet i de ulike regionene, som f.eks. Lyse eller BKK. Her kan man skille mellom høyspent og lavspent, hvor lavspent er det som overføres til vanlig bruk (dvs. i bolig osv..). Spenningen som overføres til bolig og annet alminnelig bruk ligger normalt på 230-400 V [71].



Figur 9- Strømnettet i Norge

3.3.2 Ustabilt nett

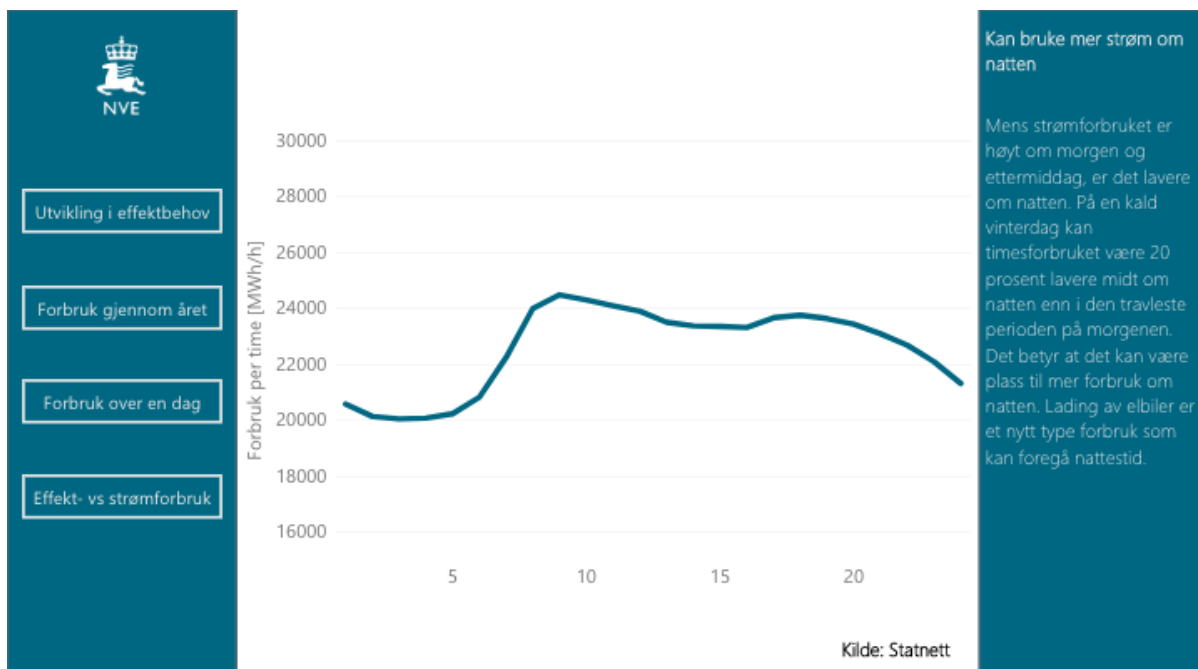
I en rapport fra Statnett ble det sagt følgende om dagens strømnett: «Strømnettet har mange likhetstrekk med veinettet. Noen strekninger har god kapasitet, andre har liten. Det finnes forbindelser hvor trafikken nesten alltid flyter godt, mens det andre steder oppstår kø i rushtiden» [73]. Med andre ord vil dette si at strømnettet i dagens samfunn har en rekke utfordringer når det kommer til leveringskvalitet og stabilitet. I perioder kan det oppstå flaskehals, som vil si at deler av elektrisitetsflyten blir hindret over linjene grunnet overbelastning. Videre er det også viktig å nevne at dette kan bidra negativt i

samfunnsutviklingen da mangel på kraft i ulike områder av landet vil påvirke industri, samt kraftpris, etablering av arbeidsplasser og bosetting [73].

Kraftsystemet i Norge er svært regulerbart ettersom det i størst grad brukes vannkraft og det produserer strøm fra vannmagasinene. På den andre siden brukes stadig mer elektrisitet i form av effekt, noe som mest sannsynlig vil fortsette å øke i fremtiden [7]. Antall el-biler, og andre elektriske apparater som f.eks. induksjonsovner, øker stadig. Store deler av samfunnet er avhengig av god tilførsel av elektrisitet. Samtidig øker fokuset på kvalitet av strømmen, samt energisikkerhet, dvs. hvordan et system klarer å dekke energibruken [17].

3.3.3 Effekttopper og effektpriser

Figur 10 under viser et forbruk i løpet av en “normal” dag i en gjennomsnittlig bolig i Norge. Her kan man se hvordan strømforbruket varierer, og man kan se noen klare topper. Det er disse toppene som omtales som effekttopper. Under en slik topp er forbruket og etterspørselen etter elektrisitet stor, og strømmettet må i slike perioder tilføre mye elektrisitet på kort tid. En effekttopp inntreffer normalt på morgenen når de fleste står opp, samt på ettermiddagen når de fleste kommer hjem fra arbeid.



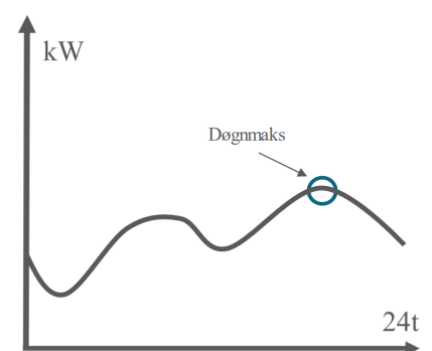
Figur 10- Effekttopp [7]

I teorien bestemmes prisen på kraft av etterspørsel og tilbud i et kraftmarked. På den andre siden er det også viktig å legge til at det er en rekke strenge reguleringer og lover som

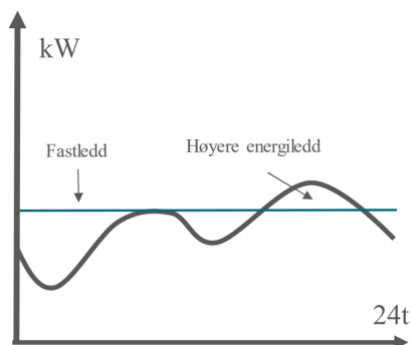
omhandler kraftmarkedet i Norge. Ettersom mesteparten av norsk kraft er regulerbar bidrar dette til små svingninger i løpet av en periode og dermed liten prisforskjell mellom dag og natt [68]. Videre spiller energiloven en sentral rolle, da denne bidrar til en regulert nettvirksomhet. I utgangspunktet er store deler av kraftsystemet en monopolvirksomhet. På den andre siden resulterte innføringen av energiloven, som la til grunn for et markedsbasert kraftsystem, til rette for en større grad av konkurranse i kraftmarkedet. Dette bidrar til at de ulike ressursene utnyttes på en effektiv måte, samt at prisen på kraft holdes på et optimalt nivå [74].

Strømregningen i dag består av tre deler; nettleie, avgifter og spotpris. Nettleien deles igjen inn i et energi- og et fastledd, som betyr at per i dag er nettleien basert på energiforbruket til bruker. På den andre siden vil dette i større grad baseres på effektforbruket fra og med 2022. Effekt er den momentane belastningen på nettet (kW), og energi er belastningen over tid (kWh). Dette betyr at mengden energi som brukes ikke blir like relevant, men tid og størrelse på effekten blir dominerende. Målet er at nettleien i større grad skal avspeile belastningen forbruker legger på strømmettet. Allerede i 2017 kom NVE med forslag til endringer, men ble møtt med mye kritikk. For øyeblikket utarbeider RME (Reguleringsmyndighetene for energi i NVE) forslag til nye tariffer, som gradvis skal innføres fra og med 2022 og tre i kraft for fullt fra og med 2027. Forslaget belager seg på at nettselskapene selv skal velge mellom tre modeller for nettleien: Målt effekt, abonnert effekt eller sikringsdifferensiert nettleie [72].

- Målt effekt: Energi- og fastleddet blir mindre enn det er per i dag, mens et effektledd legges til i nettleien. Kostnaden av effektleddet bestemmes av høyeste daglige forbrukstopp som illustrert i Figur 11 [72], også kalt døgnmaks. Det er slik nettleien for næringsbygg beregnes i dag, men det er viktig å påpeke at det i dette tilfellet er høyeste effekt per måned som tas i betraktning.

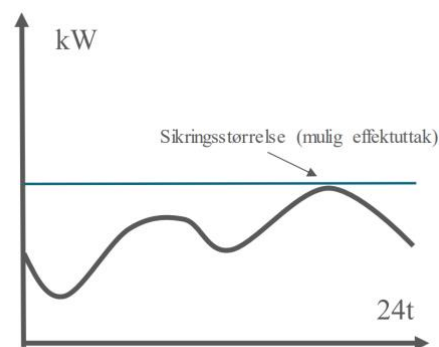


Figur 11- Målt effekt



Figur 12- Abonnert effekt

- Sikringsdifferensiert nettleie: Nettleien består i likhet med abonnert effekt, av et energi- og et differensiert fastledd. Fastleddet differensieres etter sikringsstørrelse, dvs. etter hvor mye effekt kunden har mulighet til å bruke på en gang. Energileddet kan også tidsdifferensieres. Se Figur 13 [72].



Figur 13- Sikringsdifferensiert nettleie

Grunnen for at effekttariffer skal innføres er at brukere skal ha incentiver til å bruke strømmettet på en mer effektiv måte, ved bruk av ny teknologi, smartløsninger og fornuft. Dette vil muligens bidra med å spare Norge for voldsomme utbyggelsener av strømmettet. Strømmettet i dag er ikke underdimensjonert i forhold til energiforbruket, men utnyttes opp mot maksimal kapasitet et begrenset antall timer om dagen. Det kan sammenliknes med å bygge en firefelts motorvei for å ta unna trafikk i én time i morgenrushet og én time i ettermiddagsrushet. Det er altså strengt tatt ikke nødvendig med utbyggelsener [72].

3.3.4 Virkning av batteri for å stabilisere kraftnettet

Ifølge en rapport fra Incube vil det være 100 000 brukte el-bil batterier i Norge i løpet av de neste åtte årene [75]. El-bil batterier kan bidra i dagens strømmett både som spenningsregulator og effekt utjevner [47]. Se kap 5.1 *Løsning til strømmettet* for mer informasjon. Effekttopper kan skape ustabilitet i nettet ettersom det i slike perioder kreves mye elektrisitet, som kan resultere i strømbrudd dersom belastningen blir for stor. Batteriene

kan regulere etter effektlyt, og bidra med elektrisitet i perioder hvor forbruket er stort, samtidig som det kan lade og lagre strøm i perioder hvor tilbudet av elektrisitet er høyt. Dette kan bidra til å stabilisere strømmettet og kutte effekttoppene slik som er illustrert på Figur 14 under [76].



Figur 14- Peak shaving [76]

3.3.5 Kraftsystemet og energipris mot 2030

Et annet viktig tema å undersøke er hva som kommer til å prege kraftsystemet i Norge i årene som kommer. I dette delkapittelet er det tatt i bruk publiserte rapporter fra NVE, ettersom de årlig gjennomfører ulike analyser av kraftmarkedet. I rapporten «Kraftmarkedsanalyse 2018-2030», sies det at kraftprisen i Norge mest sannsynlig vil bli høyere mot 2030. Årsaken til dette er at CO₂-prisene vil øke som følge av strengere miljøpolitikk, i tillegg til at det skal bygges nye overføringsforbindelser fra Norge til Tyskland og Storbritannia [77]. Det er også viktig å nevne at man i årene som kommer vil minske bruk av fossile energikilder, og erstatte dette med energi fra f.eks. vind-og solkraft, noe som resulterer i bruk av mindre regulerbare energikilder. NVE anslår at kraftprisen kan ligge mellom 22 og 54 øre/kWh mot 2030 [77]. På den andre siden antar også NVE i denne rapporten at det generelle kraftoverskuddet i Norge vil øke, noe som igjen kan bidra med å dempe denne prisøkningen [77].

Det er to ulike kabler, NSL og NordLink, som skal bygges fra Norge til Storbritannia og Tyskland [78][79]. Dette vil føre til økt kraftproduksjon i Norge, samtidig som det kan bidra til en høyere energipris. Årsaken til dette er at land som Storbritannia og Tyskland generelt

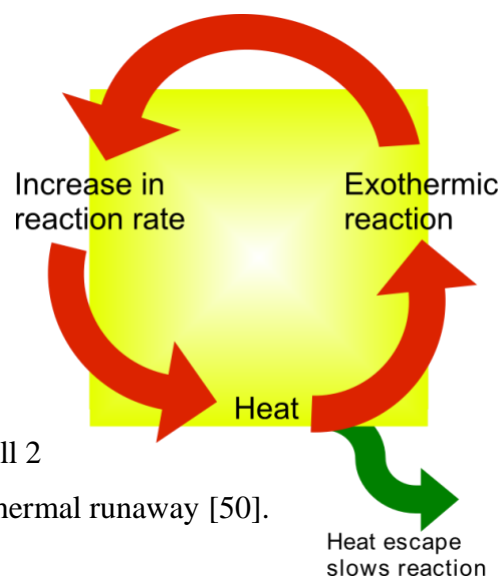
sett har høyere energipris enn Norge, på grunn av stor døgnvariasjon av kraftprisen. Både Tyskland og Storbritannia har en energipris som er preget av en høy pris på dagen og en lavere pris på natten. Når systemene kobles sammen via utvekslingskabler resulterer dette i at både systemene og energiprisene i de ulike landene blir mer like hverandre [17].

3.4 Sikkerhet

Det finnes både negative og positive aspekter knyttet til det å installere et litium-ion batteri i bygg. Batteriene er veldig reaktive og sensitive for høye temperaturer. Dersom de tar fyr er de vanskelige å slukke, i tillegg til at de frigjør giftige gasser. Det er derimot mange sikkerhetsmekanismer i og rundt et batteri, og batteriene kan være svært nyttig ved eventuelle strømbrudd. Kapitlet tar for seg relevante standarder og forskjellige sikkerhetskrav knyttet til stasjonær batteribank.

3.4.1 Årsaker til brann i litium-ion batteri

Thermal runaway er en prosess som kan resultere i brann og eksplosjon i en battericelle. Enkelt forklart er dette et fenomen som oppstår ved at økt temperatur leder til en hurtig utvikling av varme og ulike gasser, som igjen resulterer i en økt sannsynlighet for brann og eksplosjon i selve i batteriet, som illustrert i Figur 15 [80]. Thermal runaway kan oppstå på ulike måter, og inntreffer normalt ved en temperatur mellom 130-220 grader celsius. I Tabell 2 under kan man finne en liste over ulike faktorer som kan føre til thermal runaway [50].



Figur 15- Thermal runaway

Årsak	Forklaring
Overladning	Hver enkelt battericelle har et spenningsintervall det skal holdes innenfor. Om BMSen ikke klarer å overvåke spenningen i enkeltcellene, kan en overladning oppstå. Se mer om BMS under <i>Tilkoplingsmekanismer</i> i kap 3.1.4.1 <i>Gjenbruk</i> . Når spenningen i enkeltcellen

	overskrides, kan thermal runaway bli en konsekvens [50].
Dyputladning	Samme som for overlading, vil dyputladning av en enkeltcelle oppstå dersom BMSen ikke klarer å overvåke spenningen i cellene. Dette kan lettere utsette cellen for andre type feil, f.eks. overlading [50].
Ekstern kortslutning	Resultat dersom det oppstår en bane med lav elektrisk motstand mellom polene i battericellene. Sikringer skal utløses dersom ekstern kortslutning oppstår, da det kan føre til varmeproduksjon og ytre brann [50].
Intern kortslutning	Intern kortslutning kan oppstå dersom separator ødelegges, ved overlading, overutlading, mekanisk skade eller intern produksjonsfeil i cellen. Intern kortslutning er også et resultat dersom anode og katode kommer i kontakt [50].
Mekanisk skade	Viktigste årsak til thermal runaway for el-biler, og bærbare batterier. Kan forekomme av alle former for støt, penetrering og vibrasjon [50].
Utsatt for høy temperatur	Om omgivelsestemperaturen overstiger grensen for thermal runaway, kan det initieres [50].

Tabell 2- Årsaker til thermal runaway

3.4.2 Sikkerhetsmekanismer i et litium-ion batteri

Et litium-ion batteri har forskjellige mekanismer innebygd i batteriet av ulike sikkerhetsårsaker. For å nevne noen har man termostat, BMS, ulike sikringer og ventiler, samt et kjølesystem som bidrar til å holde temperaturen på et normalt nivå. I tillegg er et slikt batteri bygd i ulike grupper og moduler. Hovedårsaken til dette er at dersom det oppstår thermal runaway i en celle kan man unngå at det sprer seg til hele batteriet [50][81].

3.4.3 Regelverk, standard og forskrifter

Det finnes ulike forskrifter og standarder for installasjon av batteri i bygg, men i dette delkapittelet fokuseres det på de mest sentrale.

NEK 400 omhandler elektriske lavspenningsinstallasjoner, og det er spesielt to delkapitler som er relevante. NEK 400-8-806 *batteriinstallasjoner* viser til ulike krav for installasjon, vedlikehold og omgivelsene rundt batteriet. Her er det f.eks. krav om at batteriet skal installeres i et eget batterirom med begrenset adgang, samt at batteriet skal kunne frakobles alle krusene det er tilkoblet. NEK 400-8-823 *elektriske installasjoner i bolig*, viser til krav som f.eks. antall stikkontakter, beskyttelse av gassanlegg og komfyr. På den andre siden sier den ingenting om krav ved installasjon av batteri. Med andre ord betyr dette at man i teorien kan installere batteriet hvor man vil i boligen, og at det ikke trengs et eget rom eller noen spesifikke installasjoner av sluknings system eller andre viktige sikkerhetstiltak [82].

TEK17 er en forskrift som omhandler tekniske krav til bygg. Ettersom installasjon av et energilagringssystem går under denne kategorien, er denne forskriften også relevant. Forskriftens formål er at ulike tiltak skal planlegges, utføres og prosjekteres med hensyn til kvalitet og utforming, slik at alle tekniske krav til helse, miljø og sikkerhet oppfylles [83].

3.4.4 Batteri installasjon i næringsbygg og bolig

For det første er det slik at størrelsen på batteriet kan ha noe å si med tanke på sikkerhet, da større batteripakker ofte inkluderer mer avanserte systemer som f.eks. BMS, som er selve hjernen til batteriet. Se *Tilkoplingsmekanismer* i kap 3.1.4.1 *Gjenbruk* for mer informasjon om BMS. Videre er det også viktig å nevne at det har kommet en rekke forskrifter og regelverk for installasjon i næringsbygg. Disse detaljerte retningslinjene har ikke blitt utarbeidet for installasjon i privat bolig [50].

Ved installasjon av batteri i næringsbygg vil det følge avtaler om service og vedlikehold, samt at det enkelt kan tilkalles fagpersonell dersom ulike driftsproblemer skulle oppstå. Slik er det ikke i privat bolig, da det ikke er noen konkrete krav til hvor batteriet skal installeres og brannsikkerheten rundt det. I næringsbygg er det installert store slokningsanlegg, samt avanserte varslingssystemer [82]. I en bolig er det kun krav om røykvarsler i hver etasje og et tilgjengelig brannslukningsapparat [84].

Til slutt er det også viktig å nevne at som en følge av at privatpersoner ønsker å kjøpe batteri til egen bolig, oppstår det også et større marked for batteriene. Dette fører til både store og mindre aktører på tilbudssiden, noe som kan føre til at prisen presses ned. At det oppstår et marked er positivt i form av at det er flere tilbydere og enklere for kjøperen å få tak i batteriene. På den andre siden kan dette skape forskjeller i både kvalitet og grad av sikkerhetssystemer som er installert i batteriet [50]. Det kan også øke sannsynligheten for installasjoner gjennomført av ufaglærte.

3.4.5 Slukking av brann i litium-ion batterier

Det er i hovedsak tre ulike måter å slukke en batteribrann på. Den vanligste metoden er å kjøle ned brannen, men det er også normalt å redusere oksygenivået da dette bidrar med å «kvele» brannen. Et siste alternativ er å bryte ulike kjemiske reaksjoner. De forskjellige metodene kan brukes individuelt eller kombineres [50].

Det er ulike utfordringer knyttet til slukking av brann i et litium-ion batteri. For det første, hvis man tar utgangspunkt i en batteribank installert i bolig eller næringsbygg er disse store og tunge, samt at de ofte er skrudd fast til gulv eller vegg. Dette gjør det vanskelig å flytte dem og vanskeliggjør slukningsprosessen. Som tidligere nevnt er det vanlig å bruke vann til å avkjøle batteriet ved brann. På den andre siden er disse batteriene ofte svært godt beskyttet og det kan være vanskelig å komme til selve kjernen i brannen. Brann i et litium-ion batteri oppstår som oftest i en celle som følge av thermal runaway, se kap 3.4.1 *Årsaker til brann i litium-ion batteri* for mer informasjon. Dette resulterer også i at det kreves store mengder vann i en slik slukningsprosess. Det er også viktig å nevne at sikkerhetsmekanismene spiller en sentral rolle i hvordan brannen utvikler seg. Sikkerhetssystemenes oppgaven er å forhindre at en brann som oppstår i en celle eller modul, ikke skal spre seg videre innad i batteriet [50].

Som nevnt, er batteriet svært godt beskyttet. Dersom det oppstår en brann i omgivelsene rundt batteriet, skal det derfor mye til for at selve batteriet skal antennes [50]. Med andre ord er batteriet så godt beskyttet, at dersom det skjer en brann i batteriet er det vanskelig å komme til, mens det på den andre siden virker som beskyttelse mot ytre påkjenninger som f.eks. brann i omgivelsene.

3.4.6 Batteribank ved strømbrudd

Til tross for at det de siste årene har vært få antall strømbrudd i Norge, er det som tidligere nevnt kjent at strømmettet er under enormt press enkelte perioder av døgnet grunnet overbelastning på nettet. Strømmettet har i utgangspunktet nok total kapasitet per i dag, men enkelte timer i løpet av døgnet oppstår det effekttopper som utgjør stor belastning. Videre er vær og vind en av de største grunnene for strømbrudd, noe som er vanskelig å forutse og beskytte seg mot [85][86].

9. august 2019 opplevde Storbritannia et lynnedslag, som resulterte i at ca.1,8 MW produksjon fra et gasskraftverk og en vindpark ble frakoblet [87][88]. Frekvensen sank, og for å få den opp igjen, skjedde en forbruksfrakobling, der 5% av totalforbruket automatisk ble frakoblet nettet slik at resterende systemer ble reddet. Dette resulterte blant annet i at kritisk last som sykehus, Newcastle Airport og jernbane ble frakoblet, som utgjorde store konsekvenser for samfunnet. Dette tilfellet understreker viktigheten ved planlegging og dimensjonering av reserveløsninger, da lynnedslag er noe man ikke kan forhindre [88][89].

De siste årene kan en se enorme teknologiske framskritt. Utviklingen skjer raskt, og vil fortsette. Dagens forbruksvekst av elektrisitet resulterer i økt avhengighet, og sikker strømforsyning er en helt sentral infrastruktur i det moderne samfunn. Tilgang på strøm tas som en selvfølge, og nesten alle viktige samfunnsoppgaver og -funksjoner er kritisk avhengig av et velfungerende kraftsystem og pålitelig strømforsyning [71]. Dersom et langvarig strømbrudd skulle inntreffe, ville det hatt store konsekvenser, både for samfunnet og enkeltmennesker. Store deler av befolkningen er avhengig av strøm for oppvarming, kommunikasjon, lagring av data og transport.

Strømbrudd vil forekomme i forskjellige alvorlighetsgrader, og da kan et stasjonært energilager i form av brukte el-bil batterier og UPS system komme godt til nytte. UPS, avbruddsfri strømforsyning, sørger for jevn og uavbrutt strøm. I praksis vil UPSen kople til batteridrift dersom strømmen går slik at kritiske funksjoner kan opprettholdes avbruddsfritt. Dette kan være nyttig i f.eks. næringsbygg eller sykehus hvor det kan være kritisk dersom data mistes. UPSen vil også kunne gi beskjed om batteriet er nær total utlading, og dermed minske konsekvensene dersom det blir helt tomt innen strømmen kommer tilbake. UPS er per i dag ikke blitt kombinert med et brukte el-bil batterier, men teknisk sett skal dette være mulig [90].

Batterier kan altså i teorien både brukes til å kutte effekttopper, og samtidig være en reserve dersom det skulle forekomme et strømbrudd. En stasjonær batteribank kan da uavhengig av strømmettet, drive de mest kritiske funksjonene i et bygg, og dermed minske konsekvensene ved strømbrudd. Dette avhenger derimot av at det er strøm tilgjengelig på batteriet, som i praksis kan by på utfordringer. Et svar kan være å overdimensjonere batteribanken, slik at den vil ha strøm nok uansett. På den andre siden vil dette øke investeringene betraktelig, og dermed påvirke lønnsomheten i prosjektet.

4. Scenarioer

I dette kapittelet beskrives ulike scenarioer hvor den økonomiske lønnsomheten i de forskjellige tilfellene vurderes. Det er tre scenarioer som framstilles, en enebolig, et næringsbygg og et nabolag. I alle scenarioene benyttes kun brukte el-bil batterier. Degradering tas hensyn til i den grad at omgivelsestemperaturen antas å være 0-20 °C rundt de stasjonære batteribankene [91]. Det skal i tillegg unngås hurtigladning, full utladning og full oppladning for å optimalisere forholdene så mye som mulig.

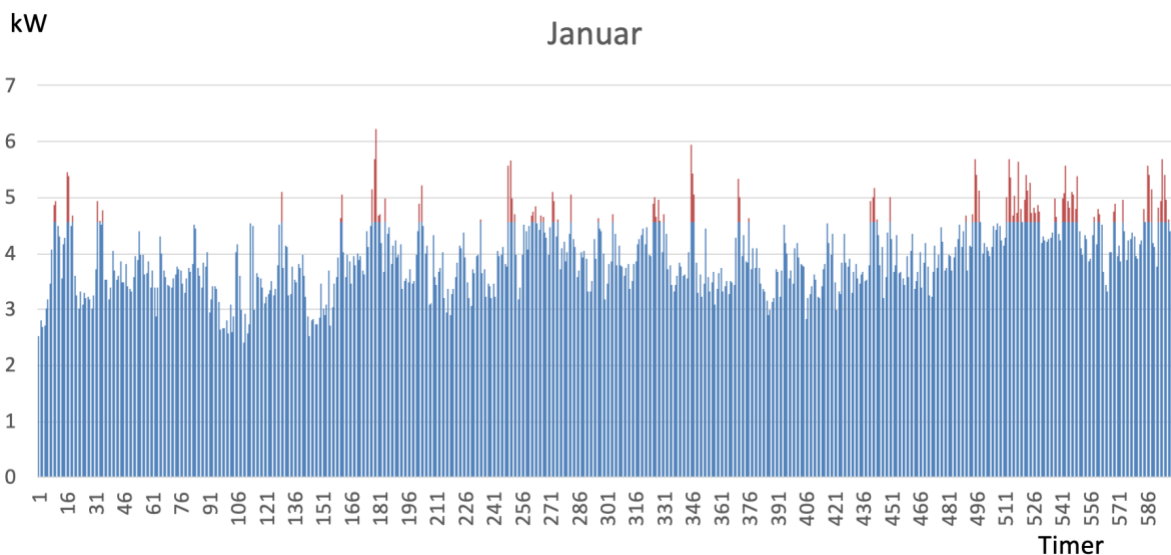
Det er vanskelig å estimere strømpriser for et så stort tidsintervall som 10-20 år. Beregningene som er gjort er dermed i stor grad forenklet slik at de kan gi en noenlunde pekepinn på om det lønner seg økonomisk å investere i brukte el-bil batterier i dag og i framtiden. Antagelsene som er gjort kan leses om i kap 2.2.2 *Antagelser*. Andre faktorer som spiller inn og som er avgjørende for om beregningene er realistiske om noen år, er blant annet utviklingen og betydningen av elbiler, batteriteknologi, uregulerbare energikilder, passivhus, energiforbruk, befolkningsvekst, kabler mot utlandet, smartløsninger osv... [17]. Beregningene gir en indikasjon på om anleggene er økonomisk lønnsomme.

4.1 Scenario 1- Enebolig

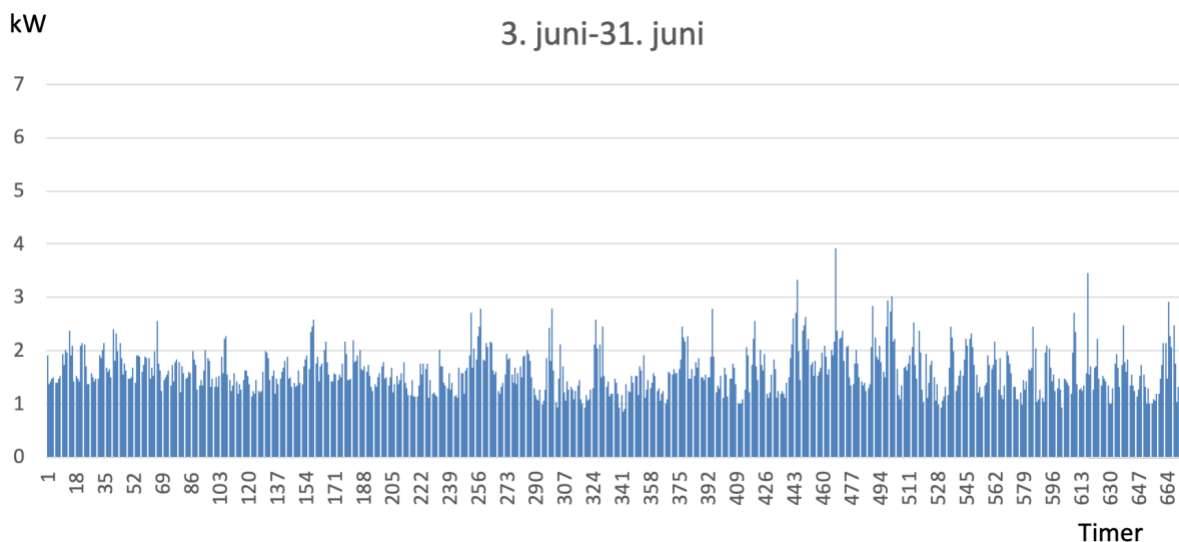
I scenario 1 regnes det på hvorvidt det er økonomisk lønnsomt å installere et brukt el-bil batteri på 8 kWh i en enebolig i bergensområdet. Det har blitt tatt i bruk tall fra BKK, hvor det med hensyn til personvern er tatt et gjennomsnitt av to eneboliger, som hver har et årsforbruk på over 20 000 kWh. Videre er det brukt regneark for å behandle dataen, mer informasjon om fremgangsmåten er beskrevet i kap 2.2 *Fremgangsmåte*.

I Figur 16 under kan man se en oversikt over forbruket i januar. Det er valgt å presentere januar ettersom det er denne måneden som har størst forbruk, og på denne måten fremstiller både resultater og utfordringer best. For sammenligning kan man se en oversikt over juni-juli i Figur 17, hvor man kan se at forbruket er betraktelig mindre. Videre er det noen topper i Figur 16. På den andre siden kan man se en mangel på symmetri, med andre ord klare topper og bunner slik som vist i kap 4.2 *Scenario 2- Næringsbygg*. Det er altså vanskelig å se når på døgnet eller når i uken effektforbruket er stort, da det samlet sett er jevnt fordelt. Videre er det valgt en grense på 4,56 kW som krever en batterikapasitet på 8 kWh, noe som tilsier de røde

toppene i grafen under. Med andre ord vil dette si at det installerte batteriet bidrar med strøm til boligen når effektforbruket overskrider 4,56 kW. På den andre siden kan man se i Figur 17 at batteriet ikke bidrar i juni, ettersom ingen av effekttoppene overskrider 4,56kW. Årsaken til at grensen ble satt på dette nivået er at dersom den hadde vært lavere ville man trenge flere batterier med større kapasitet. Dette ville videre økt kostnadene for kjøp og installasjon av batteriet for forbrukeren. Fra et økonomisk perspektiv ville dette resultert i en enda mindre lønnsom investering. På den andre siden ville batteriene tatt flere effekttopper, og bidratt med å jevne ut strømforbruket fra strømmettet i større grad. Dersom grensen ble satt til et høyere nivå, ville både hensikten og lønnsomheten med batteriet reduseres, ettersom batteriet ikke ville ha kuttet vesentlige topper.



Figur 16- Forbruk januar enebolig



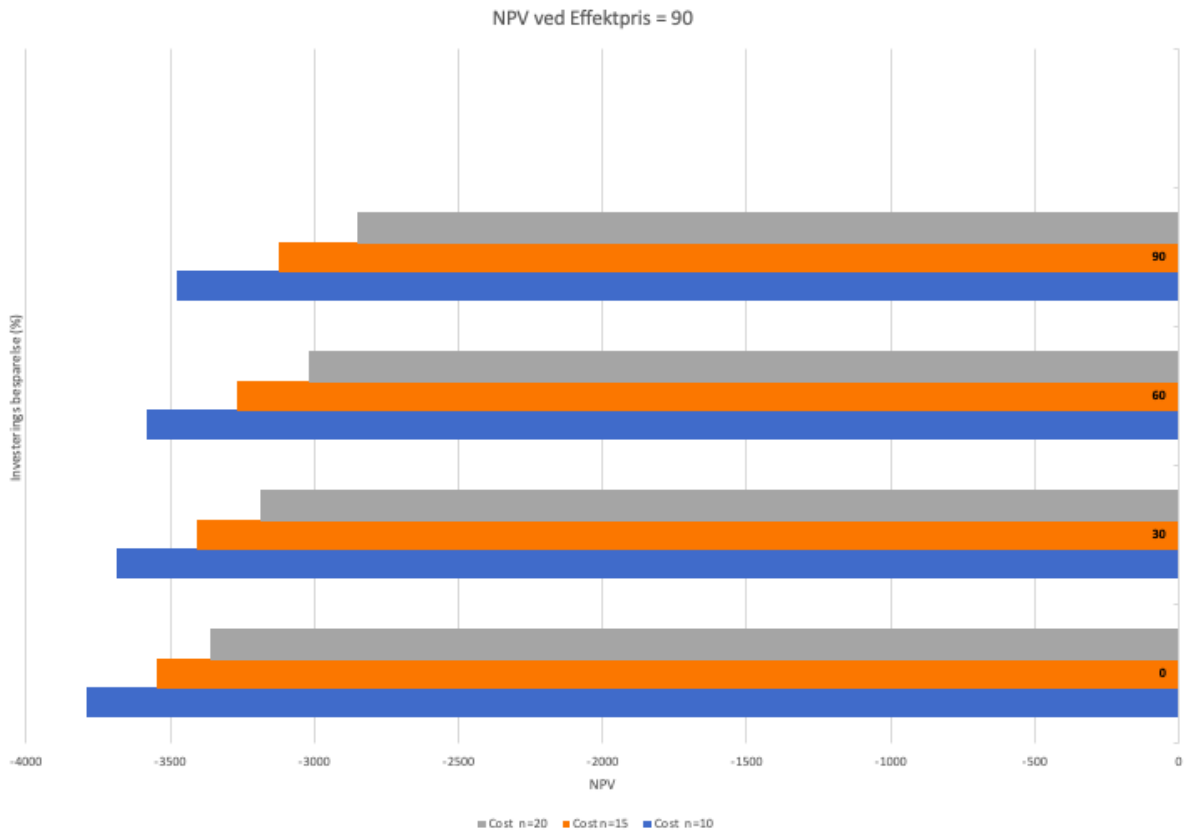
Figur 17- Forbruk juni enebolig

I Tabell 3 under kan man se en oversikt over resultatene fra beregninger av NPV. Her er det blitt gjort ulike beregninger ved forskjellige betingelser, se kap 2.4 *Antagelser*. Slik som tabellen viser er det gjort beregninger ved forskjellige levetider, hvor det varierer mellom 10, 15 og 20 år. I tillegg er det gjennomført beregninger med og uten støtte fra Enova, hvor støtten er satt til 50 %. Videre er det også viktig å nevne at som et resultat av beregningene ble besparelsen i dette tilfellet lik 91,5 kr per år. I tillegg ble investering satt lik 45 000 kr. Som et resultat fra nåverdiberegninger, kan man fra et økonomisk perspektiv si at det vil være lite lønnsomt å installere et slikt batteri i bolig per i dag. Man kan se at resultatene blir mindre negative dersom det gis støtte fra Enova, men ettersom investeringen er mye høyere enn besparelsen vil det ikke være lønnsomt med dagens priser.

n	Uten Enova	Med Enova
10	-44 293,33	-21 793,33
15	-44 050,09	-21 550,09
20	-43 859,5	-21 359,5

Tabell 3- NPV resultater, enebolig

Videre ble det gjort beregninger med diverse investeringer og nettleiepriser for enebolig, for å framstille mulige kostnadsbilder for framtiden. Det ble gjort med en økning i effektleddet på 0%, 30%, 60% og 90%. I tillegg viser de ulike fargene i grafen forskjellige levetider som varierer mellom 10, 15 og 20 år. Da alle resultatene ble negative, framstilles kun det beste tilfellet i Figur 18 under. Effektleddet er økt med hele 90 % i dette tilfellet. Med andre ord må det altså større endringer til for at det skal bli lønnsomt å invester i en stasjonær batteribank i enebolig, som kan leses om i kap 4.5 *Beregninger basert på NVEs prisestimer for fremtiden*.

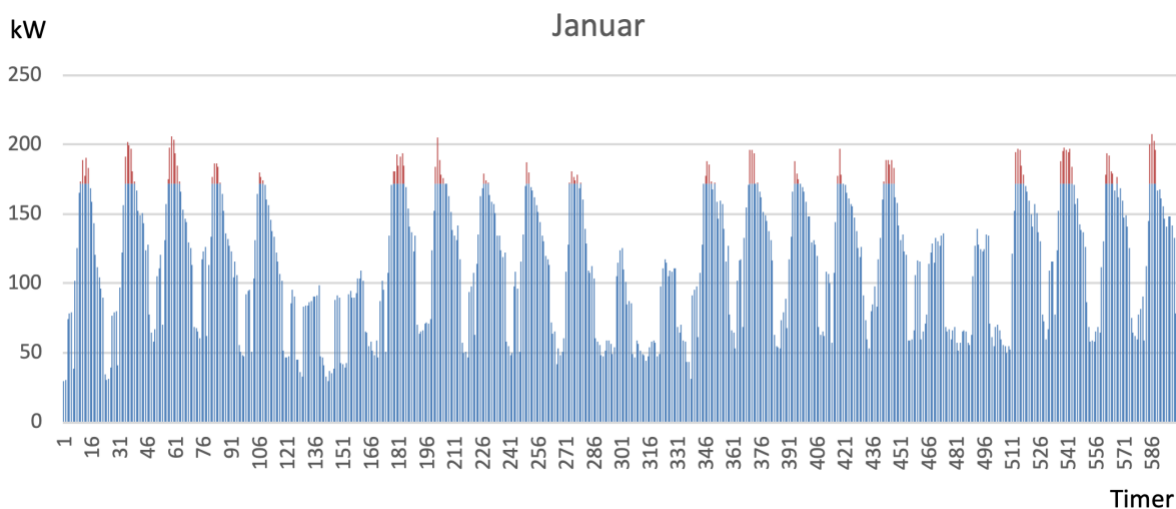


Figur 18- Prisscenarioer enebolig

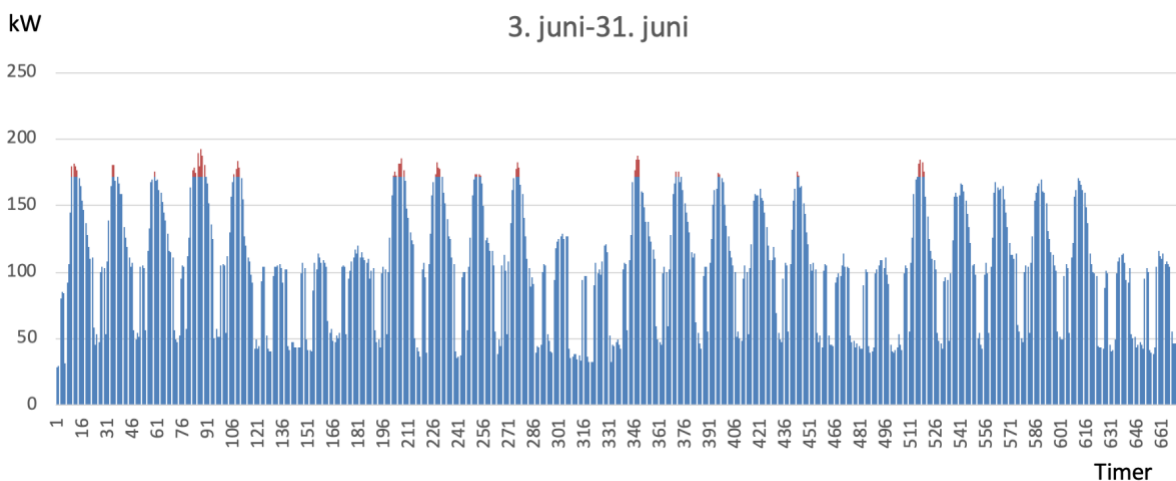
4.2 Scenario 2- Næringsbygg

I scenario 2 regnes det på hvorvidt det lønner seg med en batteribank med kapasitet på 150 kWh i et næringsbygg. Forbrukstallene fra BKK er et gjennomsnitt av summert forbruk av to næringsbygg på samme trafo. Viser til kap 2.4 *Antagelser* for mer informasjon.

Figur 19 viser forbruket for næringsbygg i januar, og Figur 20 for juni. I figurene er det klare effekttopper i ukedagene, og mindre i helgene. Dette grunnet at kontorbyggene brukes i ukedagene og normalt sett lite i helgene.

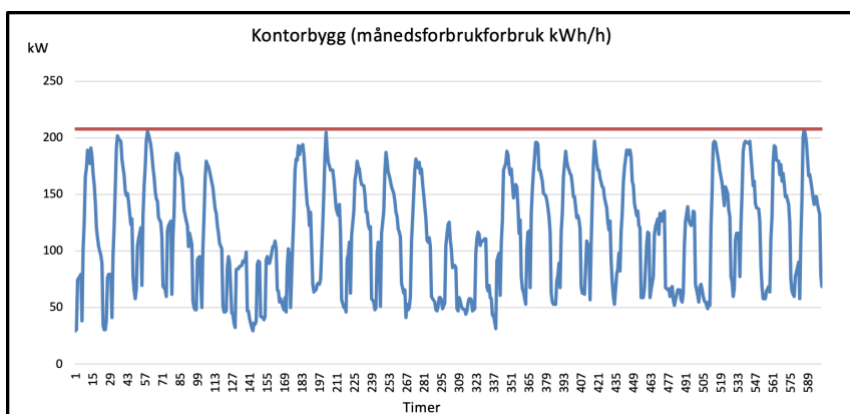


Figur 19- Forbruk januar næringsbygg



Figur 20- Forbruk juni næringsbygg

Uforventede effekttopper som 214 kW i august kan begrunnes med en storm eller spesielle forhold akkurat denne timen på denne dagen. Slike topper kan være avgjørende for hvorvidt det lønner seg med brukt el-bil batteri, da nettleien i dag i stor grad beregnes basert på slike topper for næringsbygg, som vist i Figur 21. Se kap 2.2 *Fremgangsmåte* for mer informasjon.



Figur 21- Effektprising næringsbygg

Det er valgt en grense på 172 kW som krever en batterikapasitet på 150 kWh, noe som tilsier de røde toppene i Figur 19 og 20. Grensen er satt på dette nivået da en lavere grense hadde resultert i at man trenger flere batterier, som igjen ville ha økt investeringen. Videre ville dette ha gjort prosjektet mindre økonomisk lønnsomt, da lønnsomheten i stor grad grunner i investeringen. På den andre siden ville en høyere grense kuttet lite effekt og energi, som igjen ville redusert lønnsomheten og poenget med prosjektet. Dersom man sammenlikner Figur 19 og 20 ser man en reduksjon i forbruk, som igjen påvirker batteriets bidrag, ved å bruke batteribanken i juni versus i januar. Med andre ord ser man at nytten av batteriet er størst i januar.

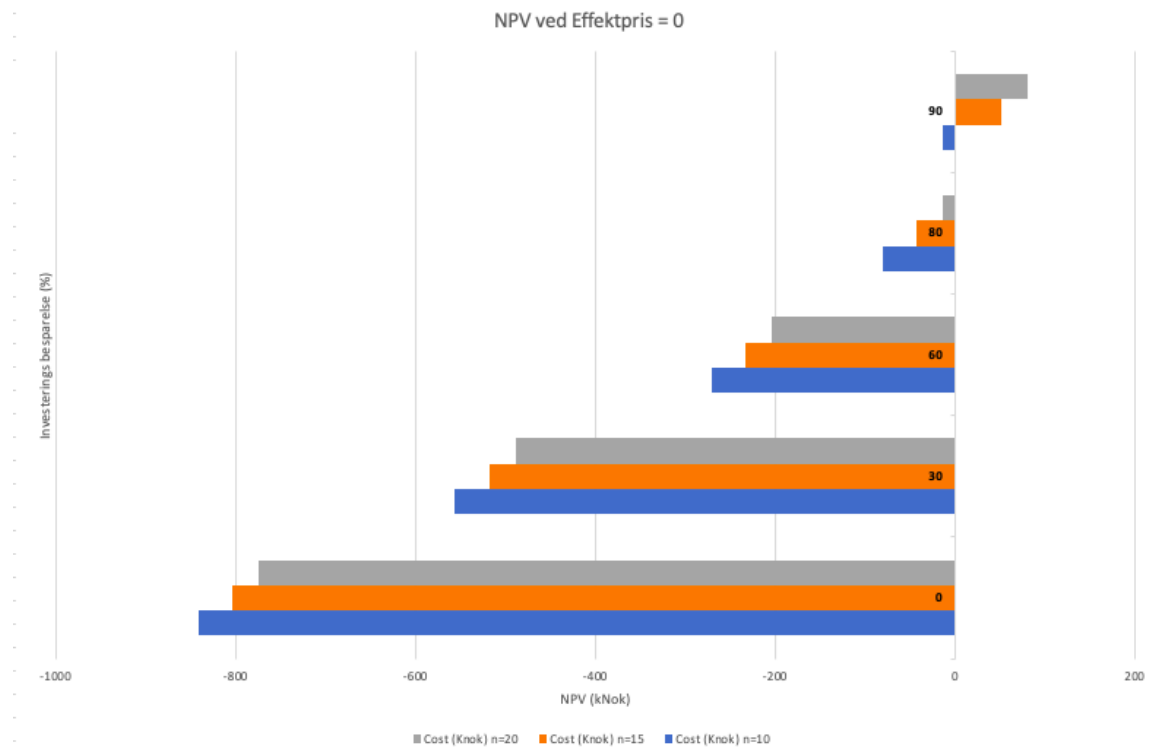
I Tabell 4 er NPV for næringsbygg presentert. Beregningene er basert på en investering på 950 000kr og utregnet besparelse på 14 111kr per år. Fra tabellen kan man se at batteriinvesteringen i næringsbygg med gitt data, ikke lønner seg per i dag, selv med et Enova tilskudd på 50% og levetid på 20 år.

n	Uten Enova	Med Enova
10	-841 035,25	-366 035,25
15	-803 528,15	-328 528,15
20	-774 140,35	-299 140,35

Tabell 4- NPV resultater, næringsbygg

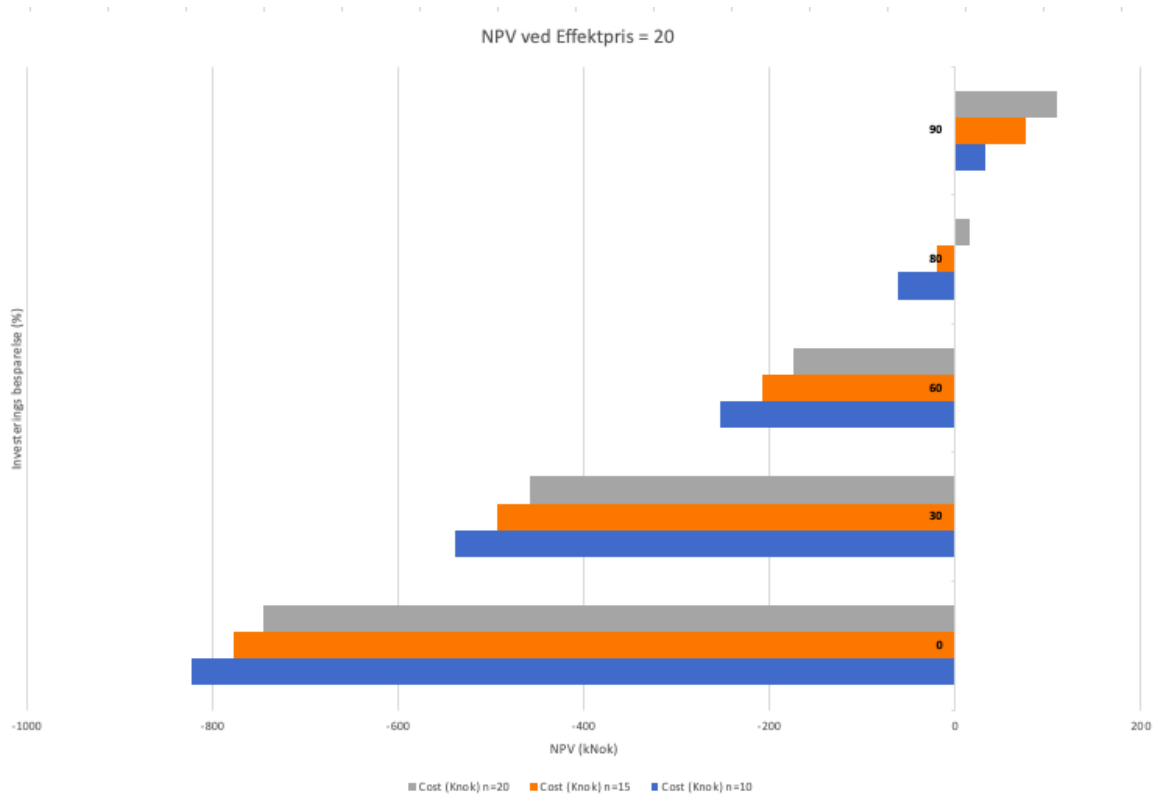
Videre er det også sett på forskjellige pris scenarioer ved ulike effektpriser og investeringer for næringsbygg. Dette er blitt gjort for å fremstille mulige kostnadsbilder for fremtiden. Det har blitt gjort en økning i effektledet med 0 %, 20 %, 40 % og 60 %. I tillegg viser de ulike fargene i grafene forskjellige levetider som varierer mellom 10, 15 og 20 år. Et annet viktig poeng å nevne er at resultatene som er vist til høyre for 0 tilsier en positiv NPV, og dermed resulterer dette i at disse tilfellene vil være en lønnsom investering fra et økonomisk perspektiv.

I Figur 22 kan man se resultatet av hvordan en redusert investering med 0%, 30%, 60%, 80% og 90% påvirker kostnadsbildet dersom effektprisen ikke endres. Man kan i dette tilfellet se at investeringen må reduseres med 90%, med andre ord fra 950 000 kr til 95 000 kr. I tillegg gjelder dette bare dersom levetiden er mellom 15 og 20 år.



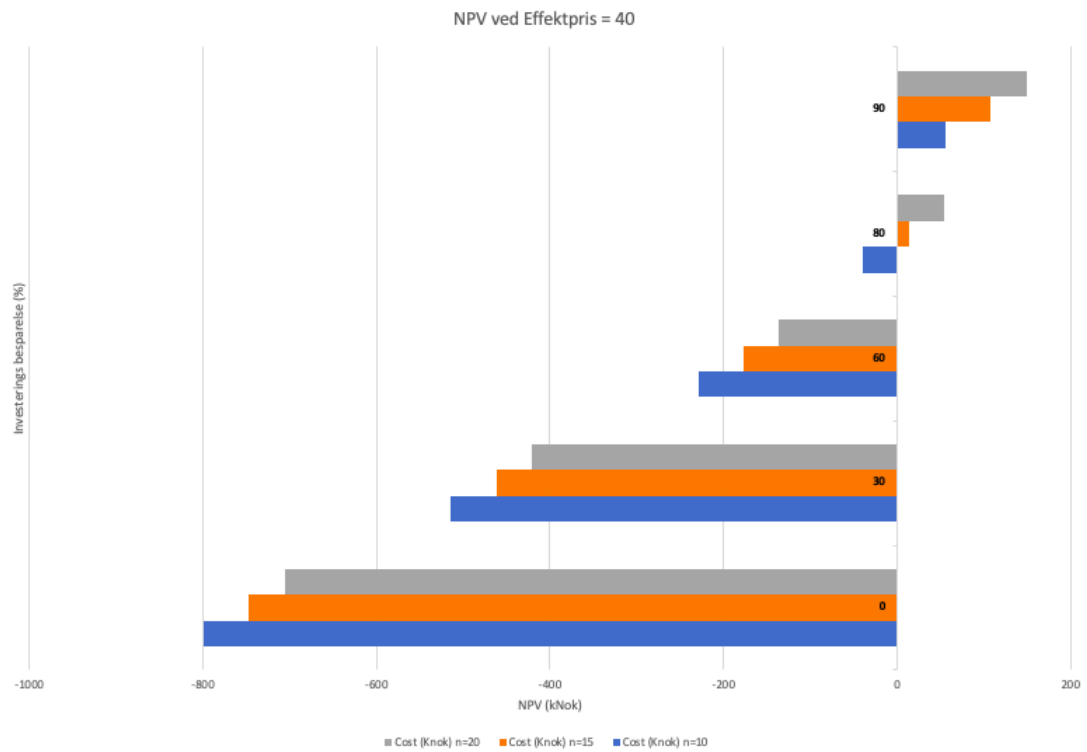
Figur 22- Prisscenario med effektpris 0%

Dersom effektprisen øker med 20 %, slik som vist i Figur 23, kan man se en liten endring i forhold til figuren over. Batteriinstallasjon blir økonomisk lønnsomt ved alle de forskjellige levetidene ved en 90% reduksjon i pris. I tillegg blir det også lønnsomt ved 80%, dvs. en pris på 190 000 kr, men da kun dersom batteriene har en levetid på 20 år.



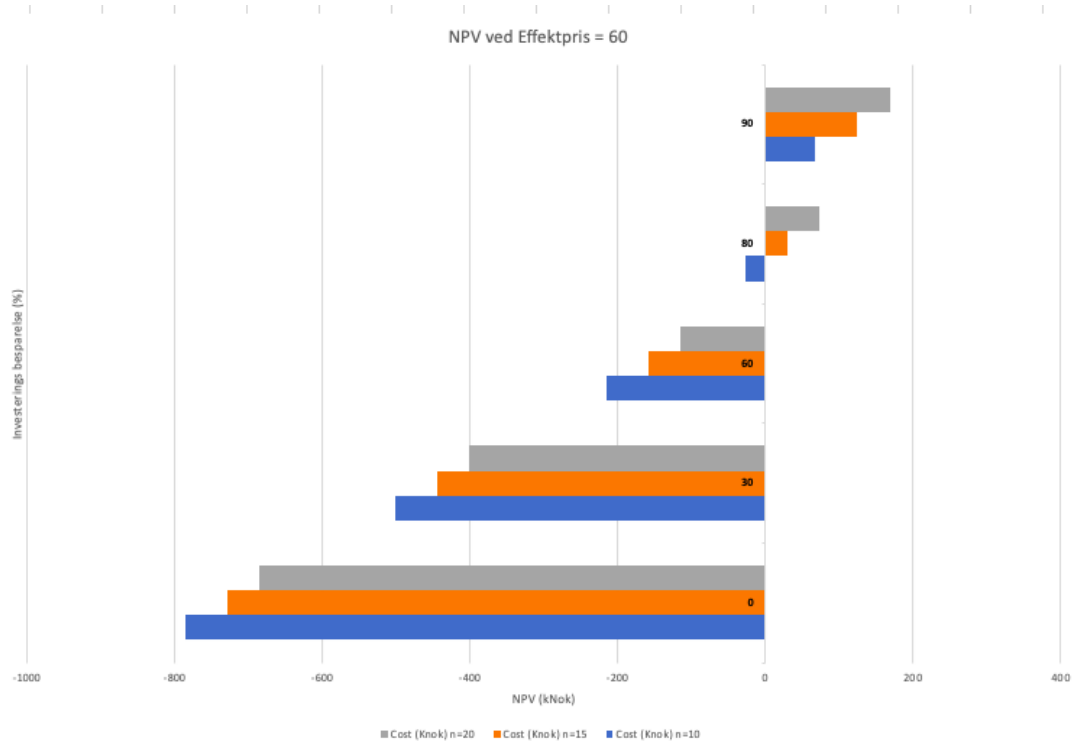
Figur 23- Prisscenario med effektpris 20%

Videre kan man se en enda større endring dersom effektprisen øker med 40%, som vist i Figur 24. Her vil det også være økonomisk lønnsomt å investere i en batteribank, dersom investeringen reduseres mellom 80-90%. På den andre siden er det viktig å påpeke at ved en prisreduksjon på 80%, vil det kun være lønnsomt dersom batteriet har en levetid på 15-20 år.



Figur 24- Prisscenario med effektpris 40%

I Figur 25 framstilles det kostnadsbildet som fra et økonomisk perspektiv vil være mest lønnsomt med hensyn til valgte variabler. I dette tilfellet økes effektprisen med 60%, og man kan se mange likheter med Figur 24 over. Den får like mange positive NPV, men man kan se at verdiene er mer positive sammenliknet med figuren over.



Figur 25- Prisscenario med effektpris 60%

For å oppsummere kan man si at det i hovedsak er investeringen, altså prisen på anlegget, som påvirker lønnsomheten i størst grad. At prisen kan endres fra 950 000 kr til 95 000 kr i fremtiden er vanskelig å bedømme. På den andre siden kan man i fremtiden muligens effektivisere teknologien, slik at det blir billigere å bygge om batteriene fra bilbatteri til bruk i bygg. I tillegg vil også en større etterspørsel etter slike batterier påvirke kostnadsbildet og muligens presse ned prisen. I dette scenarioet er det også vist at en økning i effektprisen kan påvirke lønnsomheten, noe som er svært aktuelt for fremtiden. I tillegg er det vist at en kombinasjon av økt effektpris og redusert investering vil øke lønnsomheten fra et økonomisk perspektiv.

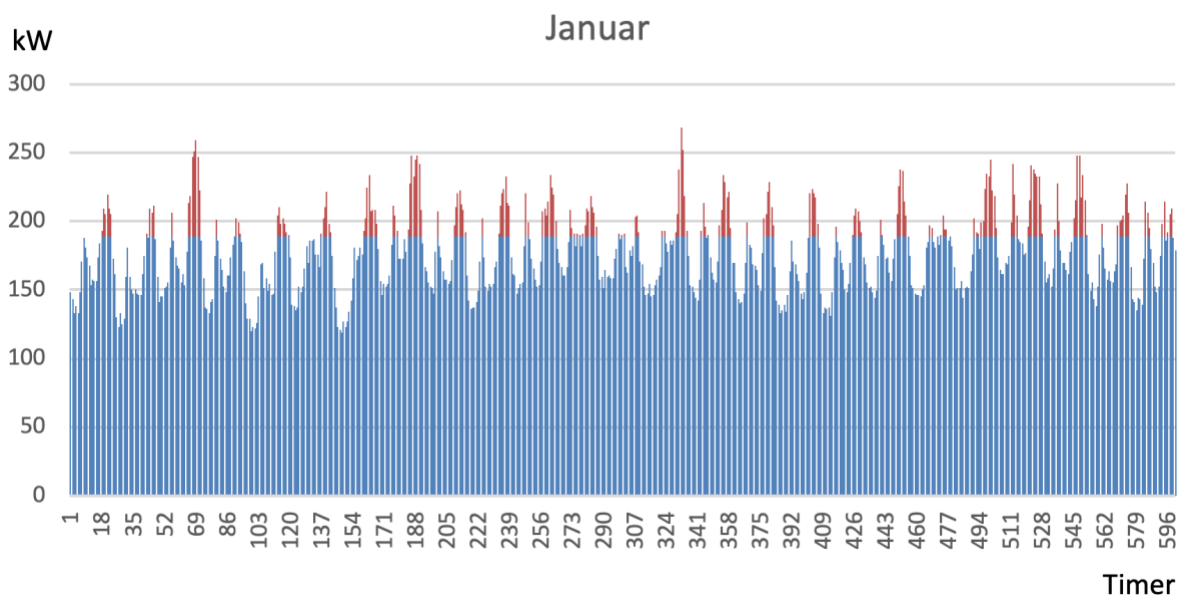
4.3 Scenario 3- Nabolag

I et nabolag kan stasjonær batteribank være et reelt alternativ til nettutbygging. Særlig aktuelt er det dersom nettinvesteringene er svært høye. Batteri kan være et alternativ der det er flaskehals i boligområder hvor jordkabel kreves, sjøkabler må utskiftes eller der det er problematisk med tanke på miljøhensyn. Dersom en ønsker å benytte seg av litium-ion batterier framfor utbyggelse av strømmettet, forutsettes det at kapasitetsproblemene ikke er for store. Dvs. flaskehalsene burde være begrenset til tid og størrelse. Dersom det er snakk om

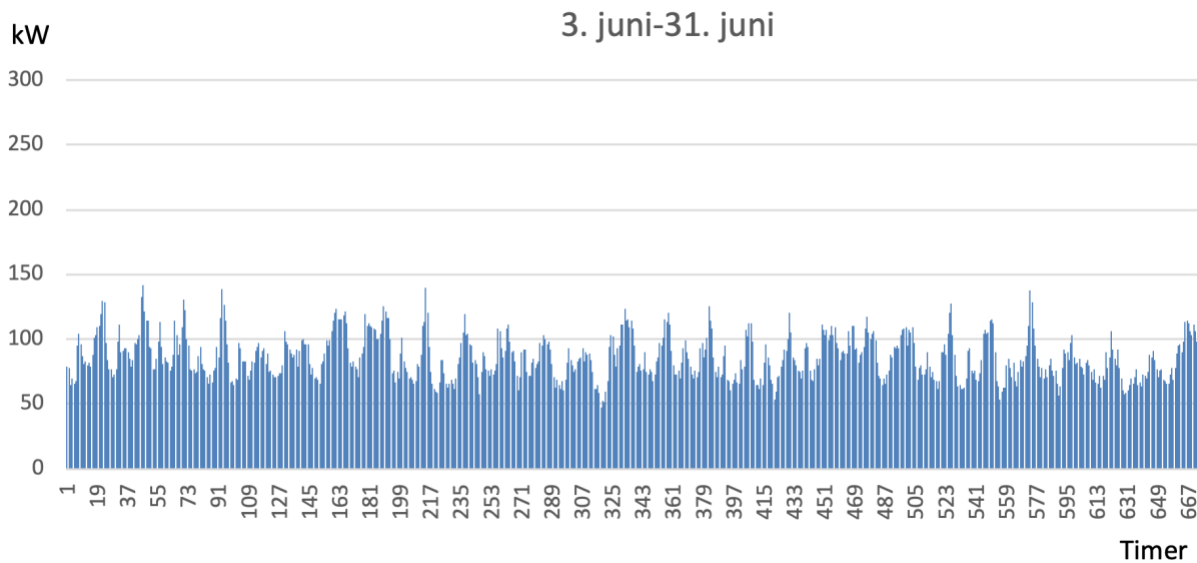
effektutjevning eller spenningsregulering kan litium-ion batterier være et godt alternativ framfor utbyggelse av strømnettet [47].

Data i scenario 3 fra BKK er summert forbruk av kun AMS-målere under en trafo som forsyner et nabolag på 42 boliger. Det er i dette scenarioet valgt en grense på 189,5 kW, som resulterer i nødvendig batterikapasitet på 400kWh.

I Figur 26 er forbruket for januar presentert, og i Figur 27 for juni. I likhet med scenario 1 kan man se klar forskjell mellom sommer- og vinterhalvåret. Som illustrert i Figur 27 er forbruket så lavt at batteriet ikke bidrar om sommeren. Videre viser figurene relativt klare effekttopper; per dag er det 2 topper, en på morgenen og en på kvelden, der kveldstoppen stort sett er størst. Dette stemmer overens med funn fra litteraturstudiet. Sammenliknet med scenario 1 skulle man i utgangspunktet forvente at kurvene var mer like med hensyn til effekttoppene, da Figur 26 viser den «typiske» bolig profilen. Dette kan være grunnet gjennomsnittet som er foretatt av BKK, eller at dataen kommer fra «utypiske» hjem i scenario 1.



Figur 26- Forbruk januar nabolag



Figur 27- Forbruk juni nabolag

Dersom man ser for seg at nabolaget med tilhørende forbruksdata går sammen om å investere i en stasjonær batteribank på 400kWh, kan man regne ut NPV for nabolaget. Da ville resultatet bli som vist i Tabell 5. I beste tilfellet vil nabolaget totalt sett gå med -kr 1 017 676, og i verste tilfelle i -kr 2 183 501. Hvor reelt det er at en slik løsning for prosjektet gjennomføres, er uvisst, da det kan spekuleres i om hver enkelt bolig ville installert en privat batteribank istedenfor, slik som i scenario 1.

n	Uten Enova	Med Enova
10	-2 183 500,93	-1 058 500,93
15	-2 160 611,07	-1 035 611,07
20	-2 142 676,27	-1 017 676,27

Tabell 5- NPV resultater, nabolag

Det som kanskje er mer reelt er om staten og kommunen går inn og installerer en batteribank i området for å stabilisere strømmettet, på grunn av kapasitetsproblemer i «rushtiden», se kap 3.3.2 *Ustabil nett*. Dersom dette er tilfellet vil mest sannsynlig boligene i området som forsynes av batteriet få økt strømregning. Hvorvidt det er lønnsomt for kommunen å investere i en stasjonær batteribank versus å bygge ut strømmettet må vurderes i hvert spesifikke tilfelle, da prisen på utbyggelse av strømmettet ikke er kjent, og trolig vil avhenge av ulike faktorer i det aktuelle området.

Grensen på når det skal trekkes strøm fra batteriet variere ut ifra hvor mye effekt som trengs å kuttes i det gitte nabolaget. Det er foretatt relativt få beregninger i dette scenarioet da målet med en slik investering trolig ville vært å unngå overbelastning på strømmettet, og ikke økonomisk vinning. Det er dermed lite relevant med forskjellige scenarioer av investering, levetid og besparelser. Videre er poenget at disse investeringene trolig vil være mer lønnsomme enn utbyggelse av strømmettet, der batteribank er et alternativ. Det er også interessant å spekulere i hvem som må ta regningen. Det vil være stat og kommune som bygger ut, men dette kan igjen øke effektprisene i strømregningen i den aktuelle kommunen som forbruker må betale.

4.4 Virkningsgraden til batteriet

Scenarioene over tar for seg om stasjonær batteribank er økonomisk lønnsomt med dagens betingelser. Beregningene i dette kapitlet tar for seg hva som må til for at investering i en stasjonær batteribank skal lønne seg, og er til for å underbygge svarene i scenarioene. Data på prisvariasjon av spotpris i 2019 er i dette kapitlet hentet fra Nord Pool.

Som tidligere nevnt består strømprisen i dag hovedsakelig av tre deler; nettleie, avgifter og spotpris. I dette regneeksempelet tas kun de differensierte leddene i betraktning, dvs. leddene med enhet kr/kWh. For enkelthetens skyld deles døgnet inn i to perioder, lav- og høylast perioden. Dette blir henholdsvis natt og dag. For at energi lagret i batteri med tanke på lastforflytting skal være økonomisk lønnsomt, er det vesentlig å forutsette at forholdet mellom høy og lav kraftpris er så stor, at det tjenes på å lade batteriet i lavlast framfor i høylast. Videre er det viktig at denne differansen overgår virkningsgraden til systemet. Fra termodynamikkens første lov er det kjent at energi verken kan oppstå eller forsvinne. Det vil i midlertidig være noe energi som går fra en form til en annen og dermed vil en liten del av brukbar energi tapes i overføringene på veien fra batteriet til boligen. Dvs. at mengde elektrisk energi inn (ΔQ) på batteriet vil ikke være lik mengden ut ($\Delta Q \cdot \eta$), se formel under. Det antas i dette tilfellet at forholdene er optimale og at virkningsgraden til batteriet er 90%. Virkningsgraden varierer i stor grad i virkeligheten, og avhenger av type batteri og dets tidligere liv. Prisvariasjonene er forholdsvis små i Norge i dag, men vil trolig øke i framtiden som illustrert i Figur 29 i kap 4.5 *Beregninger basert på NVEs prisestimer for framtiden*. Jo større prisdifferanse mellom lav- og høylast perioden er, desto mer lønnsom er investeringen. Formelen som er brukt kan sees under:

Total kostnad uten bruk av batteri > total kostnad med bruk av batteri

$$Q_{off} \times P_{off} + Q_{peak} \times P_{peak} > (Q_{off} + \Delta Q) \times P_{off} + (Q_{peak} - \Delta Q \times \eta) \times P_{peak}$$

Ved å forenkle formelen står man til slutt igjen med:

$$\eta = \frac{P_{off}}{P_{peak}}$$

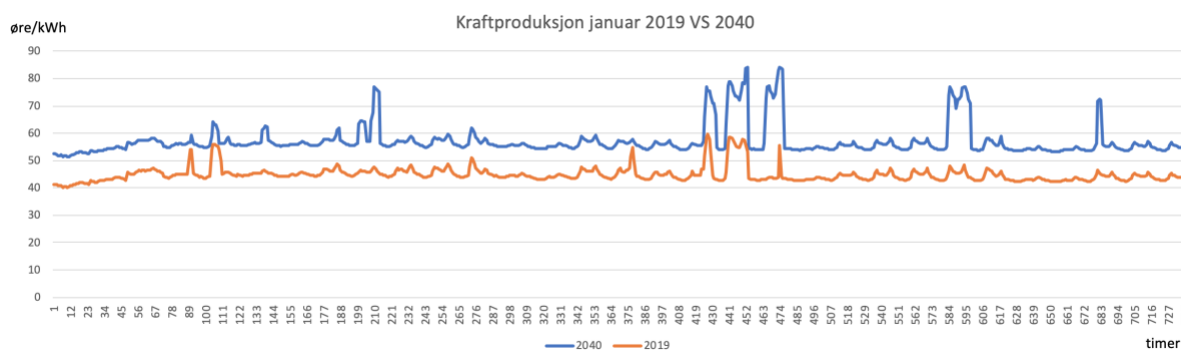
Ideen er å utnytte de lave spotprisene i lavlastperioden til å lade opp batteriet, for å kunne utlade batteriet senere ved behov i høylastperioden. På grunn av at virkningsgraden er antatt å være 90%, kan ikke batteriet utlades akkurat like mye som det ble oppladet. Om batteriet blir oppladet til mengden ΔQ , kan $\Delta Q \cdot \eta$ utnyttes ved utladning. Derfor må forholdet mellom P_{off} og P_{peak} være mindre enn 0,9 for at det skal lønne seg. Prisvariasjonen i januar 2019 varierer fra 48,4øre/kWh i lavlast til 76,3øre/kWh i høylast [92]. Om en kun tar hensyn til spotprisen i 2019 ville det vært lønnsomt med stasjonær batteribank. Dette resulterer i et gjennomsnittlig forhold på 0,68 i 2019, som er lavere enn antatt virkningsgrad på 0,9. Sluttbruker må derimot betale nettariff og ulike avgifter i tillegg. Om en legger til det variable nettariff leddet på 0,4191 kr/kWh får man forholdet 0,836, som vist i Tabell 6. Dette er fremdeles under antatt virkningsgrad på 0,9, så om strømregningen kun bestod av disse to leddene ville det ha lønnet seg. I realiteten er det fremdeles en del av kostandene som ikke er tatt med i beregningene, som trolig resulterer i at det kan bli ulønnsomt.

Måned	Lavlast	Høylast	Prisforhold
Januar	0,9029	1,18224	0,764
Februar	0,82	1,0179	0,806
Mars	0,7876	0,8667	0,909
April	0,744	0,8691	0,856
Mai	0,7101	0,8487	0,837
Juni	0,5649	0,7691	0,734
Juli	0,683	0,8061	0,847
August	0,7054	0,8181	0,862
September	0,6331	0,743	0,852
Oktober	0,7553	0,83136	0,909

November	0,8028	0,9587	0,837
Desember	0,7433	0,9073	0,819
Gjennomsnitt	-	-	0,836

Tabell 6- Spot og variabel nettleie ledd, dvs. alle variable ledd tatt med

Ved å se på et estimat av de fremtidige spotprisene fra NVE, kan man finne ut om det er realistisk med økonomisk vinning i framtiden. Som illustrert i Figur 28, ser man spotprisen i 2019 (gul) versus 2040 (blå).



Figur 28- Kraftproduksjon januar 2019 VS 2014

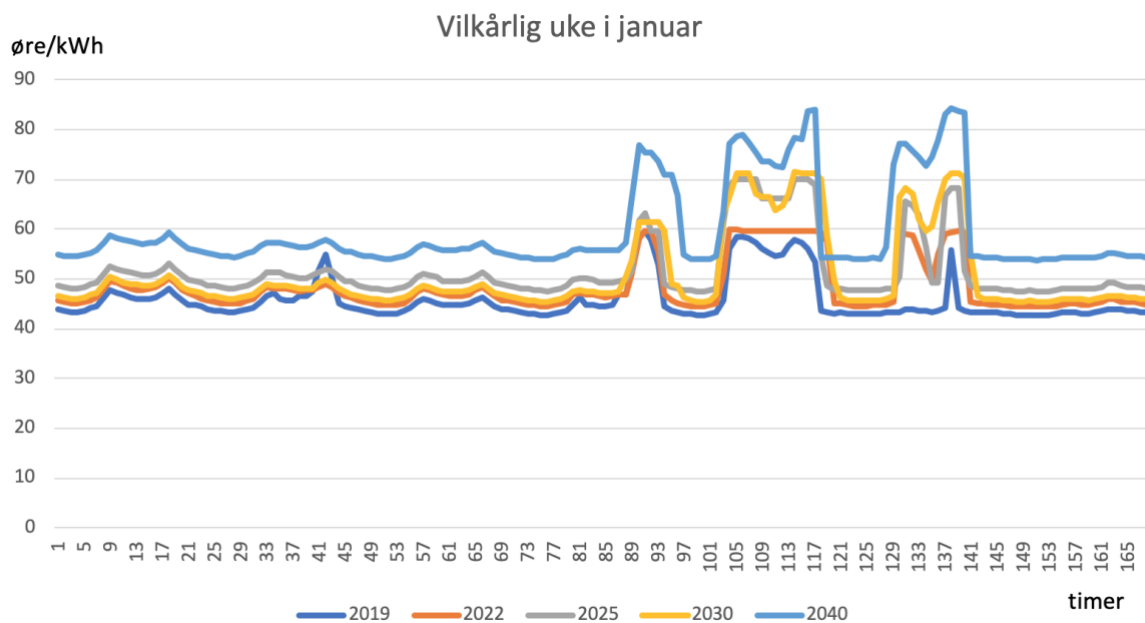
Variasjonene er nokså like i 2040 som i 2019, men unntak av enkelte svingninger. Spotprisen i lavlastperioden ligger på omtrent 55 øre/kWh. Ved å anta en virkningsgrad på 90%, må spotprisen være over 61,1 øre/kWh i høylast for at det skal lønne seg med stasjonær batteribank. Ved observasjon av Figur 28 ser en at dette kun skjer i enkelte tilfeller. Dersom man legger til energileddet på 41,91 øre/kWh, kan man konkludere med at pris i høylastperioden i 2040 må være godt over 1,08 kr/kWh.

Beregningene er generelle, og tar ingen hensyn til investeringer, levetid eller framtidig inflasjon. På denne måten kan man si at dersom de variable leddene i seg selv skal gi noe indikasjon på om det er lønnsomt å investere i en stasjonær batteribank eller ikke, burde forholdet mellom lavlast og høylast være godt under 0,9. Dette grunnet at endel av kostnadsleddene ikke er tatt hensyn til, og om regnestykket akkurat går i null, vil aldri investeringen tjenes inn.

4.5 Beregninger basert på NVEs prisestimer for fremtiden

NVE har utarbeidet et Excel-ark som beregner forventede nettleiepriser med de nye tariffene som antas å tre i kraft for fullt fra og med 2027, se kap 3.3.3 *Effektopper og effektpriser*. Sammen med de estimerte framtidige spotprisene, kan man gjøre beregninger på hvorvidt det vil lønne seg med en stasjonær batteribank opp mot 2040. I beregningen under holdes investeringen lik gjennom alle år, mens spotpris, nettleiepris, Enova tilskudd og levetid varierer. Videre er det viktig å understreke at beregningene i dette delkapittelet er basert på estimerte verdier og vil derfor unnvike noe fra virkeligheten.

Figur 29 viser de estimerte spotprisene for fremtiden, hvor prisene er antatt å øke. Videre vil også de nye effektleddene ha forskjellig utslag på den enkelte forbruker. Det som er interessant å belyse, er om effekt- og spotpriser alene utgjør stor nok forskjell til at brukte el-bil batterier blir lønnsomt i de forskjellige scenarioene. Resultatet kan leses av i Tabell 7.



Figur 29- Estimerte spotpriser en vilkårlig uke i januar

		NPV					
		Enebolig		Næringsbygg		Nabolag	
	Enova	Uten	Med	Uten	Med	Uten	Med
2019	n=10	-kr 39 307,11	-kr 16 807,11	-kr 569 080,69	-kr 219 080,69	-kr 753 384,16	-kr 253 384,16
	n=15	-kr 37 347,55	-kr 14 847,55	-kr 524 016,53	-kr 174 016,53	-kr 668 495,73	-kr 168 495,73
	n=20	-kr 35 812,17	-kr 13 312,17	-kr 488 707,59	-kr 138 707,59	-kr 601 983,42	-kr 101 983,42
2022	n=10	-kr 39 292,33	-kr 16 792,33	-kr 568 348,05	-kr 218 348,05	-kr 751 992,61	-kr 251 992,61
	n=15	-kr 37 327,67	-kr 14 827,67	-kr 523 031,71	-kr 173 031,71	-kr 666 625,19	-kr 166 625,19
	n=20	-kr 35 788,31	-kr 13 288,31	-kr 487 525,17	-kr 137 525,17	-kr 599 737,58	-kr 99 737,58
2025	n=10	-kr 39 267,60	-kr 16 767,60	-kr 567 122,84	-kr 217 122,84	-kr 749 665,50	-kr 249 665,50
	n=15	-kr 37 294,43	-kr 14 794,43	-kr 521 384,76	-kr 171 384,76	-kr 663 497,06	-kr 163 497,06
	n=20	-kr 35 748,40	-kr 13 248,40	-kr 485 547,79	-kr 135 547,79	-kr 595 981,83	-kr 95 981,83
2030	n=10	-kr 39 293,50	-kr 16 793,50	-kr 568 406,00	-kr 218 406,00	-kr 752 102,67	-kr 252 102,67
	n=15	-kr 37 329,24	-kr 14 829,24	-kr 523 109,60	-kr 173 109,60	-kr 666 773,14	-kr 166 773,14
	n=20	-kr 35 790,20	-kr 13 290,20	-kr 487 618,69	-kr 137 618,69	-kr 599 915,22	-kr 99 915,22
2040	n=10	-kr 39 235,51	-kr 16 735,51	-kr 565 533,38	-kr 215 533,38	-kr 746 646,55	-kr 246 646,55
	n=15	-kr 37 251,30	-kr 14 751,30	-kr 519 248,19	-kr 169 248,19	-kr 659 438,94	-kr 159 438,94
	n=20	-kr 35 696,62	-kr 13 196,62	-kr 482 982,53	-kr 132 982,53	-kr 591 109,50	-kr 91 109,50

Tabell 7- Oversikt over NPV med fremtidige prisscenarioer

Det er gjort beregninger på besparelse for alle tre nettleiemodellene, og i tillegg en ekstra variant av «døgnmaks», hvor det tas hensyn til sommer- og vinterhalvår. Av de fire forskjellige prissmodellene for nettleie, er det sikringsdifferensiering som gir høyest besparelse i alle tilfeller, som markert med oransje i Tabell 8. Denne besparelsen er i tillegg høyere enn i scenarioene i kap 4.1 *Scenario 1- Enebolig*, 4.2 *Scenario 2- Næringsbygg* og 4.3 *Scenario 3- Nabolag*, i alle tilfeller.

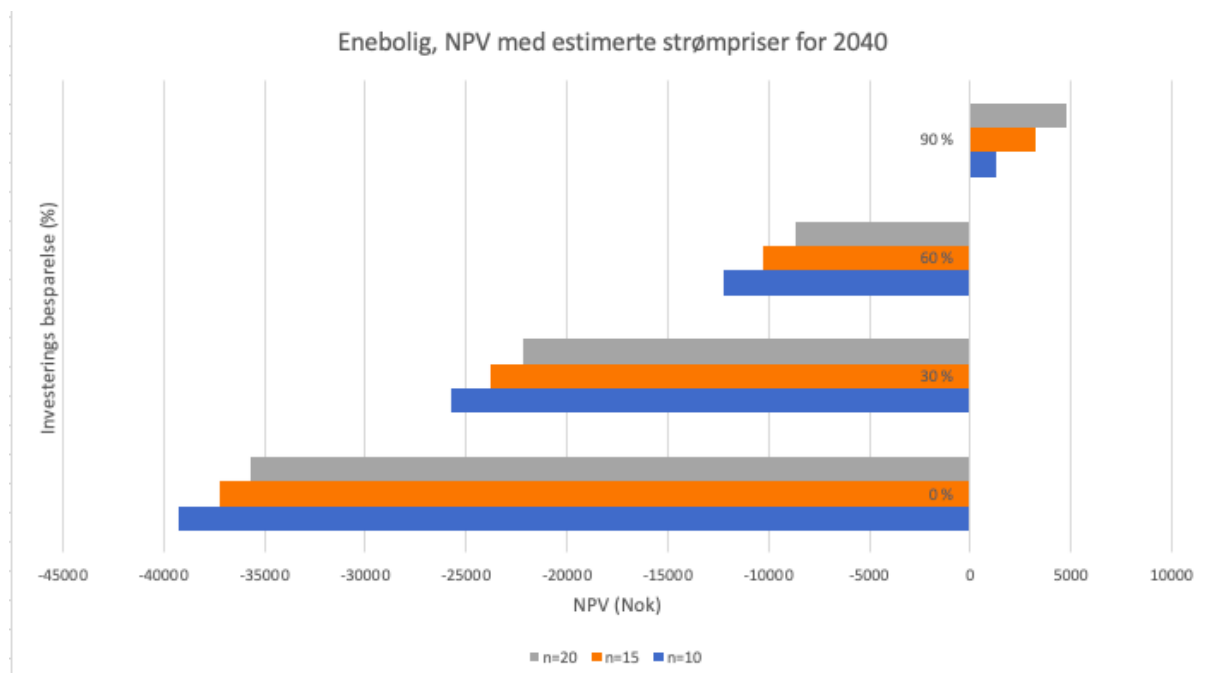
Til tross for at besparelsen øker i alle tilfeller, utgjør dette derimot ikke stor nok forskjell, verken med eller uten Enova støtte på 50%, som vist i Tabell 7. Med andre ord vil ikke endringen i strømprisen alene utgjør stor nok forskjell for at brukte el-bil batterier skal lønne seg innen 2040.

		Nettleie priser med og uten batteri					
		Enebolig		Næringsbygg		Nabolag	
Batteri		Uten	Med	Uten	Med	Uten	Med
Energitariff		6473,703125	6453,599609	157502,3281	156505,75	203099,0625	201206,3438
Abonnert		5680,575091	5566,971969	164426,091	158797,5738	193393,2687	182702,7384
Døgn sesong		5651,59258	5542,071653	143626,0674	139788,1312	167647,5508	160927,9797
sikring		5340,765137	4649,67749	116929,6406	102262,3086	148049,6328	120456,1836
Døgnmaks		5639,329532	5546,944794	147004,049	143341,8807	166925,3759	161218,3462
Størst differanse		20,10351563		996,578125		1892,71875	
		113,6031222		5628,517227		10690,53033	
		109,5209269		3837,936229		6719,571124	
		691,0876465		14667,33203		27593,44922	
		92,38473779		3662,168287		5707,029639	

Tabell 8- Fremtidig besparelse med de ulike prisscenarioene

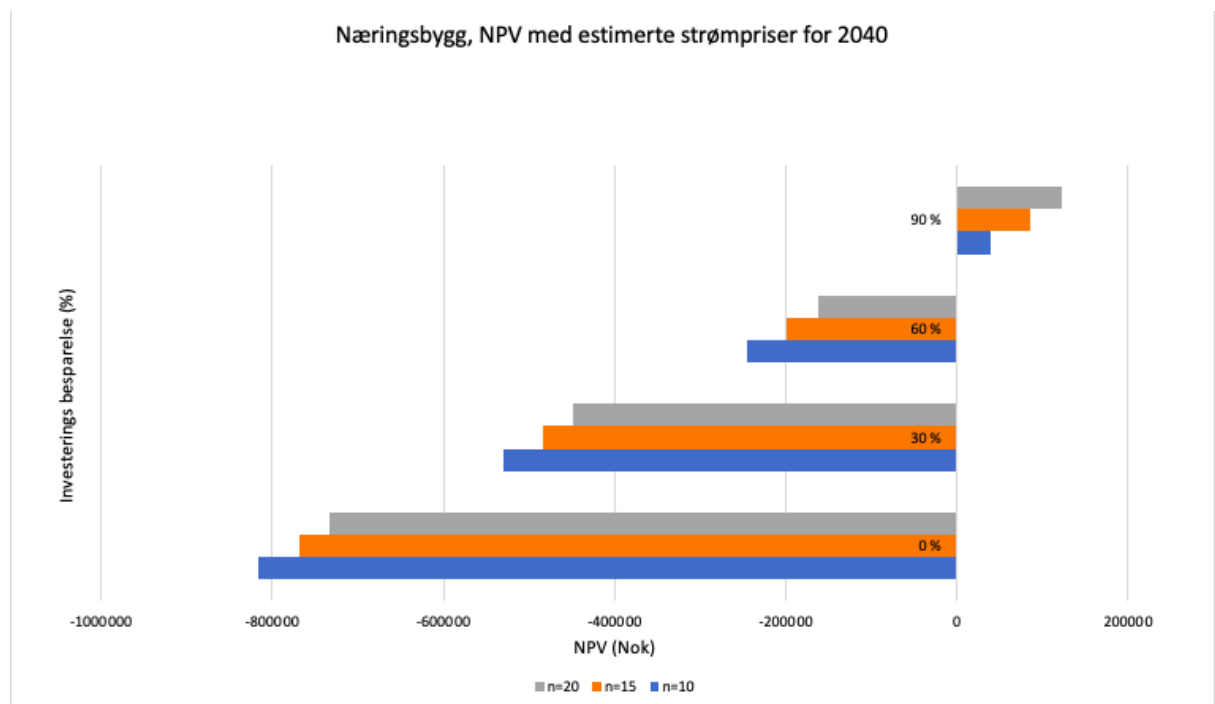
Videre undersøkes det i beregningene hvordan forskjellige investeringer kan påvirke NPV. Det er ikke tatt med tilfeller med Enova tilskudd videre, da man på et slikt investeringsnivå antar at det allerede er et marked for brukte el-bil batterier. Med andre ord vil Enova trolig ikke gi støtte dersom investeringen synker betraktelig. Videre er spotpris variasjonen fra 2019-2040 så liten at resultatene i stor grad blir like. Det er derfor kun vist eksempel fra 2040.

I Figur 30 for enebolig og Figur 31 for næringsbygg, er det vist pris-scenarioer hvor det har blitt tatt i bruk estimerte strømpriser for 2040, som er utarbeidet av NVE. Videre er denne strømprisen satt opp mot ulike investeringer, hvor investeringen reduseres med 0%, 30%, 60% og 90%, dvs. hvor 0% tilsier dagens pris som er på ca. 45 000 kr for enebolig og 950 000 kr for næringsbygg. En reduksjon på 90% tilsier en pris på 4 500 kr for enebolig og 95 000 kr for næringsbygg. I tillegg viser de ulike fargene i grafene forskjellige levetider for batteriet. Levetiden varierer mellom 10, 15 og 20 år. Resultat vist til høyre for 0 gir en positiv NPV, som betyr lønnsom investering fra et økonomisk perspektiv.



Figur 30- Prisscenario med estimerte spotpriser for 2040, enebolig

Figur 30 viser at det vil være økonomisk lønnsomt å installere et batteri i enebolig dersom investeringen reduseres med 90%. Da vil det være lønnsomt for alle de ulike levetidene, dvs. 10, 15 og 20 år.



Figur 31- Prisscenario med estimerte spotpriser for 2040, næringsbygg

Likt som for enebolig, vil det være økonomisk lønnsomt å installere batteribank i næringsbygget for alle levetider, dersom investeringen reduseres med 90%. Det er altså ikke økonomisk lønnsomt dersom investeringen er like dagens priser eller reduseres til 30% eller 60%, slik som illustrert i Figur 31.

For å oppsummere kan det konkluderes med at lønnsomheten i et prosjekt med brukte el-bil batterier i stor grad avhenger av investeringen, og at strømprisene i liten grad påvirker lønnsomheten. For at slike prosjekter skal være lønnsomme i Norge er det nødvendig med en betraktelig reduksjon i investeringen i prosjektet.

5. Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres forskjellige aspekter som tidligere er nevnt i rapporten, hvor det sees på ulike synspunkter på løsninger til problemstillingen. I tillegg diskuteres det utfordringer og usikkerheter rundt de ulike løsningene.

5.1 Løsning til strømmettet

I dag er det en del lokale problemer i strømmettet i Norge, der kapasiteten bli brukt maksimalt enkelte tider av døgnet. Det finnes flere måter å løse problemet på, f.eks. ved bruk av smartløsninger, utbygging av strømmettet eller ved bruk av batteribanker.

Smartløsninger er stadig i utvikling og er en måte man kan forflytte og/eller redusere strømforbruket på. Dette kan kombineres med stasjonær batteribank eller brukes uten. I kombinasjon med stasjonær batteribank kan man enkelt styre når på døgnet man ønsker å lade batteribanken, og eventuelt når man vil benytte seg av energien den har lagret. En annen mulighet er å bruke smartteknologi sammen med V2H, «Vehicle to Home», hvor man bruker batteriet i bilen som batteribank for bygg [93]. Videre finnes det smartløsninger som f.eks. å styre når el-bilen skal lades opp, senke strømbruket når man ikke er hjemme, skru av enkelte elektriske duppedingser når man lager middag osv...[94][95] En kan også prøve å jevne ut forbruket sitt ved å være bevisst over når man dusjer, lager middag, tar på oppvask- og vaskemaskinen osv...

Videre er utbygging av strømmettet en løsning, men som tidligere nevnt er det både tidskrevende, dyrt og enkelte ganger problematisk med hensyn til miljøet. Ofte er det ikke nødvendigvis det totale kraftforbruket som er for stort, men effektforbruket; hvor mye strøm som brukes på en gang, som forklart i kap 3.3.3 *Effekttopper og effektpriser*. På denne måten er det strengt tatt ikke nødvendig med investeringer i strømmettet, men en løsning som kan avlaste de timene det er snakk om. Om en kan løse kapasitetsproblemet på andre måter, er det stort sett mer økonomisk lønnsomt for alle parter og mindre tidskrevende. Kostnadene knyttet til utbyggelse av strømmettet vil trolig reflekteres i strømprisene til kundene, og medføre økt nettleie. På den andre siden, kan det bli nødvendig med utbyggelse senere grunnet et varig kapasitetsproblem gjennom hele dagen. I et slikt tilfelle vil det muligens lønne seg å bygge ut strømmettet med en gang.

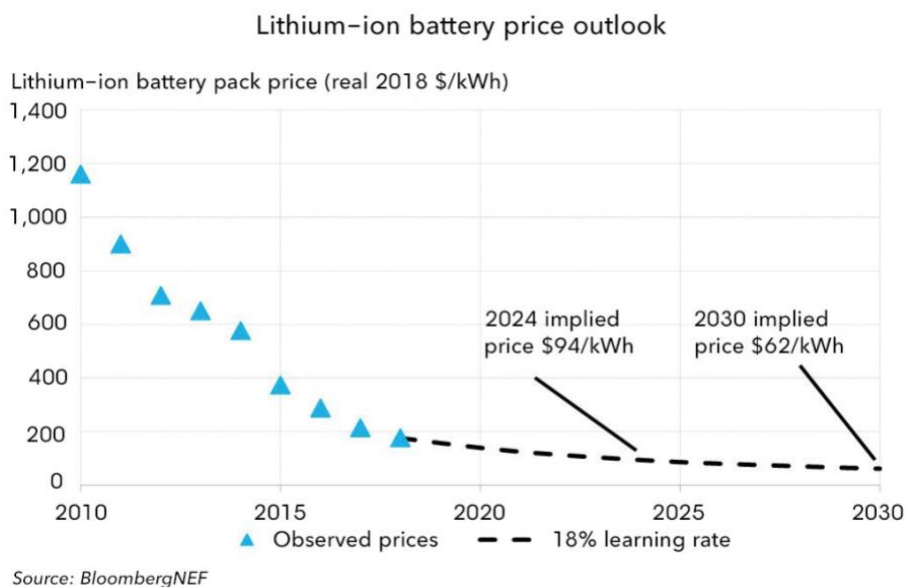
En stasjonær batteribank kan benyttes både privat og offentlig, og på begge måter bidra til å jevne ut effekttoppene i strømmettet. Dette kan gjøres på forskjellige måter. For det første kan spenning reguleres både ved reaktiv og aktiv effekt. Dersom det skjer ved å trekke/avgir reaktiv effekt, er det batteriets omformer som regulerer spenningen i distribusjonsnettet slik at den holder seg innenfor akseptable spenningsvariasjoner. Spenningsregulering med reaktiv effekt forutsetter at hele kapasiteten i omformeren ikke er beslaglagt til uttak/innmating av aktiv effekt. Behov for spenningsregulering kan f.eks. være ved hurtigludere. For det andre kan spenningsregulering også skje ved at batteriet lagrer energi når spenningen er høy og avgir energi når den er lav. Spenningsregulering med aktiv effekt forutsetter at det er kapasitet i batteriet. Til slutt kan batteriet også brukes til effektutjevning som går ut på at batteriet lagrer energi i lavlast perioder og avgir i høylast. Dette går altså på regulering etter effektflyten i strømmettet versus spenningen i nettet. På denne måten kan lastflyten i nettet optimaliseres eller lokale flaskehalses håndteres [47].

Privatpersoner kan også installere batteribank, som kan jevne ut eget effektforbruk. Batteriet kan enkelt benyttes på flere måter, både med tanke på størrelse og bruksområde, og er derfor relevant i flere ulike situasjoner. Batterier er relativt enkle å bruke og installere i forhold til utbyggelse, og er relativt sikre (se kap 3.4 *Sikkerhet* for mer informasjon). På den andre siden er investeringene store i forhold til gevinsten per i dag, som vist i kap 4 *Scenarioer*. En kan tenke seg at det i enkelte tilfeller vil lønne seg for staten, nettselskap og dermed befolkningen med batteri framfor å investere i utbyggelse av strømmettet. En kan derimot i utgangspunktet ikke sammenlikne en batteribank med utbyggelse av strømmettet. Batteribank, spesielt med kun brukte el-bil batterier, vil ikke kunne bidra like mye som utbyggelse av strømmettet. Videre er investeringen ved utbyggelse av strømmettet mye større, men på den andre siden vil dette resultere i tilsvarende kapasitet. Hvorvidt brukte litium-ion batterier lønner seg i det store bildet, avhenger av flere faktorer som skal diskuteres videre.

5.2 Pris på nye- versus gamle batterier

I dag produseres det nye litium-ion batterier med den hensikt å brukes som stasjonær batteribank. Selgere anbefaler gjerne disse batteriene da de er nye, og ikke mye dyrere enn brukte. Ved installasjon av stasjonær batteribank er det prisforskjellen og grad av miljøinteresse som avgjør om folk kjøper brukte eller nye batteripakker. Dersom noen er

spesielt opptatt av miljøet og/eller har mye penger, kan det hende de ville kjøpt brukte battericeller uavhengig av pris. Denne gruppen er derimot liten, og folk flest vil trolig gå etter billigst og best. Prisene på litium-ion batterier synker generelt i dag, som vist i Figur 32, og forskjellen mellom nye og gamle blir stadig mindre. Dette kan derimot endre seg dersom det blir mangel på noen av de knappe materialene i litium-ion batteriene. Videre, dersom resirkuleringsprosessen effektiviseres og man kan lønnsomt gjenvinne de knappe materialene, kan det spekuleres i om brukte batterier blir billigere. Videre er det også uvisst om litiumteknologien som brukes i batteriene i dag vil vare. Dersom batteriene i framtiden benytter seg av andre materialer som ikke er knappe eller utvinnes som dagens, vil muligens prisene på nye batterier falle, og utgjøre konkurranse mot de brukte el-bil batteriene.



Figur 32- Prisutvikling på litium-ion batterier av Bloomberg [96]

I utgangspunktet skulle man tro at man kunne brukt batteriet fra sin egen utdaterte el-bil, og dermed slippe kostnader knyttet til batteriet. Det er derimot ikke så enkelt. Batteripakken fra el-bilen må demonteres, testes og sorteres (se mer i kap 3.1.4.1 *Gjenbruk*). Kostnadene til et brukt el-bilbatteri som skal benyttes som stasjonær batteribank knyttes til disse prosessene, som kun kan gjøres av fagfolk. Per i dag har disse prosessene stort effektiviserings potensiale, og det finnes bedrifter som har begynt å lete etter mer effektive og dermed billigere metoder å gjøre disse prosessene på. Dersom det blir marked for gjenbruk av brukte el-bil batterier er det kun et spørsmål om tid før disse prosessene blir billigere, og på denne måten vil brukte el-batterier også bli billigere.

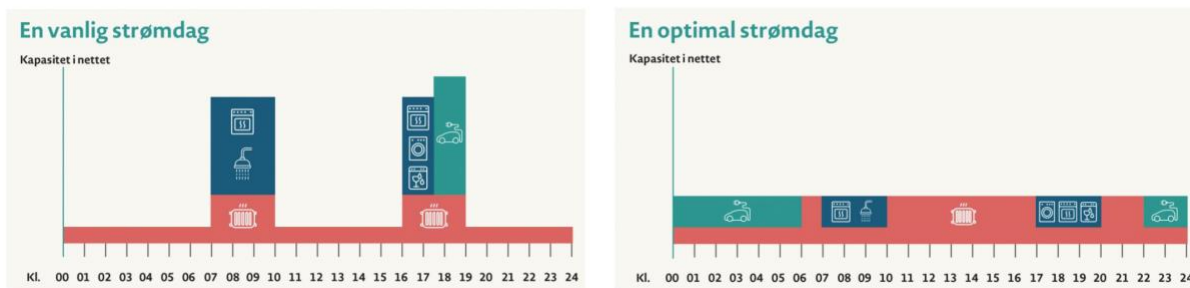
Som nevnt er trenden i dag generelt sett at litium-ion batterier stadig blir billigere. Det kan spekuleres i prisutviklingen på både nye- og gamle batterier, men det kan sies med sikkerhet at det er prisene på batteriene som i stor grad vil påvirke hvor lønnsomt det kan bli med et prosjekt med stasjonær batteribank.

5.3 Effekttariffen

Den nye effekttariffen til NVE har blitt mye omdiskutert, da mange spekulerer i hvordan effekttariffene kommer til å slå ut for ulike forbrukergrupper og hvordan det vil påvirke de som allerede har investert i energieffektive- og energisparende løsninger. NVE skriver derimot i høringsdokumentet sitt at for boliger vil de ulike modellene oppleves forskjellig, noen vil få redusert strømgning, noen økt, mens de fleste vil merke liten forskjell. Videre skriver de «For større næringskunder, som kontor- og lagerbygg, er forskjellen mellom månedens høyeste effekttopp og de daglige effekttoppene normalt relativt liten. Dersom de fleste store næringskunder bruker nettet på denne måten, vil de fleste kundene også betale omtrent det samme som i dag som følge av omleggingen av avregningsperioden». De understreker også at energieffektive- og energisparende løsninger fremdeles vil lønne seg [72].

På den andre siden er et av hovedpoengene med effekttariffen å gi insentiv til å skaffe eventuelt utstyr for å kutte effekttoppene, og/eller bruke nettet smartere ved å være bevisst. Det vil si, for de som fortsetter å bruke store mengder strøm i de mest hektiske tidene, typisk 07-08 tiden og 17-19 tiden, vil strømgningen øke. For denne gruppen kan det muligens lønne seg å investere i batteribank.

Effekttariffen er foreslått da norske myndigheter ser et behov for å endre måten man i dag bruker og betaler strøm på, i møte med den stadig mer elektrifiserte hverdagen. I tillegg blir allerede elektrifiserte produkter også effektivisert. Resultatet er at enkelte apparater trenger mye energi på kort tid, og disse elektriske produktene er også mer normalt å ha i et hjem. Når mesteparten av befolkningen har disse elektriske apparatene, og bruker de samtidig, oppstår et kapasitetsproblem.



Figur 33- En vanlig strømmdag VS en optimal strømmdag [97]

Bare de siste 20 årene har det skjedd enorme teknologiske endringer innenfor internett, mobil, PC, musikkavspilling, smartløsninger, energieffektivisering, grønn teknologi osv... I dag utvikles verden i høy hastighet, og en kan bare anta at det vil fortsette. Det vil resultere i mer elektrifisering, mer energikrevende apparater, som også skal trekkes fra samme strømnnett som i dag opplever kapasitetsproblemer enkelte timer i døgnet. Det er viktig å nevne at dagens strømnnett ble bygget i en tid hvor den teknologiske utviklingen ikke hadde kommet like langt som i dag. For å oppnå en optimal strømmdag, som illustrert i Figur 33, må noe skje. I første omgang er det muligens effekttariffer som kan bidra til utjevning av strømnettet. Det kan spekuleres i, dersom elektrifiseringen fortsetter i et tempo som i dag, at batteribank i større grad kan bli aktuelt i fremtiden.

5.4 Miljøaspektet og forbedringspotensialer

Hvorvidt brukte el-bil batterier vil bli økonomisk lønnsomt eller ikke, avhenger som nevnt av mange faktorer, og er dermed umulig å gi et endelig svar på. Det er derimot ingen tvil om at det er lønnsomt på andre måter. Som tidligere nevnt er el-biler et svært miljøvennlig transportmiddel sammenliknet med bensinbiler. Det er derimot en vesentlig faktor at energien som brukes til å lade opp el-bilen med, er fra fornybare energikilder. Det samme gjelder for energien brukt ved batteriproduksjon. Dersom man tar for seg livsløpszyklusen til en el-bil i et land som Norge, hvor ca. 98% av energien kommer fra fornybare kilder, er det produksjonen som har størst miljøavtrykk [98][99].

Produksjon av el-bil batterier krever endel naturlige materialer, som i hovedsak utvinnes ved gruvedrift og fra saltvannskilder. Mye av utvinningen skjer i fattige land, hvor de billigste løsningene bli benyttet, som da også ofte er de dårligste for miljøet. Selve gruvedriften kan forbedres ved å f.eks. elektrifiseres, da den i stor grad er kilde til store mengder miljøskadelig

utslipp [36]. Dette avhenger selvsagt også av at elektrisiteten er produsert miljøvennlig. Videre er arbeidsvilkårene for arbeiderene i disse landene ofte dårlige. Kunder kan i større grad engasjerer seg i utvinningsprosessen, og forkorte forsyningskjeden ved å kjøpe direkte fra produsent slik at det er mulig å sikre at materialene kommer fra ansvarlige kilder uten brudd på miljø-, menneske- og arbeidsrettigheter. Videre er selve produksjonsprosessen av el-bil batterier energikrevende, som kan ha et vesentlig miljøavtrykk dersom det ikke brukes energi fra fornybare energikilder. Dersom man i større grad benytter seg av brukte litium-ion batterier, framfor å produsere nye, vil man kunne redusere slike brudd [36].

Et annet problem knyttet til el-biler er hvordan man skal behandle litium-ion batteriene etter endt liv. Det har lenge ikke vært noen god løsning for dette, og gjennom årene har mange litium-ion batterier blitt deponert. De siste årene er det funnet resirkuleringsmetoder for litium-ion batteriene, men det er enda potensiale for forbedring. Per i dag resirkuleres ingen el-bilbatteri i Norge på cellenivå, men f.eks. Batteriretur AS tar inn batterier, demonterer og resirkulerer ytre materiale, før de sender dem til utlandet for videre resirkulering. Dersom resirkulering og produksjon tok plass i Norge, ville dette redusert miljøavtrykket vesentlig. I dag finnes det teknologi til å resirkulere over 90% av battericellene, men ettersom det er lave krav til resirkulering, er det få som tar det så langt pga. økonomi. Storskala resirkuleringsprosesser ville gjort prosessene mer miljøvennlige, mindre energikrevende og mer økonomisk lønnsomme. Generelt sett kan det spekuleres i om det burde innføres strengere krav og målsetninger med tanke på bærekraft og bruk av fornybar energi.

I framtiden vil det fortsatt selges mange el-biler, dvs. litium-ion batterier vil fortsette å bli produsert. Dersom man utnytter batteriene som allerede er på markedet vil man dermed spare miljøet for mye utslipp.

5.5 Sikkerhet

Det er som tidligere nevnt risikofylt å forholde seg til litium-ion batterier, da de er høyenergi batterier, og kan eksplodere ved feil og/eller dersom temperaturene blir høye nok. Sammenliknet med forbrenningsmotoren byr de på utfordringer i forhold til sikker transport, demontering og resirkulering ettersom det er viktig at batteriene behandles riktig. Videre er det knyttet en risiko til å bruke litium-ion batterier som stasjonær batteribank. Dersom det skulle oppstå en brann i batteriet, er brannen langvarig, slipper ut giftige gasser og er svært

utfordrende å slukke, se kap 3.4.5 *Slukking av brann i litium-ion batterier* for mer informasjon.

Som nevnt i kap 3.4.3 *Regelverk, standard og forskrifter*, er det enda ikke noe krav eller lover for hvor en batteribank skal installeres i en enebolig, noe som kan resultere i farlige situasjoner. På den andre siden kan man tenke seg at de fleste bruker fornuften, og dermed ikke installerer batteribanken på f.eks. soverommet sitt, selv om det strengt tatt er mulig. Det er i tillegg mye som skal til for at et litium-ion batteri skal ta fyr, og sammenliknet med en forbrenningsmotor skjer det sjeldnere brann i et el-bil batteri [100]. Det er vanskelig å starte en brann i et el-bilbatteri med ytre varmekilder. Videre har batteriene innebygde reguleringssystemer som overvåker temperaturer og eventuelle feil på cellenivå. Dagens teknologi gjør litium-ion batterier relativt sikre, viser til kap 3.4 *Sikkerhet* for mer informasjon.

Videre kan det være en sikkerhet å ha en stasjonær batteribank dersom det skjer et strømbrudd, og da spesielt ved langvarig brudd. I Norge skjer det sjeldent strømbrudd, og dersom det skjer er ofte en av hovedårsakene lynnedslag, viser til kap 3.4.6 *Batteribank ved strømbrudd*. En kan spekulere i om hyppigheten vil øke i framtiden, dersom strømmettet stadig blir mer belastet og mer ekstremvær skjer som et resultat av global oppvarming. Uansett grunn og hyppighet, vil en stasjonær batteribank kunne hjelpe dersom det skjer et strømbrudd. Det kan være spesielt viktig i næringsbygg og kritiske fasiliteter som sykehus, men også være svært viktig for de fleste dersom det forekommer et langvarig strømbrudd, da man er i så stor grad avhengig av strøm i dag. Det kan ikke unngås å nevne at dersom en stasjonær batteribank skal fungere som reserve ved strømbrudd, er det helt vesentlig at batteribanken er ladet opp. Dersom et strømbrudd forekommer og batteribanken er nærmest tom, har batteriet ingen hensikt. Dette kan unngås med sikkerhet dersom man overdimensjonerer batteribanken, noe som kanskje ikke er relevant per i dag da det ytterst sjeldent skjer strømbrudd, i tillegg til at litium-ion batterier enda er relativt dyre.

5.6 Oppsummering og relevansen av scenarioene

Som vist i scenario 1, 2 og 3 er investering i stasjonær batteribank i dag svært ulønnsomt fra et økonomisk perspektiv. Sammenliknet med kap 4.5 *Beregninger basert på NVEs prisestimer for framtiden* for enebolig og næringsbygg, er besparelsene større enn i

beregningene basert på dagens prising. På den andre siden utgjør dette totalt sett en liten forskjell i nåverdien. Det samme gjelder for 2019 versus 2040. Dvs. de er mer eller mindre like «ulønnsomme» uavhengig av om det er effektprising, energipricing, i 2019 eller 2040.

Basert på beregningene i kap 4.5 *Beregninger basert på NVEs prisestimer for framtiden* kunne man konkludert med at batteribank ikke blir økonomisk lønnsomt for folk flest innen 2040. Det er derimot knyttet mange usikkerheter til disse svarene slik at man ikke kan utelukke at det kan bli lønnsomt. Elektrifisering og effektivisering utgjør stadig større trusler mot strømmettet i Norge, noe som kan bidra til at litium-ion batterier muligens blir mer aktuelle i framtiden. Modellene for effekttariffen kan endres, samt at prisene kan bli andreledes enn først antatt, også endringer internt i kommuner kan forekomme. Beregningene viser i stor grad at investeringen avgjør hvorvidt det er lønnsomt eller ikke, da de andre faktorene spiller ellers liten rolle. Slik som vist i kap 4.5 *Beregninger basert på NVEs prisestimer for framtiden* kan man se at dersom investeringen forblir på dagens nivå, vil ikke de små framtidige endringene i strømprisen ha stor nok påvirkning på lønnsomheten. Med andre ord er det nødvendig at investeringen reduseres i framtiden.

Det at problemstillingen er besvart ved bruk av case-studie kan innsnevre løsningen noe. Som nevnt begrenses tallene til bergensområdet, og også til de tre situasjonene som er vurdert. Det kan spekuleres i om det kunne vært lønnsomt i andre situasjoner eller andre plasser i Norge. På den andre siden er svarene ganske klart ulønnsomme per i dag for bergensområdet, og man kan dermed anta at slutningen gjelder for de største deler av Norge. Videre kan beregningene ikke beskrive situasjonen fram mot 2040, men gi en indikasjon på hvilke endringer som er vesentlige for at det skal lønne seg. Det er også verdt å nevne at disse analysene trolig ville vært annerledes dersom man tok utgangspunkt i f.eks. Tyskland som i stor grad benytter seg av uregulerbare energikilder, som resulterer i en svært varierende spotpris.

Forbruksdataen fra BKK er som nevnt i scenario 1 et gjennomsnitt av to eneboliger med forholdsvis likt årsforbruk, og i scenario 2 et gjennomsnitt av to kontorbygg. Dette kan påvirke resultatene da det kan utjevne toppene og bunnene. Størst påvirkning har det trolig på eneboligen, da strømforbruket på et kontorbygg stort sett er likt fordelt. Forbruket til boliger kan derimot variere mye, avhengig av antall personer, jobb, aktiviteter osv. Det er lite klare effekttopper på enebolig forbruket, noe som muligens er grunnet gjennomsnittet. Dette påvirker besparelsene noe.

I alle scenarioene er det en vesentlig forskjell i energiforbruket mellom sommer- og vinterhalvåret. Dvs. at i utgangspunktet kutter ikke batteriet energi og effekttopper i sommerhalvåret. Dersom det finnes en smartløsning som kan endre grensen til når strøm skal trekkes fra strømmettet versus batteriet, kan man i større grad utnytte batteriet også i sommermånedene. Dette vil bidra til økt besparelse, som videre vil påvirke lønnsomheten i prosjektet.

6. Konklusjon

Som bevist gjennom scenarioene er det ikke økonomisk lønnsomt å investere i en stasjonær batteribank med brukte el-bil batterier per i dag. Dette er stort sett grunnet den store investeringskostnaden for anleggene. Som diskutert, er det flere faktorer som kan påvirke dette kostnadsbildet. Hovedsakelig gjelder dette framtidige strømpriser, utviklingen av smart- og batteriteknologi, samt eventuell økning i besparelse for bruker. Som et resultat av dette kan et slikt prosjekt bli økonomisk lønnsomt i framtiden. Det er viktig å understreke at slike prosjekter enda er i startfasen.

På den andre siden finnes det også flere positive aspekt ved installasjon av stasjonær batteribank. For det første bidrar gjenbruk av el-bil batterier til mindre miljøavtrykk. Det er viktig å understreke at etter endt liv i bil har et slik batteri opp mot 80% kapasitet igjen. I tillegg fordeles det massive volumet av brukte el-bil batterier som må håndteres i årene som kommer, og videre bidrar til mer tid for forskning og utvikling av resirkuleringsprosessen. For det andre kan en stasjonær batteribank bidra dersom det skulle forekomme et strømbrudd. På denne måten kan batteriet fungere som en sikkerhetsmekanisme og bidra til å drive de mest kritiske funksjonene i et bygg. For det tredje kan en stasjonær batteribank bidra positivt i strømmettet ved f.eks. å kutte effekttoppene, som i dag i stor grad belaster strømmettet.

For å konkludere kan man si at en stasjonær batteribank av brukte el-bilbatterier i dag ikke er økonomisk lønnsomt. På den andre siden har det en positiv innvirkning fra et samfunns- og miljøperspektiv. Det er også viktig å understreke at batteriene har en positiv påvirkning ved å bidra til å stabilisere strømmettet i Norge.

Referanser

- [1] Øyvind Solberg Thorsen, «Bilåret 2019 - fakta og trender», jan. 2020. Åpnet: feb. 10, 2020. [Online]. Tilgjengelig på: http://s3-eu-west-1.amazonaws.com/opplysningsraadet-for-veitrafikk/pdf/Frokostm%C3%B8ter-Foredrag/Bil%C3%A5ret-2019-fakta-og-trender_Solberg_Thorsen.pdf.
- [2] International Energy Agency, «Global EV Outlook 2019: Scaling-up the transition to electric mobility», OECD, jun. 2019. doi: 10.1787/35fb60bd-en.
- [3] OFV, «Bilsalget ned i 2019 – elbilene øker fortsatt mest», *Opplysningsrådet for veitrafikken*, jan. 03, 2020. <https://ofv.no/aktuelt/2020/bilsalget-ned-i-2019-elbilene-øker-fortsatt-mest> (åpnet mar. 03, 2020).
- [4] Norsk elbilforening, «Elbil, klima og miljø». <https://elbil.no/om-elbil/elbil-energi-og-miljo/> (åpnet mar. 07, 2020).
- [5] David Stringer og Jie Ma, «Where 3 Million Electric Vehicle Batteries Will Go When They Retire», *Bloomberg*, jun. 27, 2018. <https://www.bloomberg.com/news/features/2018-06-27/where-3-million-electric-vehicle-batteries-will-go-when-they-retire> (åpnet mar. 11, 2020).
- [6] Energifakta Norge, «Utviklingen i energibruken», *Energifakta Norge*. <https://energifaktanorge.no/norsk-energibruk/utviklingen-i-energibruken/> (åpnet mar. 07, 2020).
- [7] NVE, «Effektuttak - NVE», *Maksimalt strømforbruk per time har vokst med 33 prosent siden 1990*, sep. 18, 2019. <https://www.nve.no/energibruk-effektivisering-og-teknologier/energibruk/effektuttak/?ref=mainmenu> (åpnet mar. 07, 2020).
- [8] «Hvorfor får jeg strømbrudd?» <https://www.hafslundnett.no/artikkel/Hvorfor-far-jeg-strombrudd> (åpnet mar. 07, 2020).
- [9] A. V. Jensen, «Wood from the bottom to the top», mar. 04, 2020. <https://woodinconstruction.net/25-cases/item/67-wood-from-the-bottom-to-the-top.html> (åpnet mar. 04, 2020).
- [10] «Intelligent energistyring med gjenbruk av elbilbatterier», *Energiteknikk.net*. <https://energiteknikk.net/2019/10/intelligent-energistyring-med-gjenbruk-av-elbilbatterier> (åpnet mar. 04, 2020).
- [11] «Bislett Stadium success story», *Norway's first sports arena with Eaton xStorage Buildings*. <https://www.eaton.com/br/en-us/products/energy-storage/bislett-stadium-success-story.html> (åpnet mar. 18, 2020).
- [12] Dag Ingvar Jacobsen, *Hvordan gjennomføre undersøkelser*, 3. utg. Cappelen Damm akademisk, 2015.
- [13] R. Marker, «Brukte elbilbatterier gir 220 v på hytta», *NRK*, jun. 10, 2018. <https://www.nrk.no/vestfoldogtelemark/brukte-elbilbatterier-gir-220-v-pa-hytta-1.14031967> (åpnet mar. 04, 2020).
- [14] Olav Torp, «Litteraturstudie Tidligfasevurderinger av prosjekter», NTNU, NTNU, Institutt for bygg- og anleggsteknikk, 01–10, feb. 2002. Åpnet: mar. 12, 2020. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.ntnu.no/documents/1261860271/1262021752/054_rapport_02_litteraturstudie_tidligfase_final.pdf.
- [15] E. Wæhle og S. Dahlum, «case-studie», *Store norske leksikon*, apr. 20, 2018. <http://snl.no/case-studie> (åpnet mar. 04, 2020).
- [16] L. C. Casals, B. Amante García, og C. Canal, «Second life batteries lifespan: Rest of useful life and environmental analysis», *J. Environ. Manage.*, bd. 232, s. 354–363, feb. 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2018.11.046.
- [17] Lisa Henden, Torgeir Ericson, Audun Fidje, Jon Erling Fonnelløp, Olav Isachsen, Ellen

- Skaansar, Dag Spilde, «Batterier i bygg kan få betydning for det norske kraftsystemet», NVE, Oslo, 66–2017, aug. 2017. Åpnet: feb. 15, 2020. [Online]. Tilgjengelig på: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_66.pdf?fbclid=IwAR35zBvcwKyHqEBT9iZWoe9_ej4km3pKyYuTkD-e_QBHbrT7uCVj7Rs4pLQ.
- [18] «Battery Capacity Loss – Electric Vehicle Wiki», okt. 12, 2018. <http://www.electricvehiclewiki.com/wiki/battery-capacity-loss/> (åpnet mar. 07, 2020).
- [19] The Editorial Team, «The price of an electric car battery», *Easy Electric Life*, nov. 28, 2019. <https://easyelectriclife.groupe.renault.com/en/day-to-day/charging/what-is-the-price-of-an-electric-car-battery/> (åpnet mar. 18, 2020).
- [20] A. Moum, Skaar, Christofer, og Midthun, Kjetil, «Sirkulær økonomi i morgendagens byggenæring», SINTEF Byggforsk, 102015054, mai 2017. Åpnet: apr. 03, 2020. [Online]. Tilgjengelig på: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2491795/SINTEF%2bByggforsk%2b-%2bSirkul%25C3%25A6r%2b%25C3%25B8konomi%2bi%2bmorgendagens%2bbyggen%25C3%25A6ring%2b%25282017-05-08%2529.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- [21] S. H. Mohr, G. M. Mudd, og D. Giurco, «Lithium Resources and Production: Critical Assessment and Global Projections», *Minerals*, bd. 2, nr. 1, s. 65–84, mar. 2012, doi: 10.3390/min2010065.
- [22] Battery University, «Availability of Lithium – Battery University», jul. 16, 2019. https://batteryuniversity.com/learn/article/availability_of_lithium (åpnet mar. 07, 2020).
- [23] Ung Energi, «Batteri | UngEnergi», 07 2019. <https://ungenergi.no/energibaerere/elektrisitet/batteri/> (åpnet mar. 07, 2020).
- [24] N. Nitta, F. Wu, J. T. Lee, og G. Yushin, «Li-ion battery materials: present and future», *Mater. Today*, bd. 18, nr. 5, s. 252–264, jun. 2015, doi: 10.1016/j.mattod.2014.10.040.
- [25] Mario Pagliaro og Francesco Meneguzzo, «Lithium battery reusing and recycling: A circular economy insight | Elsevier Enhanced Reader», *Heliyon*, bd. 5, s. 7, jun. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01866>.
- [26] J. M. Tarascon og M. Armand, «Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries», *Nat. Lond.*, bd. 414, nr. 6861, s. 359–67, nov. 2001, doi: <http://dx.doi.org.galanga.hvl.no/10.1038/35104644>.
- [27] I. Gunvaldsen, S. Mathiesen, og K. A. Rosvold, «Batteri», *Store norske leksikon*. jul. 24, 2019, Åpnet: mai 23, 2020. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/batteri>.
- [28] Batteriretur, «Høyenergibatterier», *Batteriretur*. <https://batteriretur.no/hoyenergibatterier/> (åpnet mar. 07, 2020).
- [29] emma.berthold@science.org.au, «Lithium-ion batteries», *Curious*, mar. 15, 2016. <https://www.science.org.au/curious/technology-future/lithium-ion-batteries> (åpnet mai 23, 2020).
- [30] Dag Eilhelm Aarsland, «NULLFIB», Jernbanedirektoratet, Prosjektnr:21007122 Saksnr: 201900404-1. Åpnet: feb. 15, 2020. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.jernbanedirektoratet.no/contentassets/8a4e22f34a3147d8b7c94e2843abfd3d/delrapport-2--vedlegg-b---batteriteknologi.pdf>.
- [31] S. Barcellona, M. Brenna, F. Foadelli, M. Longo, og L. Piegari, «Analysis of Ageing Effect on Li-Polymer Batteries», *Sci. World J.*, bd. 2015, 2015, doi: 10.1155/2015/979321.
- [32] Battery University, «C-Rate for Batteries», *BU-402: What Is C-rate?*, mar. 09, 2017. https://batteryuniversity.com/learn/article/what_is_the_c_rate (åpnet mar. 07, 2020).
- [33] Battery universe, «Battery Aging in an Electric Vehicle (EV) – Battery University», aug. 27, 2019. https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_1003a_battery_aging_in_an_electric_vehicle_e_v (åpnet mar. 07, 2020).

- [34] Nissan, «Eierskap - Tjenester - Garantier | Nissan». <https://www.nissan.no/eierskap/nissan-tjenester/nissan-garantier.html> (åpnet mar. 18, 2020).
- [35] «Nye IONIQ electric», *Hyundai Norway*. <https://www.hyundai.no/modeller/nye-ioniq-electric/> (åpnet mar. 18, 2020).
- [36] Norsk elbilforening, *Hva skjer med elbilbatteriene?* 2020.
- [37] foeurope, «Lithium factsheet», *lithium*. https://www.foeurope.org/sites/default/files/publications/13_factsheet-lithium-gb.pdf (åpnet feb. 20, 2020).
- [38] S. Nowak og M. Winter, «The Role of Sub- and Supercritical CO₂ as “Processing Solvent” for the Recycling and Sample Preparation of Lithium Ion Battery Electrolytes», *Molecules*, bd. 22, nr. 3, s. 403, mar. 2017, doi: 10.3390/molecules22030403.
- [39] KnowMade, «Status of the Battery Patents», *KnowMade*. <https://www.knowmade.com/downloads/status-of-the-battery-patents/> (åpnet mar. 07, 2020).
- [40] L. Research, «Recycling, not Reuse, Is the Better Choice for Batteries from Retired Electric Vehicles». <https://www.luxresearchinc.com/press-releases/recycling-not-reuse-is-the-better-choice-for-batteries-from-retired-electric-vehicles> (åpnet mar. 07, 2020).
- [41] «L'économie circulaire de la batterie de voiture électrique», *Easy Electric Life*, aug. 30, 2019. <https://easyelectriclife.groupe.renault.com/fr/tendances/technologie/economie-circulaire-batterie-de-vehicule-electrique/> (åpnet mar. 07, 2020).
- [42] «EcoStore», *A second life for electric vehicle batteries*. <https://eco-stor.com> (åpnet mar. 18, 2020).
- [43] Off Grid Solar, «How to Build a Lithium-Ion Battery System for less than \$400 per kWh», *Off Grid Solar Book*, mai 29, 2019. <https://offgridsolarbook.com/blog/2019/5/29/second-life-battery-pack-with-nissan-leaf-modules> (åpnet mar. 07, 2020).
- [44] Eaton, «xStorage Home | Energy Storage | Eaton». <https://www.eaton.com/gb/en-gb/catalog/energy-storage/xstorage-home.html> (åpnet mar. 18, 2020).
- [45] Alternativ energi, «Litium kraftpakke (12/24/48V) - Alternativ Energi AS». <https://www.alternativenergi.no/categories/litium-kraftpakke-12-24-eller-48v> (åpnet mar. 18, 2020).
- [46] «På verdenstoppen i bruk av strøm», *ssb.no*. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/pa-verdenstoppen-i-bruk-av-strom> (åpnet mar. 07, 2020).
- [47] DNV GL, «Batterier i distribusjonsnett», NVE, Høvik, Norway, 2017–1199, Rev. 1, des. 2017. Åpnet: feb. 15, 2020. [Online]. Tilgjengelig på: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2018/rapport2018_02.pdf.
- [48] «Les batteries de voitures électriques au service de la transition énergétique», *Easy Electric Life*, sep. 25, 2018. <https://easyelectriclife.groupe.renault.com/fr/tendances/energie/vers-le-plus-grand-stockage-stationnaire-denergie-en-europe/> (åpnet mar. 18, 2020).
- [49] «Hva er en vekselretter?», *Otovo*. <https://www.otovo.no/faq/hva-er-en-vekselretter> (åpnet mar. 07, 2020).
- [50] R. F. Mikalsen, C. Sesseng, og K. Storesund, «SAFETY & TRANSPORT RISE FIRE RESEARCH», 02/2019, feb. 2020. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/andre-rapporter/rise-rapport-2019_2-energieffektive-bygg-og-brannsikkerhet.cleaned.pdf.
- [51] Fortum, «Lithium-ion Battery Recycling Solution | Fortum». <https://www.fortum.com/products-and-services/fortum-battery-solutions/recycling/lithium-ion-battery-recycling-solution> (åpnet mar. 07, 2020).
- [52] S. H. Farjana, N. Huda, og M. A. P. Mahmud, «Life cycle assessment of cobalt extraction process», *J. Sustain. Min.*, bd. 18, nr. 3, s. 150–161, aug. 2019, doi:

10.1016/j.jsm.2019.03.002.

[53] A. Katwala, «The spiralling environmental cost of our lithium battery addiction», *Wired UK*, aug. 05, 2018.

[54] H. Pinegar og Y. R. Smith, «Recycling of End-of-Life Lithium Ion Batteries, Part I: Commercial Processes», *J. Sustain. Metall.*, bd. 5, nr. 3, s. 402–416, sep. 2019, doi: 10.1007/s40831-019-00235-9.

[55] Duesenfeld, «Ecofriendly recycling of lithium-ion batteries». https://www.duesenfeld.com/recycling_en.html (åpnet mar. 18, 2020).

[56] L. Gaines, «The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course», *Sustain. Mater. Technol.*, bd. 1–2, s. 2–7, des. 2014, doi: 10.1016/j.susmat.2014.10.001.

[57] Battery university, «How to Recycle Batteries - Battery University», *BU-705: How to Recycle Batteries*, sep. 13, 2019. https://batteryuniversity.com/learn/article/recycling_batteries (åpnet mar. 07, 2020).

[58] Enova, «Kommersiell utprøving av innovativ byggteknologi | Enova». <https://www.enova.no/bedrift/bygg-og-eiendom/kommersiell-utproving-av-innovativ-byggteknologi/> (åpnet mar. 07, 2020).

[59] Enova, «Introduksjon av ny teknologi i bygg og områder | Enova». <https://www.enova.no/bedrift/bygg-og-eiendom/introduksjon-av-ny-teknologi-i-bygg-og-omrader/> (åpnet mar. 07, 2020).

[60] FN-sambandet, «Klimaendringer», sep. 24, 2019. <https://www.fn.no/Tema/Klima-og-miljoe/Klimaendringer> (åpnet mar. 18, 2020).

[61] NVE, «Vannkraft - NVE», nov. 01, 2019. <https://www.nve.no/energiforsyning/kraftproduksjon/vannkraft/?ref=mainmenu> (åpnet mar. 16, 2020).

[62] Sira-Kvina, «Fornybar energi - Sira-Kvina kraftselskap», *Fornybar energi*. <https://www.sirakvina.no/fornybar-energi/category945.html> (åpnet mar. 16, 2020).

[63] NVE, «Solkraft - NVE», nov. 01, 2019. <https://www.nve.no/energiforsyning/kraftproduksjon/solkraft/?ref=mainmenu> (åpnet mar. 16, 2020).

[64] Multiconsult og Asplan Viak, «Solcellesystemer og sol i systemet», Solenergiklyngen, 10200404-1080-RAP-001, mar. 2018. Åpnet: feb. 28, 2020. [Online]. Tilgjengelig på: http://solenergiklyngen.no/app/uploads/sites/4/180313-rapport_solkraft-markedsutvikling-2017-endelig.pdf.

[65] Ragnhild Bjelland-Hanley og Trine Kopstad Berentsen, «Solenergi-noe for din kommune?» jun. 11, 2019, Åpnet: feb. 28, 2020. [Online]. Tilgjengelig på: <http://solenergiklyngen.no/app/uploads/sites/4/bestiller-og-innkjoperkompetanse-om-solenergi-i-offentlig-sektor.pdf>.

[66] Richard Komp, *How do solar panels work? - Richard Komp*. 2016.

[67] «Solceller virkemte», *Solceller virkemte*, jun. 24, 2013. <http://belysningbolig.blogspot.com/2013/06/solceller-virkemte.html> (åpnet mai 23, 2020).

[68] Vindportalen, «Vindkraft i Norge i dag», jan. 27, 2020. <https://www.vindportalen.no/> (åpnet mar. 16, 2020).

[69] Marte Lundsbakken, «Forslag til nasjonal ramme for vindkraft», NVE, Middelthunsgate 29 Postboks 5091 Majorstuen 0301 OSLO, NR 12-2019, apr. 2019. Åpnet: mar. 04, 2020. [Online]. Tilgjengelig på: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2019/rapport2019_12.pdf.

[70] Daimler, «World's largest 2nd-use battery storage is starting up», *World's largest 2nd-use battery storage is starting up*. <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Worlds-largest-2nd-use-battery->

storage-is-starting-up.xhtml?oid=13634457 (åpnet mar. 19, 2020).

[71] Energifakta Norge, «Strømnettet», *Energifakta Norge*.

<https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftnett/> (åpnet mar. 16, 2020).

[72] Andreas Bjelland Eriksen *mfl.*, «Endringer i nettleiestrukturen», NVE, Reguleringsmyndigheten for energi Middelthunsgate 29 Postboks 5091 Majorstua 0301 OSLO, nr. 01/2020, feb. 2020. Åpnet: mar. 19, 2020. [Online]. Tilgjengelig på:

http://publikasjoner.nve.no/rme_hoeringsdokument/2020/rme_hoeringsdokument2020_01.pdf

[73] Statnett DF, «Strømnettet på Vestlandet mot 2025», Statnett SF, 2011. Åpnet: feb. 12, 2020. [Online]. Tilgjengelig på:

<https://www.statnett.no/contentassets/e89ef48ccfe5429bb2088c68c790bae3/strom-pa-vestlandet-mot-2025.pdf>.

[74] Energifakta Norge, «Kraftmarkedet», *Energifakta Norge*, okt. 09, 2019.

<https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftmarkedet/> (åpnet apr. 16, 2020).

[75] Incube, «Innovasjon». <http://www.incube.no/innovation> (åpnet apr. 16, 2020).

[76] Pål Unanue-Zahl og Jørgen Elton Nilsen, «Teknologiutviklingen og potensielle paradigmeskifter», NTNU, 2018–3. Åpnet: apr. 16, 2020. [Online]. Tilgjengelig på:

<https://www.ntnu.no/documents/1261860271/1262021752/Teknologiutviklingen+og+potensielle+paradigmeskifter+%286%29.pdf/cc212f23-238e-439a-9890-19ad0e988bd6?version=1.0>.

[77] Gudmund Bartnes, Jonas Skaare Amunsden, og Ingrid Bjørshol Holm,

«Kraftmarksanalyse 2018-2030», NVE, Norges vassdrags- og energidirektorat Middelthunsgate 29 Postboks 5091 Majorstua 0301 OSLO, 84–2018, okt. 2018. Åpnet: feb.

12, 2020. [Online]. Tilgjengelig på:

http://publikasjoner.nve.no/rapport/2018/rapport2018_84.pdf.

[78] Statnett, «Strømkabelen til England har sikret de første inntektene», *Statnett*.

<https://www.statnett.no/om-statnett/nyheter-og-pressemedlinger/nyhetsarkiv-2020/stromkabelen-til-england-har-sikret-de-forste-inntektene/> (åpnet mar. 20, 2020).

[79] Statnett, «NordLink», *Statnett*. <https://www.statnett.no/vare-prosjekter/mellomlandsforbindelser/nordlink/> (åpnet mar. 20, 2020).

[80] «Thermal runaway», *Wikipedia*. mar. 12, 2020, Åpnet: mai 23, 2020. [Online].

Tilgjengelig på:

https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Thermal_runaway&oldid=945224627.

[81] P.G. Balakrishnan, R. Ramesh, og T. Prem Kumar, *Journal of Power Sources*, 2. utg., bd. 155. 6fvt.

[82] Norsk elektroteknisk norm, «Elektriske lavspenningsintallasjoner», Norsk elektroteknisk norm, 2/2018, nov. 2018. Åpnet: feb. 20, 2020. [Online]. Tilgjengelig på:

<https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NEK400>.

[83] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK1/) med veiledning».

<https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek1/> (åpnet mar. 20, 2020).

[84] LOVDATA, «Forskrift om brannforebygging - Lovdata», des. 17, 2015.

<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-12-17-1710> (åpnet mar. 20, 2020).

[85] Statnett SF, «Årsstatistikk 2018, driftsforstyrrelser, feil og planlagte utkoplinger i 1-22 kV-nettet». Statnett SF, jun. 30, 2019, Åpnet: mar. 10, 2020. [Online]. Tilgjengelig på:

<file:///Users/martineronning/Downloads/arsstatistikk-2018-1-22-kv.pdf>.

[86] Statsnett SF, «Årsstatistikk 2018, driftsforstyrrelser og feil i 33-420 kV-nettet».

Statnett SF, jun. 30, 2019, Åpnet: mar. 10, 2020. [Online]. Tilgjengelig på:

<file:///Users/martineronning/Downloads/arsstatistikk-2018-33-420-kv.pdf>.

[87] Jarand Hole og Hallgeir Horne, «Batterier vil bli en del av kraftsystemet», NVE,

Middelthunsgt. 29 Postboks 5091, Majorstuen 0301 Oslo, Nr. 14/2019, 2019. Åpnet: mar. 10, 2020. [Online]. Tilgjengelig på:

http://publikasjoner.nve.no/faktaark/2019/faktaark2019_14.pdf.

[88] Statnett, «Lærdom etter strømbrudd i UK 9. august». Statnett SF, des. 13, 2019, Åpnet: mar. 10, 2020. [Online]. Tilgjengelig på:

<https://www.statnett.no/contentassets/50f4342ff47349ec80dfb5c1021e5d0d/2019-12-13----samarbeidsforum-tso-dso----lardommer-etter-strombrudd-i-uk-9.-august.pdf>.

[89] nationalgrideso, «Technical Report on the events of 9 August 2019». nationalgrideso, nov. 06, 2019, Åpnet: mar. 04, 2020. [Online]. Tilgjengelig på:

<https://www.nationalgrideso.com/document/152346/download>.

[90] I. M. Liseter, «avbruddsfri strømforsyning», *Store norske leksikon*. sep. 23, 2019, Åpnet: apr. 01, 2020. [Online]. Tilgjengelig på:

http://snl.no/avbruddsfri_str%C3%B8mforsyning.

[91] «Charging at High and Low Temperatures».

https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_at_high_and_low_temperatures (åpnet apr. 15, 2020).

[92] NordPool, «Market data». <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/NO/Daily/> (åpnet apr. 27, 2020).

[93] N. M. C. Ltd, «“Vehicle to Home” Electricity Supply System», *NISSAN TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT ACTIVITIES*.

/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/vehicle_to_home.html (åpnet apr. 03, 2020).

[94] «xComfort – gjør huset ditt smartere | Eaton».

<http://www.eaton.no/EatonNO/ProdukterLosninger/Elektriske/ProdukterTjenester/BoligNaeringsbygg/xComfort/index.htm> (åpnet apr. 03, 2020).

[95] «Smarthus», *Systemintegrering AS*. <https://www.systemintegrering.no/smarthus> (åpnet apr. 03, 2020).

[96] «A Behind the Scenes Take on Lithium-ion Battery Prices», *BloombergNEF*, mar. 05, 2019. <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/> (åpnet mai 23, 2020).

[97] «Smart nettleie • Glitre Energi Nett AS», *Glitre Energi Nett AS*.

<https://www.glitreenergi-nett.no/smart-nettleie/> (åpnet mai 23, 2020).

[98] «Strøm fra fornybare kilder | Fortum.no». <https://www.fortum.no/strom/strom-fra-fornybare-kilder> (åpnet apr. 06, 2020).

[99] «Elbil bedre enn eksosbil i livsløp». <https://elbil.no/elbil-bedre-enn-eksosbil-i-livsløp/> (åpnet apr. 06, 2020).

[100] «Nei, elbiler er ikke brannfarlige». <https://elbil.no/slik-vinner-du-elbildiskusjonen-6/> (åpnet apr. 15, 2020).

Liste over Figurer

Figur 1- Galvanisk celle [27]	9
Figur 2- Utlading av et batteri [29]	10
Figur 3- Opplading av et batteri [29]	10
Figur 4- Effekt av batteribank på strømmettet [47].....	13
Figur 5- Framtidig avfalls-prognoser av Bloomberg [5].....	15
Figur 6- Utvikling av installert solkraft [63].....	19
Figur 7- P-N overgang [67].....	20
Figur 8- Oppbygging av vindturbin [69].....	21
Figur 9- Strømmettet i Norge [72]	23
Figur 10- Effekttopp [7]	24
Figur 11- Målt effekt [72]	25
Figur 12- Abonnert effekt [72].....	26
Figur 13- Sikringsdifferensiert nettleie [72].....	26
Figur 14- Peak shaving [76].....	27
Figur 15- Thermal runaway [80].....	28
Figur 16- Forbruk januar enebolig	35
Figur 17- Forbruk juni enebolig.....	35
Figur 18- Prisscenarioer enebolig	37
Figur 19- Forbruk januar næringsbygg	38
Figur 20- Forbruk juni næringsbygg	38
Figur 21- Effektprising næringsbygg	38
Figur 22- Prisscenario med effektpris 0%	40
Figur 23- Prisscenario med effektpris 20%	41

Figur 24- Prisscenario med effektpris 40%	42
Figur 25- Prisscenario med effektpris 60%	43
Figur 26- Forbruk januar nabolag	44
Figur 27- Forbruk juni nabolag	45
Figur 28- Kraftproduksjon januar 2019 VS 2014	48
Figur 29- Estimerte spotpriser en vilkårlig uke i januar.....	49
Figur 30- Prisscenario med estimerte spotpriser for 2040, enebolig	51
Figur 31- Prisscenario med estimerte spotpriser for 2040, næringsbygg.....	52
Figur 32- Prisutvikling på litium-ion batterier av Bloomberg [95].....	55
Figur 33- En vanlig strømdag VS en optimal strømdag [96].....	57

Liste over Tabeller

Tabell 1- Degraderingsfaktorer	12
Tabell 2- Årsaker til thermal runaway.....	29
Tabell 3- NPV resultater, enebolig.....	36
Tabell 4- NPV resultater, næringsbygg.....	39
Tabell 5- NPV resultater, nabolag.....	45
Tabell 6- Spot og variabel nettleie ledd, dvs. alle variable ledd tatt med.....	48
Tabell 7- Oversikt over NPV med fremtidige prisscenarioer.....	50
Tabell 8- Fremtidig besparelse med de ulike prissenarioene	50

Vedlegg

Vedlegg 1

Prisoversikt for effektmålte anlegg fra 1. januar 2020

Prisene under er eksklusiv alle avgifter

Forbruksavgift: 16,13 øre/kWh
 Avgift til Enovas energifond: 800 kroner per år per anlegg
 MVA: 25%

Sesong	Fastledd kr/år	Forbruksavhengig ledd øre/kWh	Effektledd kr/kW per måned
NETTNIVÅ 1 (300 kV – 45 kV)			
Sommer	0	Beregnes	35,20
Vinter	0	Beregnes	48,60
NETTNIVÅ 2 (22 kV – 11 kV) tilknytning i sekundærstasjon			
Sommer	0	Beregnes	41,90
Vinter	0	Beregnes	58,00
NETTNIVÅ 3 (22 kV – 11 kV)			
Sommer	25 000	2,0	50,10
Vinter		2,2	63,30

NETTNIVÅ 4/5 (400 V - 230 V)				
			0-200 kW	Over 200 kW
Hovedsikringer fra og med 125 A til og med 330 A				
		øre/kWh	kr/kW	kr/kW
Sommer	10 500	4,3	53,90	47,30
Vinter		4,9	62,70	52,80
Hovedsikringer større enn 330 A				
Sommer	22 000	3,6	58,20	51,00
Vinter		4,2	67,70	57,00

(Sommer: 1/4 - 30/9, vinter: 1/10 – 31/3)

Vedlegg 2



Tekniske spesifikasjoner

Oversikt kombinasjoner for xStorage Home enfasesystem						
Batterikapasitet (nominell)	Effekt på AC-inverter (nominell)			Anbefalt PV-effektområde	Full systemvekt (ca.)	Full systemmål (ca.) H x B x D
4,2 kWh	3,6 kW	4,6 kW	6 kW	fra 3 kWp til 7 kWp	120 kg	1230 mm x 890 mm x 220 mm
6 kWh						
10,08 kWh						
EFFEKTOMRÅDE						
Hybridinverter	3,6 kW XSTH1P036P060V11			4,6 kW XSTH1P046P060V11	6 kW XSTH1P060P060V11	
PV-INNGANG (DC)						
Anbefalt effektområde PV	Fra 3 kWp til 7 kWp for hver MPPT-tracker					
Maks. DC-spenning	550 V					
Nominell DC driftsspenning	100 V til 550 V					
Maks. inngangsstrøm per MPPT	20 A					
Matespenning	150 V					
Isc PV	35 A					
Maks tilbagemating fra inverter til strømmettet	0					
Antall MPPT-trackere	2					
DC-isolasjonsmotstand	VDE0126 og VDE0126-1-1/A1: R _{iso} > 1,5 MΩ, andre: R _{iso} > 500 kΩ					
BATTERIINNGANG/-UTGANG (DC)						
Cellekjemi	LMO (litiummanganoxid) og NMC (litiumnikkelmangankobolt)					
Maks. ladestrøm/utladningsstrøm DC	70 A	70 A	75 A			
Spenningsområde DC-batteri	74,4 V til 100,8 V					
Merkespenning for batteri	90 V					
Maks. ladestrøm/utladningsstrøm DC	3830 W	4894 W	6383 W			
LOAD/GRID OUTPUT (AC)						
Nominell utgangseffekt	3600 VA	4600 VA	6000 VA			
Maks. kritisk ladeeffekt	100 % av nominell utgangseffekt					
Nominell nettspenning (AC)	230 V (koblet til nett), 230 V ± 3 % (frakoblet nett)					
Nominell frekvens	AC synkronisert drift 50 Hz/60 Hz ± 1 Hz					
Nominell AC-utgangsstrøm	15,6 A	20 A	26 A			
Maks AC-strøm	17,4 A ¹	22,3 A	29 A			
AC-nettsystemer	Enfase/N/PE, TN, TT, IT (ekstra sikring eller effektbryter påkrevd)					
Total harmonisk forvrengning (THD)	< 3 %					
Effektfaktor	0,99 (koblet til nett), 0,9 (ind) – 0,9 (kap) (koblet til nett – PF-regulering, frakoblet nett)					
Måleevne	Effektmåling av kritisk last og PV-produksjon					
Min. overføringstid (tilkoblet nett til frakoblet nett)	< 20 ms					
EFFEKTIVITET						
MPPT-effektivitet	> 99 %					
Maks. effektivitet (batteri til vekselstrøm (AC))	> 90 %					
PV til maks netteffektivitet	97 %					
GRENSESNIITT						
Kommunikasjon	LAN, RS-485 (til målerne), USB-vert (med USB WIFI-dongle)					
	USB: Type B for oppgradering av fabrikantens programmer					
	CAN BUS: Bare for batteripakke – intern kommunikasjon i inverter					
Kommunikasjonsprotokoller	HTTP, REST API					
LED-indikatorer	Grønn (PÅ) : Normal status; rød (PÅ) : Feilstatus. Inverteren kan ikke kobles til nettet; Grønn (blinkende) : Kommunikasjonsaktivitet					
Display	LCM-skjerm: Antall tegn 16 ord, 2 linjer, 3 funksjonstaster					
STANDARDER						
EMC/EMI-standard	Klasse A IEC 61000-3-2; IEC 61000-3-3 (XSTH1P036P060V11); IEC 61000-3-12; IEC 61000-3-11 (XSTH1P046P060V11 og XSTH1P060P060V11)					
Standarder	EN 62109 (del 1:2010, del 2:2011); DIN V VDE V0126-1:2013					
FYSISKE EGENSKAPER						
Mål	515 mm x 730 mm x 182 mm (H x B x D)					
Vekt	40 kg					

1. For britiske installasjoner, i henhold til G98-sertifisering av produktet, er maksimal vekselstrøm under 16 A via produktets fastvare.

EATON xStorage Home

Batteripakke	BATTERITYPE		
	BRUKTE BATTERIER	NY	
	XSTH1U12EV2	XSTH2N12EV2	XSTH4N6EV2
Nominell kapasitet	4,2 kWh	6 kWh	10,08 kWh
Cellekjemi	LMO (litiummanganoksyd)	NMC (litiumnikkellmangankobolt)	
DC-batteri, spenningsområde	74,4 V til 99,6 V		74,4 V til 100,8 V
Merkespenning for batteri	90 V		
Beskyttelse mot overladning	DC-bryter + kontakt		
Maksimal utladning	90 %		
Standarder	EN 62619:2017; UN 34.81; UN 38.3; CE		
EMC/EMI-standard	Klasse B (EN 61000-6-3:2007; EN 61000-6-1:2007)		
Fysiske egenskaper			
Mål	442 mm x 781 mm x 175 mm (H x B x D)		
Vekt	68 kg		

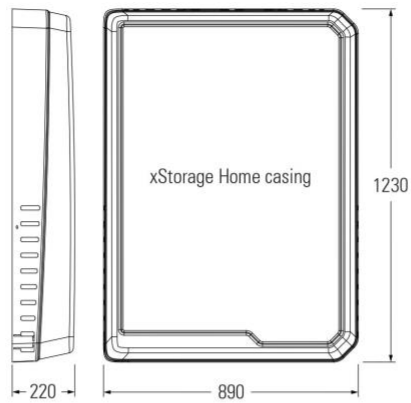
Generelle systemspesifikasjoner	XSTORAGE HOME-SYSTEM	
	Gjelder for alle systemkombinasjoner	
SIKKERHET		
Beskyttelsesgrad (IP grad)	IP20 ²	
Begrensning av farlige stoffer	Blyfri, overholdelse av RoHS GP2	
Standarder	CE - LVD: 2014/35/EU; EMCD: 2014/30/EU (EN 61000-6-3:2007+A1:2011; EN 61000-6-2:2005); RoHS: 2011/65/EU (EN 50581:2012); EN 62109 (del 1: 2010, del 2: 2011)	
Beskyttelsesklasse	I	
DRIFTSFORHOLD		
Lagringstemperatur	Fra -10 °C til +40 °C	
Driftstemperatur	0 °C til 30 °C	
Luftfuktighet	5 % til 95 % relativ luftfuktighet (ikke-kondenserende)	
Akustisk støy	35 dB (innendørs bruk)	
Høyde	Høyde: maks 2000 meter	
Kjøling	Naturlig luftstrøm	
ANNET		
DC-bryter for solceller	Integrert	
Topologi	Transformatorløs	
Integrasjon i nett	AC-koblet	
Nettsertifikater	DE (VDE-AR-N 4105 : 2018.11; DIN VDE V 0124-100:2012-07); UK (G98, G99, G83/1-1 og G59/1/Ni for Nord-Irland); FR (UTE C15-712-1, Enedis/ERDF-NOI-RES_13E-V6:2016.07, SEI REF04_V7 for ikke-sammenhengende område); IT (CEI 0-21); BE (C10-11); SP (RD 1699:2011); EU (EN 50438:2013)	
Vanlige brukstifeller	Nettilkobling: egenforbruk; frakoblet nett: backup	
OV-kategori	OVC II (PV og batteri), OVC III (AC-nett/last)	
Forurensningsgrad	2	

2. Innendørs, med alle strømkabler tilkoblet

Garanti	3,6 kW	4,6 kW	6 kW
4,2 kWh		5 år ³	
6 kWh			
10 kWh		10 år ³	

3. fulle syklus per dag, dvs. én ladning/utladning

xStorage Home – mål



Eaton
EMEA Headquarters
Route de la Longeraie 7
1110, Morges, Sveits
Eaton.com/xstorage

© 2019 Eaton
Med enerett
Publikasjonsnr. TD700001NO / CSSC-1784
April 2019

Eaton er et registrert varemerke.
Alle andre varemerker er eid
av sine respektive eiere.

xStorage Buildings Compact

Single rack energy storage system

All in one

Eaton xStorage Buildings is now available in a single rack version. This compact, ready-to-use and expandable solution is the perfect choice for energy storage applications in high-end residential and light commercial buildings.

Key features

- Battery pack with proprietary Battery Management System (BMS)
- Up to 10 kWh per battery pack (50 kWh per string)
- Bidirectional 3-phase converter up to 40 kW
- Integrated Human-Machine Interface (HMI) and application controller

Benefits



Multi-usage system enabling PV self consumption, peak shaving, load shifting, back-up power, electric vehicle charging station integration



One single supplier providing you with one point of contact for certifications, warranty and services



Scalable, modular and quick to deploy



Highly efficient with minimum system losses



Safe and reliable from tested system controls to proprietary BMS



Small system footprint – All included in less than 1 sqm/rack



This is a visual representation. The final product may differ.

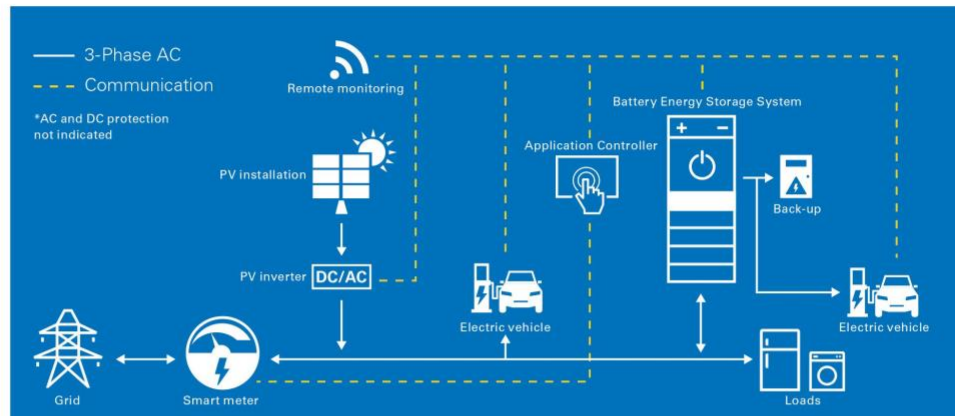
Eaton.com/xstorage



Single rack energy storage system

A multifunctional system

xStorage Buildings enables light commercial building facility managers and operators to store energy from renewable sources or the grid to improve the building resiliency and reduce its carbon footprint. The system can also provide use cases such as peak shaving, load shifting or maximize PV self consumption.



Technical specifications

Eaton.com/xstorage

Battery		
Nominal system capacity	21 kWh (2nd life batteries @70% SOH)	50 kWh (100% SOH)
Modularity	additional 42 kWh/rack	additional 100 kWh/rack
Cell Chemistry	LMO (Lithium Manganese Oxide)	NMC (Lithium Nickel Manganese Cobalt)
BMS	1 BMS per battery pack (5 BMS per battery string to ensure safety and monitoring performance)	
Battery warranty	Up to 5 years	Up to 10 years
Max. charge/discharge current DC	130 A	132 A
Compliance and standards	CE: IEC 62619; IEC 62620; UN 34.80; UN 38.3; IEC 61000-6-2 ; IEC 6100-6-4	
System		
Conversion power range	20 kW - 40 kW	
Nominal AC Grid Voltage	220/380V; 230/400V; 240/415V; 3-phase (TN, TT, IT 4-wire)	
Rated output frequency	50/60 Hz; configurable	
Topology	Bidirectional rectifier/inverter - Backup	
Full system dimensions H x W x D (appr.)	2020 mm x 600 mm x 1040 mm	
Full system weight (appr.)	From 690 kg to 725 kg	
Degree of protection	IP20	
Topology / Grid integration	Transformerless / AC coupled grid tie / Grid forming	
Operating environment	From 0 °C to 35°C / From 5 % to 95% relative humidity (non-condensing) / pollution degree 2	
Application controller capability	Back up, peak shaving, load shifting, PV self consumption and EV integration	
Installation accessibility	Front (900 mm clearance) / top (300 mm cable access) / side access / rear (0 mm)	
Round trip efficiency	> 85%	
THD	<1.5% @100% linear load	
Communication protocol	Modbus TCP (Eaton XV303 interface capability)	
Compliance and standards	CE: EN 50549-1; G99; VDE-AR-N 4105; CEI-021; other with external grid protection relay	



©2019 Eaton
All rights reserved

