



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2023 30 stp.

Handelshøyskolen, NMBU
Marie Steen og Ole Gjølberg

Hvordan påvirker metallprisene lønnsomheten i batterigjenvinning?

How Do Metal Prices Affect the Profitability of
Battery Recycling?

Øyvind Rolland & Guro Stamnestrø

Master i Økonomi og Administrasjon

Forord

Denne oppgaven er en avslutning av vårt masterprogram i økonomi og administrasjon ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Denne skriveprosessen har vært utfordrende, gøy og lærerik. Det har vært veldig spennende få å lære om batterigjenvinning, samt mer om metaller og metallmarkeder.

Vi ønsker å takke de som har bidratt til oppgavens ferdigstillelse. Først rettes en takk til Marie Steen og Ole Gjølberg for stødig veiledning gjennom arbeidet med denne oppgaven. Vi takker også Argonne National Laboratory som har konstruert modellen EverBatt, som deler av denne oppgaven bygger på. Til sist må vi rette en takk til de som har vært behjelpelige med korrekturlesning og til vår seminargruppe.

Alle feil i denne oppgaven er våre egne. Vi er hverken kjemikere eller batteriingeniører, men har gjort vårt beste for å opparbeide og videreformidle den kunnskap som har vært relevant for vår problemstilling.

EverBatt-modellen finner man via linken <https://www.anl.gov/amd/everbatt>. Ta gjerne kontakt med oss om dere ønsker vår versjon, som etter beste evne er justert for det norske markedet. Forfatterne av denne oppgaven kan nås på epost oyvind.rolland@outlook.com og gurostamnestro@hotmail.com.

Sammendrag

Det grønne skiftet har ført med seg en betydelig økning i etterspørsel etter metaller som brukes i elbilbatterier. En måte å øke tilbudet på, er gjennom gjenvinning av kasserte batterier, spesielt for å øke tilbudet for bilprodusenter her i Europa hvor vi har lav jomfruelig egenproduksjon.

Lønnsomheten i gjenvinning er avhengig av metallprisene på verdensmarkedet, da de representerer verdien man kan få for gjenvunnet metall. Disse prisene er volatile og vanskelige å prognostisere over horisonter som er relevante for investeringer i gjenvinningsanlegg. Målet for denne oppgaven er å undersøke hvordan prisene på de viktigste batterimetallene påvirker lønnsomheten i gjenvinning av elbilbatterier. Vi forsøker ikke å lage eksakte prognoser på metallprisen, men ser isteden på lønnsomhetens følsomhet gitt ulike antakelser om prisendringene.

Vi anvender standard nåverdianalyse for å måle lønnsomheten i gjenvinning av elbilbatterier i basiscaset, og analyserer prosjektets sensitivitet mot metallprisene. Metaller som gjenvinnes i modellen er kobolt, nikkell, kobber og aluminium. Vi diskuterer litium på et kvalitativt nivå utenom modellen fordi det ikke finnes gode beregninger på ekstraksjonsgrad av litium fra gjenvinning. Vi inkluderer metallet da det trolig vil påvirke lønnsomheten i batterigjenvinning i fremtiden. I basiscaset er metallprisene basert på gjennomsnittlige priser fra London Metal Exchange (LME) mellom 2018-2023. Prosjektet er lønnsomt med forutsetningene i basiscaset med en netto nåverdi på 22 millioner USD gitt en total investeringskostnad på 64,6 millioner USD. Likevel er det mange usikre momenter som kan gjøre prosjektet ulønnsomt. Volatiliteten i prisene har vært høyere de siste tre årene sammenlignet med de siste ti årene, og det er synlig positiv korrelasjon mellom enkelte av prisene. På nivå er alle prisene korrelerte med en koeffisient over 0,5, og på endringsform er kobber korrelert med aluminium og potensielt nikkell. Dette gjør at prosjektet er svært følsomt for prisendringer. Det er sannsynlig at prosjektet vil gå gjennom perioder med lav eller negativ kontantstrøm, som potensielt kan gjøre prosjektet vanskelig å gjennomføre.

Prisen på de forskjellige metallene påvirker prosjektet i ulik grad. Ut ifra modellen vi benytter, finner vi at lønnsomheten er mest sensitiv for kobberprisen. Men koboltprisen har både vært mer volatil, og er mer utsatt for risikofaktorer som lav diversifisering i både tilbud og etterspørsel, og en usikker fremtid i batterisammensetningene. Dersom kobolt blir utfaset i batteriene, og koboltprisen kollapser, vil dette kunne ha store konsekvenser for batterigjenvinnere.

Abstract

The transition in the transport sector from fossil fuels to electric vehicles has led to a significant increase in demand for metals used in batteries. Supply can be increased through the recycling of discarded batteries, particularly for car manufacturers in Europe where virgin production of these metals is low.

The profitability of recycling depends on the metal prices on the global market, as they represent the value one can obtain from recycled metal. However, these prices are volatile and difficult to forecast over timeframes relevant to investments in recycling facilities. The objective of this thesis is to examine how the prices of key battery metals impact the profitability in battery recycling. We are not attempting to forecast the metal prices. Instead, we look at the sensitivity to profitability given different assumptions about price changes.

By applying net present value (NPV) analysis, we measure the profitability of recycling of batteries in Norway in a base case and analyze the project's sensitivity to relevant metal prices. Metals used in the model are cobalt, copper, nickel, and aluminum. We discuss lithium on a qualitative level separate from the model as there are no reliable calculations on the extraction rate of lithium from recycling available. Still, we include the metal in our thesis because it is very likely to have a big impact on the profitability of battery recycling in the future. In the base case, metal prices are based on average prices from the London Metal Exchange (LME) between 2018-2023. The project is profitable under the assumptions of the base case with an NPV of 22 million USD, given a total investment cost of 65,6 million USD. However, there are many uncertain factors that can make the project to be unprofitable. Price volatility has been higher in the past three years compared to the last ten years, and there are clear positive correlations between several of the prices. At level, all prices are correlated with a coefficient above 0.5, and in terms of changes, copper show correlation with aluminium and potentially nickel. This makes the project highly sensitive to price changes, and it is likely that the project will experience periods of low or negative cash flow, potentially making it challenging to realize.

The price changes of the different metals affect the project to varying degrees. Based on our model, we find that profitability is most sensitive to the copper price. Nonetheless, the cobalt price has been more volatile and is more exposed to risk factors such as low diversification in both supply and demand and has an uncertain future in battery compositions. If cobalt is phased out in batteries, and the cobalt price collapses, this could have significant consequences for battery recyclers.

Innholdsfortegnelse

| | |
|--|------------|
| FORORD | I |
| SAMMENDRAG | II |
| ABSTRACT | III |
| LISTE OVER TABELLER | V |
| LISTE OVER FIGURER | VI |
| | |
| 1 INNLEDNING | 1 |
| 2 TEORI OM VERDIKJEDER OG BATTERIGJENVINNING | 5 |
| 2.1 VERDIKJEDE FOR GJENVINNING | 5 |
| 2.2 LØNNSOMHET I BATTERIGJENVINNING | 6 |
| 3 METODE – NÅVERDIANALYSE, PRISDATA OG EVERBATT | 10 |
| 4 METALLPRISENE 2013-23 | 13 |
| 4.1 PRISVOLATILITET 2013-23 | 21 |
| 4.2 PRODUKSJON OG MARKED FOR JOMFRUELIG METALL | 24 |
| 4.3 POLITISKE, ØKONOMISKE OG TEKNOLOGISKE PRISDRIVENDE FAKTORER I METALLMARKEDENE | 29 |
| 4.4 SAMVARIASJON I BATTERIMETALLPRISENE OG MULIGHETENE FOR SIKRING I FUTURESMARKEDER | 35 |
| 4.5 OPPSUMMERING AV KAPITTEL OM METALLPRISENE | 38 |
| 5 FORUTSETNINGER I BASICASET | 40 |
| 5.1 BATTERISAMMENSETNING OG GJENVINNINGSMETODE | 41 |
| 5.2 KOSTNADER I GJENVINNING AV LITUM-IONBATTERIER | 47 |
| 5.3 ELBILMARKEDET OG MENGDE BATTERIER TIL GJENVINNING | 51 |
| 6 NETTO NÅVERDI FRA PROSJEKTET MED BASISFORUTSETNINGER | 56 |
| 6.1 AVKASTNINGSKRAV | 56 |
| 6.2 NETTO NÅVERDI MED BASISFORUTSETNINGER | 58 |
| 7 FØLSOMHETSANALYSE OG DISKUSJON | 62 |
| 7.1 REFLEKTERENDE KOMMENTARER TIL OPPGAVEN | 67 |
| 8 KONKLUSJONER | 69 |
| 9 LITTERATUR | 72 |

Liste over tabeller

| | |
|--|----|
| TABELL 1 GJENNOMSNIITTLIGE METALLPRISER – 2013-2023 OG 2018-2023 – UKENTLIG DATA – FRA LME (SME FOR LITIUM) | 15 |
| TABELL 2 ANNUALISERT STANDARDAVVIK FOR PRISEDRINGER – 2013-2023 – MÅNEDLIG DATA – FRA LME (SME FOR LITIUM) | 22 |
| TABELL 3 ANNUALISERT STANDARDAVVIK I METALLPRISER PÅ ENDRINGSFORM 2013-2019 OG 2020-2023 I PROSENT - MÅNEDLIG - FRA LME (SME FOR LITIUM) | 23 |
| TABELL 4 GRUVEPRODUKSJON KOBOLT 2020, 2021 OG 2022 OG RESERVER – TALL HENTET FRA «USGS MINERAL COMMODITY SUMMARIES, JANUARY 2023» - I 1000 TONN | 25 |
| TABELL 5 GRUVEPRODUKSJON NIKKEL 2020, 2021 OG 2022 OG RESERVER – HENTET FRA «USGS MINERAL COMMODITY SUMMARIES, JANUARY 2023» - I 1000 TONN | 26 |
| TABELL 6 GRUVEPRODUKSJON AV KOBBER 2020, 2021 OG 2022 OG RESERVER – HENTET FRA «USGS MINERAL COMMODITY SUMMARIES» JANUAR 2023 OG 2022 – I 1000 TONN | 27 |
| TABELL 7 GRUVEPRODUKSJON AV LITIUM 2020, 2021 OG 2022 OG RESERVER – HENTET FRA «USGS MINERAL COMMODITY SUMMARIES» JANUAR 2022 OG 2023 – I 1000 TONN | 27 |
| TABELL 8 GRUVEPRODUKSJON AV ALUMINIUM 2020, 2021 OG 2022 OG RESERVER – HENTET FRA "USGS MINERAL COMMODITY SUMMARIES" JANUAR 2022 OG 2023 – I 1000 TONN | 28 |
| TABELL 9 KORRELASJONSMATRISSE PÅ NIVÅ – 2013-2023 – MÅNEDLIG DATA | 36 |
| TABELL 10 KORRELASJONSMATRISSE FOR PRISEDRINGER PÅ BATTERIMETALLER – 2013-2023 – MÅNEDLIG DATA | 36 |
| TABELL 11 ENDELIGE UTFALL TIL DELENE AV BATTERICELLENE I GJENVINNINGSPROSESSEN I EVERBATT | 42 |
| TABELL 12 BESKRIVELSE AV NORMALE BATTERIER FRA 2019 (VELÁZQUEZ-MARTÍNEZ ET AL., 2019) | 43 |
| TABELL 13 BATTERITYPER MED PROSENTVIS FORDELING I NÅVERDIANALYSE | 45 |
| TABELL 14 MENGDE AV METALLER I BATTERIER SOM GJENVINNES I EVERBATT..... | 45 |
| TABELL 15 NYREGISTRERTE ELBILER I NORGE PER ÅR 2012-2022 – SSB 2023..... | 51 |
| TABELL 16 ÛTREGNING AV GIGAWATTIMER I BATTERI TIL TONN BATTERI..... | 54 |
| TABELL 17 ANSLÅTT VOLUM TIL GJENVINNING, TONN/ÅR..... | 55 |
| TABELL 18 GJENNOMSNIITTLIGE METALLPRISER I \$/KG APRIL 2018-APRIL 2023..... | 58 |
| TABELL 19 OPPSUMMERING AV FORUTSETNINGER I NÅVERDIMODELLEN..... | 59 |

Liste over figurer

| | |
|---|----|
| FIGUR 1 KOSTNADSPROESSEN BASERT PÅ MODULER TILGJENGELIG I EVERBATT OG JÄGER-ROSKO ET AL. (2020)..... | 10 |
| FIGUR 2 HISTORISK PRISUTVIKLING PÅ LITUM, KOBOLT, ALUMINIUM, NIKKEL OG KOBBER REBASERT TIL 100 – 2013-2023 – UKENTLIGE DATA – FRA LME (SME FOR LITUM) | 14 |
| FIGUR 3 HISTORISK PRISUTVIKLING PÅ KOBOLT, ALUMINIUM, NIKKEL OG KOBBER REBASERT TIL 100 – 2013-2023 – UKENTLIGE DATA – FRA LME..... | 14 |
| FIGUR 4 PRIS PÅ KOBBER I \$/TONN – 2013-2023 – UKENTLIGE DATA – FRA LME..... | 16 |
| FIGUR 5 PRIS PÅ KOBOLT \$/TONN - 2013-2023 - UKENTLIG DATA - FRA LME..... | 17 |
| FIGUR 6 PRIS PÅ NIKKEL \$/TONN - 2013-2023 - UKENTLIGE DATA - FRA LME..... | 18 |
| FIGUR 7 PRIS PÅ ALUMINIUM \$/TONN – 2013-2023 – UKENTLIGE DATA – FRA LME..... | 19 |
| FIGUR 8 PRIS PÅ LITUM \$/TONN – 2013-2023 – UKENTLIGE DATA – FRA SME – OMGJORT FRA YUAN TIL USD MED VALUTAKURSER FRA WALL STREET JOURNAL..... | 20 |
| FIGUR 9 ANNUALISERT STANDARDAVVIK PER ÅR FOR METALLPRISER PÅ ENDRINGSFORM – 2013-2022 - UKENTLIG DATA – FRA LME (SME FOR LITUM)..... | 22 |
| FIGUR 10 RULLERENDE STANDARDAVVIK FOR BATTERIMETALLER – 2013-202 – FRA LME (SME FOR LITUM) – ANNUALISERT 156 UKER I RULLENDE VINDU | 24 |
| FIGUR 11 LAGRING AV BATTERIMETALLER PÅ LME WAREHOUSE 2013-23 I TONN – NIKKEL OG KOBBER, ALUMINIUM OG KOBOLT– UKENTLIGE DATA – FRA LME..... | 33 |
| FIGUR 12 GROVT SKISSET FIGUR FOR EN GENERISK HYDROMETALLURGISK PROSESS – HENTET FRA NEUMANN ET AL. (2022) | 47 |
| FIGUR 13 ANTALL ELBILER I NORGE KUMULATIVT 2008-2022 FRA SSB | 52 |
| FIGUR 14 REGISTRERTE ELBILER I NORGE PER MÅNED I 2022 - HTTPS://ELBILSTATISTIKK.NO/ | 53 |
| FIGUR 15 NETTO NÅVERDI I 1000 SOM FUNKSJON AV DISKONTERINGSFAKTOR | 60 |
| FIGUR 16 PROSENTVIS FORDELING AV INNTEKTENE I NÅVERDIMODELLEN | 61 |
| FIGUR 17 PROSENTVIS FORDELING AV KOSTNADENE I NÅVERDIMODELLEN | 61 |
| FIGUR 18 FORHOLDET MELLOM KOBOLTPRIS OG NÅVERDIEN PÅ PROSJEKTET I 1000 | 62 |
| FIGUR 19 FORHOLDET MELLOM NIKKELPRIS OG NÅVERDIEN PÅ PROSJEKTET I 1000..... | 63 |
| FIGUR 20 FORHOLDET MELLOM KOBBERPRISEN OG NÅVERDIEN PÅ PROSJEKTET I 1000..... | 64 |
| FIGUR 21 PROSJEKTVERDIENS FØLSOMHET FOR PROSENTVISE ENDRINGER I PRISEN PÅ KOBBER, KOBOLT OG NIKKEL I 1000 – UTGANGSPUNKT ER BASISFORUTSETNINGER..... | 64 |
| FIGUR 22 PROSJEKTETS FØLSOMHET FOR INVESTERINGSKOSTNADEN | 66 |
| FIGUR 23 PROSJEKTETS FØLSOMHET FOR TRANSPORTKOSTNADENE I 1000..... | 66 |

1 Innledning

En essensiell del av det grønne skiftet er overgangen fra fossile energikilder til fornybar energi, da transportsektoren står for store utslipp av CO_2 og andre klimagasser hvert år (Thorne et al., 2021). Norge står helt i fronten av denne utviklingen, med flest elbiler per innbygger (Regjeringen, 2021a) og høyeste andel av elbiler i nybilsalget i verden (Statens Vegvesen, u.å.). Norges nasjonale transportplan har som mål at fra 2025 skal alle nye personbiler, små varebiler og bybusser solgt være nullutslippskjøretøy (Regjeringen, 2021b). Og fra 2030 skal alle tyngre varebiler, halvparten av lastebiler og 75% av langdistansebusser følge etter. Batterielektrisk fremdrift er den mest modne nullutslippsteknologien, med litium-ionbatterier (heretter LIB) som den mest utbredte formen for batteri (TØI, 2020).

Som med de fleste store endringer, følger det utfordringer. Skiftet til grønn energi i transportsektoren har ført med seg en stadig større etterspørsel etter metaller som kobolt, nikkel, kobber, mangan og litium. Disse metallene er knappe og ikke-fornybare ressurser. Utvinningen av slike metaller er forbundet med store kostnader, både bedrifts- og samfunnsøkonomisk. I dag skjer mye utvinning på en ikke miljømessig forsvarlig måte, med eksempelvis lokalsamfunn rammet av vannmangel i Sør-Amerika etter litiumutvinning, nikkel som utvinnes på bekostning av tropiske skoger i Indonesia eller barnarbeid ved koboltutvinning i Kongo. Det er også 11 selskaper som har fått tillatelse til å utforske metallforekomster på havbunnen. Mange mener dette er fremtiden for batterimetallutvinning, da ingen reserver på land kan måle seg i hverken omfang eller kvalitet. Andre frykter kolossale følger for livet i havet. Tyskland og Frankrike er blant landene som ønsker å forby utvinning fra havbunnen, også bilprodusentene BMW og Volvo har allerede meldt at de ikke vil benytte seg av metaller fra denne typen utvinning (Bryan & Dempsey, 2023).

Hvert batterimetall kommer med sine egne utfordringer for miljømessig og sosial finansiell bærekraft (ESG). Forbrukere, investorer, bilprodusenter og det statlige har stadig høyere krav for ESG, og gruveselskapene følger opp med å ta steg for å redusere karbonutslipp og vannforbruk, samt å gjøre utvinningen tryggere for arbeidere og miljøet. Likevel vil jomfruelig utvinning forbli relativt forurensende og karbonintensivt (Bryan & Dempsey, 2023). I tillegg styres dagens utvinning av batterimetaller av noen få land. Denne kontrollen er en makt som tidligere har blitt brukt som pressmiddel i handelspolitiske spørsmål og til tider i rene territorielle krav. Sikker tilgang på råmaterialer er avgjørende for å opprettholde et stabilt samfunn med fungerende velferdsfunksjoner (Bergfald Miljørådgivere, 2022). En viktig brikke i å sikre denne tilgangen er gjenvinning, og det er allerede en del metaller i omløp. Dette metallet kan brukes på nytt og en

slik resirkulering vil kunne være bra for det globale klima, lokale miljøforhold, men også for sikkerhetspolitikken i landene som gjenvinner batteriene. Når det er sagt, vil ikke gjenvinning i seg selv kunne gi store nok mengder metaller for å dekke behovet på verdensbasis, men gjenvinning vil kunne utgjøre et viktig bidrag i en sirkulærøkonomi.

Gjenvinning er en viktig del av løsningen, i tillegg til grønnere gruvedutvinning og eventuell utvinning fra havbunnen. Spesielt for Europa og Norge vil gjenvinning være essensielt, da vi har ingen eller lav egenproduksjon av flere av batterimetallene. Reservene av batterimetaller som vi kjenner til i Europa er relativt små og av lav kvalitet. Disse reservene krever store investeringer og forbedret teknologi om noen i det hele tatt skal vurdere å utvinne metall fra dem. I tillegg kommer byråkratiske utfordringer som lange ventetider på tillatelser og sosial motstand mot gruvedutvinning. Verdens største litiumprodusent Albemarle har nylig tilsidesatt sine planer om utvinning i Europa på grunnlag av disse utfordringene. Spesielt for litium er tilbudet i markedet allerede knapt, samtidig som etterspørselen stiger kraftig. Kina kontrollerer 60% av litiumprosesseringen, de prosesserer altså litium fra nyutvunnet til de kjemiske forbindelsene som benyttes i batterier, i tillegg til at de er en stor produsent av elbilbatterier. Det er forventet at Kina vil prioritere egen industri, og uten et lokalt tilbud av råvarer vil europeiske bilprodusenter stå i fare for å bli utkonkurrert (Nilsson & Dempsey, 2023). Gjenvinning kan derfor være Europas og Norges måte å sikre seg tilgang på de knappe metallene. Ettersom vi er et tidligmarked for elbilsalg er råvaren allerede her, i tillegg er mange investorer på utkikk etter grønne måter å tjene på batterimetallenes boom.

Mange av de miljømessige fordelene fra å gjenvinne er velkjente, men en investor som risikerer tid og kapital i gjenvinningsprosjekter, er nødt til å ha en positiv avkastning. Det kan til tider virke som at den generelle oppfatningen er at gjenvinning er nært veldedig arbeid, noe som ofte overskygger den bedriftsøkonomiske siden. I denne oppgaven vil vi kun se på lønnsomhet, hvorvidt det kan være «bra business» å drifte gjenvinning av elbilbatterier i Norge. Varen man selger som en gjenvinner, er hovedsakelig metaller, og metallprisene er vesentlige fordi de representerer verdien man kan få for gjenvunnet materiale, eller alternativkostnaden til å bruke jomfruelig materiale i produksjon av nye batterier. Men prisene på metaller er volatile og er vanskelige å prognostisere over horisonter som er relevante for investeringer i gjenvinningsanlegg. Denne usikkerheten gjelder spesielt metaller hvor store deler av etterspørselen stammer fra batteriproduksjon. Dette gjelder i hovedsak kobolt, litium og mangan, men også i økende grad nikkel. Det vil si at metallprisene er lite diversifisert, samtidig som de er avhengige av hverandre, da for eksempel en høy koboltpris vil kunne motivere til høyere nikkelmengde i batteriene gjennom substitusjon. Futuresmarkedene for disse metallene er også

lite likvide og representerer noen ganger ikke den virkelige prisen en batterigjenvinner er eksponert mot, noe som gjør det vanskelig å sikre eksponering mot prisendringer.

Usikkerheten i prisene kan gjøre det vanskelig å få lån til å gjennomføre prosjekter som eksponerer en mot metallprisene, uten å motta subsidier eller andre insentivordninger fra stat, kommune eller på europeisk plan. Staten og EU kan gjennomføre slike ordninger, noe man har sett vært tilfelle i for eksempel Kina, og i USA med «*Inflation Reduction Act*» (IRA) (The White House, 2022). Statlige og inter-statlige lovpålagte handlingsregler er heller ikke uvanlig, der både EU og Norge har kommet med krav om grad av gjenvinning av batterier og krav om mengde gjenvunnet materiale i batteriene (Regjeringen, 2022). Slike ordninger gjør det mulig for batterigjenvinnere å ta betalinger for å gjenvinne batteriene. Men dersom markedet for gjenvinning av batterier skal fungere på sitt mest effektive, og at selskaper skal kunne drive på en samfunnsøkonomisk god måte er det nødvendig at man kan drifte gjenvinningen med lønnsomhet uten politiske insentiver som krykke.

For å kunne drifte lønnsomt innen denne bransjen er det viktig med kunnskap om hvordan metallprisene påvirker lønnsomheten. Problemstillingen i denne oppgaven er derfor hvordan prisene på batterimetaller påvirker lønnsomheten i gjenvinning av LIB i elektriske kjøretøy?

En del forskning har blitt gjort på lignende temaer tidligere. Et eksempel er Lander et al. (2021), forsøkte å estimere lønnsomheten i gjenvinning med utgangspunkt i en teoretisk bedrift i Storbritannia. Denne artikkelen fokuserer hovedsakelig på kostnadsbildet, og forskjellene i bilmodeller. Mye forskning har blitt gjort innen ingeniørfaget for å analysere batterioppygning, drive den teknologiske utviklingen videre og for å forstå både hvordan LIB resirkulering vil effektivt kunne gjennomføres i dag og i fremtiden. Lite forskning har blitt gjort på inntektssiden av batterigjenvinning, og hvordan endringer i prisbildet på metallene som gjenvinnes, påvirker kontantstrømmene og lønnsomheten på prosjektnivå. Og i norsk sammenheng er denne type forskning så godt som ikkeeksisterende.

Oppgavens formål er å bidra til å gi investorer, bilprodusenter og batterigjenvinnere, samt andre som har interesse av batterigjenvinning, et økt kunnskapsgrunnlag om de økonomiske aspektene ved batterigjenvinning. En bedrift som gjenvinner LIB i Norge, vil stå ovenfor kostnader og inntekter i verdikjeden sin, som utgjør grunnlaget for hvor lønnsomt et gjenvinningsprosjekt er. Graden av volatilitet i metallprisene man eksponeres mot ved å gjenvinne batterier, er viktig for planleggingen innen bransjen. Vi ser på historisk volatilitet og om man kan bruke denne informasjonen til å analysere fremtidig lønnsomhet. Dersom det er store svingninger i metallmarkedene, kan man potensielt sikre sine posisjoner mot store tap gjennom

futuresmarkeder. Vi diskuterer denne muligheten for batterigjenvinnere. Metallprisene er utsatt for politiske risikofaktorer, og vi drøfter disse faktorene slik at man bedre kan forstå hvordan de har og kan få en effekt på lønnsomheten i gjenvinning av EV-batterier. Videre bygger vi et basiscase for et gjenvinningsprosjekt, for så å teste i hvilken grad lønnsomheten i prosjektet er sensitiv for endringer i prisen på nikkel, kobolt, kobber og aluminium.

Vi har begrenset oss til å studere batterimetallene kobolt, nikkel, kobber, aluminium og litium, da det er disse metallene som har størst innvirkning på verdiskapningen i gjenvinningen. I nåverdianalysen ser vi på kobolt, nikkel, kobber og aluminium da disse metallene utgjør det meste av gjenvinningsverdien til batteriene. Litiumprisen ser vi på i en kvalitativ sammenheng, da det er vanskelig å beregne konkrete ekstraksjonsgrader av litium fra de hydrometallurgiske prosessene som vi bruker vår analyse, og fordi prisdataen på litium er begrenset, da markedet for metallet er ungt. Vi har valgt å likevel inkludere litium i oppgaven da det er naturlig å forestille seg scenarier der litium blir en viktig kilde til inntekt for gjenvinningsprosjekter i fremtiden sett i lys av den høye prisveksten i litium i 2021, og den viktige strategiske posisjonen metallet har for batteriene. Derfor vil vi gi innblikk i den historiske utviklingen i litiumprisen, og de fundamentale trekkene ved litiummarkedet. Vi analyserer ikke effekten av for eksempel mangan- og grafittprisen, da disse metallene per i dag ikke har stor betydningen for verdiene som kommer ut av batterigjenvinning siden de benyttes i små kvanta og/eller har lave priser.

I det neste kapitlet presenterer vi eksisterende teori om verdikjeder ved gjenvinning og verdiskapende aktiviteter, og forskning på batterigjenvinning og lønnsomheten i gjenvinning. I kapittel 3 gjennomgår vi metodene vi har benyttet for å løse problemstillingen. I kapittel 4 presenterer og analyserer vi prisene på metallene i modellen. Herunder prisvolatilitet, markedene for jomfruelig metall, hvilke prisrisikofaktorer en batterigjenvinner er utsatt for, samvariasjon i prisene og mulighetene for sikring i futuresmarkedet. I kapittel 5 diskuterer og estimerer vi faktorene som bygger basisforutsetningene i nåverdmodellen. I kapittel 6 settes dette sammen for å konstruere nåverdianalyse av et teoretisk prosjekt med påfølgende følsomhetsanalyse og diskusjon i kapittel 7. Før vi helt til slutt oppsummerer i en konklusjon i kapittel 8.

2 Teori om verdikjeder og batterigjenvinning

I dette kapittelet presenteres eksisterende forskning på verdikjedene for gjenvinning av batterier, og hvordan kostnadene oppstår i verdikjedene. Videre går vi gjennom litteratur på lønnsomhet i batterigjenvinning. Fokuset er da på tekniske prosesser for gjenvinning av batterimetaller og eksisterende forskningen på metallprisenes historiske utvikling og samvariasjon. Vi ønsker i dette kapittelet å fremheve konsensusene innen den eksisterende forskningen på teknologiske og økonomiske aspekter, og hvor forskningen mangler svar.

2.1 Verdikjede for gjenvinning

Konseptet om verdikjeder ble først beskrevet av Porter. Porter (1985) viser til hvordan verdien til et produkt stiger for kunden gjennom en kjede av aktiviteter som produserer et sluttprodukt eller tjeneste. Ideen har blitt videreutviklet av flere, og Chopra (2019) tilbyr en god definisjon; En verdikjede består av alle aktører som, direkte eller indirekte, er involvert i å oppfylle en kundeforespørsel. Dette omhandler ikke kun eksterne aktører som leverandører, transport, forhandlere og kunder. Men også interne aktører eller avdelinger i bedriften som markedsføring, forskning og utvikling, finans og kundeservice. Formålet med en forsyningskjede er å maksimere verdiskapning, hvor kunden er kilden til inntekt. Verdien, eller marginen en forsyningskjede skaper er differansen mellom verdien på det ferdige produktet for kunden, og kostnadene som oppstår gjennom hele verdikjeden for å oppfylle kundeforespørselen.

En vanlig oppfatning i dag er at produkter av gjenvunnet materiale, produsert på et bærekraftig vis, skal gi et konkurransefortrinn, og et produkt kunden anser som mer verdifullt. Rakiman et al. (2014) poengterer at det er vesentlig å ikke bare forstå at gjenvinning i seg selv kan øke en vares verdi, men også hvordan den gjør det. Litteratur om verdiskapning omhandler som regel råvarer som går igjennom ulike prosesser som fører til en sluttvare med høyere verdi, eksempelvis bomull som bearbeides til tekstiler eller metaller som blir til elektronikk. For gjenvinning er dette reversert, verdikjeden begynner når sluttkunden vil kvitte seg med et produkt, og råvaren er et allerede prosessert produkt.

Jäger-Roschko et al. (2020) kartlegger i sin rapport antatt beste praksis i verdikjeder for gjenvinning. Verdikjedene beskrives som reverserte logistikksykluser, og forfatterne presenterer en modell for en slik syklus med følgende 6 steg.

Første steg er innsamling. Hovedkanalene for innsamling er kommunale innsamlingspunkter, diverse forhandlere og utsalgssteder som får produktet i retur når det når end-of-life.

Neste steg er første behandling av råvaren. Det første behandlingstedet mottar råvaren i mindre kvanta fra mange innsamlingssteder, her gjennomgår den prosesser som demontering, sortering og lagring.

Det tredje steget er uthenting av materialer. I dette steget går de forskjellige delene av det demonterte produktet typisk gjennom en maskin som makulerer produktet til små fragmenter før disse sorteres inn i minst tre grupper. Først hentes jernholdig metall ut ved hjelp av magneter, før resterende metaller og andre materialer som plast, tekstiler og tre blir separert basert på vekt.

Neste steg er raffinering av materialet. Her gjennomgår de forskjellige materialene prosesser som sorterer fraksjonene videre, og om mulig til et rent metall. Kvaliteten på noen metallfraksjoner, som kobber, testes i lab mens det for andre metaller, som stål, holder med en visuell inspeksjon.

Det femte steget er produksjonen av det sekundære råmaterialet. I dette steget blir det raffinerte materialet brukt til å produsere det sekundære råmaterialet. Dette sekundære råmaterialet kan bestå helt av resirkulerte materialer, eller så kan det blandes med jomfruelig materiale.

Det siste steget er bruk av det sekundære materialet. Dette gjelder kjøperne av gjenvunnet materiale, enten at det går direkte fra gjenvinning til kunde eller at det blir solgt via metallforhandlere. Dette steget krever samarbeid mellom produsenten og kunden for å levere riktig kvalitet og mengde, som regel foregår dette i form av langsiktige kontrakter.

Rakiman et al. (2014) viser til at det meste av litteratur beskriver hvordan et metalls verdi øker fra det utvinnes fra gruver til man har et ferdig produkt, og til slutt skal resirkuleres ved end-of-life. Resirkulering er altså noe som typisk beskrives til slutt i verdikjeden, ikke først.

2.2 Lønnsomhet i batterigjenvinning

Det har eksistert metoder for å gjenvinne LIB siden kommersialiseringen av batteritypen for 30 år siden (Larouche et al., 2020). Metodene som har blitt brukt tidligere har i stor grad vært pyrometallurgiske. Generelt sett har disse metodene ikke vært kostnadseffektive, og man har fått ut lite verdifullt metall i prosessen. Siden den store veksten i salg av mobiltelefoner og spesielt elektriske kjøretøy de siste 10 årene har metodene utviklet seg. I dag ser man på hydrometallurgiske metoder for å gjenvinne metallene som lovende for gjenvinning i dag, og i fremtiden.

Hovedsakelig finnes det tre metoder for resirkulering av batterier, hvorav de to vanligste er pyrometallurgisk og hydrometallurgisk metode, mens «direkte resirkulering» brukes i mindre grad. Ved pyrometallurgiske teknikker smeltes materialfraksjoner ned til en flytende masse fra hvor

ulike metaller kan tappes fra eller ekstraheres ut på annet vis. Ved hydrometallurgiske metoder, også kalt hydrolytisk behandling, løses materialfraksjoner opp i en sterk syre, som man deretter kan ekstrahere ut ulike enkeltstoffer fra (Bergfald Miljørådgivere, 2022). Direkte resirkulering går ut på å ta ut større deler av batteriene og gjenvinne eller gjenbruke disse delene målrettet. To viktige problem med direkte gjenvinning er at det ikke er skalerbart til bruk industriell skala, og at gjenvunnet metall ikke nødvendigvis har like god kvalitet som jomfruelig metall (Beaudet et al., 2020).

Dersom man skal redusere det miljømessige fotavtrykket fra LIB, er det helt essensielt at man går bort pyrometallurgiske metodene og går over til de mindre skitne elektrometallurgiske og hydrometallurgiske metodene (Larouche et al., 2020). Samtidig er det nødvendig å utvikle nye og forbedrede prosesser innen disse to teknikkene, eller utvikle andre metoder.

Sammensetningen av batteriene som konstrueres er både mangfoldig og under stadig utvikling (Neumann et al., 2022). Usikkerheten i mengden av de inaktive og aktive stoffene i batteriene, gjør det vanskelig å sette sammen en bestemt metode for kostnadseffektivt resirkulere batteriene. Det er derfor viktig at det utarbeides prediksjoner for den fremtidige resirkuleringsprosessen, basert på materialene i batteriene og de kjemiske sammensetningene.

Neumann et al. (2022) fant videre at prosessene som kommer til å være mest sentrale i fremtidens resirkulering av LIB er hydrometallurgiske og pyrometallurgiske metoder. Hydrometallurgiske metoder har en utvinningsgrad opptil 99 % for nikkel, kobolt og mangan. Samtidig fant artikkelen at direkte resirkulering sannsynligvis vil bli mer viktig over tid (lavere miljøavtrykk), men at dette både vil ta lang tid og vil være svært avhengig av stabiliteten i fremtidige batterier, og muligheten for å gjenvinne elektrolytten (som hovedsakelig består av litiumsalt).

Det er fortsatt lite data tilgjengelig på de økonomiske aspektene ved gjenvinning av batterier, da det fortsatt er få anlegg som er operative (Yang et al., 2021). Men, det er enkelte modeller utviklet for å analysere krybbe-til-grav-reisen til LIB fra et økonomisk og miljømessig perspektiv.

Eksempler på dette er «EverBatt», «GREET» og «BATCell» som er utviklet av henholdsvis «Argonne National Laboratory», «CELLEst model» og «National Renewable Energy Laboratory Battery Second Use Cost Model».

Yang et al. (2021) gjorde en gjennomgang av 10 000 tonn kasserte LIB for å finne lønnsomheten disse kunne generere. De fant at man generelt kan se at batterier som inneholder store mengder kostbare metaller, som kobolt, genererer de største inntektene. En rekke batterisammensetninger ble gjennomgått, inkludert forskjellige former for NCM, og NCA batterier, men den soleklart største inntekten kom fra gjenvinning av typen LCO. Et mulig

problem her var at prisene som ble brukt, var de gjennomsnittlige prisene i tidsrommet mellom 2016 og 2018. Dette var et tidsrom koboltprisen var høy i forhold til gjennomsnitt i 2013-2023 (42\$/kg). I april 2018 var prisen på kobolt 91 000\$/tonn, og gjennomsnittlig pris fra juli 2016-juli 2018 var på 57\$/kg.

Det har blitt gjort forsøk på å estimere lønnsomheten i gjenvinning. Lander et al. (2021) forsøkte å analysere effekten av enkelte faktorer, på lønnsomheten i et teoretisk gjenvinningsanlegg i Storbritannia. Lander et al. gjør ingen estimater for endringer i prisene, de tar kun forbehold om at store endringer i prisene vil være viktig for verdien av gjenvinningen. De understreker også hvordan prisene på metall er avhengig av investeringssykluser for gruveselskaper, gapet mellom investeringer og ferdige råvarer og geopolitiske faktorer.

Lander et al. fant at det kunne være lønnsomt med resirkulering av batterier, med en kost/profitt mellom $-21,43$ og $+21,91$ \$ * kwh/h, men at denne lønnsomheten var sterkt avhengig av transportdistanser, lønnskostnader, pakningsdesign og resirkuleringsmetode. Deres undersøkelser fant også at den beste bilmodellen for lønnsom resirkulering var Tesla Model S, da den har lave kostnader i demontering og høyt koboltinnhold.

Det er generelt blitt gjort lite forskning på hvilken effekt prisendringer på innsatsfaktorene i batteriene har for lønnsomheten i resirkulering av batteriene. Det er også blitt gjort lite forskning som omhandler kostnadene i prosessene assosiert med batterier som har nådd slutten av levetiden, eller av andre grunner skal resirkuleres. I denne oppgaven forsøker vi å gjøre så gode og så virkelighetsnære beregninger som mulig for disse kostnadene, men de må alltid ses på med tvil da de ikke er hentet fra ekte regnskap. Grunnen til dette er at tall for de virkelige regnskapsmessige kostnadene ved å gjenvinne i Norge ikke eksisterer i det offentlige. Gjenvinning av EV-batterier i industriell skala er i sin spede begynnelse, og industriell gjenvinning av black mass eksisterer ikke i Norge per mai 2023. Enkelte selskaper har kommet et stykke på vei i prosessen mot å gjenvinne katodemetallene, men deres beregninger er gjerne hemmelig informasjon. Vi har forsøkt å komme i kontakt med Hydrovolt for å diskutere aspekter ved denne oppgaven, men de har ikke ønsket å prate med oss, og begrunnet dette med at all informasjonen de sitter på om markeder og andre faktorer er å anse som bedriftshemmeligheter.

Det har blitt gjort mye forskning på metallprisene og deres oppførsel. Nikkel, kobber og aluminium har lang historikk som bruksmetaller og som råvarer på børser. Det har blitt gjort mindre forskning på markedene og prisene på kobolt og litium. Men den økte nytten disse metallene har hatt de siste årene, hovedsakelig som batterimetaller, har ført til en økende interesse.

Campbell (2020) argumenterer for at koboltprisen generelt har gått gjennom mange sporadiske kriser mellom 1970-tallet og 2018. Han legger vekt på at de viktigste driverne for koboltmarkedet er dens karakteristikk som et biprodukt i produksjonen, lave kostnader i Den Demokratiske Republikken Kongo, og de tekniske fordelene ved å bruke kobolt fremfor andre metaller som potensielt kan være substitutter. Kriser som har oppstått i tilbudet har vært dramatiske, men har ikke drevet markedet inn i nye posisjoner der disse tre faktorene ikke lenger er definerende for markedet.

Kobberets brede bruksområde, både i forbrukervarer og infrastruktur gjør dette til et svært viktig metall for mange i økonomien (Liu et al., 2020). For eksempel er kobberprisen essensiell for lønnsomheten for byggmestere. Kobberprisen har derfor en helt sentral rolle i verdensøkonomien, noe som gjør at prognostisering av prisen er kritisk for statlige organer, forskere og investorer.

Henckens and Worrell (2020) gjennomførte analyser på hvor lenge nikkell- og kobberreservene vil vare for fremtidige generasjoner. De gjennomførte undersøkelser av hvor lenge kobber- og nikkeltilbudet kan holdes gående dersom alle land på kloden bruker den samme mengden av metallene som det industrialiserte land i 2020 gjorde. De fant at dersom menneskene på jorden skal kunne ha et garantert, fullstendig og rimelig tilbud av nikkell og kobber de neste 1000 årene, er det nødvendig med høy grad av resirkulering. Og at prisnivået er svært usikkert for dette optimistiske resultatet.

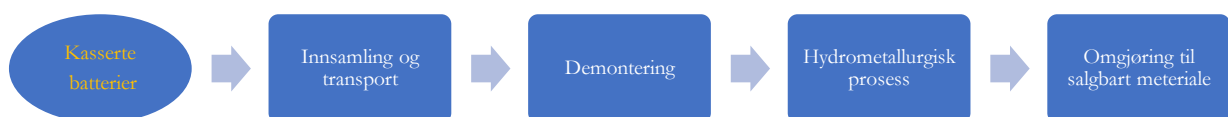
3 Metode – nåverdianalyse, prisdata og EverBatt

Denne oppgaven har som mål å analysere effektene prisendringer på metaller som brukes i EV-batterier har på lønnsomheten i gjenvinning av batteriene. Vi tester hva som skjer med netto nåverdi i gjenvinningsprosjekt når metallprisene endres.

Vi konstruerer et basiscase basert på gjennomsnittlige metallpriser over de siste fem år, med ytterligere forutsetninger om fremtidig kontantstrøm, avkastningskrav og mengde kapital nødvendig for å gjennomføre prosjektet.

Nåverdianalysen bygger på kostnader og inntekter vi modellerer i EverBatt. Dette er en modell utviklet av Dai et al. (2019) ved «Argonne National Laboratory». Modellen er utviklet for å gjøre det enklere for selskaper som ønsker å investere i gjenvinning av batterier å lage virkelighetsnære scenarier. Dette er en Excel-basert modell. Modellen bygger på kalkylebergening av forskjellige kostnadsaspekter, og tar inn det faktum at det er mange forskjellige typer LIB som vil komme inn til gjenvinningsstasjonene.

Vi modellerer kostnadene i EverBatt basert på metoden til Jäger-Roschko et al. (2020). Det vil si at vi bruker stegene som er beskrevet i denne modellen, som også er mulig å estimere ved å bruke EverBatt. Det første steget tilsvarer transportmodulen i EverBatt, der vi modellerer kostnadene i innsamling og frakt til gjenvinning/demontering. Deretter har vi demonteringsmodulen, der vi estimerer kostnadene i forprosessene før materiale går vider til utvinningen av delene i batteriene. Neste steg er resirkuleringen. Vi antar at det blir utnyttet hydroprosesser for utvinningen av metallene, som vil si at vi bruker modulen for hydroprosesser i EverBatt for å estimere kostnadene i dette steget. Det siste steget i kostnadene er raffineringen av metallene. Denne delen av prosessen går ut på å estimere kostnadene i omgjøringen av saltene og metallene som kommer ut av gjenvinningsprosessen til metaller som enten kan selges eller brukes direkte i produksjon av nye batterier.



FIGUR 1 KOSTNADSPROESSEN BASERT PÅ MODULER TILGJENGELIG I EVERBATT OG JÄGER-ROSCHKO ET AL. (2020)

Figur 1 viser verdikjeden for gjenvinningen av batterier, fra battericellene er oppbrukte og er klare for å gjenvinnes til metallene i batteriene er omgjort til materiale som igjen kan brukes i nye batterier. Hvert enkelt steg i denne prosessen medfører kostnader, men det kommer også inntekter inn i løpet av prosessen. Mye kobber og aluminium kan for eksempel selges etter

demonteringen, og før hydroprosessene. Men det meste av inntektene kommer i slutten av verdikjeden, når katodemetallene kan selges som fullstendig gjenvunnet materiale.

Resirkuleringsmodulen og demonteringsmodulen i EverBatt er ikke egnet for å bruk i en kontantstrømsanalyse, uten justeringer. Dette kommer av at flere av kostnadene i modulene beregnes som kontantstrømmer, selv om de ikke tilsvarer en reell kontantstrøm. Vi vil enten fjerne slike kostnader, eller bruke andre metoder for å måle dem. For eksempel flytter vi investeringskostnadene, som er integrert gjennom prosessene i modulene som variable kostnader, til starten av prosjektets levetid. Det samme gjøres med avskrivningskostnader som også ikke skiller på i modulene.

Inntektene måles som verdien av mengden gjenvunnet materiale. Denne verdien er i EverBatt gitt som salter eller metaller med renhet nok til å brukes i ny batteriproduksjon. I EverBatt er det mulig å direkte beregne verdien av metallene i ny prosess for produksjon av forskjellige batterier, men vi ser kun på verdien i form av salgsverdi av metallene/saltene.

Lønnsomheten tar utgangspunkt i historisk informasjon om metallprisene. Vi analyserer prisene på kobolt, nikkel, kobber, aluminium og litium for å danne rimelige antagelser om prisenes natur og potensielle utvikling. På den måten kan vi analysere hvordan prisutvikling påvirker netto nåverdi. Litium antas ikke å gjenvinnes i EverBatt, men vil potensielt inneha en viktig posisjon i lønnsomheten i gjenvinning i fremtiden. Av den grunn beregner vi ikke verdien av litiumet i de brukte battericellene, samtidig som vi fortsatt studerer prisen i delkapittelet om metallprisene.

Vi har hentet prisdata for 2013-2023 for kobber, kobolt, nikkel og aluminium fra London Metal Exchange (LME), og litiumprisen er en spotpris på Shanghai Metal Exchange (SME). Fra LME har vi også hentet data for tremåneders futureskontrakter for aluminium, kobber, kobolt og nikkel, samt data på LME varelagre.

En svakhet med prisene som er hentet er den potensielt lave graden de representerer de virkelige prisene på noen av metallene. Det vil si prisene som kjøpere og selgere i markedet blir enige om å handle til. Koboltkontraktene som handles på LME har svært lite volum og er praktisk talt ikke noe annet enn estimater gjort av Fastmarkets. Nikkelkontrakten på LME har også slitt med lave volumer (LME, 2023). Det er også mye usikkerhet knyttet til nikkelkontrakten grunnet en rekke skandaler kontrakten har vært utsatt for det siste året (Dempsey, Stafford, 23). Spotprisen på litium fra Shanghai Metal Exchange blir i liten grad handlet på av noen utenfor det kinesiske markedet (Azevedo et al., 2018). Den innad i det kinesiske markedet som faktisk har behov for

sikringer grunnet eksponering mot litiumprisen, og brukes hovedsakelig av spekulanter (Azevedo et al., 2018).

Vi inkluderer ikke skatt i nåverdianalysen. Begrunnelsen for dette er at vi ønsker å se på lønnsomheten i et mer strategisk perspektiv, og uten involvering fra stat. Samtidig vil ikke en nøytral skatt påvirke hvorvidt prosjektet er å anse som profitabelt i nåverdianalysen.

En avgrensning vi gjør er å ikke inkludere mulighetene for lagring i nåverdiodellen. Lagring av metaller for å kunne vente med å selge til prisene når et høyere nivå, er viktig for gruveselskaper og andre som er eksponert mot metallprisene. Men muligheten for lagring krever avanserte modeller for å optimeres, samtidig som lagring basert på ønske om høyere pris er å anse som spekulasjon. Det er ingen sikkerhet i hvorvidt prisene går opp igjen, dersom de går ned. Dersom man lagrer store mengder metall i påvente av høyere priser, kan man ende opp med å ta kostnadene ved lagringen uten å oppnå store gevinster før om mange år. Eller at man aldri oppnår slike gevinster.

4 Metallprisene 2013-23

Inntektene fra gjenvinning av batterier bestemmes av verdien av batteriinnholdet. Denne verdien måles i globale priser for mye av det som gjenvinnes. Noe av materialet i batteriene er avfall, i hvert fall enn så lenge. Noe av materialet skaper verdi i løpet av selve gjenvinningsprosessen, der et eksempel er energi generert av brent plast. Men det meste av verdien i batteriene kommer fra verdien på metallene som blir gjenvunnet. Disse metallene kan enten tas ut i ren form eller som salter som kan brukes relativt direkte i nye batterier, med lite eller ingen tap av effekt.

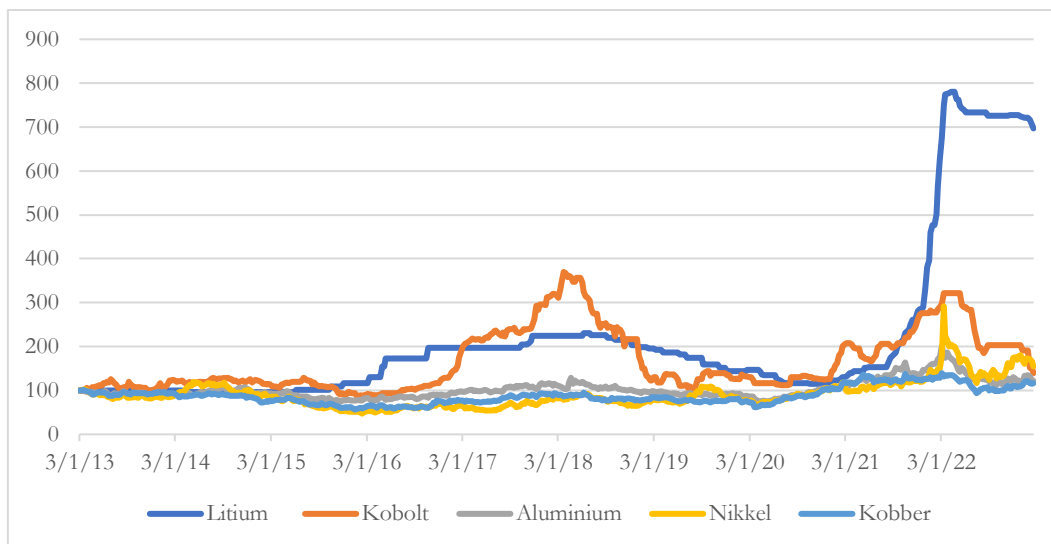
Gjenvinningen kan enten utføres av batteriprodusenter eller så kan metallene selges på globale markeder. Dette gjør at lønnsomheten i gjenvinning av batterier bestemmes i stor grad av prisene på det generelle markedet for batterimetallene. I dette delkapittelet analyserer vi disse markedene og forsøker å danne et bilde av den historiske utviklingen.

Prisene representert i figurene i kapittel 4.1 er for råvarer som selges på børser, og er spotprisene på metallene. Alle prisene er hentet fra Refinitiv, prisen for litium er spotprisen fra Shanghai Metal Exchange (SME), alle de andre prisene er for metall som selges på London Metal Exchange (LME).

Det er også viktige begrensninger ved prisene på metallet. For eksempel betegner prisene LME for batterimetallene en benchmark for handlere, der LME står for «price discovery». Den virkelige prisen som blir inngått mellom kjøper og selger av metallene skjer gjerne utenfor børsene, gjennom skreddersydde «over the counter» (OTC) kontrakter i forwardsmarkedet (Poncet & Portrait, 2022).

Dette gjelder spesielt for kobolt og litium som har svært lite volum på børsene, men også for nikkel som også har hatt lavt volum på LME de siste årene (LME, 2023). Kobber kan i større grad selges og kjøpes med fysisk oppgjorte kontrakter gjennom børser, men dersom man selger i store kvanta er det ikke nødvendigvis rimelig å anta at kjøper betaler for kobber til spotpris.

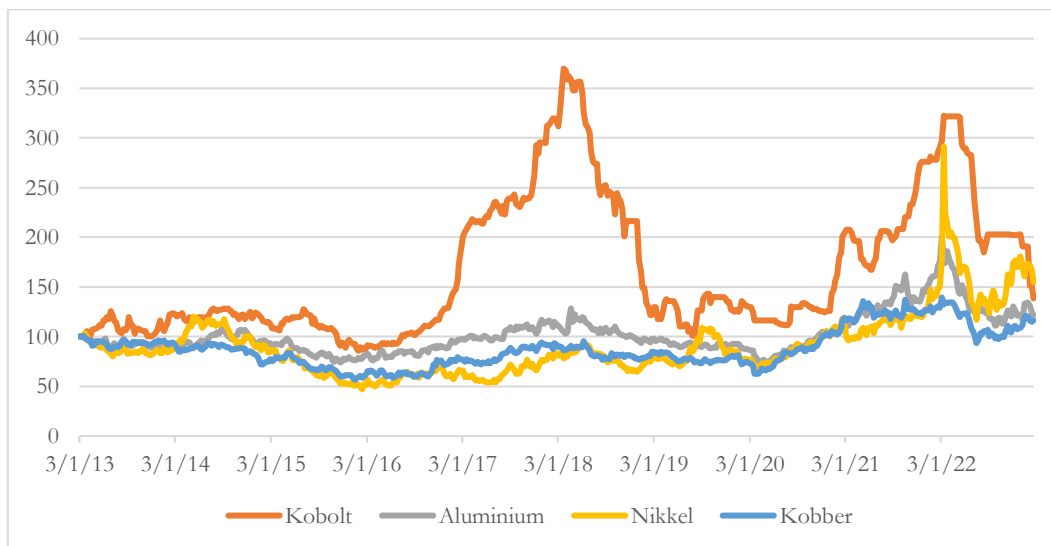
Først presenterer vi de historiske prisene, og dokumenterer og analyserer prisutviklingen og historiske trender. Deretter går vi nærmere inn på den historiske volatiliteten i prisene, for å finne potensielle sykluser, trender og mulige indikatorer for fremtidig utvikling. Til slutt bruker vi tid på risikoen i markedene for jomfruelig metall, og i inntektene i gjenvinning og salg av metaller fra batterier.



FIGUR 2 HISTORISK PRISUTVIKLING PÅ LITUM, KOBOLT, ALUMINIUM, NIKKEL OG KOBBER REBASERT TIL 100 – 2013-2023 – UKENTLIGE DATA – FRA LME (SME FOR LITUM)

Figur 2 viser utviklingen i prisene på de fem batterimetallene litium, kobolt, aluminium, nikkel og kobber siden 2013. Helt tydelig ser man at litiumprisen har hatt en voldsom vekst i forhold til de andre metallene, der denne veksten nesten utelukkende skjedde mellom 2021 og 2022.

Mangedoblingen av litiumprisen, over et par år, gjør at de andre metallprisene synes å ha hatt en moderat utvikling. Men dette er ikke tilfelle. Av den grunn ser også på den samme figuren uten litiumprisen representert.



FIGUR 3 HISTORISK PRISUTVIKLING PÅ KOBOLT, ALUMINIUM, NIKKEL OG KOBBER REBASERT TIL 100 – 2013-2023 – UKENTLIGE DATA – FRA LME

Figur 3 viser utviklingen i prisene på batterimetallene 2013-23, uten litium. Man ser da tydeligere at spesielt koboltprisen har hatt tider der den har mangedoblet seg over relativt kort tid, før den

like raskt har gått ned igjen. Den store toppen i nikkelpriisen, på LME i mars 2022, kommer også tydelig frem.

TABELL 1 GJENNOMSNIITTLIGE METALLPRISER – 2013-2023 OG 2018-2023 – UKENTLIG DATA – FRA LME (SME FOR LITIAM)

| | 2013-2023 | 2018-2023 |
|-----------|------------|-----------|
| Kobber | 6,8\$/kg | 7,4\$/kg |
| Kobolt | 42,3\$/kg | 49,5\$/kg |
| Nikkel | 15,1\$/kg | 17,5\$/kg |
| Aluminium | 2,0\$/kg | 2,2\$/kg |
| Litium | 131,5\$/kg | 178\$/kg |

Tabell 1 viser gjennomsnittlige metallpriser de siste 10 og 5 årene. Alle prisene har på snittet vært høyere mellom 2018-2023 enn 2013-2023. Litiumprisen har vært svært mye høyere de siste årene, det samme har koboltprisen. Dette gir mening, sett i lys av viktigheten metallene har i elektriske kjøretøy, og de få andre bruksområdene metallene har.

Kobberprisen 2013-23

Kobber har lang tradisjon som bruksmetall. Og til forskjell fra litium og kobolt har kobber svært mange bruksområder utenfor batterier. Det er derfor urimelig å anta at kobberprisen påvirkes i stor grad av etterspørselen etter EV, og vil heller ikke påvirkes av inntekts- og substitusjonseffekter fra etterspørselen etter de andre batterimetallene i stor grad. Kobber er relativt dyrt metall i forhold til den utbredte bruken av metallet, men kiloprisen er langt under hva den er for nikkel, kobolt og litium.

Det sies ofte at kobberprisen er et barometer for den globale økonomien (Radetzki, 2009). Dette stammer fra dets brede bruksområde over hele verden, som infrastruktur til kabler, i konstruksjonen av bygninger og i elektronikk. Prisen gjenspeiler i stor grad verdensøkonomien, for eksempel vil nybygg pauses og forbrukere kjøper mindre under en økonomisk nedgang, noe som gjenspeiles i lavere etterspørsel etter kobber og en synkende kobberpris.



FIGUR 4 PRIS PÅ KOBBER I \$/TONN – 2013-2023 – UKENTLIGE DATA – FRA LME

Figur 4 viser prisen på kobber basert på ukentlige data handlet på LME de siste ti årene. Grafen viser pris/tonn kobber i USD. Fra 2013 ser vi en gradvis nedgang hvor prisen til slutt nesten er halvert i 2016. Prisen på overkant av 4 300\$ i 2016 er den laveste siden finanskrisen i 2008. Noe av denne nedgangen kan skyldes turbulens i den kinesiske økonomien, andre faktorer er sterkere dollar og lavere oljepriser, samt spekulasjon fra non-trading agents (Sancho, 2016).

Grafen viser et fall i 2020 som har sammenheng med det umiddelbare sjokket i usikkerheten i kjølvannet av covid-19 pandemiens umiddelbare effekter. I tiden etterpå ser vi en stor prisvekst, i tillegg til at etterspørselen tok seg opp igjen etter pandemien, økte etterspørselen også på grunn av økt konsum av elektronikk og andre apparater til husholdningen, samt etterspørsel til elektriske kjøretøy og solcellepaneler. Etterspørselen økte og tilbudssiden klarte ikke å holde tritt, noe som presset prisene opp. I 2022 ser vi at prisen falt noe, og ettersom kobberprisen er sterkt knyttet til verdensøkonomien, ble prisen i stor grad påvirket av at sentralbankene hevet styringsrenten (Willing, 2023).

Koboltprisen 2013-23

Kobolt brukes hovedsakelig i LIB til elektronikk og EV. For å forstå dynamikkene i tilbud og etterspørsel av kobolt er det viktig å ta hensyn til at det meste av kobolt som utvinnes er et biprodukt i utvinning av nikkel- og kobberproduksjon. Av denne grunn kan man ikke enkelt øke tilbudet av kobolt i markedet for å fylle etterspørselen.

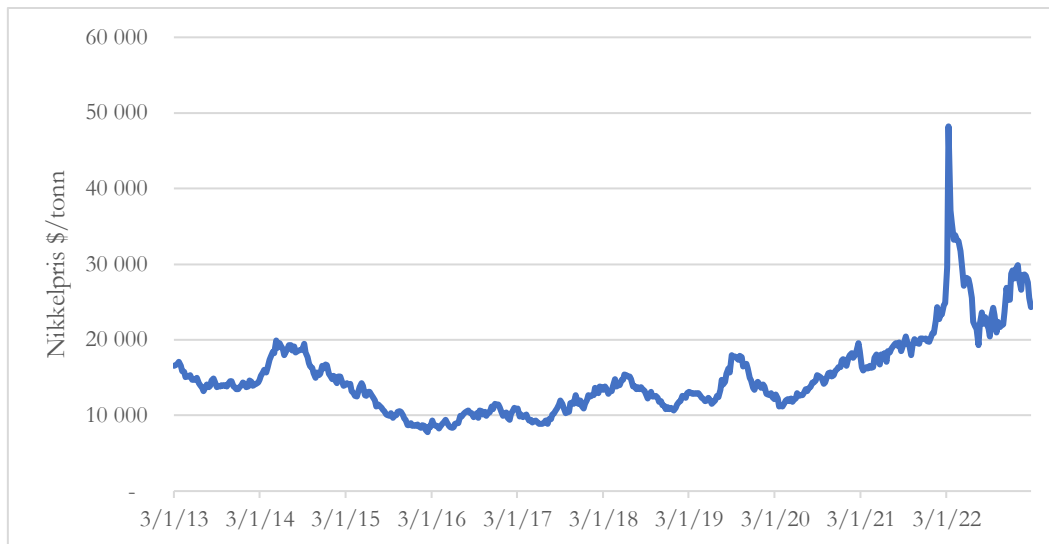


FIGUR 5 PRIS PÅ KOBOLT \$/TONN - 2013-2023 - UKENTLIG DATA - FRA LME

Figur 5 viser prisutviklingen på kobolt handlet i \$/tonn på LME 2013-2023. Grafen viser at koboltprisen har hatt to perioder med stor vekst. I begge periodene gikk prisen til over 80 000\$/tonn, og falt like raskt ned igjen til «normale» nivåer. Først steg prisen markant fra midten av 2016 frem til toppunktet 2018. Dette har sammenheng med etterspørsel etter kobolt til bruk i elektriske kjøretøy økte markant. Som følge av den høye prisen ble det åpnet produksjon ved en rekke nikkel- og kobbergruver hvor man ikke utvant kobolt fra før og utvinningen fra eksisterende gruver ble økt. Over tid overforsynte dette markedet og prisen gikk ned igjen. Hovedfaktoren for toppen i 2022 var igjen etterspørsel i forbindelse med batteriproduksjon, som tilbudssiden ikke klarte å fylle. En del av fallet som foregår nå skyldes at stadig flere bilbatteriprodusenter beveger seg bort fra å bruke kobolt (Bloomberg, 2023).

Nikkelprisen 2013-23

Nikkel har en lengre historie som industrielt metall enn de andre katodemetallene, litium og kobolt, der nikkel er en viktig ingrediens i rustfritt stål (Olafsdottir & Sverdrup, 2021). I 2019 sto rustfritt stål for 66 prosent av verdens forbruk av gruveprodusert nikkel (McRae, 2019).



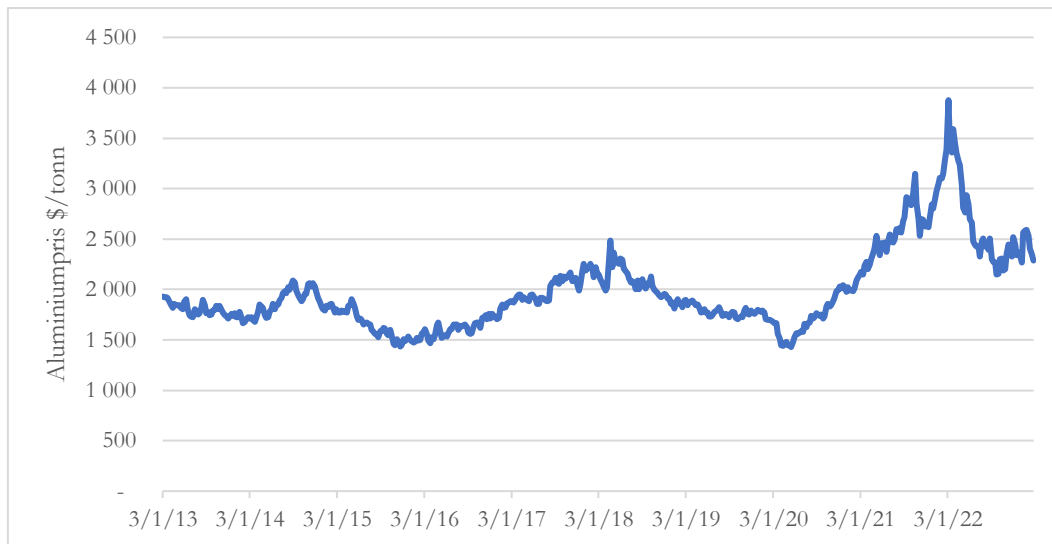
FIGUR 6 PRIS PÅ NIKKEL \$/TONN - 2013-2023 - UKENTLIGE DATA - FRA LME

Figur 6 viser historiske priser i \$/tonn nikkell handlet på LME de siste ti årene. Den mest bemerkelsesverdige toppen kom 8. mars 2022. Prisen på nikkell gikk da opp 270 prosent over tre handelsdager, fra 27 080\$/tonn til 101 365\$/tonn, før den gikk ned til 80 000\$ (LME, januar 2023). I grafen ser man denne oppgangen, men her er toppunktet fra mars er da fra 11. mars, da prisen var nede igjen på 48 000\$. Bakgrunnen for denne ekstreme toppen er Russlands invasjon av Ukraina. Russland er den tredje største produsenten av nikkell, og står for 17% av verdens produksjon av nikkell av høy kvalitet (Lin, 2022). Det var usikkerhet i markedet på hvordan denne situasjonen og de påfølgende sanksjonene ville påvirke Russlands produksjon og eksport. Dette ga en form for short squeeze i nikkellmarkedet, som vil si at short handlerne havnet under stort press fra økte margin calls. Dette gjorde at short-handlerne var nødt til å dekke sine posisjoner for å redusere risikoen, som igjen ga enda høyere priser. Under svært kontroversielle omstendigheter valgte LME å stanse handelen av nikkell for å stoppe denne situasjonen, noe som førte til søksmål i senere tid. En av disse short handlerne var en av gigantene innen nikkelltrading, kinesiske «Tsingshan Holding Group». De kjøpte opp store mengder nikkell for å innfri sine short forpliktelser og unngå margin calls. Denne handlingen spesielt sendte prisene til himmels og førte til en så akutt topp (Lin, 2022). En slik situasjon kan på mange måter ses på som en anomali, og en unaturlig situasjon. Noe som underbygges av at LME stoppet nikkellhandelen midlertidig som følge av denne situasjonen. Samtidig er dette et eksempel på hvilke prekære situasjoner metallprisene, som brukes i EV-batteribransjen, kan bli utsatt for. Tross for svingningene ser vi likevel en økende trend i nikkellprisen som hovedsakelig skyldes økende etterspørsel etter elbiler.

Aluminiumprisen 2013-23

Figuren under viser aluminiums prisen mellom 2013 og 2023. Dette er spotprisen på London

Metal Exchange, som har blitt oppgitt siden 1978 da aluminium først ble solgt på børsen. Aluminium er et viktig metall for verdensøkonomien, har et bredt bruksområde og handles i store volumer både på børs og over-the-counter (OTC).



FIGUR 7 PRIS PÅ ALUMINIUM \$/TONN – 2013-2023 – UKENTLIGE DATA – FRA LME

Figur 7 viser historiske priser på aluminium de siste ti årene i \$/tonn. Etter det det initiale fallet i prisen i mars 2020, steg prisen på aluminium fort, slik som for kobber, kobolt, nikkel og litium. I oktober 2021 nådde prisen et lokalt toppunkt på 3 000\$. Da hadde prisen steget med 89 prosent siden 13.mars 2020. Det neste toppunktet kom i 2022 like etter den russiske invasjonen av Ukraina 24. februar. I tillegg er aluminiumproduksjon er energiintensivt og europeiske produsenter opplevde høye strømpriser vinteren 2021, noe som førte til at produksjonen ble midlertidig stanset i flere land (Holman, 2022). Prisen gikk i mars 2022 opp til i overkant av 3 800\$/tonn. Dette toppunktet ble nådd i uken før nikkelpriisen skøyt i været og man kan med rimelighet si at begge tilfellene kom som en konsekvens av urolighetene i markedet som den russiske invasjonen skapte. Det er mer usikkert hva som var de utløsende årsakene, og hvorfor akkurat prisene på aluminium og nikkel var så utsatt.

Da kollapsen kom like etter mars 2022, ser vi at prisen ikke har gått tilbake til hva den var før 2020, og er fortsatt over 2 500 USD per tonn. Dette er høyere enn prisen noen gang var mellom 2013 og 2020.

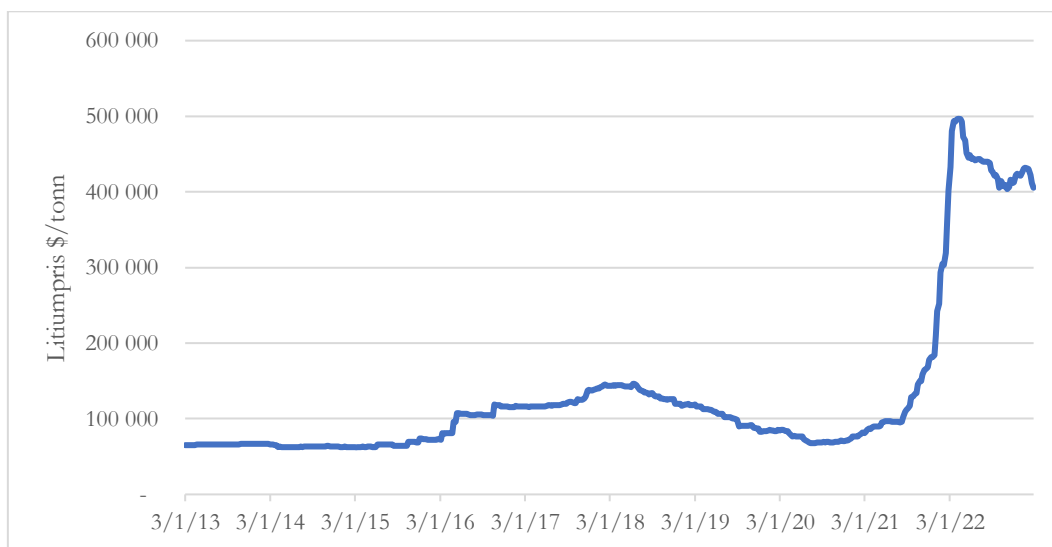
Litiumprisen 2013-23

Litium har svært lav grad av transparens i prisen, sett i forhold til kobolt, nikkel og kobber. Spotprisen som observeres i markedet er gjerne langt i fra den samme som kjøpes og selges i markedet både i og utenfor Kina. I 2018 skrev McKinsey at spotprisen kan være så mye som 60

prosent lavere for kontrakter i forhold til den kinesiske spotprisen. Denne spotprisen brukes nesten ikke til forhandlinger innen litium, og brukes i Kina hovedsakelig til spekulasjoner. Det er ikke rimelig å anta at litium som handles på det virkelige markedet handles til denne prisen, men den representerer til en viss grad markedet for marginalsalg av litium, og den representerer noe hvilken teoretisk pris man må betale for litium på kort varsel (Azevedo et al., 2018)

Prisen på kontraktene på CME er konstruert som et utgangspunkt av Fastmarkets anslag på prisen (CME, 2023b). Denne kontrakten er for litiumhydroksid ($\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$) «battery grade». Prisen tradere og hedgere får oppgitt fra CME er ikke nødvendigvis prisen man er nødt til å betale for en kilo litium, kontraktene er alt for lite likvide til at dette skal være mulig. Det vil si at man er nødt til å forhandle frem en avtale mellom kjøper og selger som forwardskontrakter eller andre marked som ikke er styrt av en konsensus pris.

Figuren under viser prisen på «99% battery grade litium», som er en betegnelse som brukes for tilnærmet rent litium som er listet på Shanghai Metal Exchange (SME). Dette er altså litium i metallform, i motsetning til litiumet som hovedsakelig brukes i LIB som er i saltform og som regel litiumkarbonat og litiumhydroksid (Liu et al., 2021). Vi bruker denne tidsserien fra SME da dette er den eneste tilgjengelige tidsserien for litium på Refinitiv. Tidsserien var opprinnelig målt i kinesiske yuan, og har blitt omgjort til amerikanske dollar av forfatterne, med valutakurser fra Wall Street Journal.



FIGUR 8 PRIS PÅ LITIAM \$/TONN – 2013-2023 – UKENTLIGE DATA – FRA SME – OMGJORT FRA YUAN TIL USD MED VALUTAKURSER FRA WALL STREET JOURNAL

Figur 8 viser historiske priser på litium i \$/tonn fra 2013-2023. Fra 2012 til 2016 lå prisen på et stabilt nivå frem til et prishopp i 2016. Dette faller sammen med Teslas uttalelse om å bygge en enorm batterifabrikk og at flere bilprodusenter ga løfter om å produsere nye elektriske

bilmodeller. Totalt førte dette til en stor økning på etterspørselssiden som produsentene ikke klarte å henge med på. Det tar i gjennomsnitt 4-7 år å åpne utvinning av litium i nye reservoar, mens byggingen av en batterifabrikk tar omkring 2 år, dette bidro til å skape en ubalanse i markedets etterspørsel og tilbud (Aspa, 2016).

Prisen på litiumkarbonat gikk i starten av 2021 fra en spotpris på rundt 7 000\$/tonn til over 70 000\$/tonn i mars 2022 (Trading Economics, u.å). Dette er en oppgang på 900 prosent. Sett i forhold til de andre metallene ser man umiddelbart hvor stor denne veksten er. Prisen gikk noe ned og flatet ut før prisen igjen skjøt i været og nådde et nytt lokalt toppunkt i underkant av 90 000\$/tonn november 2022. Deretter har i kontinuerlig fall, gått ned til rundt 25 000\$/tonn. Det i skrivende stund (2023, 8. mai) ikke er noen åpenbare tekniske tegn til at den skal flate ut. Det er mange grunner til denne veksten, hvor den viktigste år er de høye forventningene om salg av elektriske kjøretøy i fremtiden. Varelagrene var lave i tiden før 2020. Samtidig ble lagrene som ble opparbeidet mens prisen var lav, da tilbudet overgikk etterspørsel, tømt før prisen økte nevneverdig. Noe som forsterket situasjonen. Den store prisveksten på litium fra slutten av 2020 har også vært en konsekvens av mangel på produksjon. Den lave produksjon kommer av flere faktorer. Et viktig moment er at prisen var lavere enn hva som var forsvarlig for produsenter av de mest kostnadsutsatte formene for litium i tiden før 2021. Slik at mange gruver var stanset i det prisen gikk opp. Dette sammen med den lange tiden det tar fra man setter i gang en gruve til man kan ta ut litium i stor skala, har vært viktig for at prisen skulle stige så enormt som den har gjort (Shabalala, 2021).

4.1 Prisvolatilitet 2013-23

Vi definerer volatilitet som standardavviket til prisene. Altså er volatilitet et mål på hvordan prisobservasjonene ligger fordelt rundt gjennomsnittet på prisen over en gitt periode.

Volatiliteten i prisene på metallene er definerende for hvordan et selskap som er eksponert mot prisene, kan oppnå lønnsomhet. Generelt kan vi si at dersom det er høy volatilitet i prisene vil det være vanskeligere å generere positive kontantstrømmer over tid. Det er flere grunner til dette. For det første gjør svingningene det vanskelig å planlegge kontrakter med kjøpere av metallet. For det andre er det vanskelig å vite hvor høy kontantstrømmen vil være over tid, noe som gjør at man må ha større mengder kontanter som buffer mot dårlige tider. Dette er verdier som kunne vært brukt på andre mer lønnsomme investeringer. Dersom en batterigjenvinner er nødt til å skrive kontrakter med korte tidshorisonter med kjøpere av metallene, vil høy volatilitet potensielt kreve

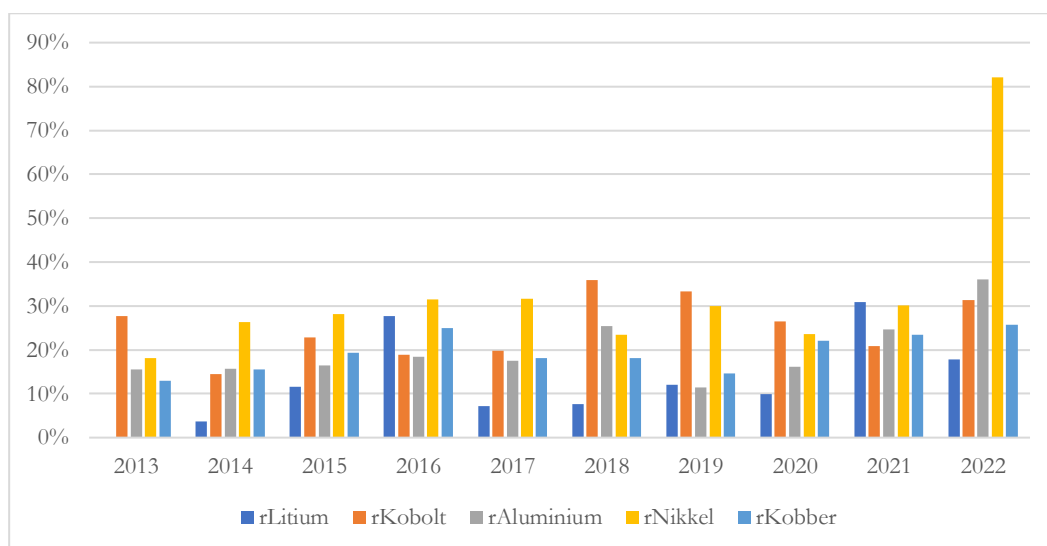
at man lagrer noe av metallet i påvente av tider med høyere priser. Men slik lagring er kostbart, samtidig som det ikke er noen garantier for at prisene vil gå opp før om lang tid, eller om den noen gang blir høyere enn den er på dagen man velger å lagre metallet.

Den historiske prisvolatiliteten kan potensielt gi innsikt i hvilken drivende effekt metallene som gjenvinnes har på verdien i batteriene. Dersom det for eksempel har vært stor historisk volatilitet i en av metallprisene, og man antar at dette vil fortsette, vil dette metallet få en større betydning som driver i verdien på gjenvinningen. Volatiliteten kan med andre ord fortelle noe om hvor viktig et metall vil være for svingningene kontantstrømmene på prosjektet.

TABELL 2 ANNUALISERT STANDARDVARIANS FOR PRISENDRINGER – 2013-2023 – MÅNEDLIG DATA – FRA LME (SME FOR LITUM)

| Kobolt | Nikkel | Kobber | Aluminium | Litium |
|--------|--------|--------|-----------|--------|
| 32% | 41% | 20% | 19% | 28% |

Tabell 1 viser standardavviket på de fem metallprisene på endringsform, over en tiårsperiode. Nikkelprisen har hatt det klart største standardavviket på over 40% i perioden. Litiumprisen har hatt det minste standardavviket, betydelig lavere enn kobolt, men ikke langt unna kobber og aluminium.



FIGUR 9 ANNUALISERT STANDARDVARIANS PER ÅR FOR METALLPRISER PÅ ENDRINGSFORM – 2013-2022 - UKENTLIG DATA – FRA LME (SME FOR LITUM)

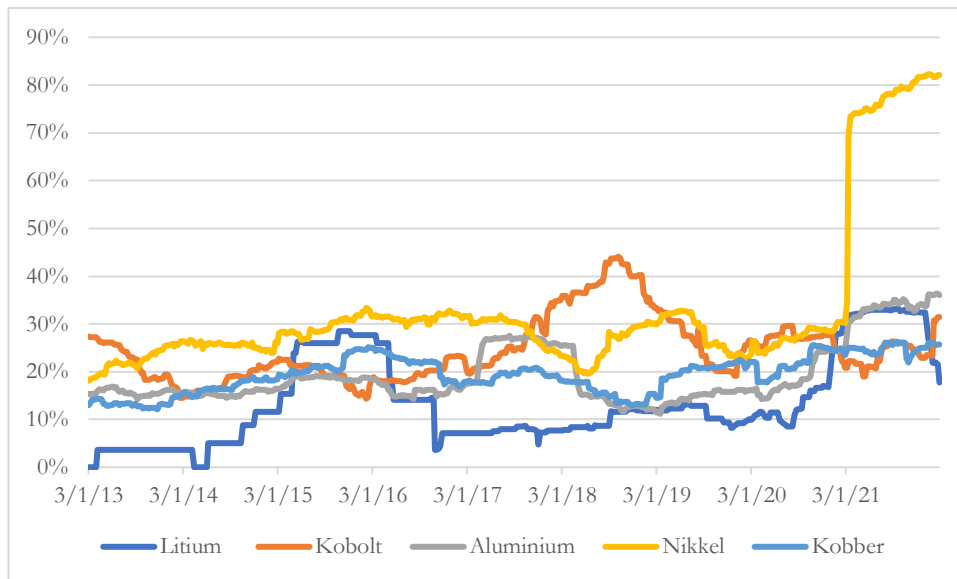
Figur 9 viser standardavviket til på litium, kobolt, aluminium, nikkel og kobber på endringsform per år fra 2013 til 2022. Annualisert fra uker. Nikkel generelt har hatt høy volatilitet i de fleste år, på over 20% i nesten alle årene. Og spesielt merker vi oss den ekstreme utstikkeren i 2022, som vi har drøftet tidligere, der nikkel hadde en volatilitet på over 80%. Koboltprisen har hatt perioder med mye bevegelser. Det største standardavviket var i 2018 da prisen på kobolt vokste

fra 75 000\$/tonn i starten av året til over 90 000\$/tonn i april. Frem til 2021 ser man at litiumprisen var svært stødig i de fleste årene, med et tydelig unntak i 2016 da volatiliteten var i underkant av 28% over året. For metallene kobber og aluminium, som handles på verdensmarkedet i betydelig større kvanta enn de andre metallene, ser vi at volatiliteten i større grad følger et jevnere mønster. Standardavviket på kobberprisen har ligget rundt 20% i alle ti år, og aluminiumprisen har hatt lignende volatilitet med unntak av 2022 hvor prisen hadde en stor økning. Det er viktig å påpeke at denne figuren ikke kan fortelle mye mer enn hvordan utstikkerne i perioden har vært, da tidsintervallet på ett år er alt for kort til å si noe om de store bevegelsene i volatiliteten. Videre ser vi på standardavvikene over lenger tidsintervaller.

TABELL 3 ANNUALISERT STANDARDAVVIK I METALLPRISER PÅ ENDRINGSFORM 2013-2019 OG 2020-2023 I PROSENT - MÅNEDLIG - FRA LME (SME FOR LITUM)

| | 2013-2020 | 2020-2023 |
|------------------|-----------|-----------|
| Kobolt | 29% | 38% |
| Nikkel | 24% | 62% |
| Kobber | 18% | 24% |
| Aluminium | 16% | 25% |
| Litium | 16% | 42% |

Tabell 2 viser standardavviket i metallprisene i to forskjellige perioder; før og etter covid-19. Volatiliteten i perioden etter korona er betydelig høyere, og for nikkel er dette veldig markant. Dette er ikke overaskende sett i lys av situasjonen i mars 2022. Det er heller ikke unaturlig at volatiliteten i kobolt og litium er betydelig høyere i denne perioden, da mengden kobolt og litium i omløp hele tiden er betydelig voksende, i takt med den økende bruken av elektriske kjøretøy. Dette gjør at det er større og større tilbuds- og etterspørselskrefter som påvirker prisene på litium og kobolt, da tilbudet og etterspørselen åpenbart er mye større nå, enn i 2013.



FIGUR 10 RULLERENDE STANDARDAVVIK FOR BATTERIMETALLER – 2013-2022 – FRA LME (SME FOR LITUM) – ANNUALISERT 156 UKER I RULLENDE VINDU

Figur 10 viser det rullerende standardavviket til de fem metallene mellom 2013 og 2022, med vindu på 156 uker. Her ser man noe tydeligere det vi så tidligere, at kobolt og litium har hatt perioder med høy volatilitet i henholdsvis 2018 og 2016. Kobber- og aluminiumsprisene har hatt et standardavvik som har vært mer stødig, men på et generelt høyere nivå enn litiumprisen. Hoppet i standardavviket i nikkelpriisen i 2022 kommer også tydelig frem, der standardavviket gikk fra å være under 30% til å ligge over 70%.

4.2 Produksjon og marked for jomfruelig metall

I dette delkapittelet går vi gjennom verdens produksjon av batterimetallene. Dersom man ønsker å analysere hvordan prisene på metallene påvirker verdien på eksponering til metallprisene, må man ha et klart bilde av hvordan produksjonen av de jomfruelige metallene foregår. Det vil si: Vi er nødt til å vite hvor metallene kommer fra, og hvem det er som sitter med makten over metallprisene for å kunne nøyaktig estimere risikoen metallprisen står ovenfor. Dette bygges videre på i neste delkapittel om prisdrivere. Produsentene av jomfruelig metall er også konkurrentene til gjenvinnere i den forstand at begge ønsker å selge samme vare til samme nedstrømsbedrifter.

Gruvedrift og produksjon av metaller foregår over hele verden, men enkelte aktører har større makt enn andre når det kommer til tilførselen av batterimetallene. Nikkel, kobolt og litiumproduksjonen i verden er styrt av relativt få aktører, slik at for alle metallene vil prisene potensielt bli påvirket i stor grad dersom enkelte land endrer sine mønstre. For nikkel seiler

Indonesia frem som en viktig aktør, for litium er Australia og Chile de sentrale produsentlandene, og det aller meste av kobolten i verden stammer fra Kongo. Kina har en sentral rolle i alle markedene, både som produsent av raffinerte metaller og som konsument. Kobberproduksjonen er relativt globalt spredt og er dermed utsatt for mindre grad av kontroll fra enkeltaktører på produksjonssiden.

Nedenfor presenterer vi tabeller for metallene kobolt, nikkell, kobber, litium og til slutt aluminium. Data brukt i tabellene er hentet fra USAs geologiske undersøkelse (USGS) årlige rapport: «Mineral Commodity Summaries», fra 2022 og 2023. I hver tabell vil vi vise de fem landene som produserer mest av det gitte metallet, med mengde fra gruveproduksjon i årene 2020, 2021 og 2022. Siste kolonne i hver tabell viser kartlagte reserver per 2023 av det gitte metallet. USGS påpeker at det er viktig å forstå at dataen på metallreserver er veldig usikre samt dynamiske. Reservene vil reduseres etter hvert som de blir utvunnet og/eller øke ettersom nye reserver blir oppdaget eller at eksisterende reserver videreoppdages. I tillegg vil ny teknologi eller forandrede økonomiske variabler gjøre det mulig å utvinne metall fra malm som tidligere har vært uegnet for utvinning. Det er også kun små landområder som har blitt utforsket med hensyn til forekomster av hvert enkelt metall, og forekomster på havbunnen er heller ikke inkludert. Verdens virkelige reserver av hvert metall vil av disse grunnene ofte være svært mye høyere enn de reservene som er kartlagte og som vi oppgir i tabellene under. De kartlagte reservene i tabellene vil likevel kunne gi et overblikk av hvilke reserver som kan være tilgjengelige på kort sikt.

TABELL 4 GRUVEPRODUKSJON KOBOLT 2020, 2021 OG 2022 OG RESERVER – TALL HENTET FRA «USGS MINERAL COMMODITY SUMMARIES, JANUARY 2023» - I 1000 TONN

| Land | Gruveproduksjon 2020 | Gruveproduksjon 2021 | Gruveproduksjon 2022 | Reserver |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|
| DR Kongo | 98 | 119 | 130 | 4 000 |
| Indonesia | - | 2,7 | 10 | 600 |
| Russland | 9 | 8 | 8 | 250 |
| Australia | 5,6 | 5,3 | 5,9 | 1 500 |
| Filipinene | 4,5 | 3,6 | 3,8 | 260 |
| Totalt i verden | 142 | 165 | 190 | 8 300 |

Tabell 3 viser de fem største koboltutvinnende landene og gruveproduksjonen av kobolt i 2020-2022, og kartlagte reserver, i tusen tonn. Mye av verdens kobolt kommer fra Den Demokratiske Republikken Kongo. Ifølge tabellen, sto landet for nesten 70 prosent av verdensproduksjonen i

2022. Dette er en betydelig størrelse, som også sier mye om hvilken posisjon Kongo har som produsent. Dersom Kongo velger å intervensere i koboltmarkedet vil dette potensielt ha stor betydning for produksjonsmengde, og dermed også prisen på nytt kobolt. I følge «Cobalt Institute» sto Kongo for 87 prosent av den årlige veksten i koboltproduksjon i 2021 (Cobalt Institute, mai 2022).

Som man ser fra tabellen, er reservene av kobolt i DRC en betydelig størrelse. Rundt halvparten av alle oppdagede koboltreserver på land ligger i bakken i Kongo.

Kobolt utvinnes hovedsakelig som et biprodukt av kobber- og nikkelproduksjon, derfor kan vi i tabellene nedenfor for kobber og nikkel se at flere av de største produsentene av kobolt går igjen.

TABELL 5 GRUVEPRODUKSJON NIKKEL 2020, 2021 OG 2022 OG RESERVER – HENTET FRA «USGS MINERAL COMMODITY SUMMARIES, JANUARY 2023» - I 1000 TONN

| Land | Gruveproduksjon 2020 | Gruveproduksjon 2021 | Gruveproduksjon 2022 | Reserver |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|
| Indonesia | 771 | 1 000 | 1 600 | 21 000 |
| Filipinene | 334 | 370 | 330 | 4 800 |
| Russland | 283 | 250 | 220 | 7 500 |
| Australia | 169 | 160 | 160 | 21 000 |
| Brasil | 77,1 | 100 | 83 | 16 000 |
| Totalt i verden | 2 510 | 2 700 | 3 300 | >100 000 |

Tabell 4 viser gruveproduksjonen av nikkel i 2020-2022, samt antatte reserver per 2023, i tonn utvunnet av de fem mest produserende landene. Den viktigste aktøren i nikkelproduksjonen var i 2022 Indonesia, med nærmere 50 prosent av produksjonen i verden. Dette er nesten fem ganger så stor produksjon som den neste produsenten på listen, som er Filipinene. Dette er en situasjon som er relativt ny. Bare få år tidligere var ikke Indonesia den største produsenten i verden, og vi ser at de har mer enn doblet produksjonen fra 2020 til 2022. Dette har omformet markedet i stor grad. Indonesia jobber aktivt med gjennom lovgivning og insentivordninger for å tiltrekke seg nedstrømsbedrifter, som kan prosessere nikkelen (Pandyaswargo et al., 2021). Et eksempel er fra mars 2022, da Hyundai etablerte en fabrikk i Indonesia for å produsere batteridrevne elektriske kjøretøy (Nangoy & Petty, 2022).

TABELL 6 GRUVEPRODUKSJON AV KOBBER 2020, 2021 OG 2022 OG RESERVER – HENTET FRA «USGS MINERAL COMMODITY SUMMARIES» JANUAR 2023 OG 2022 – I 1000 TONN

| Land | Gruveproduksjon 2020 | Gruveproduksjon 2021 | Gruveproduksjon 2022 | Reserver |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|
| Chile | 5 730 | 5 620 | 5 200 | 190 000 |
| Peru | 2 150 | 2 300 | 2 200 | 81 000 |
| DR Kongo | 1 600 | 1 740 | 2 200 | 31 000 |
| Kina | 1 720 | 1 910 | 1 900 | 27 000 |
| USA | 1 200 | 1 230 | 1 300 | 44 000 |
| Totalt i verden | 20 600 | 21 200 | 22 000 | 890 000 |

Tabell 5 viser gruveproduksjonen per de fem største produsentene i 2020, 2021 og 2022, samt antatte reserver, av kobber. I tillegg til total produksjon og totale reserver på verdensbasis. Den desidert største produsenten er Chile, som i 2022 produserte over dobbelt så mye kobber som neste land på lista. Videre har vi en jevnere fordeling av de fire neste på lista. Vi merker oss også at Kongo har økt produksjonen fra år til år, mens Chile har redusert.

Chile er også det landet med den største andelen av kartlagte kobberreserver. Det er store reserver av kobber kartlagt på verdensbasis og ingen knapphet i nær fremtid.

TABELL 7 GRUVEPRODUKSJON AV LITIUM 2020, 2021 OG 2022 OG RESERVER – HENTET FRA «USGS MINERAL COMMODITY SUMMARIES» JANUAR 2022 OG 2023 – I 1000 TONN

| Land | Gruveproduksjon 2020 | Gruveproduksjon 2021 | Gruveproduksjon 2022 | Reserver |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|
| Australia | 39,7 | 55,3 | 61 | 6 200 |
| Chile | 21,5 | 28,3 | 39 | 9 300 |
| Kina | 13,3 | 14 | 19 | 2 000 |
| Argentina | 5,9 | 5,9 | 6,2 | 2 700 |
| Brazil | 1,4 | 1,7 | 2,2 | 250 |
| USA | * | * | * | 1 000 |
| Totalt i verden | 82,5 | 107 | 130 | 26 000 |

Tabell 6 viser gruveproduksjonen i 2020, 2021 og 2022, samt antatte reserver per januar 2023, av litium i tonn totalt i verden og per land av de fem største produsentene. Australia har høyest produksjon, og står for nær halvparten av verdens litiumproduksjon. Videre har vi Chile med 30% av mengde utvunnet i 2022. Kina er også en stor aktør innen litiumproduksjon med 15 %. Til sammen står disse tre landene for over 90 % av litiumproduksjonen. Utvinningen foregår i

dag i sju land, og de to som ikke er inkludert i listen står begge for rundt 0,4 tusen tonn i 2020 og 1 tusen tonn i 2021. Vi ser også fra tabellen at den totale produksjonen er voksende, med en økning i alle fem landene vi har tall på.

I tabell 6 har vi også valgt å inkludere et sjette land, USA. USA er svært sentral i EV-produksjon med stor satsning gjennom insentivordningen IRA. USGS oppgir ikke tall på gruveproduksjon av litium, kun den antatte reserven. De skriver at tallene er holdt tilbake «for å ikke avsløre proprietære data».

Nært 70 % av de oppdagede reservene av litium, er i de tre mestproduserende landene; Australia, Chile og Kina. Men det er også antatt å være store reserver av litium i andre land enn der produksjonen allerede foregår. Det er også trolig at i nettopp disse landene, hvor produksjonen allerede er stor, at det er gjort arbeid for å utforske potensielle landområder og fått reserver kartlagt. Det har vært og finnes en økende interesse for å avdekke nye litiumreserver over hele verden, så dataen for kartlagte reserver for litium er forventet å endre seg spesielt mye i årene som kommer.

TABELL 8 GRUVEPRODUKSJON AV ALUMINIUM 2020, 2021 OG 2022 OG RESERVER – HENTET FRA "USGS MINERAL COMMODITY SUMMARIES" JANUAR 2022 OG 2023 – I 1000 TONN

| Land | Gruveproduksjon 2020 | Gruveproduksjon 2021 | Gruveproduksjon 2022 | Reserver |
|------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|
| Kina | 37 100 | 38 900 | 40 000 | - |
| India | 3 560 | 3 970 | 4 000 | - |
| Russland | 3 640 | 3 640 | 3 700 | - |
| Canada | 3 120 | 3 140 | 3 000 | - |
| De forente arabiske emirater | 2 520 | 2 540 | 2 700 | - |
| Totalt i verden | 65 100 | 67 500 | 69 000 | *13 750 000 - 18 750 000 |

Tabell 7 viser gruveproduksjonen av de fem største landene innen utvinning av aluminium i 2020, 2021 og 2022. Tallene i denne tabellen er også oppgitt i per tusen tonn. På topp troner Kina, med en produksjon som er tidobbelt så mye som nummer to; India. I 2022 sto Kina for nesten 60% av verdens aluminiumutvinning. Etter Kina finner vi flere land som ligger rundt en relativt lik mengde. Om man fortsetter listen, vil man også se at de neste 5-10 største produsentene også ligger jevnt synkende mengde produsert, fra 3 til rundt 1 tusen tonn. Blant disse finner vi også Norge som det åttende med en produksjon på 1400 tonn. Altså, Kina er den som desidert produserer mest, mens flere land som ligger jevnt etter.

* USGS oppgir ikke tall på reserver av aluminium per land eller totalt. Rapporten oppgir kun total antatt forekomst av bauksitt som aluminium i dag utvinnes fra. For å produsere 1 tonn aluminium kreves ca. 4 tonn bauksitt (Bergfald Miljørådgivere, 2022). USGS skriver at verdens reserver av bauksitt er mellom 55 og 75 millioner tusen tonn. Om vi deler dette på 4 sitter vi igjen med reserver av aluminium på et sted mellom 14-19 millioner tusen tonn, rundet opp. Dette er et unøyaktig regnestykke, men poenget er at reservene er store og at det antas at de er tilstrekkelige for å møte etterspørsel langt inn i fremtiden. I tillegg til disse reservene, har aluminium allerede en gjenvinningsgrad på ca. 35% (Bergfald Miljørådgivere, 2022).

4.3 Politiske, økonomiske og teknologiske prisdrivende faktorer i metallmarkedene

Lønnsomheten i batterigjenvinning er avhengig av hvor mye man kan selge metallene som kommer ut av gjenvinning for. Uansett om man produserer nye batterier selv med metallene, eller om man ønsker å selge dem på et marked, er verdien av gjenvinningen i seg selv avhengig av at kostnaden ikke overgår verdien av metallene på verdensmarkedet. Det vil si at lønnsomheten i resirkuleringen er avhengig av at prisene på metallene holder seg på et høyt nok nivå. Men vi har både sett at prisene har hatt store bevegelser over de siste ti årene, og at volatiliteten i prisene på endringsform har vært høy, spesielt for nikkell og kobolt, og de siste to årene for litium. Med et marked for elektriske kjøretøy som enda er på et ungt teknologisk stadium og med skiftende politiske og økonomiske forhold i verden, er det rimelig å anta at det vil komme sjokk og strukturelle endringer i prisene i fremtiden også. Det er helt umulig å kun bruke historisk data for å spå fremtiden i metallprisenes nivå og oppførsel. For å kunne gjøre antagelser om verdien av batterier som kommer inn til gjenvinning i fremtiden, er det derfor essensielt å forstå hvilke risikofaktorer som både er viktige i dag og i fremtiden. Videre vil vi drøfte hvilke politiske, økonomiske og teknologiske faktorer som kan påvirke metallmarkedene.

Eksposering mot koboltprisen kan gi betydelig risiko. Kobolt er et biprodukt i produksjonen av andre metaller, og avhengigheten av produksjon av andre metaller bør ses på som en risikofaktor for kobolten (Moats & Davenport, 2014). I 2014 kom rundt 50 prosent av produksjonen av kobolt fra nikkellproduksjon, og 35 prosent fra kobbermalmsproduksjon. De resterende 15 prosentene kommer hovedsakelig fra andre hoved metaller, der et eksempel er marokkansk arsenikkproduksjon. Både nikkell og kobber har et mye større volum i produksjonen enn kobolt, noe som gjør at kobolten (og koboltprisen) ikke er den naturlige drivende faktoren for produksjonen av nikkell og kobolt eller kobber og kobolt. Konsekvensen av dette er at dersom kobberproduksjonen eller nikkellproduksjonen går ned, vil tilbudet av kobolt også naturlig følge

etter. Samtidig som man kan tenke seg at tilbudet går opp dersom produksjonen av kobber og nikkel går opp. Denne situasjonen vil dog være avhengig av valgene nikkel- og kobber produsentene tar for merproduksjon av kobolt. Med dagens teknologi og økonomiske betingelser kan man ikke øke produksjonen av kobolt alene.

Koboltproduksjonen og videreforedlingen er i hovedsak styrt av to aktører. Tabell 3, med data på verdens koboltproduksjon, viste at DR Kongo står for 70% av gruveproduksjonen og eier store deler av de kartlagte reservene. Dersom det oppstår en situasjon i DR Kongo som stopper eller reduserer produksjon eller eksport, vil dette føre til betydelige sjokk i prisen som potensielt kan være katastrofalt for markedet. Kongo er et land med uroligheter også i nyere tid, og risikoen for situasjoner som statskupp eller krig er relativt høy (OECD, 2023). Det finnes også en omdømmerisiko for bilprodusentene ved å benytte kobolt fra Kongo.

Menneskerettighetsorganisasjoner som Amnesty rapporterer om bruk av barnarbeid og farlige arbeidsforhold ved utvinningen i landet (Amnesty International, 2017), dette har fått interesse i media og ført til press fra kunder for elbilprodusentene. Gruvene er lokalisert i Kongo, men mange av selskapene som driver utvinningen er styrt av kinesiske eiere. I tillegg sto Kina for 70% av raffineringen av kobolt i 2021 (Cobalt Institute, 2021). Dette er også et kritisk punkt i verdikjeden til kobolttilbudet. Dersom Kina velger å ikke produsere raffinert kobolt eller velger å ikke selge til utenlandske aktører er det ikke slik at andre kan fylle etterspørselen. Det er to grunner til dette. For det første har kinesiske selskaper kontroll over mange av kobber- og nikkelgruvene i Kongo, og for det andre innehar Kina både stordriftsfordeler og ekspertise innen produksjonen av kobolt av høy renhet.

Den lave graden av diversitet i koboltens verdikjede medfører økt risiko som følge av endringer i rammebetingelser for kinesisk produksjon eller politisk ustabilitet. Kina har en historikk av å bruke sin råmateriale- og industrimakt til å fremme egen politisk agenda. Politisk har Kina eksempelvis brukt andre lands avhengighet til dem som pressmiddel i handelspolitiske spørsmål og til tider i rene territorielle krav mot Japan. Industrielt har Kina i perioder innført en rekke eksportrestriksjoner av råmaterialer som har ført til nedleggelse av anlegg for produksjon av elektriske og elektroniske produkter i andre land (Bergfald Miljørådgivere, 2022). Disse eksemplene gjelder ikke kobolt eller LIB spesifikt, men denne historikken utgjør en risiko som kan påvirke koboltprisen og bidra til at produsenter av LIB vil ønske andre kilder for kobolt, eller å fase ut kobolt fra batterikjemien de bruker.

For litium har situasjonen potensial til å bli nokså lik situasjonen for kobolt. Financial Times skriver at å ha en sikker forsyning av litium, er en av bilprodusentenes største

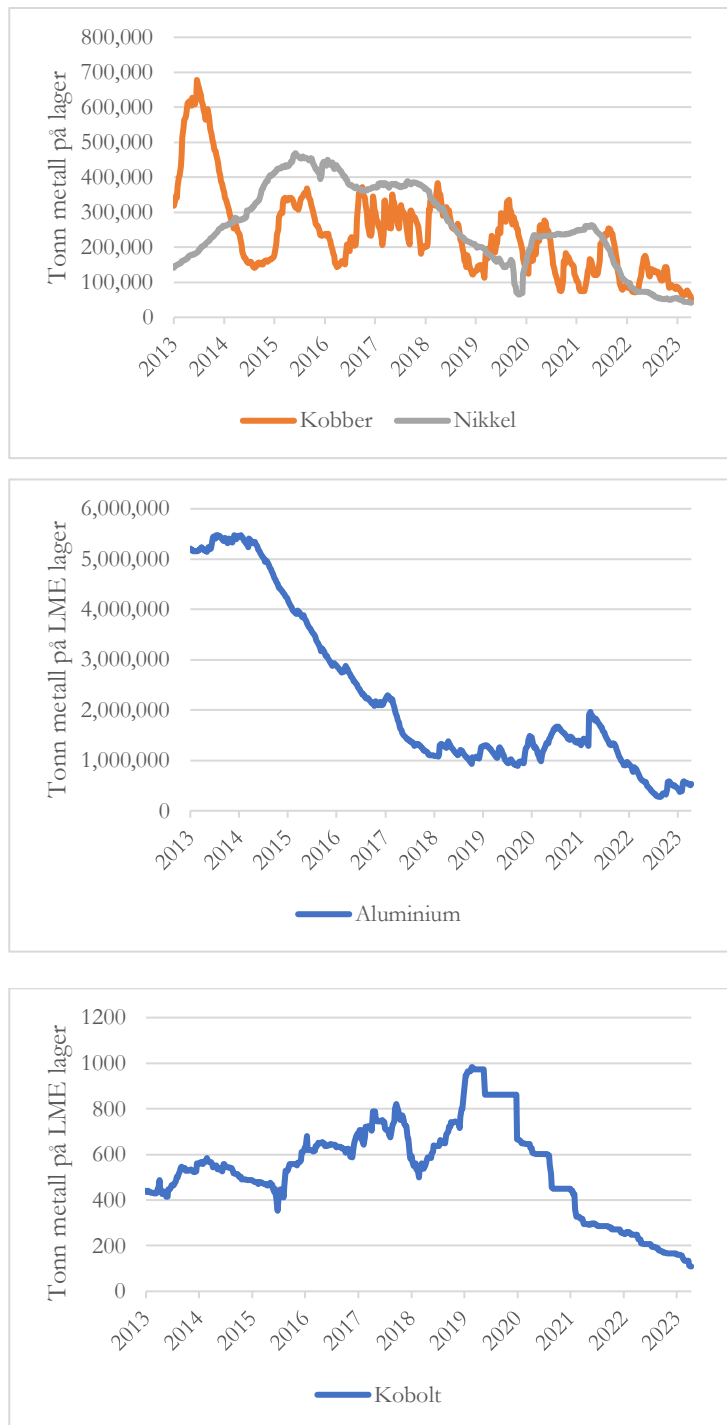
fremtidsutfordringer. Kina har vært fremsynt og vært tidlig ute med å investere i gruveutvinning i Latin-Amerika og Afrika, samt i å bygge opp egen industri for å raffinere litium. Kina dominerer nå raffineringen, er verdens tredje største utvinner, i tillegg til at kinesiske selskaper sikrer seg eierskap til gruver (Dempsey & Cotterill, 2023). Kina er en ledende aktør, og de samme risikoene som er diskutert for kobolt gjelder også for litium. I fremtiden kan denne risikoen bli lavere, da Europa, USA og andre arbeider med å sikre egne verdikjeder for litium gjennom egenproduksjon og å investere i andre land. I tillegg til at det er Australia som utvinner mest litium. Det arbeides også med å finne substitutter til LIB, men det vil ta tid før ny batteriteknologi kan overta.

Også for nikkel og aluminium er det kun et land som står for det meste av gruveutvinningen. Indonesia produserer 50% av verdens nikkel, og står i tillegg for mye av raffineringen, en andel som øker. Kina utvinner per 2022 60% av verdens jomfruelige aluminium. Vi ser ikke på dette som like risikofyllt som ved kobolt, da disse nikkel og aluminium produseres i en mye større total mengde og landene står for en mindre produksjonsandel enn Kongo, med 70% av kobolt. Aluminium gjenvinnes også i stor grad, noe som naturligvis ikke kommer frem i talldataen for gruveutvinning. Likevel er det en risiko for at dette kan påvirke metallprisene om produksjonen eller eksporten av nikkel og aluminium hindres gjennom politikk eller hendelser som naturkatastrofer eller epidemier. Eksempelvis har kinesiske miljørestriksjoner på bauksitt har vært en prisdriver på aluminiumsproduksjon de siste årene (Ju, 2022).

Et økt tilbud av metall kan fylle etterspørselen og redusere prisene. Økende etterspørsel etter mange mineraler og metaller har ført til en fornyet interesse for utvinning fra havbunnen. For batterimetaller er det snakk om store forekomster av kobolt, nikkel og mangan. Dette reguleres av FNs Internasjonale havbunnsmyndighet (ISA) som på sin hjemmeside viser til at 11 selskaper har lisens til å utforske ulike forekomster (ISA, u.å.), dette er selskaper som har støtte fra ulike land og giganter innen gruvedrift. ISA vil i juli i 2023 utgi et rammeverk som vil være avgjørende for om, og i hvilken grad forekomster på havbunnen kan utvinnes. Flere mener denne formen utvinning vil være fremtiden i utvinning av viktige batterimetaller, mens andre er imot og frykter kolossale følger for marint liv. Tyskland og Frankrike er to av landene som ønsker at dette skal forbys, og BMW og Volvo har allerede meldt at de ikke vil benytte metall fra havbunnen i sin produksjon (Bryan & Dempsey, 2023). Hvordan dette kan påvirke metallprisen er vanskelig å si. Dette avhenger om det faktisk blir tillatt å utvinne, og i hvor stor grad. Generelt vil et økt tilbud kunne redusere prisen, men når det gjelder batterimetallene er etterspørselen stor, og forventes å øke. Om man får utvinne kobolt fra havbunnen vil dette gi batteriprodusenter mer diversitet i verdikjeden, og redusere risikoen for at kobolt vil fases ut fra batterikjemier.

Tilbyderne av metall representerer en del av verdikjeden for metallene, og dersom det skapes flaskehals på tilbydersiden, kan det tenkes at enkelte aktører kan dra nytte av flaskehalsene og ta en større del av verdiene som skapes. Et eksempel er dersom det blir lite containerplass på skip som seiler mellom gruvedriften i Kongo og Kina, vil skipsrederne kunne øke sine priser og ta en større del av verdien i koboltmarkedet. Dersom det ikke er tilgang til å effektivt og raskt øke produksjonen i andre deler av verden vil denne makten bli ytterligere forsterket.

I et kort perspektiv kan man tenke seg at selskaper ønsker å lagre metaller, i påvente av prisøkninger. Dette er strategiske beslutninger gjort på selskapsnivå, eller nasjonalt nivå dersom en nasjon har stor kontroll over selskapene i landet, slik situasjonen for eksempel er i Kina. Generelt kan vi si at selskaper vil ønske å lagre i større grad dersom prisene går ned, men det er ikke nødvendigvis en enkel sak å gjennomføre. For det første innebærer dette risiko, dersom man ikke står med betydelig markedsmakt, da man alltid står ovenfor muligheten for at prisene ikke går opp igjen, i hvert fall på lang tid. Da kan man sitte i en situasjon der man må holde på kostbare lagre over tid, og tape verdier helt til det blir vanskelig å holde på reservene.



FIGUR 11 LAGRING AV BATTERIMETALLER PÅ LME WAREHOUSE 2013-23 I TONN – NIKKEL OG KOBBER, ALUMINIUM OG KOBOLT– UKENTLIGE DATA – FRA LME

I figur 11 ser man lagringen av metaller på «LME Warehouse» i tonn. Dette er mengden metall som lagres av varelagrene til London Metal Exchange rundt om i verden. Denne nedgangen har skapt usikkerhet for investorer i markedene, spesielt for kobber (Fastmarkets, 2022). Grafene viser at mengden lagret metall har falt siden 2013 til nesten null i dag for alle metallene. I denne grafen kan det se ut til at kobber har hatt en form for sesongavhengighet. Aluminium har vært jevnt over fallende i nesten hele perioden. Aluminium er i et eget diagram grunnet den enorme

mengden aluminium på lagrene. Aluminium og kobolt er i et eget diagram grunnet den enorme mengden aluminium på lagrene. Koboltlagrene har hatt et dramatisk fall siden den høye prisen i 2018. I 2023 finnes det nesten ikke metall igjen på lager for noen av metallene på LMEs lagerplasser. Dette kan skyldes mange ting, men tyder på at det ikke har vært ønskelig og/eller mulig for produsenter å lagre de siste årene. Det er vanskelig å vite sikkert hvor mye metall som lagres av andre enn LME. Men dersom disse grafene er tilnærmet like for andre som lagrer metall, så vil man kunne anta at markedene er svært utsatt dersom det kommer store positive sjokk i etterspørselssiden for metallene.

Dersom batterisammensetningene endrer seg, vil verdien på batteriene som kommer inn til gjenvinning endres. Koboltprisen har vært høy, og batteriprodusenter ønsker å redusere kostnader ved å substituere kobolt som materiale i katoden (Luo et al., 2022). Produsenter av batterier fungerer som konkurrenter til gjennvinners i denne sammenhengen. Dersom verdien på et metall i batteriet går opp, vil produsenter av batteriene ønske å bytte ut dette metallet med alternativer for å redusere kostnader. Det betyr at for eksempel prisoppgangen man så på kobolt i 2018 og i 2021, vil ha vanskelig for å være drivkraften for lønnsomheten i gjenvinning av batterier over tid. Dette kommer både av at produsenter av batterier relativt enkelt kan gå over til andre blandinger, og av at eiere av nikkel- og kobbergruver med koboltforekomster kan ønske å utvinne mer kobolt når prisen er høy. Det siste krever selvfølgelig at produsentene faktisk ønsker å øke produksjonen, noe som ikke nødvendigvis er tilfelle da enkeltaktører har markedsmakt i utvinningen av kobolt, og i raffinering og salg av raffinerte produkter.

I fremtiden kan man forestille seg at det vil bli helt nye metoder og sammensetninger for batteriene. Neuman et al. (2022) beskriver en rekke lovende batterityper. De nevner for litium-metall systemer, litium-svovel batterier og solid-state batterier. Det er rimelig å anta at det vil komme helt nye metoder for å konstruere batterier, med nye sammensetninger, men dette vil ta tid. Det vil både ta tid før teknologiene er ferdig utviklet, men også ta lang tid før batteriene kommer inn til gjenvinning i store partier.

Høy risiko i verdikjeden av et metall kan føre til at batteriprodusenter ønsker mer diversitet i verdikjeden, og metaller fra gjenvinning i Norge eller Europa vil være et godt alternativ. Samtidig kan høy risiko og høye metallpriser føre til at produsenter av LIB vil redusere innholdet av metallet, eller om mulig fase det helt ut. Av metallene vi ser på vil vi si at det er høy risiko rundt kobolt og litium, og mindre rundt nikkel, aluminium og kobber.

4.4 Samvariasjon i batterimetallprisene og mulighetene for sikring i futuresmarkeder

En viktig grunn til å identifisere korrelasjonene mellom batterimetallene, er for å forstå hvilken effekt bevegelser i prisene har på inntekten i prosjektet. Vi finner at prisene er korrelerte på nivå, og at aluminium og kobber er de eneste betydelige korrelerte (0,52) på endringsform. Den høye korrelasjonen betyr flere ting. For det første vil vi argumentere for at prosjektet blir mer utsatt for risikoen ved fall i prisene. I tider med stor nedgang i for eksempel kobberprisen, indikeres da en nedgang i de andre prisene, noe som vil kunne ha potensielt stor effekt på inntekten i prosjektet vi analyserer. Samtidig vil prosjektet ha stor oppgang i tider med høye priser. Slik at det er vanskelig å si noe om den totale effekten korrelasjonen vil ha på lønnsomheten. Men dette forbeholder at prosjektet overlever. Og dersom inntekten er negativ i de første årene kan prosjektet allerede være avvirket før man ser bedre tider. En produsent av batterier vil ha andre beregninger enn en gjenvinner alene, fra en naturlig sikring i å være investert i naturlig negativt korrelerte bransjer. Vi analyserer ikke effekten denne naturlige sikringen har på kontantstrømmene i denne oppgaven.

Dersom det er statistisk signifikante sammenhenger mellom prisene, åpnes flere muligheter for gjennvinnere av batterimetaller. For det første vil det åpne opp muligheter for enkle eller avanserte modeller å predikere prisene på metallene. Slike modeller vil aldri være helt sikre, men kan potensielt være mer nøyaktige enn naive anslag. Å ha en ide om hvor prisene er på vei er helt essensielt for gjennvinnere av metaller. Dersom man ikke vet hvor prisene på metallene man er mest utsatt for vil bevege seg, vil det for eksempel være vanskelig å få lån og vanskelig å planlegge når man vil sitte med kontanter og er rustet for ekspansjon. For det andre vil korrelasjon mellom metallene åpne for muligheter for kryss-hedging.

Det er relativt enkelt å handle kontrakter for kobber og aluminium i likvide markeder for spekulanter og hedgere. Enten i futuresmarkedet eller gjennom ETFer. Det samme er ikke tilfelle for kobolt og litium. Korrelasjon mellom prisene vil også kunne gjøre det mulig å kryss-hedge eksponering mot en metallpris. Hedging vil ikke kunne sikre gjennvinnere over lang tid, da det er få muligheter for å hedge over flere år. Men mulighetene for hedging kan åpne opp for sikring i kortere intervaller. Hedging kan gjøre at man i større grad kan sikre at man har positive kontantstrømmer i månedene som kommer. Dette kan gjøre investeringsprosjekter mer interessante, da man er avhengig å ha kontanter over en viss periode for å kunne nedbetale kortsiktig gjeld. Dette kan også gjøre det mer interessant for kredittinstitusjoner å låne penger til gjenvinningsprosjekter.

TABELL 9 KORRELASJONSMATRISSE PÅ NIVÅ – 2013-2023 – MÅNEDLIG DATA

| | <i>Nikkel</i> | <i>Kobber</i> | <i>Aluminium</i> | <i>Kobolt</i> |
|-----------|---------------|---------------|------------------|---------------|
| Kobber | 0,78 | | | |
| Aluminium | 0,76 | 0,88 | | |
| Kobolt | 0,36 | 0,47 | 0,71 | |
| Litium | 0,72 | 0,49 | 0,65 | 0,50 |

Tabell 8 viser korrelasjonen mellom prisene på nivå. På nivå er alle metallene tydelig positivt korrelerte, med laveste korrelasjon mellom kobolt og nikkel (0,36). Noe som er interessant, da kobolt og nikkel ofte produseres sammen. Den høyeste korrelasjonen er mellom aluminium og kobber (0,88). Den høye korrelasjonen mellom aluminium og kobber er ikke svært overaskende. Begge metaller er både viktige for verdensøkonomien, og det er rimelig å anta at verdensøkonomien er viktig for etterspørselen etter metallene. Samtidig blir aluminium og kobber også sett på som komplementære (Bartoš et al., 2022).

TABELL 10 KORRELASJONSMATRISSE FOR PRISENDRINGER PÅ BATTERIMETALLER – 2013-2023 – MÅNEDLIG DATA

| | <i>Nikkel</i> | <i>Kobber</i> | <i>Aluminium</i> | <i>Kobolt</i> |
|-----------|---------------|---------------|------------------|---------------|
| Kobber | 0,37 | | | |
| Aluminium | 0,28 | 0,58 | | |
| Kobolt | 0,23 | 0,13 | 0,14 | |
| Litium | 0,42 | 0,08 | 0,20 | 0,20 |

Tabell 9 viser korrelasjonen mellom metallene på endringsform mellom 2013 og 2023. Her er endringen målt som prosentvis vekst ukentlig. Det er mange problemer med å måle korrelasjonene på nivå, men et viktig problem er at det er vanskelig å skille ut hva som er de faktiske driverne for korrelasjonen. Ved å se på korrelasjonen på endringsform får vi forhåpentligvis et riktigere bilde av hvor samvarierte metallene er dersom alle andre drivere er ute av modellen. Selv om det er umulig å fjerne alle andre effekter.

Prisendringene er, ikke overaskende, mindre korrelerte. Den største korrelasjonen er fortsatt mellom aluminium og kobber (0,58). At kobber- og aluminium er korrelerte betyr ikke nødvendigvis at de har noe annet forhold enn at store nyheter i markedene påvirker begge samtidig. Men det kan være et tegn på at en av prisene har tendenser til å påvirke hverandre. Det er mest nærliggende å tro at det er kobber som er den drivende kraften i metallmarkedene, da kobber produseres og selges i svært stor skala, samtidig som kobber, relativt til sin sentrale rolle, har høy verdi. Men man ikke si sikkert uten videre undersøkelser hva som skaper korrelasjonene.

Dersom det finnes et eksisterende marked for derivater på de forskjellige metallene vil det potensielt være muligheter for bedrifter som er eksponert mot prisen på metallene å sikre inntekten gjennom hedgingstrategier. Det mest nærliggende derivatet for metallene er futureskontrakter som er på børser som Chicago Mercantile Exchange og London Metal Exchange. Dersom det skal være interessant å utnytte dette markedet er det et behov for at kontraktene handles i et relativt stort volum, slik at kontraktene både kan inngås og gås ut av lett. Historisk sett har kobber, aluminium og nikkel vært metaller som har hatt relativt høyt volum på slike børser og markedet for kobolt har hatt perioder med likviditet. Litium blir nesten ikke handlet på børs, men har finansielt oppgjorte kontrakter på både LME og CME, som potensielt vil vokse med den økende bruken av metallet i EV.

Kobolt kan handles ved CME og LME. Kontraktene på CME hadde en samlet open interest på 19 000 den 14. april 2023 (CME, 2023a). Kontraktene på LME hadde 17 samlede kontrakter i open interest 14. april 2023 (LME, 2023). På LME er det to kontrakter, en med fysisk oppgjør og en med finansielt oppgjør hvor den finansielle kontrakten tar priser fra Fastmarkets. Fra Commitment of Traders fra 17. mars 23, er det 17 kontrakter utestående i markedet for den fysiske kontrakten (finansielle institusjoner short, og kommersielle aktører long). Denne kontrakten ble handlet på tidligere, men er per mars 2023 nesten utdødd. Den finansielle kontrakten på CME har tatt over mye av markedet. Denne kontrakten var i liten grad brukt før prisstigningen i 2022, som viser til hvordan markedet øker når verdien i metallene øker.

Nikkel handles, i den vestlige verden, hovedsakelig med futureskontrakter på LME da det ikke finnes noen kontrakter på CME. Dette kan fort endre seg, spesielt med tanke på situasjonen LME havnet i etter mars 2022 med da de stengte nikkehandelen, en kontrovers som vi har beskrevet tidligere. Det er også andre problemer med nikkelkontrakten som handles på LME. 21. mars skrev Financial Times om hvordan lederen i Trafigura, Jeremy Weir, mener kontrakten på rent nikkel på LME ikke representerer det virkelige markedet for nikkel, da det er nikkelsulfat som hovedsakelig brukes i batteriindustrien (Hook & Dempsey, 2023). Uansett hvordan man tolker slike situasjoner og troverdigheten til kommersielle aktører, kan vi si at det allerede er lav likviditet på nikkel og at det ikke er urimelig å anta at det kan komme aktører på banen som utfordrer LME-kontrakten, eller at kontraktstrukturene endres.

Kobber har lang historie på råvarebørser som LME og CME. På CME var per 23. mars 2023 open interest på 203 574 med 113 572 av disse på mai 23 kontrakten. Hver kontrakt på CME og LME er for 11 339 tonn kobber. Det vil si at det er over to millioner tonn med kobber utestående i kontrakter på CME per 23. mars 2023. Dette er selvfølgelig en helt annen skala enn for nikkel og spesielt for kobolt. Prisen på kobber er i mye større grad et produkt av

markedskreftene i råvaremarkedet, og man i mye større grad være sikker på at man kan bevege seg relativt enkelt ut og inn av posisjonene sine dersom man er long eller short på kobber.

Det daglige volumet på LME for aluminiumskontrakter var samlet mellom 12.03.23 og 12.04.23 på det laveste på 122 000 kontrakter og på det høyeste 348 000 kontrakter. Kontrakten er på ett tonn aluminium.

Det er vanskelig for en gjenvinner å sikre posisjonene sine ved å bruke langsiktige kontrakter. Kobber og aluminium har langsiktige likvide kontrakter på flere børser, men det er vanskelig sikre lenger enn få år inn i fremtiden. Det vil sannsynligvis være mulig å sikre aluminium gjennom kryss-hedging med kobberkontrakter, men aluminium står for en liten del av inntekten til gjenvinnere, og har god likviditet. Kontraktene på nikkel, kobolt og litium er lite likvide og vil være vanskelig å brukes til sikring enn så lenge. Dersom kontraktene blir mer likvide, kan det bli mulig å bruke disse mer aktivt for å gi en stødigere kontantstrøm på kort sikt.

4.5 Oppsummering av kapittel om metallprisene

Enkelte av metallprisene har hatt perioder med høye standardavvik. Denne volatiliteten har også vært større de siste 3 årene, enn de de siste 10 årene. Noe som kan tyde på at den utviklingen går i retning av større usikkerhet i markedene. Dette er en naturlig utvikling for metaller som har vært lite brukt før elektriske kjøretøy kom på markedet i industriell skala. Noe av denne volatiliteten kan skyldes enkelthendelser som koronasituasjonen, med stengte havner eller lavere aktivitet i havnevirksomhet, gruver og shipping. Men det er vanskelig å peke på spesifikt hvilke hendelser som har skapt presset vi har sett de siste årene i de fem prisene vi har studert, og man må være svært forsiktig med å anta at denne situasjonen vil fortsette.

Denne uvissheten gjør at det er nødvendig å forsøke å identifisere faktorer som enten kan gi press eller ta av press fra prisene i fremtiden. Det er viktig å vite hvor makten i metallmarkedene ligger slik at man kan identifisere hvor flaskehalsen kan oppstå. Flaskehalsene kan oppstå gjennom en rekke årsakssammenhenger. Og de kan enten være skapt ut av beslutninger, som politiske beslutninger om å dempe produksjonen i landet, eller at statlige organer tar kontroll over produksjon. Men det kan også være andre årsaker til at det blir mindre produksjon i verden av batterimetaller. Dette kan for eksempel være naturkatastrofer, pandemier, opprøyer eller andre uforutsette hendelser. Selv om det er usikkert hvordan for eksempel koronakrisen påvirket produksjonen og markedene i verden av metallene, er det liten tvil om at globale hendelser som dette har globale konsekvenser.

Prisutviklingen på batterimetallene er også utsatt for teknologisk risiko. Det forskes konstant på nye metoder å lage batterier, der målet ofte er å fjerne verdifulle deler fra batterikjeden. Enn så lenge produseres mange batterier fortsatt med koboltinnhold, og batteriene som kommer inn til gjenvinning fra den norske bilparken vil inneholde kobolt i lang tid. Men dersom batteriene ikke lenger behøver kobolt i fremtiden vil prisen på kobolt falle, da bruken av kobolt er sentrert rundt batteriproduksjon. Noe som igjen vil føre til at batteriene som kommer inn til gjenvinning mister verdi. Dersom det er nikkel som tar over mye av posisjonen til kobolten er det sannsynlig at verdien på nikkel vil gå opp, slik at man vil kunne dra nytte av en substitusjonseffekt som batterigjenvinner. Dersom det er helt nye metaller som blir viktige katodematerialer, vil batteriene som kommer inn til gjenvinning fort kunne miste mye av verdien den har i dag.

Prisrisikoen en batterigjenvinner står ovenfor er ulik den andre råvareprodusenter, for eksempel en utvinner av olje, står ovenfor. En utvinner av olje kan i større grad anta at det vil være store svingninger i markedet over lang tid. Slik at det er mye mer rimelig å anta at prisene vil gå opp igjen (selv om det ikke er noen fullstendig sikkerhet). Samtidig er det mye mer naturlig for en etterspørter av olje å handle olje på svært lange kontrakter, da de også ikke ønsker å sitte med prisrisikoen, samtidig som det er lite sannsynlig at forbrukeren av olje ikke har behov for tilførsel av olje i lang tid inn i fremtiden.

En svært viktig kilde til risiko for en det teoretiske prosjektet er samvariasjonen mellom prisene. Denne samvariasjonen gjør at man ikke er diversifisert om man er eksponert mot prisene på metallene. Hvis det kommer skifter i kobberprisen, vil dette sannsynligvis komme med skifter retning for spesielt nikkel og aluminium. Dersom man er tidlig i fasen i prosjektet og kan dette får svært store konsekvenser. Hvis prisen synker til stadiet der prosjektet ikke generer positiv kontantstrøm over flere år, noe som ikke er utenkelig, vil det være svært vanskelig å drifte prosjektet.

5 Forutsetninger i basiscaset

Informasjonen og vurderingene vi legger frem i dette kapittelet bygger grunnlaget for forutsetningene i basiscaset for nåverdianalysen av gjenvinningsprosjektet, som vi presenterer i kapittel 6.

Kontantstrømmene fra prosjektet er avhengig av de reelle kontantstrømmene fra kostnadene ved å drifte prosjektet, i forhold til størrelsen på de positive kontantstrømmene fra salg av gjenvunnet materiale. Kostnadene er en funksjon av mengden batterier som gjenvinnes, og hvor mye det koster å gjenvinne en kg batteri. Inntekten er en funksjon av mengden metall/salt man får ut av hvert batteri, mengden batteri som kommer inn til gjenvinning og verdien av bestanddelene man får ut gjennom gjenvinningsprosessen.

Kapittel 4.1 omhandler inntektene i gjenvinning av EV-batterier. I foregående kapittel analyserte vi prisene, som er en svært viktig driver for inntekten. I dette kapittelet dokumenterer og fremhever vi de andre viktige drivere. For deretter å gå dypere inn i hvordan disse faktorene har sett ut tidligere, og hvordan vi mener de kan se ut fremover.

I neste del av kapittelet går vi gjennom hvordan kostnadsmodellen EverBatt er bygd opp og hvilke estimater vi har gjort i modellen. Vi går også gjennom endringene vi har gjort for å få en modell vi mener er mer realistisk for norsk batterigjenvinningsindustri. Denne oppgaven søker å gi svar på hvordan metallprisene påvirker lønnsomheten i gjenvinning. Det er derfor større fokus på hvordan inntektene vil se ut i fremtiden, fremfor kostnadene. Følsomhetsanalysen i slutten av oppgaven fokuserer i stor grad på hvordan ulike metallpriser påvirker lønnsomheten i en modell med statiske kostnader. Men som metallprisene, er kostnadene også usikre, og det er umulig å presist estimere mange av kostnadene og hvordan disse vil endre seg i fremtiden. Dette gjelder spesielt for batterigjenvinningsbransjen, da bransjen både er ny og uprøvd i det norske markedet. Vi har heller ikke tilgang på konkrete eller virkelige regnskapsdata på kostnadene til de få aktørene i Norge som utvikler gjenvinningsanlegg eller -prosesser.

Deretter skifter vi fokus til størrelsen på driften. Estimater for hvor mye brukte EV-batterier som vil komme inn i fremtiden er helt sentralt for å måle lønnsomheten i gjenvinning av batteriene. Vekst er drivende faktor i kontantstrømanalyse (Bøhren & Gjørsum, 2009). Dersom man realistisk klarer å holde kostnadene lavere enn inntektene man genererer per batteri, vil mengden batterier som kommer inn til gjenvinning være bestemmende for hvor fort man kan klare å nå dekningspunktet i nåverdimodellen. Vi antar at anlegget gjenvinner den norske bilparken. Dette kommer ikke av lovpålagte begrensinger, men av at vi ønsker å se på lønnsomhetene i lys av det norske markedet. Det er selvfølgelig mulig å gjenvinne batterier fra for eksempel andre

europiske nasjoner, men dersom batterigjenvinning er lønnsomt, kan det tenkes at det vil komme mye konkurranse i fremtiden. Så nylig som 9. mai 2023 skrev Financial Times at Glencore i samarbeid med Li-Cycle planlegger å bygge Europas største EV-resirkuleringsanlegg på Sardinia (Dempsey, 2023).

5.1 Batterisammensetning og gjenvinningsmetode

Inntektene i nåverdimodellen er utregnet som produktet av prisene på stoffene som gjenvinnes i resirkuleringsprosessene, og mengden av disse stoffene. Materialmasse fra kostnadsmodellen ganget med kilogramprisen for hver enkelt av metallene i modellen til EverBatt.

NMC og NCA er de vanligste typene batterisammensetning i den norske bilparken (Thorne et al., 2021). Forkortelsene refererer til blandingene i katoden på batteriene. NMC består av nikkell, mangan og kobolt, og NCA består av nikkell, kobolt og aluminium. Spesielt NMC batterier har en rekke undertyper som benyttes i dag i biler over hele verden. Ofte har målet med å utvikle nye blandinger vært å få ned koboltinnholdet. Ikke overraskende har det i perioder med høy koboltpris, vært kobolt som har vært definerende for verdien og råvarekostnaden på batteriene. Dette kommer også av den relativt store mengden kobolt i batteriene. Samtidig som det har vært store svingninger i koboltprisen, som gir store utslag i verdien på de brukte batteriene.

Thorne et al. (2021) har estimert mengden av hver type batteri som ble solgt og vil bli solgt mellom 2011 og 2028. Vi bruker disse estimatene for mengden av hver blanding som har blitt solgt i Norge siden 2011. Markedet for EV-batterier har vært svært voksende siden 2011 og var minimalt før denne tiden, slik at det meste av bilparken som er på veiene i dag består av to kategorier: NMC/LMO (nikkel manganese cobalt og litium mangan oxide) og NCA (nikkel cobalt aluminium oxide). NMC/LMO har tilsvart rundt 60 prosent av markedet, mens NCA har rundt 30%. Det resterende er kategorisert som ukjente batteriblandinger.

Lander et al. (2021) fant at NCA batterier hadde høyest lønnsomhet i alle geografiske områder de undersøkte (Kina, Sør-Korea, USA, Storbritannia og Belgia), satt opp mot NMC 622, NMC 811, LFP og LMO. I deres modell var «direkte resirkulering» den klart mest lønnsomme formen for resirkulering i alle områdene. Pyrometallurgi var den gjenvinningsprosessen som ga lavest lønnsomhet (Lander et al., 2021). Med transportkostnader assosiert til en oppdiktet bedrift i «Willenhall» i Storbritannia, fant de at det var profitabelt å gjenvinne NCA, NMC622, NMC811 og LFP med direkte metode, og at NCA og NMC622 var profitabelt med hydrometallurgi. LMO var ikke profitabelt med noen form for gjenvinning.

TABELL 11 ENDELIGE UTFALL TIL DELENE AV BATTERICELLENE I GJENVINNINGSPROSESSEN I EVERBATT

| | |
|----------------------------|---------------------|
| Aktive katodemetaller | Resirkulering |
| Aktive anodemetaller | Brenning for energi |
| Kobber | Resirkulering |
| Aluminium | Resirkulering |
| Separator | Deponering |
| Elektrolytt | Resirkulering |
| Karbon svart | Deponering |
| Polyvinyldenfluorid (PVDF) | Deponering |

Tabell 10 viser hva som skjer med katodene og metallene i selve gjenvinningsprosessen i EverBatt. Det er også andre deler av batteripakningene som har verdi, som regnes med i modellen. Dette gjelder for eksempel plastikk som brennes for energi. Vi antar at mangan gjenvinnes, samtidig som vi ikke vil endre prisene på disse metallene fra utgangspunktet i EverBatt på 3\$. Dette gjør vi grunnet det lave pris/mengde forholdet for mangan i alle batteriformene (Dai et al., 2019). Anodemetaller består hovedsakelig av grafitt, som har lav verdi. I modellen brennes grafitten for å generere energi.

TABELL 12 BESKRIVELSE AV NORMALE BATTERIER FRA 2019 (VELÁZQUEZ-MARTÍNEZ ET AL., 2019)

| Batteridel | Andel | Mest vanlige materiale |
|--|-------|---|
| Case | ~25% | Stål/plastikk |
| Katode | ~27% | $LiCoO_2$, $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, $LiMn_2O_4$, $LiNiO_2$, $LiFePO_4$ |
| Anode | ~17% | Grafitt, $Li_4Ti_5O_{12}$ |
| Kobber og aluminium folie og strømvaktaker | ~13% | Cu/Al |
| Elektrolytt | ~10% | Løsning av $LiPF_6$, $LiBF_4$, $LiClO_4$ og $LiSO_2$ oppløst i propylenkarbonat, etylenkarbonat, eller dimetylsulfoksid |
| Separator | ~4% | Mikroporøs polypropolen |
| Binner | ~4% | Polyvinylden difluorid (PVDF) |

Tabell 11 viser sammensetningen av et typisk batteri beskrevet av Velázquez-Martínez et al. (2019). Det finnes en rekke type batterier som kan benyttes i EV, men det er mange likheter mellom så godt som alle. Nesten utelukkende inneholder batteriene en katode som inneholder en blanding av «transition metals», anode i grafitt, elektrolytt av litium og den delen av batteriet som plukker opp strømmen og flytter den ut til bruk i kjøretøyet, som er en blanding av aluminium og kobber.

Verdimessig er det i katodene de store forskjellene mellom batteriene kommer til syne (Velázquez-Martínez et al., 2019). De fem katodeblandinger man ser i tabell 11 er basert på Velázquez-Martínez's antagelser om hvilke batterisammensetninger som var mest vanlig i tiden rundt 2019. Noen blandinger inneholder kobolt og nikkell, mens for eksempel $LiFePO_4$ er helt uten både kobolt og nikkell. Det er i katoden mye av verdien til kasserte battericeller stammer fra. Der den viktigste grunnen til dette historisk sett, har vært den svært høye prisen på kobolt. Historisk sett har også kobolt vært metallet man har vært ute etter i resirkuleringsprosessen, der man som regel (spesielt i Europa) har hentet ut kobolt fra batteriet gjennom pyrometallurgiske metoder. Med gode hydrometallurgiske metoder vil det være mulig å få ut mye mer av batteriene, enn ved utelukkende pyrometallurgiske metoder. Man kan også unngå deponering av metaller, og samtidig utvinne verdifulle litiumsalter.

Til enhver tid pågår det forskning for videre utvikling av batteriene, og det er flere grunner til at man ønsker å utforske nye territorier (Velázquez-Martínez et al., 2019). LiCOO_2 er et eksempel på en katodeblanding som gir høy spesifikk kapasitet, men er dyr å produsere samtidig som det kan oppstå farlige situasjoner dersom den kommer under stor varme grunnet ustabiliteten til kobolten. I katodeblandingen LiMn_2O_4 har man fullstendig byttet ut kobolt med mangan. Det gjør at denne blandingen har lavere kostnader, høyere stabilitet ved høy temperatur og bedre toleranse ved overladning. På den andre siden har den et irreversibelt tap ved bruk grunnet manganets oppløsning i elektrolytten.

Med andre ord er det både fordeler og ulemper ved de forskjellige sammensetningene, og det er vanskelig å si hvordan blandingene vil se ut i fremtiden. Det blir også tatt i bruk maskinlæring for å finne optimaliserte blandinger. Men, selv om hastigheten og størrelsen på utviklingen er usikker, er det helt sikkert at sammensetningene og batteriteknologien vil fortsette å utvikle seg i årene som kommer.

Endringen i batterisammensetningen har to effekter på lønnsomheten i batterigjenvinning. For det første fører endringer til at det blir økte/reduerte eller nye strømmer av metaller som går gjennom gjenvinningsanleggene. For det andre, vil endringer i sammensetning påvirke metallprisene gjennom endringer i etterspørsel. Med andre ord har batterigjenvinningsindustrien en effekt på metallprisen, samtidig som metallprisen har en effekt på batterigjenvinningsindustrien. Den første effekten vil ikke slå inn på lønnsomheten i gjenvinningen i stor grad før om flere år, men prisseffekten er derimot mye mer akutt. Dersom batteriprodusentene klarer å produsere batterier som koster mindre, for eksempel gjennom å substituere kobolt med nikkel eller jern, samtidig som de presterer på samme nivå som koboltrike batterier, vil koboltprisen falle raskt. Dette kommer av den sentrale rollen EV-batteriproduksjon har for etterspørselen av kobolt. At koboltprisen er svært avhengig av EV-bransjen, gjør at man har lav grad av diversifisering dersom man er eksponert mot koboltprisen.

I Norge er den mest solgte batteritypen NMC batterier, den neste på listen har historisk vært NCA batterier. Store deler av NMC salgene kom fra bilmodellen Nissan Leaf som bruker batterier på 1500-1599 kg, mens store deler av NCA batteriene kommer fra Tesla Model X som er i klassen 2000 kg batterier. Etter at prisen på kobolt steg betraktelig i 2018, ytret EV-produsenter ønske om å gå bort fra koboltrike batterier. Det har også vært et politisk og sosialt press på å gå bort fra koboltrike batterier grunnet dårlige arbeidsforhold, barnarbeid og klimakonsekvenser fra utvinning av kobolt i Kongo. For eksempel har bruken av NMC111 og NMC811 gått ned og man har sett økning, spesielt fra kinesiske produsenter, i retning av LFP

batterier, med litium og jernfosfat. Dette kan igjen føre til at andre metaller øker i pris og presser tilbudet, der det mest utsatte metallet kanskje er nikkell (Thorne et al., 2021).

For estimer på mengden av hver batteritype på markedet i Norge i dag og i fremtiden bruker vi Thorne et al. (2021). Dette er estimer som ikke tar høyde for underkategorier innenfor hver enkelt batterisammensetning. Det vil si at de kun har gjort estimer på de tre mest brukte typene av batterier som er NMC, NCA og LMO (litium og mangandioksid). Informasjonen om mer konkrete kjemier er ikke holdbare, og til tider konfidensiell.

TABELL 13 BATTERITYPER MED PROSENTVIS FORDELING I NÅVERDIANALYSE

| Batteritype | Prosent |
|-------------|---------|
| LMO | 10% |
| NMC(811) | 20% |
| NMC(111) | 20% |
| NMC(622) | 20% |
| NCA | 30% |

Tabell 12 viser prosentvis fordeling av batteritypene til gjenvinning som vi bruker i EverBatt-modellen. Mengdene er basert på forskningen til Thorne et al. (2021). Men det er også brukt skjønn i de konkrete mengdene da vi ikke har tilgjengelige spesifikke data på fordelingen av batterityper på markedet i Norge.

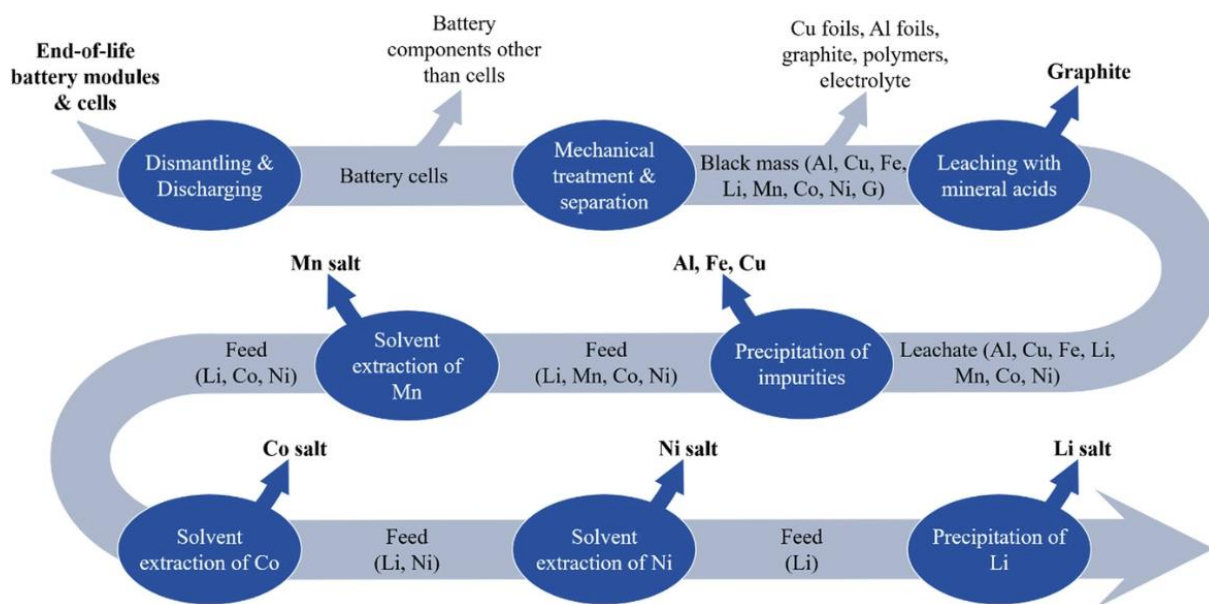
TABELL 14 MENGDE AV METALLER I BATTERIER SOM GJENVINNES I EVERBATT

| Innhold i batterier til gjenvinning | Kg per kg batterier til gjenvinning | Mengde (kg) med antatt 4000 tonn til gjenvinning |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| Kobolt i katode | 0,038 | 151 000 |
| Nikkel i katode | 0,122 | 488 000 |
| Kobber | 0,175 | 699 000 |
| Aluminium | 0,088 | 354 000 |
| Grafitt | 0,214 | 857 000 |
| Mangan i katode | 0,057 | 229 000 |

Tabell 13 viser innholdet av batteriene i vekt i EverBatt. Den midterste kolonnen viser hvor mye det er av hvert metall som kommer inn til gjenvinning per kg av celler fra brukte batterier. Denne informasjonen er basert på fordelingen av batteritypene. Dersom denne fordelingen endres, vil også mengden av metallene i gjenvinningsprosessen endres. Altså er det mye usikkerhet ved disse tallene. Høyre kolonne viser hvor mye metall dette tilsvarer i kg dersom 4 000 tonn batterier blir gjenvunnet. Everbatt tar høyde for at det er svært vanskelig, og kostnadsfylt, å gjenvinne på 100% grad. For kobolt og nikkell antar EverBatt at 98% av metallene i cellene blir gjenvunnet, mens gjenvinningsgraden for kobber og aluminium er på 90%.

Vi ser på hydroprosesser som den viktigste måten å gjenvinne batterier for i dag og i fremtiden. Det er denne typen prosesser som hovedsakelig blir brukt i Kina og Sør-Korea (Neumann et al., 2022). Dette gjelder for eksempel selskaper som New Energy, GEM, Huayou Cobalt og Ganpower. I Europa er hydroprosessene i en spedere fase, men Northvolt i Skellefteå er et eksempel på en batterifabrikk som er i gang med å bruke hydroprosesser i gjenvinning av batterier i sitt gjenvinningsanlegg Revolt (Neumann et al., 2022). Det mange måter å gjennomføre hydroprosessene, men grovt sett handler det om å ekstrahere metaller og salter gjennom flere runder med forskjellige løsningsmidler. Det vil si at man målrettet bruker bestemte syrer og løsningsmidler for å ta ut metaller og salter.

Figur 12 vist nedenfor er hentet fra Neumann et al. (2022) og viser en generisk og grovt skissert prosess for hydrometallurgisk metode. Prosessen begynner med å demontere batteripakningene, denne prosessen utføres av arbeidere eller maskiner som fysisk river opp pakningene og tar ut battericellen. I cellen har man de verdifulle metallene enten som aktive metaller i batteriprosessen, eller til andre virkeområder. Det første man tar ut fra cellen i gjenvinning prosessen er kobbertråd, aluminiumsfolie og andre lett tilgjengelige deler. Den første utvaskingen som skjer, er for å hente ut grafitten. Deretter tar man ut jern, aluminium og kobber som henger igjen i den sorte massen ved hjelp av pH-prosesser og nedfelling. Det siste som hentes ut er saltene i katoden og elektrolytten. Der man gjennom flere runder henter ut et og et salt. Litium er som regel det siste som blir uthentet.



FIGUR 12 GROVT SKISSET FIGUR FOR EN GENERISK HYDROMETALLURGISK PROSESS – HENTET FRA NEUMANN ET AL. (2022)

I EverBatt antas ikke litium å bli gjenvunnet, hverken gjennom direkte-, pyro- eller hydroprosess. Det er lite tilgjengelig informasjon om hvor mye litium som potensielt kan gjenvinnes i de forskjellige prosessene (Dai et al., 2019). EverBatt antar at 90% av litium som forekommer i både elektrolytt og i katoden potensielt kan gjenvinnes, og at det tilsvarer 0,025 kg litium per kg brukt batteri. Andre estimater gir ca. 160 gram litium per kilowatttime som et totalgjennomsnitt over alle batteritypene (Kushnir, 2015). Kostnadsmodellen beregner ingen kostnader, eller inntekter fra disse prosessene grunnet den lave kunnskapen tilgjengelig. Vi inkluderer likevel litium i studien av prisene da det er sannsynlig at litium vil bli gjenvunnet i større grad i fremtiden dersom prisene holder seg høye og da for eksempel Northvolt har uttrykt at de vil gjenvinne litium i fremtiden (Northvolt, 2022).

5.2 Kostnader i gjenvinning av litium-ionbatterier

Formålet med en forsyningskjede er å maksimere verdiskaping, hvor kunden er den eneste kilden til inntekt. Verdien eller marginen forsyningskjeden for EV-batterigjenvinning skaper, er differansen mellom verdien på gjenvunnet metall for kunden, og kostnadene som oppstår gjennom hele verdikjeden.

I dette underkapitlet diskuterer vi kostnadene som oppstår når man gjenvinner LIB. Noen kostnader kan vi anta ut fra tidligere forskning på området. Dette gjelder for eksempel avskrivninger, som er inkludert i EverBatt, men som blir fjernet for å beregne kontantstrøm. Men

flere kostnader er spesifikke for det geografiske området de oppstår i, som lønnskostnader og transport, uten at konkrete data for det norske markedet eksisterer. Uten håndfast informasjon fra gjenvinnere av batterier, er vi nødt til å gjøre egne beregninger på enkelte kostnader.

Vi bruker EverBatt for å modellere kostnadene for å gjenvinne metaller fra kasserte LIB. EverBatt tar i bruk empirisk data for å sammenligne produksjon ved bruk av resirkulerte materialer mot produksjon ved bruk av nye materialer. Samtidig kan modellen brukes til å sammenlikne miljøaspekter langs batteri-verdikjeden, identifisere drivere for lønnsomheten ved spesifikke forretningsmessige valg av teknologi og prosess for gjenvinnere. Vi bruker ikke disse modulene.

EverBatt er en «closed loop» modell som vil si at alt av materiale blir værende i modellen, slik at verdien på metallene i modellen sirkulerer uendelig. Dette er i kontrast med modeller der verdier faller ut av kretsløpet i levetiden til modellen. En ikke-lukket syklus er en mer virkelighetsnær modell, men det er enklere å teste enkeltfaktorer og modellens følsomhet i en modell der verdiene blir værende i modellen. Det er også vanskelig å bergene hva disse verdiene er.

Kostnadene i batterigjenvinning måles som en sammensetning av de viktigste kildene til utgifter for en EV-batterigjenvinner. Kostnadene i vår modell består av fire poster: (1) transportkostnader, (2) demonteringskostnader assosiert med fjerning av plast og sortering av deler fra batteriene, (3) kostnader i den hydrometallurgiske prosessen og (4) kostnader assosiert med omgjøring av metallene i batteriene til nytt brukelig metall. Alle disse fire kostnadspostene er beskrevet og modellert i EverBatt med modifikasjoner, men det er også nødvendig å bruke konkrete data som gjenspeiler virkeligheten i det norske markedet for gjenvinning av batteriene.

Vi anser spesielt to av de fire overordnede kostnadspostene som er spesifikke for en gjenvinner som opererer i Norge. Dette er transport og demonteringskostnadene. Disse kostnadene er nesten fullstendig bestemt av drivere som eksisterer innad i Norge.

Det eneste stedet det skjer aktiv gjenvinning av EV-batterier i stor skala i Norge i dag er i Fredrikstad, ved «Hydrovolb». Dette er et samarbeidsprosjekt mellom Norsk Hydro og Northvolt. Dette er et svært ambisiøst prosjekt, som enda ikke gjenvinner black mass på industrielt plan. Der Business Insider skrev at Revolt Ett, resirkuleringsanlegget i Skellefteå, planlegger å åpne i tredje kvartal i 2023 (Lockwood, 2023). Dette anlegget vil gjenvinne black mass. Denne typen samarbeid indikerer hvordan den faktiske verdikjeden kan være bygd opp, og viser at distansene batteriene flyttes i forhold til produksjonen av nye batterier kan være store, da denne produksjonen krever enorme mengder energi. Vi setter en gjennomsnittlig distanse på 500km,

som er mye lengere enn de fleste batteriene må forflyttes dersom man gjenvinner norske batterier på østlandsområdet, men som tar høyde for at celleproduksjonen med det gjenbrukte materiale ikke nødvendigvis vil foregå i nærheten av mesteparten av parken av oppbrukte EV-batterier.

Transportkostnadene består hovedsakelig av lønn og energi (hovedsakelig diesel og bensin) for å drive lastebiler som flytter batteriene fra innsamling til gjenvinningsstasjoner. Det er mulig å flytte batterimasse og black mass med båt, tog eller andre transportmidler, men vi endrer ikke den underliggende fordelingen av transportmidler som brukes i EverBatt, da vi ikke har kunnskap om hvordan bedrifter i Norge planlegger å drifte transporten. Vi vil sette kostnadene i trailerfrakt høyere enn gjennomsnittet for Norsk transport, da frakt av LIB er klassifisert som farlig gods, dette medfører strenge reguleringer som for eksempel brannfare (Batteriretur, u.å.). For basisåret 2016 antok TØI at gjennomsnittlig kostnad i NOK/km for en semitrailer var på 6,97, og semitrailer med container var på 7,17 (Grønland, 2018). Både energikostnaden og lønnskostnadene har gått opp siden den gang, og vi antar at disse kostnadene er høyere nå, selv med potensiell positiv utvikling i effektive kjøretøy. Vi antar en kostnad på 2,5\$/engelske mil, som tilsvarer 1,55\$/km. Dette gir 1,88\$/kg brukte celle.

Demonteringskostnader inneholder investeringskostnader, avskrivninger på investeringen og arbeidskapital som kostnad per kg batteri. Dette er ikke kostnader som kan anses som kontantstrømmer. Vi endrer dette i nåverdianalysen ved at investeringskostnadene blir flyttet til investeringskostnaden i år 0 nåverdmodellen, avskrivningene blir fjernet og arbeidskapitalen i demonteringen blir en del av den totale arbeidskapitalen over perioden. Timekostnaden i EverBatt blir ikke endret fra 50\$/t. Dette tilsvarer 40% av demonteringskostnadene. Og gir 0,4\$/kg brukte celle i demontering av pakning, og 0,14\$/kg brukte celle i demontering av modul.

Vi bruker den generiske hydroprosessen i EverBatt. Overordnet innebærer denne modellen faste kapitalinvesteringer, direkte kostnader, indirekte kostnader, arbeidskapital, produksjonskostnader, generelle utgifter, og avgifter. Vi fjerner alle kostnader som ikke kan antas står for en kontantstrøm i vår modell. Dette innebærer spesielt investeringskostnader, arbeidskapital samt inntekter assosiert med innhenting av batteriene, som i EverBatt kalles «profit». Denne kalkylen gir oss den totale kostnaden i hydroprosessen, som i basisforutsetningene er estimert til 1,5 \$/kg brukte celle.

Materialkostnadene er i større grad styrt på et globalt marked og innebærer i stor grad løsemidlene som behøves. I denne avhandlingen antar vi at gjenvinner bruker syreutvasking, altså hydrometallurgisk prosess. Kina bruker de utelukkende denne metoden, og grunnet nye direktiver fra EU vil dette bli det beste alternativet for Europeisk gjenvinning fremover

(Neumann et al., 2022). Før batteriene går gjennom den kjemiske utvaskingen, går de gjennom en prosess som ofte innebefatter mekaniske og termiske operasjoner.

De direkte kostnadene i den hydrometallurgiske prosessen består av mange ledd. Prosessen bruker mange kjemiske stoffer og sammensetninger for å gjennomføre utvasking og forbehandling. Vi går ikke nærmere inn på hver enkelt av disse stoffene, og bruker den generiske prosessen i EverBatt som utgangspunkt for de kjemiske modellbestanddelene. Energiforbruket blir ikke endret, men utgiften per kWh elektrisitet blir endret. Vi antar at fabrikkene kan operere i 20 timer i døgnet i 320 dager i året, som er utgangspunktet i EverBatt.

Det er mange kostnader som integreres i EverBatts moduler, som ikke kan anses som kontantstrømmer. Vi luker ut disse i hvert ledd av kostnadene i gjenvinningsprosessen. Dette gjelder spesielt avskrivninger. Avskrivninger inngår opprinnelig både som prosent av investeringene i hydrometallurgiske maskineriet, og som en kostnad per modul og pakke i demonteringsmodulen. Vi fjerner avskrivningene i alle deler av gjenvinningsprosessen. Vi trekker også fra finansielle kostnader (renter) og skatt som er satt inn som faste kostnader.

Nesten alle postene i den hydrometallurgiske prosessen krever bruk av energi. Vi antar at all denne energien kommer fra strøm. Bedriften er plassert i østlandsområdet, slik at vi bruker strømprisene fra østlandsområdet i modellen. Det er ikke enkelt å gjøre antagelser for strømprisen, da strømprisen kan være volatil og at det er svært usikkert hvordan den vil bevege seg fremover. Strømprisene i hele Europa er i en situasjon som er uvant for markedet. Vi har hatt svært høye strømpriser i deler av Norge sett i forhold til tidligere år, som vises i at staten innførte strømstøtteordninger for husholdninger i 2021 (NVE, 2021). Vi bruker det gjennomsnittlige nivået fra mars 2022 til mars 2023, men dette er ikke nødvendigvis den beste løsning. Det er potensielt bedre å bruke gjennomsnittlige priser for før 2021, men dette har også med seg åpenbar problematikk. For det er ikke sikkert at prisene vil gå tilbake til nivåene de var før 2021, over de neste 20 årene.

Den siste kostnadsposten i verdikjeden består av omgjøringen fra salter som kommer ut av prosessene til salter i den kvalitet som kan brukes i nye batterier. Dette er en egen beregning som blir gjort med hensyn til EverBatts antagelser om kostnad per kg resirkulert metall, og antagelse om mengde resirkulert salt per brukte celle som kommer inn til resirkuleringsanlegget. De eneste metallene som behøver denne form for raffinering er katodemetallene, kobolt og nikkel. Koboltsaltene er delt i to grupperinger i EverBatt, koboltoksid og koboltsulfat. Der kostnaden for raffinering av koboltoksid er på 0,26\$/kg salt og koboltsulfat er 0,04\$/kg salt. Kostnaden for

nikkelsulfat er på 0,04\$/kg salt. Det vil si at det desidert mest kostnadsfulle metallet å raffinere er kobolten.

Vi antar at investeringskostnaden kun gjelder for investeringer i resirkuleringsprosesser. Det vil si at vi ikke investerer i batteriproduksjon samtidig som man investerer i resirkuleringsanlegget. Dersom man gjorde begge deler samtidig, som enkelte batteriproduserende selskaper gjør, kan det tenkes at det er vanskelig å skille noen av kostnadene og synergieffektene fra hverandre. Modellen i EverBatt antar en investeringskostnad på 46 millioner USD for et anlegg som kan gjenvinne 15 000 tonn celle, som er mengden som vi antar anlegget gjenvinner om ti år og som er makskapasitet (se neste delkapittel om beregninger av batterier til gjenvinning). Dette anlegget kan eksistere i ti år, noe som gjør at vi må anta en høyere investeringskostnad i basiscaset. Det er urimelig å anta at denne doubles. EverBatt antar at man må investere 57 millioner for et anlegg som kan gjenvinne det dobbelte, 30 000 tonn. Vi antar i basiscaset at dette er investeringskostnaden i hydroprosessen. I den virkelige verden vil sannsynligvis ikke et selskap følge denne strategien, og at de heller vil finne måter å kontinuerlig tillegge kapitalutgifter i prosjektet. Dette gjør at investeringskostnaden har stor usikkerhet, noe som gjør at vi senere analyserer følsomheten til prosjektverdiens lønnsomhet for investeringskostnaden. Deretter legger vi til de beregnede investeringskostnadene i demonteringen, som er på 0,27\$/kg for både moduldemontering og pakkedemontering. Dette tilsvarer samlet 7 560 000\$ i investeringer i demontering/forprosesser og 64 560 000\$ i total investeringskostnad.

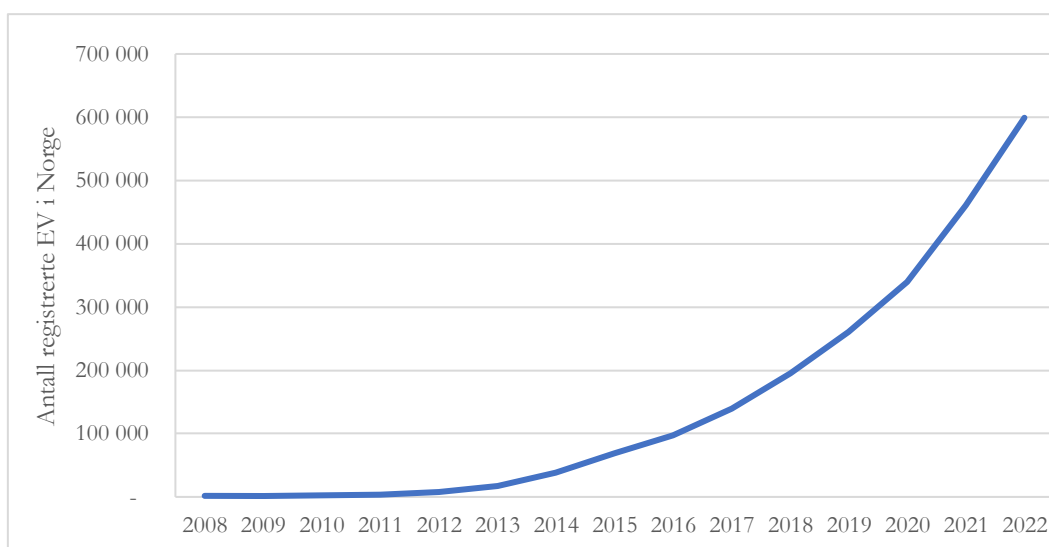
5.3 Elbilmarkedet og mengde batterier til gjenvinning

Norge har flest elbiler per innbygger (Regjeringen, 2021a) og høyeste andel av elbiler av nybilsalget i verden (Statens Vegvesen, u.å.). Dette betyr at Norge er et tidlig-marked, og batteristrømmen til gjenvinning vil oppstå tidligere her enn de fleste andre steder. Lokal tilgang på kasserte batterier er et fortrinn for gjenvinnere. Først vil vi presentere dagens elbilmarked i Norge gjennom historisk data, før vi skriver om fremtidens elbilmarked. Til slutt vil vi drøfte og komme frem til et anslag på antall kilo batteri til gjenvinning per år for vår nåverdianalyse.

TABELL 15 NYREGISTRERTE ELBILER I NORGE PER ÅR 2012-2022 – SSB 2023

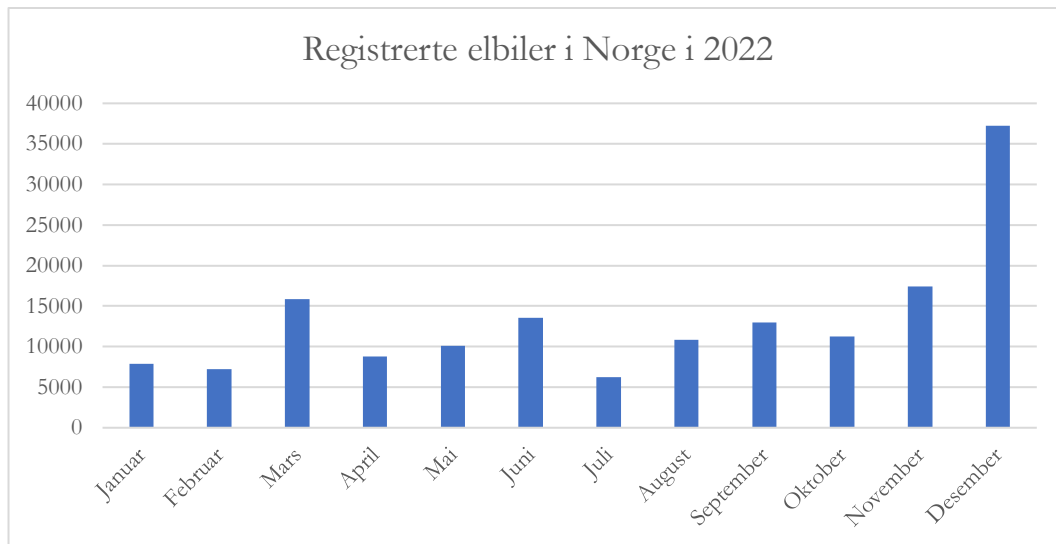
| År | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Elbiler | 4 120 | 9 740 | 20 880 | 30 480 | 28 400 | 41 450 | 56 370 | 65 340 | 79 310 | 120 730 | 138 440 |

Tabell 14 viser nyregistrerte elektriske personbiler i Norge de siste ti årene. Tallene er hentet fra SSB (u.å.) og omfatter nye registrerte elektriske personbiler per 31. desember hvert år. SSB viser en kumulativ graf på registrerte elektriske personbiler/år, hvor vi har trukket fra det foregående året for å finne nye elbiler per år, og er avrundet til nærmeste tier. Det faktiske tallet kan være noe høyere, da SSB viser antall registrerte elbiler/år og våre beregninger ikke tar hensyn avregistrerte biler. Gruppen personbiler omfatter også ambulanser, kombinerte biler og bobiler. I disse tallene inkluderer vi ikke andre kjøretøy enn personbiler da batterier til eksempelvis busser og ferger ikke vil bli kassert i stor grad før etter vår nåverdianalyse på 10 år. Vi ser en tydelig økning av nye elbiler for hvert år som går.



FIGUR 13 ANTALL ELBILER I NORGE KUMULATIVT 2008-2022 FRA SSB

Figur 13 viser antall registrerte elbiler i Norge over tid, kumulativt, fra 2008. Her ser vi den store veksten enda tydeligere. I utgangen 2022 har vi nært 600 000 elektriske personbiler registrert i Norge, og den norske bilparken besto i sin helhet av i overkant av 2 900 000 personbiler. 21% av disse var elbiler. I 2022 ble det førstegangsregistrert 174 000 personbiler i Norge, 79% av disse var elbiler, noe som vil si at fire av fem nye personbiler i Norge i 2022 var elbiler (SSBa, 2023). Dette vitner tydelig om overgangen fra biler som går på bensin og diesel til biler med batterielektrisk fremdrift.



FIGUR 14 REGISTRERTE ELBILER I NORGE PER MÅNED I 2022 - [HTTPS://ELBILSTATISTIKK.NO/](https://elbilstatistikk.no/)

Figur 14 viser nyregistrerte elbiler per måned i 2022, tallene er hentet fra Elbilstatistikk. I desember var det 37 000 nyregistrerte elbiler. Denne måneden var utenfor normalen både for 2022 og tidligere år, til sammenligning var tallet 15 000 for desember 2021. Det har lenge vært en forventning om at momsfritaket på elbiler skulle endres eller fjernes. Statsbudsjettet fremlagt 30.11.22 fastslo at endringen i første omgang skulle gjelde delvis fjerning av momsfritaket fra og med 01.01.23. Fra årsskiftet skulle momsfritaket fjernes på elbiler på den delen av kjøpesummen som overstiger 500 000 kroner (Skatteetaten, 2022). Dette førte til en voldsom økning i elbiler med levering i desember 2022.

Den nyeste nasjonale transportplanen (2022-2033) fremlagt av regjeringen Solberg i 2021 bygger opp under målene om at det kun skal selges nullutslipps personbiler, små varebiler og bybusser fra 2025. I tillegg skal fra 2030 alle tyngre varebiler, 50% av lastebiler og 75% av langdistansebusser som selges være nullutslipp (Regjeringen, 2021b). Batterielektrisk fremdrift er den mest modne nullutslippsteknologien, primært med LIB (Transportøkonomisk Institutt (TØI), 2020). Dette har stor betydning, og brukes som styringsmål for norsk avgiftspolitik og insentivbruk ovenfor EV. Som nevnt er Norge tidlig ute i overgangen, der noe av årsaken er kraftige insentiver som har gjort elbiler konkurransedyktige, tidligere enn i andre land. Men i Europa har også EU stilt krav som har ført personbilmarkedet over i en ekspansjonsfase der elbiler nå er standardprodukter hos de fleste bilmerkene. For å oppfylle EU-kravene må det selges minst 1,9 millioner elbiler og 0,9 millioner ladbare hybrider i 2025, og 4,3 millioner elbiler og 2,2 millioner ladbare hybrider i 2030 (TØI, 2020). Vi har sett en stor stigning i salg av elbiler de siste årene, en stigning som forventes å fortsette i årene som kommer over hele verden.

Det er tydelig at markedet for elbiler i Norge og Europa er i vekst, og det er forventet at kasserte elbiler vil generere store volum av LIB til gjenvinning i fremtiden. Det er først og fremst personbiler som vil bidra til betydelige volumer innen 2025 og frem til 2030 (TØI, 2020). TØI skriver at også at gjennomsnittlig alder på personbil i Norge er 10,5 år. Førstegenerasjonselbiler i Norge begynner å bli 10-15 år gamle, men det er enda små mengder som kommer til gjenvinning. Volumet til gjenvinning er forventet å stige raskt det neste tiåret ettersom markedsandelen til elbiler fortsetter å øke og bilene som i dag kjører på norske veier når end-of-life. For å komme frem til et volum vi kan bruke i nåverdianalysen har vi sett på anslag fra tidligere forskning og gjort noen egne antagelser og beregninger.

TØI publiserte i 2020 en rapport som er utført som en del av BATMAN prosjektet. BATMAN er et batteriprojekt bestående av bedrifter og forskningspartnere for å undersøke muligheter for bærekraftig gjenvinning av råmaterialene som brukes i batterier. De har gjort anslag for at netto mengde batterier som blir tilgjengelig for resirkulering i Norge vil være rundt 0.6GWh i 2025 og øke til omkring 2.2GWh i 2030.

Thorne et al. (2021) har også gjort et estimat tilknyttet BATMAN med flere av de samme forfatterne som TØIs rapport. Thorne et. al estimerer at det i 2025 kan gjenvinnes 0.6GWh og 2.1.GWh i 2030. I gjennomsnitt inneholder ett LIB med dagens teknologi 150-200Wh/kg (Moreno-Fernández et al., 2020)

TABELL 16 UTREGNING AV GIGAWATTIMER I BATTERI TIL TONN BATTERI

| |
|--|
| 0.6gwh = 0.600.000.000 wh / 200 = 3 000 000 kg = 3000 tonn |
| 0.600.000.000 wh / 150 = 4 000 000 kg = 4000 tonn |
| 2.2gwh = 2.200.000.000 wh / 200 = 11 000 000 kg = 11 000 tonn |
| 2.200.000.000 wh / 150 = 14 666 667 kg = 14 667 tonn |

Tabell 15 viser vårt regnestykke for omgjøring fra wattimer i batteriene til metriske tonn med batteri. Ved å dele wattimer på 150 og 200 kommer vi frem til batterier til gjenvinning i vekt. Dette estimatet tilsvarer da 3-4.000 tonn batterier i 2025 og 11-15.000 tonn i 2030. Anslaget vil være noe lavere enn faktisk anslag, da TØI kun regner med helelektriske personbiler og ikke ladbare hybrider i sitt anslag. Ladbare hybrider er relativt nye på markedet og brukes i små kvanta. TØI har tatt høyde for eksport/import av bruktbiler i sine beregninger. Forfatterne skriver at det ikke finnes noen andre studier som de kjenner til som anslår volum til gjenvinning i det norske markedet.

Norsk Hydro og det svenske batteriselskapet Northvolt har etablert et felleseid anlegg for resirkulering av batterier i Fredrikstad. Anlegget er Europas største, og de melder på sin hjemmeside at anlegget har «mer enn nok» kapasitet til å håndtere hele Norges volum av brukte av brukte elbilbatterier. Anlegget har kapasitet til å resirkulere 12 000 tonn batteripakker årlig, noe som tilsvarer batterier fra om lag 25 000 elbiler. Hydrovolt planlegger å ekspandere i Europa og har et langsiktig mål om å resirkulere 70 000 tonn batteripakker innen 2025, og 300 000 tonn innen 2030 (Norsk Hydro, 2022). Vi har forsøkt å komme i kontakt med Hydrovolt, de ønsker ikke å snakke med oss på grunn av konfidensialitet siden de er et nytt firma i en svært ny bransje.

Det foregår også diskusjoner om å benytte batterier til andre formål før de kommer inn til gjenvinning, noe som kan forsinke denne avfallsstrømmen. Det mest omtalte formålet er å konvertere LIB fra elektriske kjøretøy til energilagringssystemer, et eksempel på selskaper som vil gjøre dette er start-upen Evyon.

Det er utfordrende å gjøre anslag for mengde batterier som kommer inn til gjenvinning hvert år til vår nåverdmodell. Det er mye usikkerhet i hvordan LIB vil videreutvikles, spesielt i forhold til økt energieffektivitet og batteristørrelse/vekt. Virkeligheten må forenkles, og vi har valgt å sette en jevnt økende mengde LIB som input til gjenvinning per år, der vi har satt en prosentvis vekst på 15 % hvert år. I realiteten vil denne utviklingen trolig være mer eksponentiell.

TABELL 17 ANSLÅTT VOLUM TIL GJENVINNING, TONN/ÅR

| År | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| LIB | 4 000 | 4 600 | 5 290 | 6 083 | 6 996 | 8 045 | 9 252 | 10 640 | 12 236 | 14 072 |

Tabell 16 viser vårt anslag på LIB i tonn/år til vår nåverdmodell. Input i år 0 vil være 0. Vi har valgt å anta at i år 1 av vår nåverdianalyse, altså i 2024, vil komme inn 4 000 tonn LIB til vårt teoretiske anlegg. TØI anslo at det i 2025 vil være 3-4000 tonn LIB tilgjengelig for gjenvinning i Norge, mens vi har anslått 4 600. TØI anslo også at det i 2030 vil være 11-14 000 tonn til gjenvinning, vi har lagt oss litt under, altså 9 252 tonn. Dette for å ta høyde for at batteristrømmen til gjenvinning kan bli forsinket om LIB først benyttes til andre formål, og fordi vi ikke kan anta at alle biler i den norske bilparken vil gjenvinnes ved dette teoretiske anlegget.

6 Netto nåverdi fra prosjektet med basisforutsetninger

I dette kapitlet diskuterer vi først diskonteringsfaktoren vi bruker i basiscaset, før vi beregner lønnsomheten i et teoretisk gjenvinningsprosjekt. Dette gjør vi ved å beregne netto nåverdi fra prosjektet, der forutsetningene ble konstruert i de foregående kapitlene.

Vi konstruerer et basistilfelle med utgangspunkt i inntekter, kostnader, arbeidskapital og avkastningskrav som bygger nåverdimodellen vi analyserer. Netto nåverdi i det teoretiske prosjektet bygger på usikre faktorer. Dette kommer både fra prosjektets natur og de forutsetninger og antagelser forfatterne av denne oppgaven har gjort.

Vi beregner netto nåverdi fra prosjektet med en standard nåverdimodell:

$$NNV = -I - AK_0 + \sum_{t=0}^n \frac{\text{Netto kontantstrøm}_t}{(1 + \text{diskonteringsfaktor})^t} + \frac{AK_n}{(1 + \text{diskonteringsfaktor})^n}$$

Der I er den totale investeringskostnaden i år 0, og n er 20 år som er den totale levetiden til prosjektet. t er antall år. AK_0 er arbeidskapital i år 0, som er basert på 10% i EverBatt som negativ kontantstrøm i år 0. Den diskonterte AK_n representerer den totale diskonterte verdien av arbeidskapital som blir tilbakeført ved slutten av prosjektet, når eiendelene blir gjort likvide. I denne modellen er det antatt ingen sluttverdi på prosjektet. De positive kontantstrømmene består hovedsakelig av inntektene fra å selge gjenvunnet metall, der inntektene bestemmes av mengden battericeller som kommer inn til gjenvinning og ekstraksjonsgradene for disse metallene. Før vi også har valgt å ta høyde for besparinger som kommer av bruk av materiale i selve demonteringsprosessen. De negative kontantstrømmene består overordnet av utgifter i transport, demontering av moduler og pakninger, hydroprosessen og i omgjøringen fra resirkulerte kobolt- og nikkelsalter til salter som kan brukes til ny batteriproduksjon. Diskonteringsfaktoren er avkastningskravet vi fremlegger i neste delkapittel

6.1 Avkastningskrav

Avkastningskravet er basert på risikoprofilen på prosjektet. Det er vanskelig å sammenligne prosjektets risikoprofil med andre bedrifter, grunnet i at det er få selskaper som opererer med kun gjenvinning av batterier. Det er også vanskelig å beregne konkrete betaverdier og kapitalstruktur for prosjektet, slik at vi stor grad bruker skjønn for å estimere avkastningskravet i basisforutsetningene.

For å representere risikoen i investeringer i gjenvinning av batterier, bruker vi et avkastningskrav. Vi tar utgangspunkt i et avkastningskrav på 10%. Dette avkastningskravet er relativt høyt grunnet usikkerheten ved bransjen som følge av at den er svært ung. Det er vanskelig å bygge opp et rimelig avkastningskrav basert på andre selskaper som driver innen gjenvinning av batterier da det er svært få av dem i verden, og svært få som driver i stor skala i Europa, og ingen som gjenvinner black mass i industriell skala i Norge.

Dersom vi ser på prosjektet som en isolert investering er det svært viktig at avkastningskravet representerer den virkelige risikoen i prosjektets kontantstrøm. Her er både kostnadene og inntektene viktig. Men usikkerheten ligger i stor grad i prisene på metallene, og dermed inntekten fra prosjektet. Vi har sett at flere av de viktigste metallene som gjenvinnes spesielt kobolt og nikkel, har hatt perioder med høy volatilitet, og at dette kan skape store problemer for planleggingen i prosjektet og lønnsomheten. Denne usikkerheten gjør at man bør som investor kreve høy forventet avkastning fra prosjektet.

Et argument mot et høyt avkastningskrav, er den potensielle sikringen gjenvinningselskaper har. Dersom det blir ulønnsomt å drive gjenvinning av batterier i Norge de neste tjue årene, kan det tenkes at en gjenvinner kan motta subsidier fra staten, eller at andre ordninger blir satt på plass for å redde ulønnsomme bedrifter. Dette kommer av at Staten har en interesse av at det blir gjenvunnet elbilbatterier i stor skala, for miljø, industri og forsyningsikkerhet. Vi argumenterer for at å senke avkastningskravet grunnet eventuelle subsidier er motstridende til det oppgaven forsøker å finne svar på. Vi ønsker å vite hvordan metallprisene påvirker lønnsomheten i gjenvinning, uavhengig av politisk involvering. Dette er samme argumentasjon som gjør at vi ikke involverer skatter i nåverdianalysen.

Det er viktig å ta forbehold om at kapitalkostnaden til en bedrift som gjenvinner batterier vil være avhengig av en rekke faktorer som vi ikke går nærmere inn på her. For eksempel vil kapitalstrukturen i selskapet potensielt ha innvirkning på avkastningskravet (Bøhren et al., 2017). Et annet viktig moment er den overordnede risikoprofilen til selskapet. Dersom selskapet har en portefølje med prosjekter, vil dette kunne sterkt påvirke risikoprofilen og dermed den overordnede risikoeffekten investeringene i gjenvinningsanlegget har på selskapet. Her er spesielt produksjonen av batterier viktig. Det er naturlig å tenke at mange bedrifter som gjenvinner batterier også produserer batterier, slik som Northvolts prosjekt i Skellefteå, da dette kommer med en rekke synergieffekter, som direkte flyt fra gjenvinningsprosessen til batteriproduksjonen. Dersom dette er tilfelle, vil bedriften grovt sett ha en grad av naturlig sikring mot prisendringer i metallene, da de både selger metallene og kjøper metallene. Dersom metallprisene går opp vil lønnsomheten i gjenvinningen gå opp, og dersom prisen går ned vil det bli billigere å kjøpe

metaller på det jomfruelige markedet, og lønnsomheten i batteriproduksjon. Man kan da tenkes at det er naturlig å ha et lavere avkastningskrav for prosjektet.

6.2 Netto nåverdi med basisforutsetninger

I dette delkapittelet går vi gjennom basisforutsetningene som vi la frem i de foregående kapitlene, og legger deretter frem netto nåverdi på prosjektet. Det er viktig at man ikke anser basicaset som det sannsynlige scenariet for en bedrift som gjenvinner, men heller som et utgangspunkt for videre analyse. Vi studerer derfor i kapittel 6 sensitiviteten til prosjekts lønnsomhet ovenfor endringer i de underliggende økonomiske faktorene og forutsetningene ved å utnytte følsomhetsanalyse. Følsomhetsanalysen bygger på metodene beskrevet i Bøhren og Gjørum (2009). Følsomhetsanalysen fokuserer på inntektene.

TABELL 18 GJENNOMSNIITTLIGE METALLPRISER I \$/KG APRIL 2018-APRIL 2023

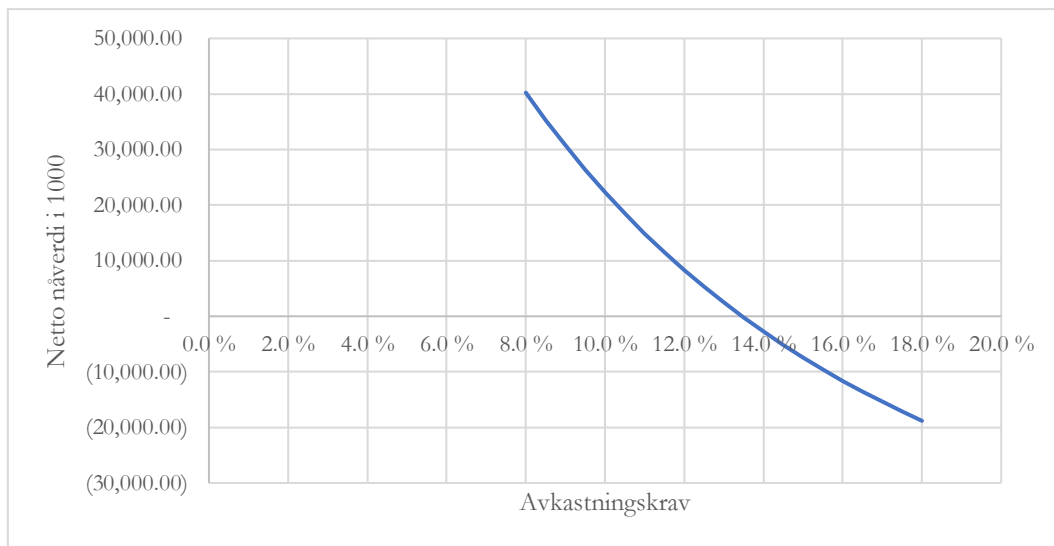
| Kobolt | Nikkel | Kobber | Aluminium |
|--------|--------|--------|-----------|
| 49,5\$ | 17,5\$ | 7,4\$ | 2,2\$ |

Tabell 17 viser antatte metallpriser som basisforutsetninger. Metallprisene i modellen er i kg, og er basert på gjennomsnittet de siste fem årene fra april 2018 til april 2023. Disse metallprisene danner store deler av grunnlaget for inntekten i nåverdmodellen, og er derfor også viktig for lønnsomheten.

TABELL 19 OPPSUMMERING AV FORUTSETNINGER I NÅVERDIMODELLEN

| INVESTERING OG KAPITALBEHOV | |
|--|------------|
| Investering, \$ | 64 560 000 |
| Arbeidskapital år 0 / % av investering | 10 % |
| POSITIVE KONTANTSTRØMMER | |
| Salg av metall (og brenning), \$/kg celle | 11,19 |
| Demontering modul, \$/kg celle | 0,14 |
| Demontering pakke, \$/kg celle | 0,4 |
| TOTALE positive kontantstrømmer, \$/kg celle | 11,73 |
| NEGATIVE KONTANTSTRØMMER | |
| Hydroprosess, \$/kg celle | 1,5 |
| Demontering modul, \$/kg celle | 0,91 |
| Demontering pakke, \$/kg celle | 1,35 |
| Transport, \$/celle | 1,88 |
| TOTALE kostnader før omgjøring, \$/kg celle | 5,64 |
| Omdannelse av nikkelsulfat, \$/kg celle | 0,04 |
| Omdannelse av koboltoksid, \$/kg celle | 0,26 |
| Omdannelse av koboltsulfat, \$/kg celle | 0,02 |
| TOTALE kostnader, \$/kg celle | 5,96 |
| ANDRE FORUTSETNINGER | |
| Vekstfaktor i 10 år, % | 10% |
| Prosjektets levetid, år | 20 år |
| Mengde batterier i år 1, tonn | 4 000 |
| Sluttverdi | 0 |
| Diskonteringsfaktor | 10% |

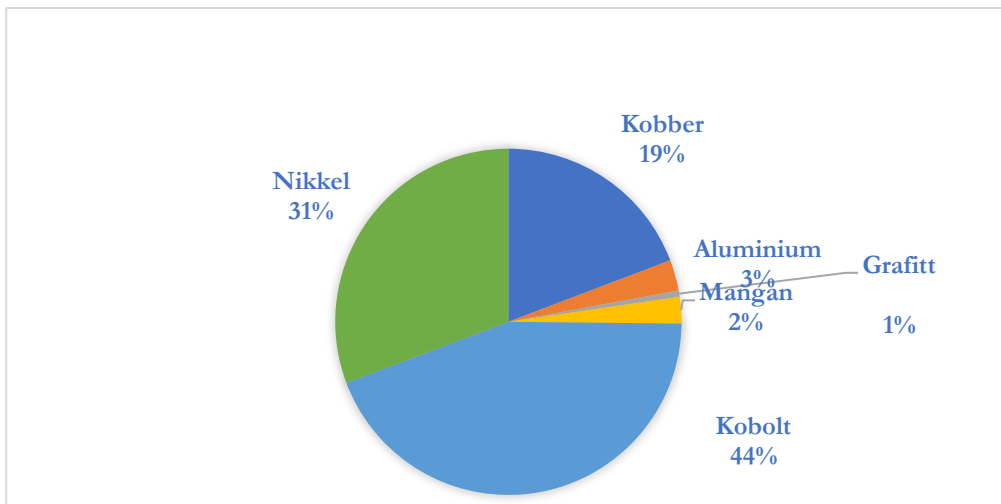
I tabell 18 presenteres forutsetningene i basiscaset. Dette er utgangspunktet for nåverdianalysen. **Med forutsetningene lagt frem i dette kapittelet, har prosjektet en netto nåverdi på: 22 millioner USD.** Mot en investering på 64,6 millioner USD. Det vil si at prosjektet er lønnsomt med forutsetningene vi har gjort basert på antagelser om inntekter, kostnader, markedsstørrelse, vekst, levetid, sluttverdi og avkastningskrav i basiscaset.



FIGUR 15 NETTO NÅVERDI I 1000 SOM FUNKSJON AV DISKONTERINGSFAKTOR

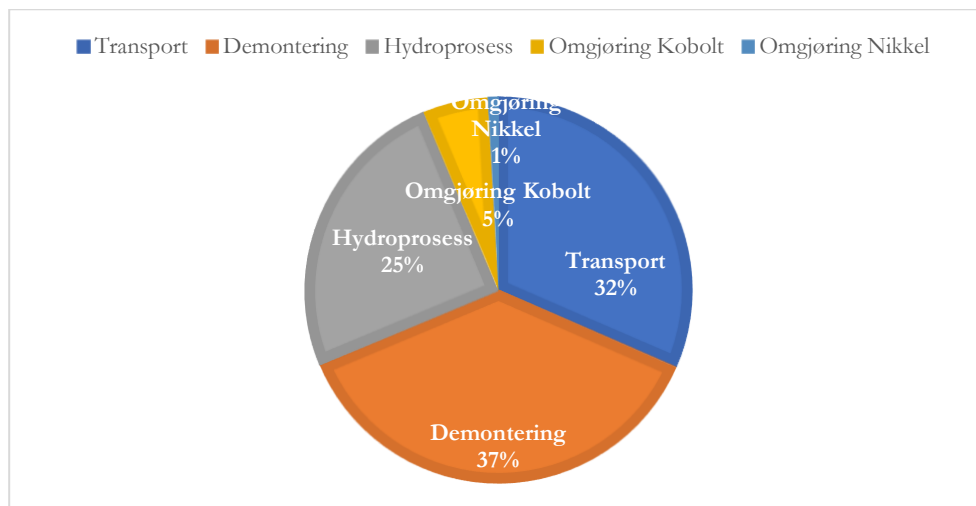
Figur 15 viser sammenhengen mellom netto nåverdi fra prosjektet og avkastningskravet. Vi har i basiscaset satt et avkastningskrav på 10%. Dersom man antar et krav på litt over 13 prosent blir prosjektet ulønnsomt. Det er mye usikkerhet ved avkastningskravet grunnet den lave graden av informasjon om selskaper i industrien. Denne usikkerheten i seg selv gjør at man er nødt til å anta at kravet bør være relativt høyt.

Nikkel- og kobolt er viktig for verdien av batteriene som kommer til gjenvinning i modellen. Dette kommer av at metallene har hatt perioder med høye priser, samtidig som de hyppig blir brukt i batterikjemiene. Det er også store mengder av disse metallene i batteriene. Disse faktorene gjør nikkel og kobolt interessante i følsomhetsanalysen. Kobber utgjør den siste store posten i inntektene.



FIGUR 16 PROSENTVIS FORDELING AV INNTEKTENE I NÅVERDIMODELLEN

Figur 16 viser inntektsfordelingen i prosent for de viktigste kildene til inntekt i prosjektet. Metallene i diagrammet er kobolt (44 %), nikkel (31%), kobber (19%), aluminium (3%), mangan (2%) og grafitt (<1%). Inntektene fra grafitt er betydelig lavere enn aluminium og mangan. Aluminium og mangan har tilnærmet lik betydning for inntektene. Kobber og nikkel er betydelige inntektskilder og står for henholdsvis 19% og 30% av inntekten i prosjektet. Kobolt er den desidert viktigste inntektskilden med over 3\$/kg celle, som tilsvarer 45% av inntektene.

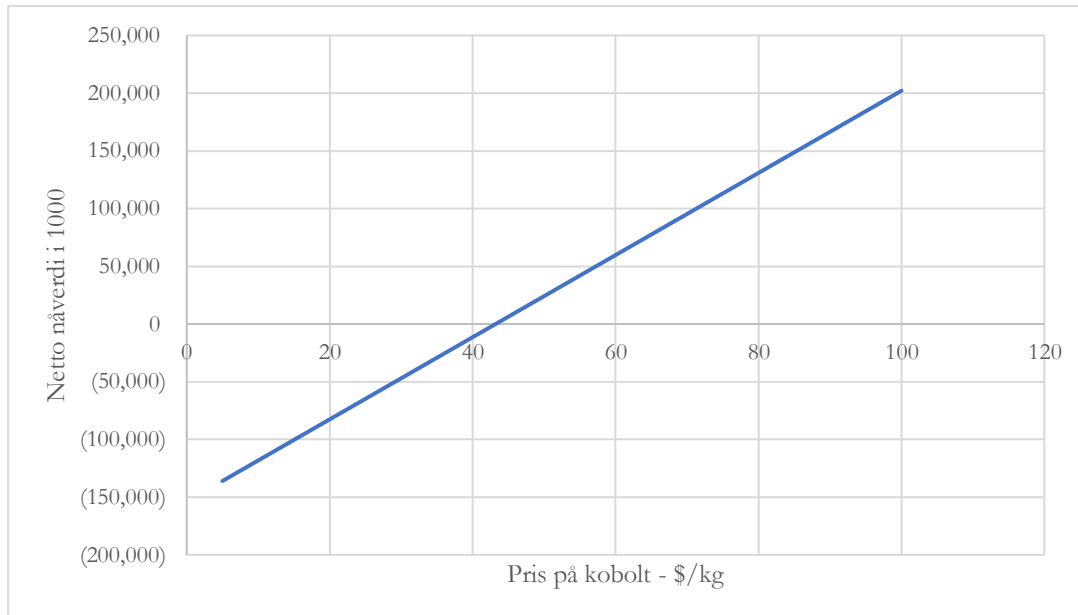


FIGUR 17 PROSENTVIS FORDELING AV KOSTNADENE I NÅVERDIMODELLEN

Figur 17 viser fordelingen i kostnadene/kg gjenvunnet battericelle. I basiscaset ser man at transporten står for en stor del av kostnadene, nesten én tredjedel. Hydroprosessen står for en fjerdedel av de totale kostnadene. Den største kostnadsposten er i demonteringen. Dette kommer av de høye lønnskostnadene i denne delen av prosessen. Lønnskostnadene står for 40% av de totale kostnadene i demonteringen. Dette er med antagelse om 50\$ i timeskostnad for ansatte i alle ledd av demonteringsprosessen.

7 Følsomhetsanalyse og diskusjon

Vi bruker følsomhetsanalyse for å analysere lønnsomheten i prosjektet ved endringer i basisforutsetningene. Fokuset er på endringer i metallprisene.



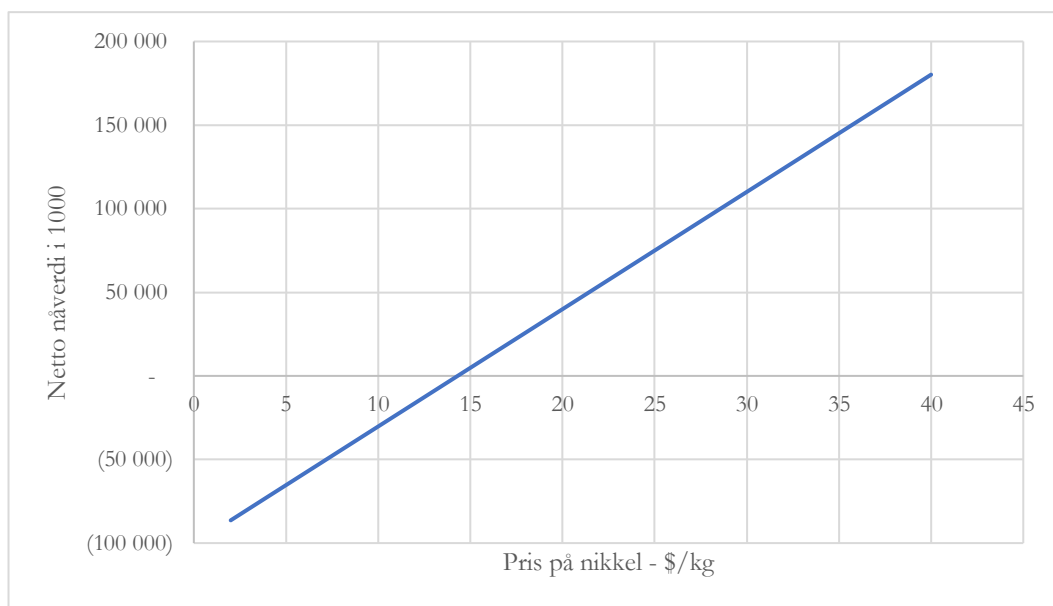
FIGUR 18 FORHOLDET MELLOM KOBOLTPRIS OG NÅVERDIEN PÅ PROSJEKTET I 1000

I figur 18 illustreres sensitiviteten til prosjektets verdi ovenfor endringer i koboltprisen. Figuren viser nåverdien av prosjektet ved forskjellige statiske koboltpriser over levetiden. Prisen på kobolt er viktig for lønnsomheten i batterigjenvinning. Mellom mai 2022 og mai 2023 har prisen på kobolt per kg vært både over 80\$ og under 40\$. Slike bevegelser vil utgjøre store utslag i prosjektets verdi. En koboltpris på 42\$ gir en netto nåverdi på prosjektet lik null, mens en pris på 80\$ gir en prosjektverdi på over 100 millioner USD.

Dersom koboltprisen blir liggende på under 40\$/kg over tid vil dette ha store konsekvenser for lønnsomheten. Og det er flere grunner til at kobolt har en usikker fremtid. I kapittel 4 viste vi at koboltprisen har hatt store bevegelser, og i perioder høy volatilitet. Utvinningen av kobolt gjennomgår også mye falkeblikk, grunnet dårlige arbeidsforhold i gruvene i DRC (Harvard, 2023).

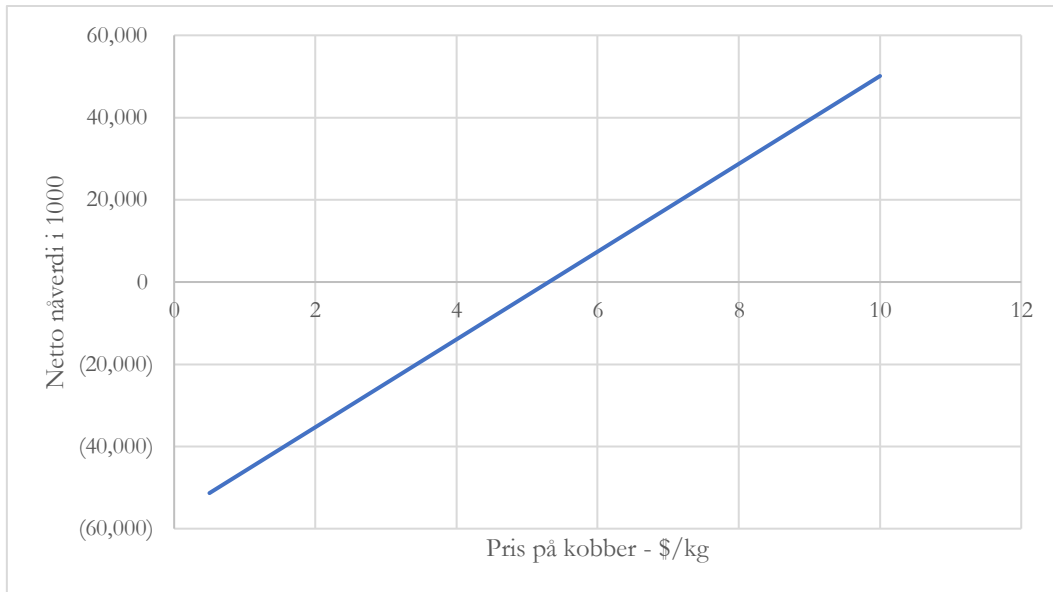
Den kinesiske kontrollen over store deler av raffineringsprosessen av kobolt gir også lite grad av sikkerhet i hvordan prisbildet vil se ut fremtiden. Når en aktør har relativt stor makt er det vanskelig å si sikkert hvor mye metall som faktisk er tilgjengelig og hva prisene som handles for på innenriksmarkedet i Kina er. Det er mye usikkerhet ved koboltprisen, noe som blir spesielt viktig da kobolt er den største inntektskilden til batterigjenvinningen. Dersom koboltprisen faller slik den har gjort før, er det rimelig å anta at dette vil få store konsekvenser for lønnsomheten i gjenvinning av batterier.

Dersom koboltprisen kolliderer grunnet lav etterspørsel etter kobolt i batteriproduksjon er det rimelig å anta at andre metaller vil ta over noe av posisjonen til kobolten. Det mest nærliggende metallet å se på i denne sammenhengen er nikkell. Nikkel kan gjøre mye av jobben kobolten gjør i katodene, men ikke nødvendigvis med samme effekt. Det er allerede synlig press i nikkellhandelen (av både finansielle årsaker og som følge av underliggende fundamentale faktorer), slik at store positive skifter i etterspørselen etter nikkell vil kunne ha store konsekvenser for nikkellprisen. Og med et voksende marked for EV, og med en voksende grad av EV-avhengighet i nikkellprisen, antar vi at prisen på nikkell kan komme til å stige på lang tidshorison dersom prisen på kobolt går ned.



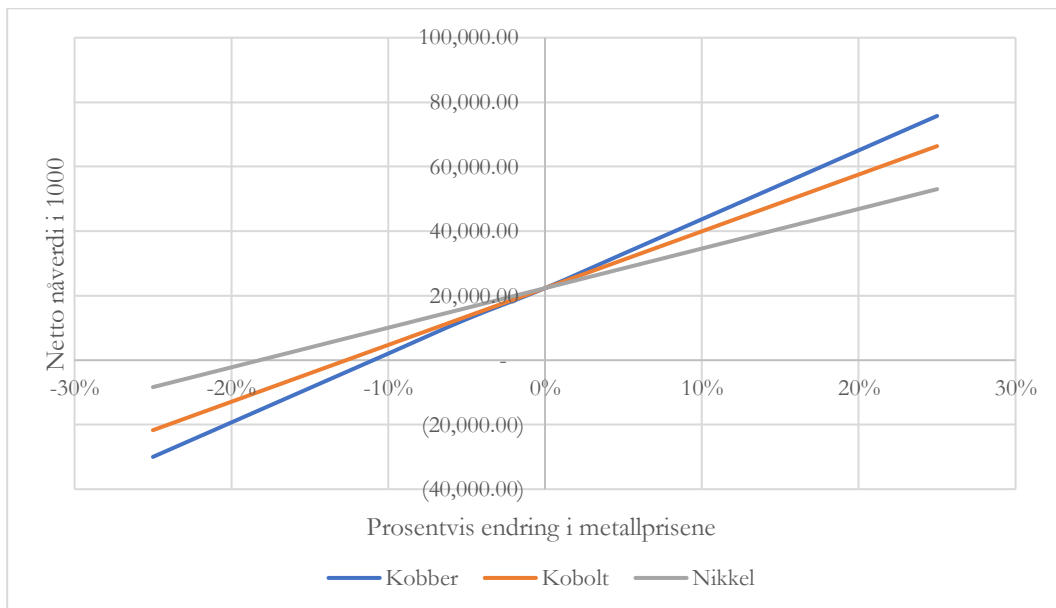
FIGUR 19 FORHOLDET MELLOM NIKKELLPRIS OG NÅVERDIEN PÅ PROSJEKTET I 1000

I figur 19 illustreres sensitiviteten til prosjektets verdi ovenfor endringer i nikkellprisen. Nikkellprisen, som koboltprisen, er viktig for verdien på prosjektet. Vi ser at prosjektet har en verdi lik null ved en nikkellpris på 13-14\$/kg. En 100% økning i nikkellprisen fra 14\$/kg til 28\$/kg gir en prosjektverdi på omtrent 80 millioner USD. Vi har sett en nikkellpris på 30\$/kg så sent som i desember 2022, samtidig som nikkell (også før den store utliggeren i 2022) har hatt betydelig volatilitet. Dette gjør at nikkell sannsynligvis blir en viktig driver i den fremtidige kontantstrømmen til batterigjenvinnere, og dermed for lønnsomheten.



FIGUR 20 FORHOLDET MELLOM KOBBERPRISEN OG NÅVERDIEN PÅ PROSJEKTET I 1000

Figur 20 viser prosjektverdiens følsomhet for endringer i kobberprisen. Store sjokk i kobberprisen vil ha stor påvirkning på lønnsomheten i gjenvinning. Slike sjokk har funnet sted tidligere, eksempelvis da prisen gikk opp betydelig, fra rundt 5\$/kg i 2020, til over 10\$ per kg i 2021. Vi ser at prosjektet har en verdi lik null dersom prisen er på rundt 4\$ per kg. Dersom prisen går opp til 10\$ per kg og holder seg på et slikt nivå over tid, vil dette gi betydelig inntekt til prosjektet. I grafen ser man at en pris på 10\$ per kg kobber gir en prosjektverdi på ca. 46 millioner USD.



FIGUR 21 PROSJEKTVERDIENS FØLSOMHET FOR PROSENTVISE ENDRINGER I PRISEN PÅ KOBBER, KOBOLT OG NIKKEL I 1000 – UTGANGSPUNKT ER BASISFORUTSETNINGER

Figur 21 viser følsomheten prosjektverdien har for prosentvise endringer i prisene på kobber, kobolt og nikkel. Vi ser i figuren at nåverdien er mest følsom ovenfor prosentvise endringer kobberprisen. Dette indikerer hvor viktig kobberprisen er på verdien i gjenvinning av batterier. Og forteller oss at dersom kobberprisen skulle for eksempel få en 20% oppgang i forhold til basisprisen på 7,4\$/kg, vil dette ha en større effekt på verdien i gjenvinningen enn en 20% oppgang i koboltprisen, med utgangspunkt i 49,5\$/kg.

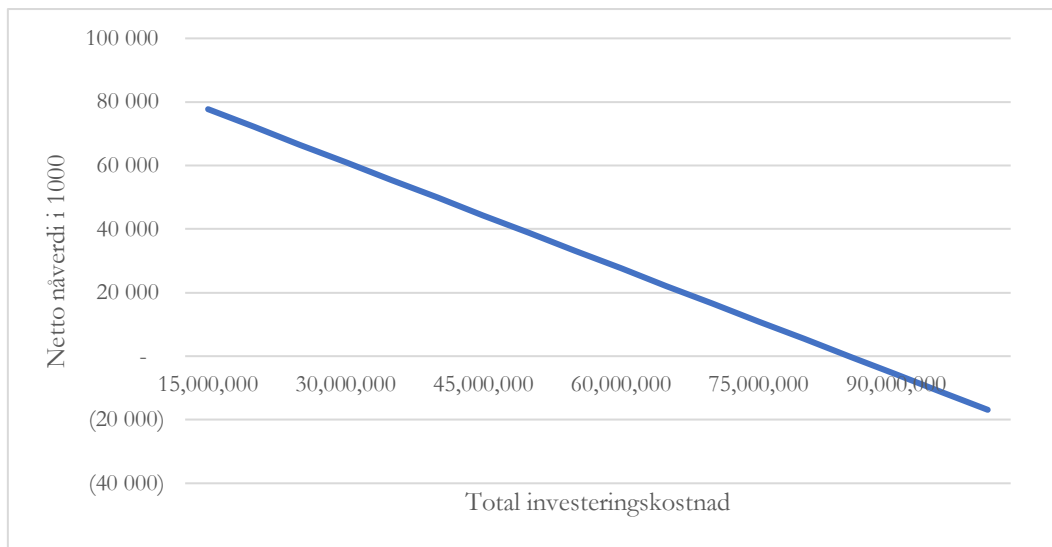
Effekten av de prosentvise endringene sier ingenting om hvordan prisene faktisk har beveget seg. For det første har både koboltprisen og nikkelprisen vært mer volatil enn kobberprisen i begge periodene 2013-2020 og 2020-2023. Dette gjør at koboltprisen og nikkelprisen for eksempel kan forårsake flere bevegelser i kontantstrømmen, selv om hver enkelt bevegelse på en gitt prosent ikke får samme effekt som kobberprisen. Et annet poeng er at koboltprisen har hatt to perioder i løpet av 2013-2023 der prisen har mer enn doblet seg i løpet av 1-2 år, og mellom 2017 og 2018 tredoblet den seg. Men det er tydelig at selv med den relativt moderate volatiliteten på kobber de siste ti årene (i forhold til andre batterimetallpriser) på rundt 20%, vil kobberprisen stå som en viktig driver for verdien på kontantstrømmen og lønnsomheten til batterigjenvinnere.

I kapittelet om metallprisene viste vi at korrelasjonen mellom flere av metallene var høy. Alle prisene bortsett fra kobolt og nikkel, hadde en korrelasjon på over 0,5, på nivå. Kobber og aluminium viste tydelig korrelasjon på endringsform (0,58), og kobber og nikkel viste tegn til korrelasjon på endringsform (0,37). Dette gjør at endringer i prisen på ett metall sannsynligvis kommer sammen med endringer i prisen på andre metaller. Dette kan potensielt bety at prosjektet blir ulønnsomt svært raskt ved generell nedgang i prisen.

Dersom vi antar at prisene er lik gjennomsnittet de siste 10 årene for kobolt (42\$/kg), nikkel (15\$/kg), kobber (6,7\$/kg) og aluminium (1,9\$/kg) får vi en netto nåverdi på negative 35,2 millioner USD. Dette utgjør en nedgang på 15% i koboltprisen, 14% i nikkelprisen, og en 9% i kobberprisen. Dette indikerer at relativt små endringer i prisene på metallene vil samlet kunne gi store utslag i verdien på prosjektet, da alle disse bevegelsene er lavere enn årlig standardavvik på prisene i perioden 2020-2023. Samtidig som at det er sannsynlig, ut ifra historisk korrelasjon, at disse prisbevegelsene vil komme i noen grad samtidig.

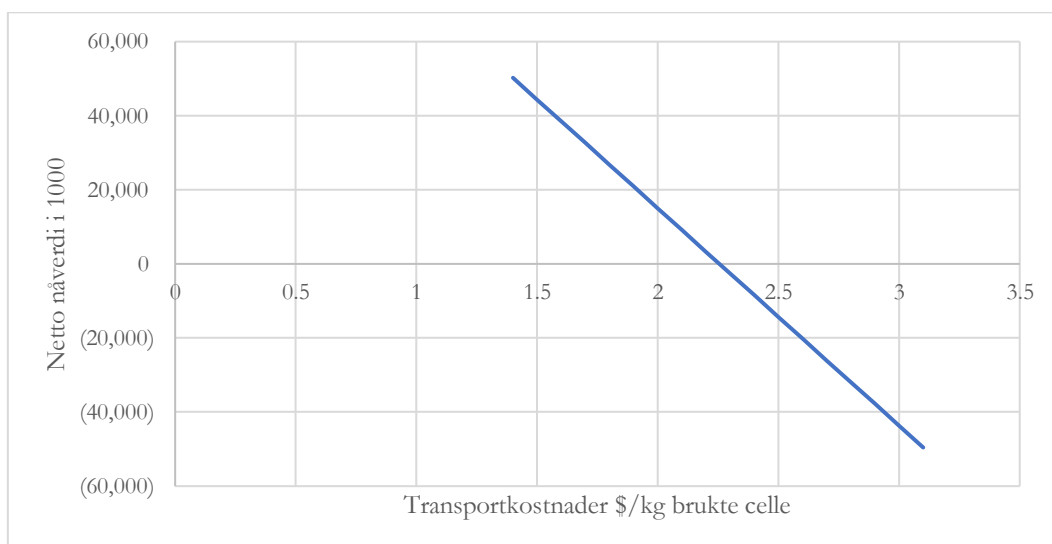
Dersom prisene ligger i perioden statisk 20% lavere enn i basiscaset, vil prosjektet ha en netto nåverdi på negative 81 millioner USD. I et slikt scenario vil prosjektet aldri ha en positiv kontantstrøm. Korrelasjon i prisene sammen med de store svingningene utgjør en stor risiko for

prosjektet, og eiere av prosjektet må belage seg på å potensielt gå uten positiv kontantstrøm i perioder i løpet av prosjektets levetid.



FIGUR 22 PROSJEKTETS FØLSOMHET FOR INVESTERINGSKOSTNADEN

Figur 22 viser prosjektets følsomhet for endringer i investeringskostnaden. I modellen påvirker denne kostnaden også arbeidskapitalen, som er antatt å være 10% av investeringskostnaden i år 0 (forutsetning i EverBatt). En investeringskostnad på over 85 millioner USD gjør at prosjektet får negativ netto nåverdi.



FIGUR 23 PROSJEKTETS FØLSOMHET FOR TRANSPORTKOSTNADENE I 1000

Figur 23 viser forholdet mellom transportkostnader og lønnsomheten til prosjektet representert. Transport er en viktig kostnadspost i modellen. I basicaset ble det antatt at transportkostnadene lå på 1,88\$/kg celle. Denne kostnaden er har mye usikkerhet ved seg. Det er vanskelig å vite spesifikt både hvor mye det koster å frakte materialet per km, samtidig som det er vanskelig å

anta hvor langt man er nødt til å flytte materiale/batterier. Dersom transportkostnaden går over 2,3\$/kg celle, blir prosjektet ulønnsomt. Dette tilsvarer en økning fra 1,55\$/km til 2,85\$/km, eller en 84% økning i kostnad/km for hasardiøs og ikke-hasardiøs transport.

7.1 Reflekterende kommentarer til oppgaven

Det er viktig å påpeke begrensningene ved følsomhetsanalysen. Følsomhetsanalyse simulerer kun endringene i én variabel. Dersom variablene er korrelerte vil dette føre til at man uriktig endrer en variabel uten at de andre variablene endres. I vår modell er dette tilfellet, å partielt endre prisen på kobber uten endringer i prisen nikkell eller aluminium. I delkapittelet om korrelasjoner så vi at prisene som regel beveger seg i samme retning. Slik samvariasjon gjør at man burde se på prisbevegelsene i sammenheng dersom man ønsker å presist modellere bevegelsene i markedet. Dette kan for eksempel gjøres med å bruke scenarioanalyse, eller simuleringer der man tar høyde for dynamiske faktorer som standardavvik og sannsynlighetsfordeling i vekstfaktoren, samt korrelasjon i variablene. Vi gjennomfører ikke avanserte simuleringer. Men anser korrelasjonen i prisene som et definerende trekk ved modellen, og en svært viktig risikofaktor.

I vår analyse ser vi på substituering av kobolt som en stor risikofaktor i lønnsomheten for batterigjennvinnere. Et forslag til videre forskning er å kjøre en lignende nåverdianalyse med påfølgende sensitivitetsanalyse, eller scenarioanalyse som nevnt ovenfor, for batterikjemier uten kobolt når disse gjenvinnes i fremtiden. Dersom kobolt substitueres med nikkell eller andre stoffer vil de nye stoffene mest sannsynlig også generere inntekt. Om denne inntekten er stor nok til å gjøre prosjektet lønnsomt eller mer lønnsomt enn ved batterikjemier med kobolt vet vi ikke.

En forbedret versjon av batteriforordningen, som omhandler regler for produksjon, bruk og avfallshåndtering av alle typer batterier, er under utarbeidelse av EU-kommisjonen. Den nye batteriforordningen skal inneholde utfyllende regler for tilrettelegging for ombruk av batterier, krav til innhold av gjenvunnet materiale i nye batterier og en produsentansvarsordning. En produsentansvarsordning vil si at den som er ansvarlig for å ha satt et produkt på markedet også er ansvarlig for å finansiere gjenvinning av produktene når de kasseres, en ordning som allerede finnes for elektronikk i Norge (Regjeringen, 2022). Vi har ikke tatt hensyn til forordningen og effektene dette kan gi på prisene til batterimetaller eller lønnsomheten i batterigjenvinning i vår oppgave da denne forordningen i sin helhet enda ikke er utgitt. Oppgavens formål er også å se på lønnsomhet uten statlige insentiver.

Mange variabler i denne nåverdianalysen er svært forenklete. Dette gjør at man ikke burde se på basiscaset som den virkelige situasjonen selskaper står ovenfor i markedet. For eksempel har vi ikke tatt hensyn til valutarisiko, kapitalstruktur eller skatt. Kostnadene i modellen er også statiske og tar ikke hensyn til økende kostnader som lønnsvekst eller reduserte kostnader gjennom eksempelvis effektivisering av gjenvinningsprosessen. Det er heller ikke mulig å lagre metaller i modellen, slik at man kan selge metaller i sykluser, selv om dette er praktisert i metallmarkeder, og som sannsynligvis vil bli brukt mye i batterigjenvinning også. Beslutningstagere i en bedrift er nødt til å ta hensyn til mer avanserte modeller og kalkyler enn det som er presentert i denne oppgaven. Vårt håp er at denne oppgaven kan være med å gi innsikt og et klarere bilde av lønnsomheten i gjenvinning av batterier, ikke være styrende for bedriftsøkonomisk beslutningstaking.

Med tilgang til mer konkrete data på kostnadene i gjenvinning, vil analysene være mer virkelighetsnære. Denne informasjonen får man først da pionerene som tar de første stegene i denne bransjen, har generert representativ data. Dette vil ta flere år. Vi har heller ikke lyktes med å komme i kontakt med gjenvinnere, da bedriftene ikke ønsker å dele informasjon med hensyn til at de er nyoppstartede i en ung og konkurransefylt bransje. Om vi hadde lyktes med dette kunne estimatene våre og forutsetninger for basiscaset vært forbedret.

8 Konklusjoner

Vi har analysert hvilken effekt prisene på metaller som brukes i LIB har på lønnsomheten i gjenvinning av EV-batterier. Metallene vi har studert er kobolt, nikkel, kobber, aluminium og litium, og prisene på disse metallene i tidsrommet 2013-2023.

Vi har analysert hvilken effekt endringer i prisen på kobolt, nikkel og kobber har på netto nåverdi i et teoretisk prosjekt som gjenvinner batterier i 20 år. Vi antok i basiscaset et avkastningskrav på 10%, og priser på metallene lik gjennomsnittlige priser fra de siste fem år (2018-2023): 49,5\$/kg for kobolt, 17,5\$/kg for nikkel, 7,4\$/kg for kobber og 2,2\$/kg for aluminium. Litium gjenvinnes ikke i modellen. Kostnader, ekstraksjonsgrader og gjenvunnet mengde av metallene ble beregnet ved å bruke moduler i EverBatt.

I basiscaset sto kobolt for den største andelen av inntekten i batterigjenvinningen på 44%, deretter fulgte nikkel med 31%. Verdien på kobber er også viktig for lønnsomheten i gjenvinning av batterier, og sto for 19% av inntektene. Aluminium sto for 3% av inntektene. Av metallprisene var prosjektet mest følsomt ovenfor prosentvise endringer i kobberprisen.

Inntektene er avhengig av prisene på metallene som gjenvinnes. Dersom koboltprisen ligger under 40\$/kg, nikkelprisen ligger under 13\$/kg eller kobberprisen ligger under 4\$/kg, blir prosjektet ulønnsomt. Dette er spesielt viktig sett i lys av den høye prisen kobolt, nikkel og kobber har hatt de siste fem årene. Dersom prisene i stedet blir nærmere gjennomsnittet over de siste 10 årene, blir prosjektet med basisforutsetninger ulønnsomt med et tap på 35 millioner USD. Men, etterspørselen har økt betraktelig på metaller som kobolt og nikkel de siste årene som følge av den store etterspørselen etter EV.

Standardavvikene i metallprisene er med å styre hvilken påvirkning metallene har på lønnsomheten i gjenvinningen. Spesielt har nikkel hatt høy volatilitet over de siste ti årene. Kobolt og litium har hatt voksende volatilitet som følge av økt interesse i markedene. Samtidig har koboltprisen tredoblet seg på under to år, (og falt like fort), ved to tilfeller i perioden. Slike bevegelser gir store svingninger i hvor mye av verdien i batteriene som kommer fra kobolt, og hvor verdifulle batteriene er.

Inntektene i gjenvinningen er svært avhengige av hvilke metaller som kommer inn i prosessen. Hvilke metaller som kommer inn til gjenvinning er avhengig av hvilke batteriformer som både er på markedet i dag og hvilke som selges i fremtiden. Og det er mye usikkerhet både om hvordan fordelingen av batterisammensetninger er i Norge i dag, og hvilke mengder det er av hvert metall i sammensetningene.

Metallprisene er positivt korrelerte. På nivå er kobolt, nikkel og aluminium alle positivt korrelerte med en koeffisient på over 0,5. Nikkel og aluminium er høyt korrelerte med kobber, og aluminium og kobolt har hatt en korrelasjon på 0,72. Denne positive samvariasjonen gjør at endringer i verdien på et metall sannsynligvis vil komme med endringer i samme retning på de andre metallprisene. Dette gjør at hver prosentvis nedgang eller oppgang i prisen på ett av metallene, sannsynligvis kommer med en forsterket effekt på inntektene i prosjektet, gjennom lignende bevegelser i andre metallpriser. Dette gjør prosjektet sensitivt til bevegelser i metallprisene. Vi argumenterer for at dette utgjør en svært stor risiko for prosjektet. Dersom prosjektet ikke har tilgang på ekstern kapital underveis i levetiden, og man kommer inn i en periode med lave priser (spesielt tidlig i prosjektets levetid), vil dette kunne gjøre det vanskelig å holde drift gående.

Kobolt etterspørres hovedsakelig av batteriprodusenter. Dersom etterspørselen etter kobolt faller mye, vil dette kunne ha katastrofale effekter på lønnsomheten i gjenvinningen. Men, andre metaller kan ta over noe av posisjonen kobolt har i dag, som inntektsdriver i batterigjenvinning. Spesielt merker vi oss at nikkeletterspørselen sannsynligvis vil ta over noe av etterspørselen etter kobolt i et slikt tilfelle over tid, da nikkel kan utføre noen av funksjonene til kobolt i katodene i LIB. Men vi kan ikke utelukke at andre batterisammensetninger, uten noen av disse metallene, blir viktige i fremtiden. Et gjenvinningsanlegg må derfor være beredt til å endre prosessene, hvilke metaller man gjenvinner og strategi i løpet av levetiden til anlegget.

Antagelsene som ble gjort i basiscaset er forbundet med stor usikkerhet. Dersom man endrer enkelte kostnader, avkastningskrav eller antagelser om veksten, endres netto nåverdi i modellen mye. De største negative kontantstrømmene i nåverdianalysen kommer fra kostnader i demontering, transport og hydroprosessen. Transportkostnadene er avhengige av svært usikre momenter, som distansen battericellene må flyttes, drivstoffpriser og lønnsatser. Demonteringskostnadene, den største posten, er hovedsakelig avhengig av lønnsatser.

Investeringer innen batterigjenvinning er viktig, men lønnsomheten i gjenvinningen er svært usikker. Vi har tro på at både politiske og sosiale faktorer vil kreve en høy grad av gjenvinning i fremtiden, spesielt sett i lys av miljøforholdene i jomfruelig utvinning. Men en investor som går inn i et gjenvinningsprosjekt er utsatt for betydelig risiko fra prisbevegelser som gir perioder med lav inntekt og fra usikker forventningsverdi i hver enkelt batterisammensetning, grunnet de skiftende batterisammensetningene samt makroøkonomiske faktorer. Uten støtte fra subsidier eller andre insentivordninger, anbefaler vi ikke å investere i et slikt prosjekt ut ifra de forutsetninger og analyser vi har gjort. Dersom man har robustheten og mulighetene til å drive anlegget gjennom perioder med lave eller negative kontantstrømmer, er det gode muligheter til å

drive med gode resultater, men dersom dette krever å at man holder kontantreserver i gode perioder, vil dette medføre alternativkostnader. En produsent av batterier, som også driver gjenvinning, vil ha en større grad av naturlig prissikring enn de som drifter gjenvinning alene. Men også slike produsenter er utsatt for risikoen ved at batteriteknologien utvikler seg. Vi tar forbehold om at mer avanserte modeller kan både finne bedre måter for å gjennomføre prosjektet, samt avdekke mangler ved modellen vi har konstruert.

9 Litteratur

- Amnesty International. (2017, 14. november). Industry Giants Fail to Tackle Child Labour Allegations in Cobalt Battery Supply Chains. <https://www.amnesty.org/en/latest/press-release/2017/11/industry-giants-fail-to-tackle-child-labour-allegations-in-cobalt-battery-supply-chains/>
- Aspa, J. (2016, 14. desember). Lithium's boom year: 2016 in Review. *Investing News*. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/lithium-investing/lithium-overview/>
- Azevedo, M., Campagnol, N., Hagenbruch, T., Hoffman, K., Lala, A., & Ramsbottom, O. (2018). Lithium and Cobalt: A Tale of Two Commodities. *McKinsey & Company*. <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/lithium-and-cobalt-a-tale-of-two-commodities>
- Bartoš, V., Vochozka, M., & Šanderová, V. (2022). Copper and Aluminium as Economically Imperfect Substitutes, Production and Price Development. *Acta Montan Slovaca*, 27, 462-478. <https://actamont.tuke.sk/pdf/2022/n2/14bartos.pdf>
- Batteriretur.no. (u.å.). Trygg transport av batterier. Hentet 29. mars 2023, fra <https://batteriretur.no/trygg-transport-av-batterier/>
- Beaudet, A., Larouche, F., Amouzegar, K., Bouchard, P., & Zaghbi, K. (2020). Key Challenges and Opportunities for Recycling Electric Vehicle Battery Materials. *Sustainability*, 12(14), 5837. <https://doi.org/10.3390/su12145837>
- Bergfald Miljørådgivere. (2022). Mer gjenvinning av kritiske råmaterialer. Hentet fra <https://renas.no/kritiske-ramaterialer/>
- Bryan, K. & Dempsey, H. (2023, 9.januar). Investing in Battery Metals: "it's a reeducation". *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/2d008f66-6024-4882-8183-33eacd72b302?accessToken=zwAF-zAFoGz4kc8tAI9mYCRlgtOBgzPqzXKzAg.MEQCICJcwrtghSoD3X4TRg2BAevd03vw2QF7l9kb7k1mzXbAiAIJZhP8Jhod7gWqX7sC55W51chlXJiUpCKHBuLy8gaQw&sharetype=gift&token=ae820093-2675-47aa-8715-de667286cf99>
- Bøhren, Ø., & Gjørum, P.I. (2009). *Prosjektanalyse* (1.utg). Fagbokforlaget.
- Bøhren, Ø., Michalsen, D., & Norli, Ø. (2017). *Finans: Teori og praksis* (1.utg). Fagbokforlaget.
- Campbell, G. A. (2020). The Cobalt Market Revisited. *Mineral Economics*, 33(1-2), 21-28. <https://doi.org/10.1007/s13563-019-00173-8>
- Chopra, S. (2019). *Supply Chain Management - Strategy, Planning and Operation* (7.utg). Pearson Education Limited.

- Chicago Mercantile Exchange (CME) group. (2023a). Cobalt Metal (Fastmarkets). Hentet 15.april fra <https://www.cmegroup.com/markets/metals/battery-metals/cobalt-metal-fastmarkets.volume.html#tradeDate=20230410>
- Chicago Mercantile Exchange (CME) Group. (2023b). Lithium Hydroxide CIF CJK (Fastmarkets). Hentet 9. mai fra <https://www.cmegroup.com/markets/metals/battery-metals/lithium-hydroxide-cif-cjk-fastmarkets.html>
- Cobalt Institute. (2022). Cobalt Market Report 2021. https://www.cobaltinstitute.org/wp-content/uploads/2022/05/FINAL_Cobalt-Market-Report-2021_Cobalt-Institute-1.pdf
- Dai, Q., Spangenberg, J., Ahmed, S., Gaines, L., Kelly, J. C., & Wang, M. (2019). EverBatt: A Closed-loop Battery Recycling Cost and Environmental Impacts Model. Argonne National Laboratory. <https://publications.anl.gov/anlpubs/2019/07/153050.pdf>
- Dempsey, H. (2023, 09. mai). Glencore plans Europe's biggest electric car battery recycling plant. *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/ab593cac-5f7e-4b70-904d-94cc0251aaeb>
- Dempsey, H., & Cotterill, J. (2023, 03. april). How China is Winning the Race for the Race for Africa's Lithium. *Financial Times*. https://www.ft.com/content/02d6f35d-e646-40f7-894c-ffcc6acd9b25?accessToken=zvAF-0hUWtAAkc8C1vNd5kZA99OJTP_Mas2bjQ.MEYCIQD5WHSkmzSO0u5iD-sWw5DYo-pwUJUNss60_zCVKzer7QIhAOPBP7NLvu_9MYyrtj6R1N4sm1N-PgumssO1J43gkfFp&sharetype=gift&token=4b417565-dda6-4b46-9168-cf2984060eb2
- Dempsey, H., & Stafford, P. (2022, 01. desember). Surge in Nickel Prices Threatened to Blow \$2.6bn Hole in Key LME Entity. *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/7ec79ce2-3968-47e2-97a6-f9bd961cc73d>
- Desai, P. (2022, 01. desember). CME Cobalt Contracts Use Soars Above LME as Big Players Join. *Reuters*. <https://www.reuters.com/markets/commodities/cme-cobalt-contract-use-soars-above-lme-big-players-join-2022-12-01/>
- Fastmarkets. (2020, 19. november). New Fastmarkets-settled Cobalt Contract to Launch at CME Group. <https://www.fastmarkets.com/insights/new-fastmarkets-settled-cobalt-contract-to-launch-at-cme-group>
- Grønland, S. E. (2018). Kostnadsmodeller for transport og logistikk – basisår 2016. *Transportøkonomisk Institutt*. <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=48556>
- Harvard. (2023, 16. februar). The Dangers of Cobalt Mining in Congo. Harvard T.H. School of Public Health. <https://www.hsph.harvard.edu/news/hsph-in-the-news/the-dangers-of-cobalt-mining-in-the-congo/>

- Henckens, M., & Worrell, E. (2020). Reviewing the Availability of Copper and Nickel for Future Generations. The Balance Between Production Growth, Sustainability and Recycling Rates. *Journal of cleaner production*, 264, 121460. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121460>
- Holman, J. (2022, 10. Februar). Aluminium Prices Hit 13-year High on Supply Tightness, Concerns. *S&P Global*. <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/metals/021022-feature-aluminum-prices-hit-13-year-high-on-supply-tightness-concerns>
- Hook, L., & Dempsey, H. (2023, 21. mars). Trafigura chief says LME nickel contracts is not fit for purpose. *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/f2d969d0-ac4d-48b1-97c4-b27723fdd675>
- International Seabed Authority. (u.å.). Minerals: Polymetallic Nodules. Hentet 29. april 2023 fra <https://www.isa.org.jm/exploration-contracts/polymetallic-nodules/>
- Jäger-Roschko, M., Herremans, E., Petersen, M., Umans, L., & Dons, G. (2020). Challenges and Best Practices in Recycling Supply Chains: *A Qualitative Analysis of Five Major Waste Streams*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3715565>
- Ju, Y. (2022, 09. Juni). Production Cost Rise is a Concern for Alumina Refining in China as Downturn Deepens. *Fastmarkets*. <https://www.fastmarkets.com/insights/production-cost-rise-is-a-concern-for-alumina-refining-in-china-as-downturn-deepens>
- Kushnir, D. (2015). Lithium ion battery recycling technology 2015: *Current State and Future Prospects*. ESA REPORT # 2015:18.
- Lander, L., Cleaver, T., Rajaeifar, M. A., Nguyen-Tien, V., Elliott, R. J., Heidrich, O., Kendrick, E., Edge, J. S., & Offer, G. (2021). Financial viability of electric vehicle lithium-ion battery recycling. *iScience*, 24(7), 102787. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102787>
- Larouche, F., Tedjar, F., Amouzegar, K., Houlachi, G., Bouchard, P., Demopoulos, G. P., & Zaghbi, K. (2020). Progress and status of hydrometallurgical and direct recycling of Li-ion batteries and beyond. *Materials*, 13(3), 801. <https://doi.org/10.3390/ma13030801>
- Lin, C. (2022, 22. august). Why is Nickel Up? Dramatic Price Increase Sparks LME Trading Halt, But Don't Panic Yet. *Fast Company*. <https://www.fastcompany.com/90729374/nickel-price-rise-lme-trading-why>
- Liu, F., Peng, C., Ma, Q., Wang, J., Zhou, S., Chen, Z., Wilson, B. P., & Lundström, M. (2021). Selective Lithium Recovery and Integrated Preparation of High-purity Lithium Hydroxide Products from Spent Lithium-ion Batteries. *Separation and Purification Technology*, 259, 118181. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.118181>

- Liu, Y., Yang, C., Huang, K., & Gui, W. (2020). Non-ferrous Metals Price Forecasting Based on Variational Mode Decomposition and LSTM Network. *Knowledge-Based Systems*, 188, 105006. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.105006>
- Lockwood, T. (2023, 3. April). Northvolt, a \$12 Billion Startup Founded by an Ex-Tesla VP, Thinks Crushing and Shredding Old Batteries is the Way to Make Electric Vehicles Truly Sustainable. *Business Insider*. <https://www.businessinsider.com/northvolt-trying-fix-electric-vehicle-supply-chain-battery-recycling-2023-4?r=US&IR=T>
- London Mercantile Exchange (LME). (2023). LME Cobalt. Hentet 15.april fra <https://www.lme.com/Metals/EV/LME-Cobalt#Volume+and+open+interest>
- Luo, Y., Wei, H., Tang, L., Huang, Y., Wang, Z., He, Z., Yan, C., Mao, J., Kehua, D., & Zheng, J. (2022). Nickel-rich and Cobalt-free Layered Oxide Cathode Materials for Lithium Ion Batteries. *Energy Storage Materials*, 50, 274-307. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2022.05.019>
- Mason, A., Perry, C. (2022, 08. august). Concerns Builds Among Traders About LME Warehouse Stocks. *Fastmarkets*. <https://www.fastmarkets.com/insights/concerns-among-traders-lme-warehouse-stocks>
- Moreno-Fernández, G., Granados-Moreno, M., Gómez-Urbano, J. L., Carriazo, D. (2020). Phosphorus-Functionalized Graphene for Lithium-Ion Capacitors with Improved Power and Cyclability. *Chemistry Europe, Batteries and Supercaps*, 4(3), 469-478. <https://doi.org/10.1002/batt.202000247>
- Nangoy, F., & M, Petty. (2022, 17. mars). Hyundai launches plant to produce Indonesia's first electric car. *Reuters*. <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/hyundai-launches-plant-produce-indonesias-first-electric-car-2022-03-16/>
- Neumann, J., Petranikova, M., Meeus, M., Gamarra, J. D., Younesi, R., Winter, M., & Nowak, S. (2022). Recycling of Lithium-Ion Batteries—Current State of the Art, Circular Economy, and Next Generation Recycling. *Advanced Energy Materials*, 12(17), 2102917. <https://doi.org/10.1002/aenm.202102917>
- Nilsson, P. & Dempsey H. (2023, 02. mars). Lithium Shortages Threaten Europe's Electric Car Transition. *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/154c53aa-5a9a-4004-abf9-2e6e5396dca4>
- Norges Bank. (2023, 02. april). Inflasjon. <https://www.norges-bank.no/tema/pengepolitikk/Inflasjon/>
- Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). (2021, 11. desember). Kompensasjonsordning for høye strømpriser. Hentet fra <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/nytt-fra->

- [rme/nyheter-reguleringsmyndigheten-for-energi/kompensasjonsordning-for-hoeystroempriser/](#). Oppdatert 20.januar 2023.
- Norsk Hydro. (2022, 16. Mai). Starter driften av Europas største resirkuleringsanlegg for elbilbatterier. <https://www.hydro.com/no-NO/media/news/2022/starter-driften-av-europas-storste-resirkuleringsanlegg-for-elbilbatterier/>
- Northvolt. (2022, 18. mai). Closing the Loop on Batteries. <https://northvolt.com/articles/revolt/>
- Olafsdottir, A. H., & Sverdrup, H. U. (2021). Modelling Global Nickel Mining, Supply, Recycling, Stocks-in-use and Price Under Different Resources and Demand Assumptions for 1850–2200. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 38(2), 819-840. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00370-y>
- Onstad, E. (2022). LME forced to halt nickel trading, cancel deals, after prices top \$100,000. *Reuters*. <https://www.reuters.com/business/lme-suspends-nickel-trading-day-after-prices-see-record-run-2022-03-08/>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2023, 27. januar). Country Risk Classification of the Participants to the Arrangement on Officially Supported Export Credits. <https://www.oecd.org/trade/topics/export-credits/documents/cre-crc-current-english.pdf>
- Pandyaswargo, A. H., Wibowo, A. D., Maghfiroh, M. F. N., Rezqita, A., & Onoda, H. (2021). The emerging electric vehicle and battery industry in Indonesia: Actions around the nickel ore export ban and a SWOT analysis. *Batteries*, 7(4), 80. <https://doi.org/10.3390/batteries7040080>
- Poncet, P., & Portait, R. (2022). Futures and Forwards. In *Capital Market Finance: An Introduction to Primitive Assets, Derivatives, Portfolio Management and Risk* (pp. 311-352). Cham: Springer International Publishing.
- Porter, M. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. NY: Free Press
- Radetzki, M. (2009). Seven thousand years in the service of humanity – the history of copper, the red metal. *Resources Policy*, 34(4), 176-184. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2009.03.003>
- Rakiman, U. S. B., Latiffi, A. A., & Rasi, R. Z. R. M. (2014). Value Chain Analysis: The Insight of Aluminium Recycling. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 8(15), 377-382. https://www.researchgate.net/publication/271137118_Value_Chain_Analysis_The_Insight_of_Aluminium_Recycling

- Regjeringen. (2021a, 10. juni). Norge er elektrisk. Hentet fra https://www.regjeringen.no/no/tema/transport-og-kommunikasjon/veg_og_vegtrafikk/faktaartikler-vei-og-ts/norge-er-elektrisk/id2677481/
- Regjeringen. (2021b). Meld. St. 20 (2020-2021) Nasjonal transportplan 2022-2033. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-20-20202021/id2839503/?ch=1>
- Regjeringen. (2022, 09. juni). Batteriforordningen: *ny forordning om batterier og kasserte batterier*. <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2021/jan/batteriforordningen/id2828700/>
- Sancho, G. (2016, 25. januar). Copper Prices at Seven Year Low. *Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (BBVA)*. <https://www.bbva.com/en/copper-prices-at-seven-year-low/>
- Shabalala, Z. (2021, 13. september). Surge in Electric Vehicle Sales Power Lithium Prices as Shortages Loom. *Reuters*. <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/surge-electric-vehicle-sales-power-lithium-prices-shortages-loom-2021-09-13/>
- Skatteetaten. (2022, 1. desember). Innføring av merverdiavgift på elbiler fra 01. januar 2023. <https://www.skatteetaten.no/rettskilder/type/uttalelser/prinsipputtalelser/innforing-av-merverdiavgift-pa-elbiler-fra-1.-januar-2023---narmere-om-tidspunkt-for-levering/>
- Statens Vegvesen. (u.å.) Elbil. <https://www.vegvesen.no/kjoretoy/eie-og-vedlikeholde/elbil/>
- Statistisk Sentralbyrå (SSB). (2023a, 24. mars). Fire av fem nye biler i 2022 var elbiler. <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/landtransport/statistikk/bilparken/artikler/fire-av-fem-nye-biler-i-2022-var-elbiler>
- Statistisk Sentralbyrå (SSB). (2023b, 11.april). Konsumprisindeksen. Hentet 14. april fra <https://www.ssb.no/priser-og-prisindekser/konsumpriser/statistikk/konsumprisindeksen>
- Statistisk Sentralbyrå (SSB). (u.å.). Bilparken: 11823: *Euroklasser, drivstofftyper og kjøretøygrupper (K) 2016-2022*. <https://www.ssb.no/statbank/table/11823/>
- The White House. (2022). Building a Clean Energy Economy: *A Guidebook to the Inflation Reduction Act's Investments in Clean Energy and Climate Action*. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/12/Inflation-Reduction-Act-Guidebook.pdf>
- Thorne, R., Aguilar Lopez, F., Figenbaum, E., Fridstrøm, L., & Müller, D. B. (2021). Estimating Stocks and Flows of Electric Passenger Vehicle Batteries in the Norwegian Fleet from 2011 to 2030. *Journal of Industrial Ecology*, 25(6), 1529-1542. <https://doi.org/10.1111/jiec.13186>

- Trading Economics. (u.å). Lithium. Hentet 8. mai 2023 fra <https://tradingeconomics.com/commodity/lithium>
- Transportøkonomisk institutt. (2020). From Market Penetration to Vehicle Scrappage: *The Movement of Li-ion Batteries through the Norwegian Transport Sector*. <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=52898>
- United States Geological Survey (USGS). (2019). Mineral Commodity Summaries – Nickel. <https://d9-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/mcs-2019-nicke.pdf>
- United States Geological Survey (USGS). (2022). Mineral Commodity Summaries 2022. <https://doi.org/10.3133/mcs2022>
- United States Geological Survey (USGS). (2023). Mineral Commodity Summaries 2023. <https://doi.org/10.3133/mcs2023>
- Velázquez-Martínez, O., Valio, J., Santasalo-Aarnio, A., Reuter, M., & Serna-Guerrero, R. (2019). A Critical Review of Lithium-ion Battery Recycling Processes from a Circular Economy Perspective. *Batteries*, 5(4), 68. <https://doi.org/10.3390/batteries5040068>
- Wall Street Journal. (2023). Chinese Yuan. Hentet 23.mars fra <https://www.wsj.com/market-data/quotes/fx/USDCNY/historical-prices>
- Willing, N. (2021, 21. april). Copper Price Forecast 2021: Will the Price Rise? *Capital*. Hentet fra <https://capital.com/copper-price-forecast>
- Wyman, O. (2023, 10. januar). Independent Review of Events in the Nickel Market in March 2022. *London Metal Exchange (LME)*. Hentet fra <https://www.lme.com/Trading/Initiatives/Nickel-market-independent-review>
- Yang, Y., Okonkwo, E. G., Huang, G., Xu, S., Sun, W., & He, Y. (2021). On the Sustainability of Lithium Ion Battery Industry – A Review and Perspective. *Energy Storage Materials*, 36, 186-212. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2020.12.019>



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway