

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Institutt for Matematiske realfag og teknologi

Masteroppgave 2014
30 stp

Landfill Mining - forlenget levetid for
deponerte ressurser

Landfill Mining - extended life of
resources deposited

Knut Erik Bakketun Haugen

Forord

Denne rapporten er skrevet ved institutt for matematiske realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Oppgaven er avsluttende del av masterprogrammet i industriell økonomi, med fordypning i maskin- og produktutvikling.

Oppgaven omhandler landfill mining, et nytt konsept i Norge innenfor avfallshåndtering. Oppgaven er utformet i samarbeid med Norsk Gjenvinning Norge, som ønsker å se hvilke muligheter det er til å gjennomføre landfill mining prosjekter i Norge. Oppgaven krever både tekniske og økonomiske ferdigheter, og dette var et ønske jeg hadde for å få dekket mye av de faglige ferdighetene jeg har tilegnet meg gjennom studiet. Jeg håper denne oppgaven kan være til nytte for Norsk Gjenvinning videre i utviklingen av kunnskap knyttet til landfill mining.

Jeg vil gjerne rette en stor takk til Jan Fredrik Bergmann og Jørgen Nikolai Pettersen fra Norsk Gjenvinning Norge for god hjelp og flotte innspill som har vært nødvendige for gjennomføringen av denne oppgaven. Jeg vil også takke ansatte ved Bjorstaddalen deponi og ressurspersoner fra Norsk Gjenvinning Norge som har bidratt. Takk til Norsk Gjenvinning Norge som har bidratt med å finansiere utgiftene knyttet til feltstudiet utført i prosjektet.

En stor takk rettes også til førsteamanuensis og hovedveileder, Tor Kristian Stevik, for gode diskusjoner, hjelp og motiverende ord gjennom prosjektet.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 26.2.2014

Knut Erik Bakketun Haugen

Sammendrag

Målsettingen med dette oppgaven har vært å se hvilke økonomiske muligheter det er for å gjennomføre landfill mining prosjekter, ved avfallsdeponier i Norge. I tillegg definere den tekniske prosessen som må utføres ved et slikt prosjekt. Landfill mining er et konsept som består av å grave opp og sortere allerede deponert avfall, for deretter å gjenvinne fraksjonene. Dette er et lite utbredt konsept innenfor avfallshåndtering, og det er ytret et ønske fra Norsk Gjenvinning Norge om å øke kunnskapen om konseptet.

Deler av avfallet som er deponert består av gjenvinnbare materialer som jorden kun har konstant beholdning av. Gjennom landfill mining vil levetiden for disse ressursene forlenges, noe vårt fremtidige samfunn vil være avhengig av. Avfallsdeponier er en skade for miljøet i form av farlige gassutslipp og skader på vannkilder og jord. Landfill mining vil bidra til å forbedre de miljøskadene som oppstår ved deponier.

Metoden for oppgaven er basert på erfaringer fra ressurspersoner innenfor avfallsbransjen, historiske erfaringer og utføring av feltstudie ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg. Dette deponiet er blitt benyttet som modell for å utlede den tekniske prosessen, og det er sett på økonomiske mulighetene til å utføre landfill mining ved dette deponiet.

Resultatene i dette studiet viser at et prosjekt ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg har en positiv netto nåverdi på i overkant av 2,2 millioner kroner. Dette er et godt utgangspunkt for å anbefale et slikt prosjekt, men det er også knyttet en del risiko til landfill mining. Det er flere varierende faktorer som påvirker de økonomiske aspektene, og det er begrenset erfaringer rundt utførelse av konseptet.

Den tekniske utførelsen av landfill mining består av prosesser som er utbredt ved annen avfallshåndtering. I dette studie er flere slike prosesser satt sammen til en prosesslinje som sortere avfallet i den grad at store deler kan gjenvinnes.

Abstract

The aim of this thesis has been to see the economic opportunities there are for conducting landfill mining projects at landfills in Norway. In addition, defining the technical process that must be performed at such a project. Landfill mining is a concept that consists of digging up and sort already deposited waste, then recycle the fractions. This concept is not prevalent in waste management, and it is expressed a wish from Norsk Gjenvinning Norge to increase knowledge about the concept.

Part of the deposited waste consists of recyclable materials the earth only has constant holding of. Through landfill mining the lifetime of these resources will be extended, something our future society will depend on. Landfills are a detriment to the environment in the form of harmful gas emissions and damage to water and soil. Landfill mining will contribute to improving the environmental damage caused by landfills.

The method in this thesis is based on the experience of experts in the waste industry, historical experiences and performance of field study at Bjorstaddalen Avfallsanlegg. This landfill has been used as a model to derive the technical process, and it is seen economic opportunities to perform landfill mining at this landfill.

The results of this study show that a project at Bjorstaddalen Avfallsanlegg generates a positive net present value of 2.2 million NOK. This is a good basis for recommending such a project, but it is also associated some risk with landfill mining. There are several varying factors that affect the economic aspects, and there is limited experience around the performance of the concept.

The technical performance of landfill mining consists of processes that are prevalent in other waste management. In this study, several of these processes are assembled into a process line that sorts the waste in a quality that a big part can be recycled.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
Figurliste	VI
Tabelliste	VII
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	2
1.3 Avgrensning	3
2 Avfallshåndtering	4
2.1 Historie	4
2.2 Gjenvinning	10
2.3 Landfill mining	12
3 Teori	15
3.1 Nedbrytning	15
3.2 Prosess	20
3.3 HMS	22
3.4 Pris	25
3.5 Planleggingsfase	28
3.6 Historiske erfaringer	30
4 Metode	40
4.1 Kvalitative intervju	40
4.2 Feltstudie	41
4.3 Sekundærdata	41

4.4	Økonomisk modell.....	41
4.5	Kvalitet.....	42
5	Feltstudie	43
5.1	Utførelse	43
6	Økonomisk modell	52
6.1	Forutsetninger	52
6.2	Sensitiviteter	54
7	Resultat	56
7.1	Feltstudie.....	56
7.2	Teknisk prosess	60
7.3	Økonomiske resultater	67
8	Diskusjon	70
8.1	Metode	70
8.2	Tekniske muligheter	71
8.3	Økonomisk muligheter	74
9	Konklusjon	78
10	Videre anbefaling.....	79
	Litteraturliste	80
	Vedlegg	83

Figurliste

Figur 1	Utvikling i avfallsmengde og BNP	10
Figur 2	Avfallshierarkiet	11
Figur 3	Håndtering av avfall fra 1995-2011	11
Figur 4	Nedbrytningsfaser i deponi	17
Figur 5	Landfill mining prosess	21
Figur 6	Celsa pris jern 2007-2013	26
Figur 7	Kobber pris 2008-2013	27
Figur 8	Aluminium pris 2008-2013	27
Figur 9	Deponert mengde avfall ved Gärstad deponi	36
Figur 10	Deponert metall ved Gärstad deponi	38
Figur 11	Oppgraving av avfall ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg	45
Figur 12	Avfallet blir plassert i dumper for transport til container	46
Figur 13	Flytdiagram Esva Miljøpark	47
Figur 14	Opphopning av avfall ved luftseparator	49
Figur 15	Opphopning av avfall ved luftseparator	49
Figur 16	Benytter Thermo ScientificNitonXL3t for å bestemme metaller fra prøver	51
Figur 17	Plast og papir fra test.....	59
Figur 18	Flytskjema over teknisk prosess	60
Figur 19	Eksempel shredder ved avfallsanlegg	62
Figur 20	Eksempel shredder.....	62
Figur 21	Prinsipp trommel.....	63
Figur 22	Trommel som ble benyttet ved Korperud Avfallsanlegg	64
Figur 23	Driftsbudsjett Bjorstaddalen Avfallsanlegg.....	68
Figur 24	Utsortering av større fraksjoner ved deponi i USA	72

Tabelliste

Tabell 1	Historisk oversikt som påvirker innhold i deponi.....	9
Tabell 2	Avfallshåndtering Korperud	32
Tabell 3	Andel av fraksjoner ved tidligere tester (% av totalt volum)	34
Tabell 4	Andel av fraksjoner ved REMO.....	35
Tabell 5	Andel metaller i aske ved Gärstad deponi.....	37
Tabell 6	Andel metaller i industriavfall ved Gärstad deponi	37
Tabell 7	Andel metaller i husholdningsavfall ved Gärstad deponi	38
Tabell 8	Verdi av metaller ved Gärstad deponi	39
Tabell 9	Andel fraksjoner Bjorstaddalen Avfallsanlegg	53
Tabell 10	Sensitivitet	54
Tabell 11	Tidsforbruk ved feltstudie	57
Tabell 12	Andel av størrelser etter sortering ved feltstudie	57
Tabell 13	Grunnmetaller fra utført test	58
Tabell 14	Metall kvaliteter fra utført test	58
Tabell 15	Sensitivitet jernpris og metallpris (NNV tall i 1000)	69
Tabell 16	Sensitivitet jernpris og forbrenningspris (NNV tall i 1000)	69

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I tråd med en befolkningsøkning, og menneskers tendens til å forbedre sin livskvalitet, har det vært en økning i vårt generelle forbruk. Et høyere materialforbruk fører igjen til at avfallsmengden vi produserer øker. Jordens befolkning vil ifølge rapporter øke til 9 milliarder innen 2050 fra dagens 7 milliarder (FN, 2012). Samtidig er jordens beholdning av metaller, papir og noen andre gjenvinnbare ressurser konstant. Dersom vi ikke klarer gjenvinne disse ressursene på en god måte, vil disse forsvinne med tiden. Dette vil ikke jordens eksisterende og fremtidige samfunn tåle.

Gjennom 1900-tallet var deponering av avfall den foretrukne avfallshåndteringen i verden. Denne formen for avfallshåndtering byr på en del trusler både mot samfunnet og miljøet, ved at deponiene kan inneholde farlig avfall og føre til forurensning av vann, jord og luft. Det deponert 800 000 tonn avfall i Norge i 2011, dette er kun 41 prosent av mengden avfall som ble deponert i 2007 da avfallsmengden nådde det hittil høyest registrerte nivået med nesten 2 millioner tonn (Statistisk Sentralbyrå, 2013). Nedgangen henger sammen med en lovendring gjort av EU's deponidirektiv i 1999, som førte til et deponiforbud i Norge i 2009. Forbudet har som mål å redusere mengden avfall som går til deponier. Det er en god utvikling at deponeringen av avfall avtar, men fortsatt ligger det opp mot 150 millioner tonn avfall nedgravd i norske deponier.

Før gode løsninger på gjenvinning og sortering av avfall begynte å komme på slutten av 1970-tallet, ble avfallsdeponeringen gjennomført med svært begrenset sortering. Med bakgrunn i dette betyr det at det ligger nedgravd en betydelig mengde med gjenvinnbare ressurser på aktive og stengte avfallsdeponier, som man per i dag ikke benytter.

I den senere tid har kunnskapen på gjenvinning økt, og avfallet som tidligere ble deponert kunne nå vært gjenvunnet i stedet for deponert. En løsning for nå å kunne gjenvinne deponert avfall er gjennom landfill mining (LFM), et konsept hvor avfallet i deponiene blir gravd opp, sortert og gjenvunnet. Prosessen består typisk av en rekke mekaniske operasjoner for å grave opp avfallet og sortere ut verdifulle gjenvinnbare materialer, en brennbar fraksjon og jord. I tillegg frigir man arealer som kan benyttes til industri og industrilokaler, boligutbygging, parker eller til ny deponering. LFM kan også bli benyttet som et tiltak for å hjelpe dårlig utformede eller feil opererte deponier, og også gjøre oppgraderinger slik at de oppfyller miljø-

og folkehelsekrav. LFM fører med seg en rekke kostnader i form av prosessene med oppgraving, sortering og gjenvinning, og disse kostnadene er det ønskelig å få dekket ved salg av de gjenvinnbare fraksjonene. Hvilke økonomiske muligheter det er for å utføre prosjekter er knyttet direkte opp mot deponiets innhold og hvilke inntekter som kan genereres, i tillegg til hvilke økonomiske fordeler arealutnyttelsen bidrar til for å kunne dekke kostnadene.

LFM ble introdusert allerede i 1953 i Tel Aviv i Israel. Selv med det første prosjektet i Israel for 60 år siden har ikke LFM vært en stor utbredt industri og kunnskapen rundt dette er begrenset. Det er kun utført noen prosjekter og pilot studier i USA, Asia og Europa siden den tid. Dette begrenser hvilken kunnskap som ligger bak den tekniske prosessen som må utføres for å gjenvinne store deler av avfallet.

I Norge var det i 1992 ca 330 deponier, men på grunn av forbudet mot deponering av biologisk nedbrytbart avfall er det i dag om lag 60 deponier som er i drift. Ingen aktører i Norge er i dag aktive med LFM og svært få prosjekter er utført her til lands. Norges ledende avfalls- og gjenvinningsaktør er Norsk Gjenvinning konsernet, og selskapet har vært aktive i bransjen siden sin oppstart i 1926. Norsk Gjenvinning konsernet tilbyr et bredt spekter av ulike tjenester og har valgt å organisere seg i følgende virksomhetsområder: Avfallshåndtering, gjenvinning av metall, industriservice, farlig avfall, rivning og miljøsanering, offshore, renovasjon, sikker makulering og destruksjon. Mye av dagens avfallssortering benytter de samme teknologier som vil være aktuelle ved LFM, og selskapet har den senere tiden fattet interesse rundt konseptet. Selskapet mener at de med deres kunnskap og erfaring vil kunne være en av de beste aktørene på markedet til å utføre slike prosjekter.

1.2 Problemstilling

Formålet med oppgaven er kartlegge om det er økonomiske muligheter til å utføre LFM prosjekter i Norge. Og hvilken teknisk prosess, i tråd med lovverk, som kan gi denne økonomiske løsningen.

Denne oppgaven vil bli gjennomført i samarbeid med Norsk Gjenvinning Norge (NGN), som vil bistå med ressurspersoner og støtte til feltstudier. Rapporten vil NGN kunne benytte i sitt videre arbeid med LFM, og gi en bakgrunn for hvilke vurderinger og tiltak som må utøves knyttet til LFM. Den tekniske prosessen og verdivurderingen vil være en ressurs for å vurdere lønnsomheten av LFM prosjekter.

Hvilken teknisk prosess må utføres ved landfill mining, og hvilke økonomiske muligheter er det for utføring av prosjekter i Norge?

1.3 Avgrensning

For at denne oppgaven skal kunne gjennomføres har det blitt gjort noen avgrensninger. Grunnet store variasjoner i egenskapene til norske deponier vil økonomisk lønnsomhet og miljømessige effekter måtte vurderes for hvert enkelt deponi. Hva formålet med rensing er og utnyttelse av arealet, vil også påvirke hvordan den tekniske prosessen utføres, i henhold til at det stilles forskjellige krav. Denne oppgaven har derfor valgt å fokusere på ett deponi. Resultatene vil allikevel si noe generelt om hvordan LFM prosessen bør settes opp, og hvilken lønnsomhet den gir.

2 Avfallshåndtering

2.1 Historie

For å danne en forståelse av hvilken rolle deponering har i avfallshåndteringen, er det av interesse å se på avfallshistorien i Norge. Gjennom tiden har deponier vært mye benyttet, og for forskjellige tidsperioder har forskjellige avfall blitt deponert. Nye lover mot deponering og historiske begivenheter har satt begrensninger for hva som har blitt deponert. Dette er viktige faktorer som spiller inn på hva som kan forventes å grave opp og gjenvinnes ved LFM prosjekter.

Avfall er noe uønsket, noe du ikke har bruk for. Når gjenstander vi eier ikke lenger har en nytte for oss og forandrer seg i en uønsket retning blir det til avfall. Renovasjon betyr noe så dagligdags som renhold eller rengjøring. Renovasjon omfatter mer enn flytting av avfall, den innebærer også en målbevisst forvandling av avfall. Med renovasjon prøver vi å forvandle avfall til noe som ikke er avfall, fra noe uønsket til noe som igjen er ettertraktet. Klarer vi å endre avfallet, snakker vi om gjenvinning av avfallet. Gjenvinning er ikke alltid like lett å få til, og ofte må vi nøye oss med noe som i beste fall er nøytralt. Og har vi avfall som er farlig, ønsker vi å uskadeliggjøre dette. Gjennom en gjenvinningsprosess ønsker vi i tillegg å unngå forurensning. Dette har vært forsøkt i noen hundre år, men synes å være uoppnåelig. Avfall og forurensning synes å henge sammen, og prosessen blir å velge det minste av flere onder. Om vi lar avfall ligge, forurenser det. Forbrenner vi avfallet blir vi sittende igjen med en ubehagelig røyk i stedet. Og graver vi ned avfallet vil dette skade jord og vann samt gi utslipp av skadelige gasser.

Avfallshistorien for Oslo er den som er best dokumentert, men gir et godt bilde av hvordan avfallsutviklingen har vært også for resten av landet. Gjennom 1600- og 1700-tallet i Oslo, den gang Christiania, oppstod det et nytt begrep innenfor renovasjon. Før denne tid hadde folk kvittet seg med sitt eget avfall, men nå kom det frem en arbeidsgruppe som tok seg av avfallet: nattmennene (Torstenson. I, 1997). Nattmannen påtok seg renovasjonsoppgaver som andre ikke ville utføre selv, fordi det var ubehagelig arbeid. Deres oppgaver gikk på å rense doer, kloakker, brønner og lignende, og deres plass i samfunnet var ikke høyt rangert. De tok seg også av døde dyr, og sørget for å grave de ned, så sant kjøttet ikke egnet seg til mat. Hensikten var for ikke å unngå at åtslene ble liggende å spre giftig og usunn gass. Gjennom 1800-tallet ble nattmennene mer godkjent i samfunnet og deres arbeid ble mer prissatt. De ble ansatt som offentlige ansatte og fikk fast årslønn, og er forgjengeren til dagens renholdsarbeidere.

De første tankene om kildesorteringen fant sted rundt begynnelsen av 1900-tallet. Selv om det ikke kan sammenlignes med dagens sortering, var ønsket å få innført et såkalt tredelingssystem i husholdningene. Én beholder for aske, én for skyller til grisemat og én for restavfall. Sorteringen viste seg å være vanskelig å få til og noen vellykket sortering oppstod ikke før flere år senere. I den første tiden av 1900-tallet begynte Renholdsverket å føre statistikker over avfallsmengden og hvilke faktorer som påvirket den. En økning fra 160 000 innbyggere til 260 000 fra 1891 til 1924 førte til mer avfall i byen, men mengden produsert avfall per innbygger var den samme. Svingninger i økonomiske konjunkturer ble også registrert av Renholdsverket. Den første verdenskrigen, og særlig mot slutten, førte til stor varemangel og importen sank. På bakgrunn av dette avtok søppelmengden og resirkulering og utplukking av verdier fikk en oppblomstring. Etter krigen ble importrestriksjonene opphevet, og avfallsmengden gjorde et stort hopp.

Frem til 1924 hadde Renholdsverket satset på å få avsatt mest mulig søppel til gjødselformål, men i et foredrag av daværende renholdsdirektør, P. Bassøe, pekte han på at søppelgjødsel forurenset jorden over tid. Og det ble stadig vanskeligere å få solgt avfallet til gjødsel. Mot slutten av 1920-årene begynte innholdet i avfallet å endre seg. Den inneholdt mer papir, papp og annet brennbart materiale enn tidligere. Med økende avfallsmengde og mindre mulighet for utnyttelse til gjødsling, begynte spørsmålene å dukke opp om hva man skulle gjøre med avfallet. For Renholdsverket i Oslo ble noe kjørt til Sørumsand i Akershus, hvor det ble deponert, men fraktkostnadene med tog av unyttig søppel var ikke lønnsomt.

I begynnelsen av 1900-tallet hadde spørsmål om forbrenningsovnner dukket opp, men asken det produserer skapte nye problemer da dette også må fjernes. Da ble det pekt ut mot øyene i Oslofjorden. Ved å frakte søppel ut til øyene med båt ville man spare kostnader fremfor bruk av tog, og der kunne avfallet deponeres. Beslutningen ble bruk av Langøyene, og da spesielt sundet mellom Nordre og Søndre Langøy. Langøyene ble benyttet som deponi fra 1904 til 1948. Etter denne tid har det vært diskusjon om avfallsdeponiet ved Langøyene har skapt forurensning. Etter nøyere undersøkelse, viser det seg at deponiområdet kan være en langt større forurensningskilde enn tidligere antatt (Oslo kommune, 2013). Og sommeren 2013 frarådet Bymiljøetaten i Oslo kommune folk om å oppholde seg på Langøyene, da tester viste utslipp av metangass.

I mellomkrigsårene skulle navnet på en engelsk by stige frem som symbol for en revolusjonering av avfallshåndtering. Begrepet Bradford måtte alle som hadde interesse for avfallshåndtering sette seg inn i. Bradford var en industriby på størrelse med Oslo, hvor renholdsverket hadde begynt å eksperimentere på forbedringer på

søppelfyllingene. Dette resulterte i et system som har blitt kjent over hele verden som «controlled tipping» – «kontrollert fylling» eller bradfordmetoden. Prinsippene for denne modellen er fremdeles aktuelle ved avfallsdeponier.

Bradfordmetoden utnytter prosessen som bryter ned det organiske materialene i avfallet og gjør at temperaturen i en fersk fylling stiger i en periode. Denne prosessen skapte tidligere problemer med brann på Langøyene, men hovedpoenget med denne ny metoden var å ha kontroll over temperaturen. Det var viktig at temperaturen var høy nok til at den hindret uønskede kryp som fluer, kakerlakker og rotter. Men temperaturen måtte også begrenses slik at fyllingen ikke begynte å brenne. For å oppnå den rette temperaturen ble avfallet lagt i tynne terrasser med vannrett toppflate, som ikke måtte være dypere enn to meter. På slutten av arbeidsdagen ble avfallet dekket til med en blanding av jord, gateoppsop, slagg og lignende. I tillegg til å ha kontroll på temperaturen gikk metoden også ut på å få til en kompakt fylling. Det var viktig å unngå hulrom for å hindre insekter, rotter og oppsamling av brennbar gass. Når et stort lag av massen var lagt ut, skulle dette ligge og brytes ned, og man kunne gjerne så til med gress på toppen. Det ble lagt vekt på at alt skulle se pent og ordentlig ut, og renholdsjeften i Bradford garanterte en luktfri fylling. Etter noen uker ville temperaturen i fyllingen nå sitt maks, for deretter å synke, og etter noen måneder kunne man begynne å fylle på med nytt avfall på toppen.

Bradford kunne etter hvert vise til imponerende resultater og renovasjonsfolk strømmet til byen for å lære av deres metode. Også for landskapsarkitekter var dette av stor interesse. På ferdige fyllinger begynte de å lage parkområder, fotballbaner, lekeplasser og veier. Fordelene ved metoden var mange, det var ikke lenger nødvendig med lang frakt av avfallet og søppelfyllingen var ikke lenger sjenerende for naboer. Også i Norge ble interessen for denne nye metoden vekket, og Renholdsverket tittet på løsninger til å få til dette her til lands. Et gartneri i Fetsund ønsket, i 1935, å bygge opp et slik deponi for å holde flomvann unna jorda og samtidig benytte den biologiske varmen. Det ble etter hvert mer etterspurt å få benytte avfallet fra Oslos befolkning, og i oppbyggingen av flyplassene på Kjeller og Fornebu ble bradfordmetoden benyttet.

Den andre verdenskrigen førte med seg de samme problemene som den første med tanke på avfallet. Mengden gikk ned grunnet rasjonering og mindre import. I tillegg måtte alt brennbart avfall brennes i egen husholdning, fremfor å sendes til fyllinger. Bil- og drivstoffmangel gjorde det også vanskelig for renholdsarbeiderne å frakte avfallet til nye deponier som var planlagt.

I tiden etter krigen tok avfallsmengden seg opp igjen og avfall ble deponert ved flere nye fyllinger. I tillegg ble det kjøpt og innleid flere søppelbiler, så transporten av avfallet ble lettere. For arbeiderne derimot ble det ikke lettere, søppelbøtter og søppelkasser var lite håndterlige og mye yrkesskader oppstod som en følge av bæring av disse.

Mer bruk av engangsemballasjer på produkter kom i begynnelsen av 1960-tallet, for eksempel ble det slutt på melk i glassflasker, nå ble det heller benyttet pappkartonger. Dette var for å øke gjenvinning av produkter. Innføringen av kjøleskap og frysebokser, på 1950- og 1960-tallet, førte med seg langt mindre matavfall i søpla, noe som hadde vært et problem i tiden etter krigen. I 1965 ble det regnet med at søpla til en familie på fire personer representerte en verdi på vel hundre kroner årlig, som den gang var et betydelig beløp. Den største verdien var papir, men også metaller, glass og tekstiler stod for et mindre beløp. Det begynte derfor å komme papirinnsamling fra private foreninger, korps og lignende, som samlet inn papiret og solgte det videre. Dette ga de en ekstra inntekt, samt at avfallsmengden ble redusert. Med tiden ble det også mer privat innsamling av metaller, flasker og tekstiler. Avfallet som var sortert ble da kjøpt fra husholdningene, og ga de en ekstra inntekt. På denne måten ble det mer lønnsomt å sortere avfallet. Også ved innhenting av søppel og på fyllingen jobbet arbeiderne med å hente ut verdier de fikk solgt videre til skraphandlere. På denne måten fikk også de et ekstra tilskudd på lønningen sin.

I 1960 ble restriksjonen på salg av nye biler opphevet, dette førte til alvor for kassering av eldre biler, disse ble hentet inn av Renholdsverket og begravd på fyllingene. I 1966 ble det gjennomsnittlig deponert to bilvrak om dagen ved Grønmo fyllplass i Oslo. Løsningen på dette problemet kom med vrakpantordningen i 1978, som førte til gjenvinning av bilvrakene.

Ved fyllplassene i Oslo ble bradfordmetoden benyttet, og etter de ble nedlagt kan vi spørre oss hvor vellykket disse fyllingene hadde vært. Fornebu og Kjeller hadde blitt flyplasser, ved Stubberud var det motorvei og på Romsås ble det idrettsplass og industriområde. Nye fyllplasser dukket opp og nye maskiner var med på å legge ut avfallet, komprimere det og legge på toppdekker. Maskinene førte til en tettere komprimering og hindret at luft kom til ved nedbrytningen av materialene. Nå ble materialene brutt ned uten oksygen, noe som tar lenger tid og fører til produksjon av metangass. Siden nedbrytningen gikk saktere førte dette til lavere temperatur i fyllingen, og førte til at rotter og andre skadedyr begynte å komme til fyllingene, i tillegg til klager på lukt og røyk fra naboer. Drømmen om populære søppelplasser var knust. For å forhindre utslipp av den miljøskadelige metangassen fra deponier

har det blitt gjort flere tiltak opp gjennom årene, som for eksempel gassanlegg. Dette fikk fyllingen på Rommensletta i 1996, dette for å hente ut deponigass som nå benyttes til oppvarming av husstander. Produksjonen av metan pågår fortsatt ved Rommensletta selv etter at deponiet ble stengt i 1969.

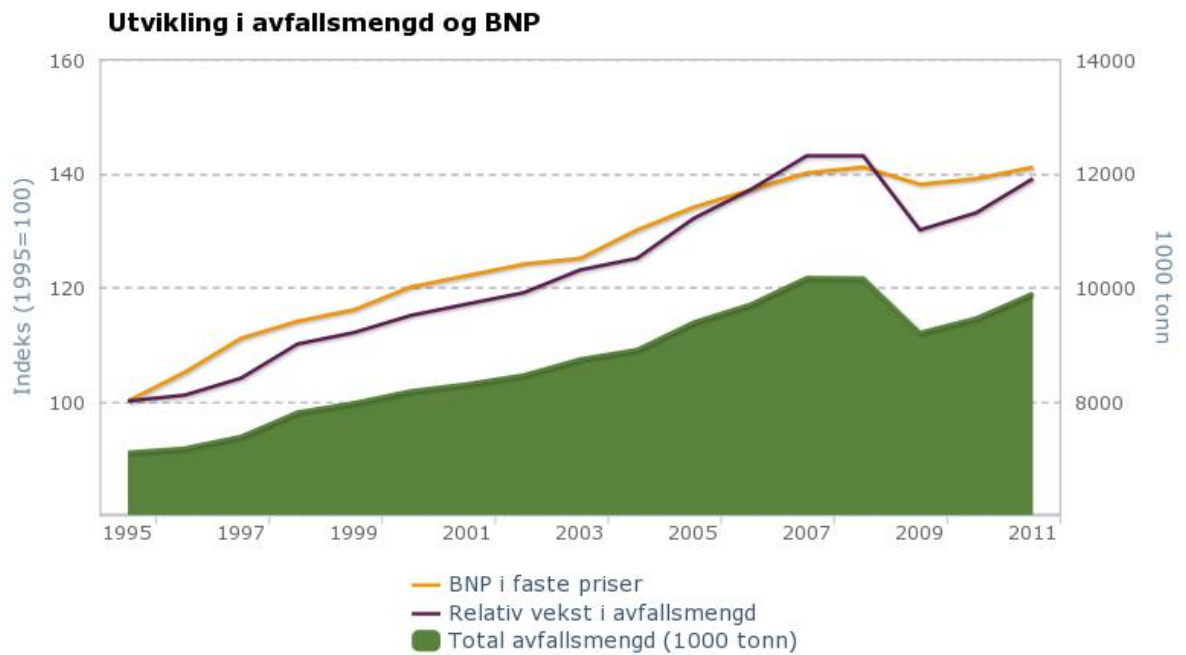
Med tiden har også andelen industriavfall økt, noe som ikke har vært spesielt heldig for fyllplassene. Mye giftige og kjemiske stoffer kom inn fra industrien og dette var en uheldig kombinasjon sammen med den lett antenkelige metangassen. Dette førte ofte til branner i deponiene. Kontrollert brenning av de kjemiske stoffene ble etter hvert en løsning, men dette var heller ikke populært blant naboene ved fyllplassene, og også nye problemer dukket opp for fyllingene. Fokuset ble nå rettet mot jorden, og de skadene deponiet førte til på jord og vann. Oppsamlingen av fuktighet som rant gjennom avfallet og tok med seg skadelige stoffer, endte til slutt opp i bunnen av deponiet. Deretter spredte sigevannet seg til jordområder og vannkilder i nærheten og førte til en forurensning av dette. Det har blitt utviklet bedre og bedre løsninger på renseanlegg for å forhindre skadene. Spørsmål om vi noen gang kunne klare oss uten søppelfyllinger dukket opp, hvor fagfolkene kom med et ganske klart nei på dette – fyllinger i en eller annen form måtte vi regne med i overskuelig fremtid.

Nedenfor følger en tabell som viser viktige hendelser som har vært med på å påvirke hvilket avfall som har blitt deponert fra begynnelsen av 1900-tallet. Dette er med på å gi en bedre forståelse av hva som kan forventes å finne deponert ved avfallsdeponier.

Tabell 1 Historisk oversikt som påvirker innhold i deponi

Hendelse	Periode	Konsekvens
Flaskepant	1902	Mindre glass og plast på deponi. Gjenvinningen begynte i 1902, men utviklingen har vært stor siden den tid.
1. verdenskrig	1914-1918	Avfallsmengden avtok. Mindre avfall til deponi.
Glomma Papp begynte med industriell gjenvinning av papp i Norge	1931	Mindre papp og papir til deponi. Har vært stor utvikling i gjenvinning av papp og papir gjennom tiden.
2. verdenskrig	1940-1945	Avfallsmengden avtok. Mer sortering. Mindre avfall til deponi.
Tomra panteordning	1972	Ny panteordning førte til mer gjenvinning av flasker. Mindre glass og plast til deponi.
Første kommersielle papirinnsamling	1978	AS Returpapir og Jahr og Sønner (nå NGN), begynte med kommersiell papirinnsamling. Mindre papp og papir til deponi.
Vrakpant bil	1978	Mindre metaller til deponi.
Forbud mot deponering av gummidekk	1994	Mindre gummidekk på deponi.
Retursystem EE-avfall	1999	Førte til mindre EE-avfall til deponi. Mindre metaller deponert.
Deponiforbud	2009	Begrenset mengde avfall deponert etter dette.

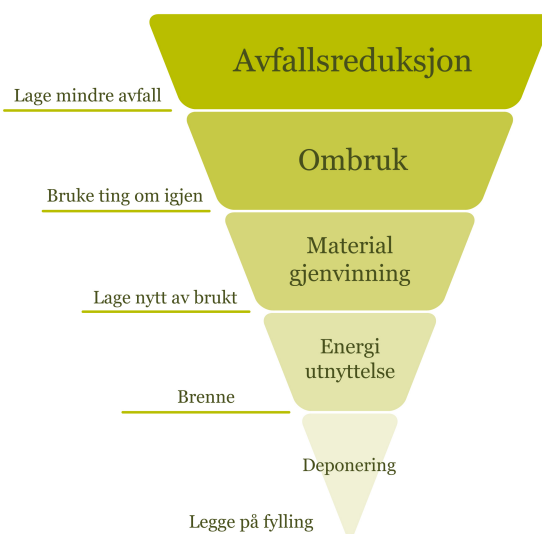
Gjennom historien har avfallsmengde vi produserer variert i forhold til økonomien i landet. Det vi kan se er at mengden avfall følger samme utvikling som landets bruttonasjonale produkt (BNP), slik grafen nedenfor viser. Det er en nasjonal målsetning om at veksten i den totale avfallsmengden skal være vesentlig lavere enn den økonomiske veksten, altså at det skapes mer verdier per tonn avfall som produseres. Den økonomiske situasjonen påvirket altså andelen avfall som har blitt deponert gjennom historien, og kan vise i hvilke perioder mye avfall har gått til deponier og i hvilke tider det har vært mindre mengder.



Figur 1 Utvikling i avfallsmengde og BNP (SSB,2013)

2.2 Gjenvinning

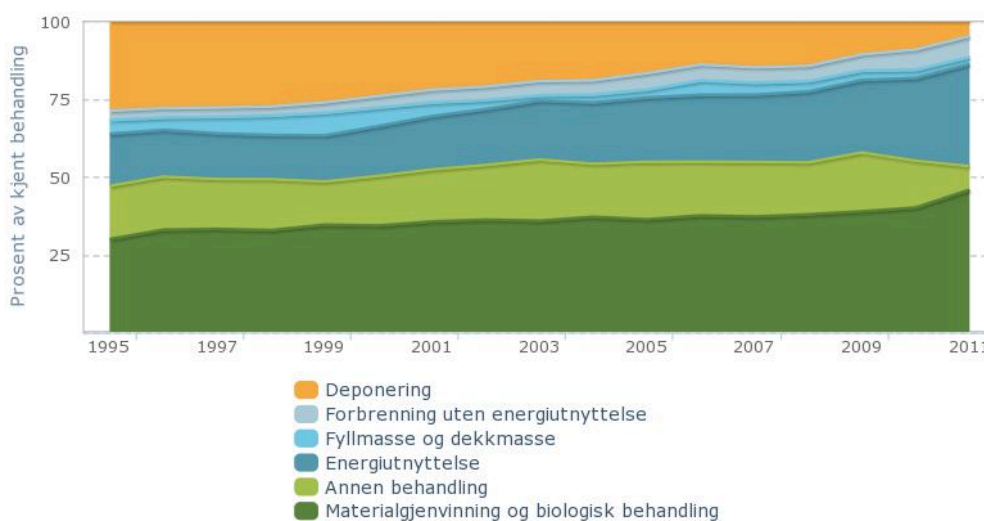
I løpet av 1970- og 1980-tallet ble gjenvinning opphøyet til en overordnet målsetning i avfallspolitikken her til lands. Fra tidligere av hadde gjenvinning vært med fokus på å kunne tjene penger, men nå var miljøspørsmålet mer relevant. Innenfor gjenvinning er det flere faser, og i nasjonale mål for miljøpolitikken i Norge snakkes det om "avfallshierarki". Virkemidlene og målene i politikken skal være i den prioriterte rekkefølgen avfallshierarkiet viser (Returkraft, 2013).



Figur 2 Avfallshierarkiet (Returkraft, 2013)

Som figuren ovenfor viser ser vi at den viktigste faktoren for å motvirke avfall er å produsere mindre. I neste fase er ombruk prioritert, her er flaskepant et godt eksempel. Videre følger materialgjenvinning, hvor avfallet må gjennom en prosess som gjør at ressursene i materialene blir tilgjengelig for ny utnyttelse. Forbrenning av avfall er prioritert etter materialgjenvinningen, denne forbrenningen foregår ofte med energiutnyttelse, men også forbrenning uten energiutnyttelse kan foreligge. Den minst ønskede behandlingen av avfall er gjennom deponering.

Gjennom tallene fra Miljøstatus i Norge, som vises i figuren under, ser vi at andelen av avfall som havner på fyllinger har gått kraftig ned, til fordel for gjenvinning siden 1995.



Figur 3 Håndtering av avfall fra 1995-2011 (Miljødirektoratet, 2013)

Et overordnet mål for en vellykket gjenvinning er å slutte sirkelen. Først når avfallet har funnet vei inn i ny produksjon og omsetning kan man si at sirkelen er sluttet. For å lykkes med dette må det også finnes et marked for resirkulerte varer, og at etterspørselen er tilstede. Ved gjenbruk og materialgjenvinning sluttes sirkelen ved at materialene benyttes på nytt, ved forbrenning derimot sitter man igjen med aske etter at man har skapt energi. Denne asken har gode fysiske egenskaper som kan benyttes til forskjellige formål, men den kan inneholde tungmetaller (Lorentzen, 2012). I Norge i dag skjer det tilnærmet ingen bruk av denne asken, fordi asken blir definert som avfall. Det jobbes med at den kan bli benyttet til nytteformål, som for eksempel veibygging og dekningsmasse ved deponier. På denne måten vil man kunne benytte alle ressursene, noe også EU har satt fokus på. De utformet en rapport i 2008 med fokus på gjenbruk av slike restprodukter (Lorentzen, 2012).

2.3 Landfill mining

LFM er en prosess som vil være med å slutte sirkelen for allerede deponerte materialer. Som tidligere beskrevet i oppgaven er dette en prosess hvor deponerte materialer graves opp for så å bli gjenvunnet. Gjennom materialgjenvinning, gjenbruk og forbrenning er det et ønske om at alle materialene skal kunne gjenvinnes. For at et LFM prosjekt skal gjennomføres er det ønskelig å få dekket størst mulig del av kostnadene ved salg eller bruk av gjenvinnbare materialer, jordfraksjonen og avfall som kan benyttes til energigjenvinning. Andre muligheter ved prosjekter er de miljøtiltakene man kan utføre, frigi ny deponiplass og bedre arealutnyttelse.

Selv om mulighetene er mange er det også en del begrensninger knyttet til LFM. Mye utstyr og arbeid kreves i et prosjekt og noen av operasjonene kan ha helse, miljø og sikkerhet relaterte risikoer tilknyttet seg. Mulighetene og begrensningene må nøye veies opp mot hverandre før en beslutning rundt et prosjekt kan besluttes.

2.3.1 Muligheter

LFM fører til en lengre levetid for gjenvinnbare materialer og reduserer avfallsmengden som er deponert betraktelig. Dette kan gi en gevinst i forhold til de kostnadene et slikt prosjekt fører til.

For gjenvinnbare materialer som metaller, plastikk, papir og glass eksisterer det markeder som etterspør disse materialene. Den mengde med jord som graves opp har også en verdi, det er anledning til å benytte denne som toppmasse ved deponier. Jorden kan også benyttes i forbindelse med veibygging og lignende

prosjekter. Brennbart avfall kan bli benyttet til energigjenvinning. Her forbrennes avfallet og varmen benyttes til fjernvarme og produksjon av elektrisitet.

Ved å redusere avfallsmengden vil man frigi mye areal ved en deponiplass. Dette kan benyttes til ny deponimasse, men også annen utnyttelse av arealet er mulig. Det er muligheter for at bygg kan settes opp eller arealet kan benyttes til parkområde.

Utslipp av forgiftet sigevann og biogass er et problem knyttet til avfallsdeponier. I 1990 var utslippet av metangass fra norske deponier ca. 300 000 tonn. Dette utslippet tilsvarte 12% av den samlede norske klimagassutslippene (Kleffelgård, 1999). Siden den gang har flere og flere land satt opp krav om kontrollert avgassing. I Norge stilles det, fra Statens Forurensningstilsyn, krav til oppsamling av metangass. I tillegg til dette ble det fra 1 juli 2009 innført forbud mot å deponere biologisk nedbrytbart avfall som papir, tre og matrester (Avfallsforskriften, 2009). Dette har ført til at mengden utslipp av metan fra deponiene i dag utgjør 2% av de totale klimagassutslippene (Statistisk sentralbyrå, 2013). Også utslipp av forurenset sigevann er et problem som har vært fremtredende fra deponier. Sigevannet kan gi utslipp av tungmetaller, organiske miljøgifter, næringssalter og andre stoffer som kan redusere kvaliteten på lokale vannforekomster. Av denne grunn inneholder også avfallsforskriften krav om dobbel bunn- og sidetetting, sigevannshåndtering, samt krav til overvåkning av utslippene. De deponiene som ikke har klart å innfri disse kravene har måtte legge ned driften. Dette har ført til at antallet aktive deponier i Norge har gått ned fra om lag 330 deponier i 1992 til ca 60 deponier i dag (Miljødirektoratet, 2012).

Nedbrytningen av avfall i stengte deponier vil fortsatt produsere metangass og føre til miljøskadelige utslipp. Et LFM prosjekt ved et deponi kan hente ut en mengde av avfallet og gjenvinne dette. Dette vil forbedre de miljøskadelige utslippene, og muligheten for å bunn- og sidetetting og oppsamling av gasser kan utføres. For eier av deponiet vil det å utføre LFM samtidig som man foretar bunn- og sidetetting trolig redusere kostnaden av utbedringene, i form av salg av gjenvinnbare fraksjoner.

2.3.2 Begrensninger

En stor begrensning ved LFM er at det krever stor arbeidsmengde og mye utstyr, i tillegg til at det er begrenset kunnskap og erfaringer på området. Hensyn til sikkerheten for arbeiderne og miljøhensyn må tas, og kvaliteten på materialene må være gode for å få solgt de.

På grunn av toppdekket ved deponiene vil avfallet som er deponert bli nedbrutt uten stor tilgang på oksygen og får da en anaerob nedbrytning. Anaerob nedbrytning

fører til produksjon av metan og karbondioksid, og er kjent som biogass. Biogass består også av en del andre gasser, men metan og karbondioksid utgjør nesten 100% av gassen. Biogassen inneholder sulfider, og denne gassen har en sterk lukt, karakterisert ved lukt av råtne egg. Ved oppgraving av avfall kan dette føre til en ubehagelig lukt som kan sjenere arbeidere og naboer. Ved riktige vindforhold kan denne lukten påvirke store områder i nærheten av deponi.

Ved oppgraving av avfall kan biogassen skape en eksplosjonsfare når den kommer i kontakt med oksygen. Innenfor intervallet 5-15% metan i blanding med luft, vil eksplosjonsfaren oppstå (Berge et al., 2007). En liten gnist vil innenfor dette intervallet være nok til at en eksplosjon kan oppstå. Det er også fare for at brann kan oppstå i deponiet når flytting på avfallet foregår.

Operasjonen av store maskiner knyttet til prosessen vil skape støy og vibrasjoner som kan sjenere naboer. I tillegg vil tungtrafikk til og fra anlegg skape en fare i veien samt støy.

Ved oppgraving av avfall kan man oppleve situasjoner som kan gi fysiske skader på arbeiderne. Flytting på avfall kan føre til at dette ruller, roterer, beveger seg og kan treffe arbeidere. Det er mulighet for at celler kan synke eller kollapse, og vegger av avfall kan falle sammen. Deponimassen kan også bestå av farlig avfall, som inneholder syrer og gasser som kan gi skader.

Kvaliteten på fraksjonene i deponiet er en viktig faktor for å kunne få solgt disse på markedet. Mange avfallsdeponier er gamle og nedbrytningen av materialene har foregått i en lang periode. For at materialene skal oppnå en høy kvalitet er det også viktig at sorteringen av avfallet blir gjort nøyaktig. Fraksjonene må bestå av så rene materialer som mulig. Dette kan føre til mer utgifter på maskiner og arbeidstimer for å oppnå kvaliteten man er avhengig av.

De overnevnte begrensingen er påvirket av en rekke faktorer. Lokasjon på deponiet vil påvirke om det er mye naboer som må tas hensyn til. Temperatur og vær påvirker blant annet oppgravingen, sortering av avfallet og tidsperspektivet på et prosjekt. Hvilke materialer som har blitt deponert og oppbyggingen av deponiet påvirker nedbrytningen, og hvilken kvalitet på materialene som kan forventes å grave opp. Gode forbyggende tiltak må legges til rette for før oppstart av prosjekter.

3 Teori

Dette kapittelet beskriver hvordan nedbrytningen av avfall foregår i et deponi, som er av interesse for hvilken forfatningen på avfallet som kan forventes etter år med deponering. Hvilke regelverk som må følges i henhold til helse, miljø og sikkerhet er beskrevet videre i kapittelet. Videre følger pris og prisutvikling for fraksjoner aktuelle for videre salg, som påvirker den økonomiske siden. En gjennomgang av hvilke ledd som bør gjennomføres i en planleggingsfase og testfase ved et deponi følger deretter. Kapittelet avsluttes med å se på historiske erfaringer som gir et innblikk i hvilke andeler av fraksjoner som er erfart tidligere.

3.1 Nedbrytning

Når avfall blir deponert i et deponi vil fysiske, kjemiske og biologiske prosesser endre avfallet. De fysiske endringene får vi når avfallet blir komprimert av maskiner etter det er lagt ned, i tillegg blir avfallet ytterligere komprimert når mer avfall blir lagt over. Når det oppstår en videre biologisk nedbrytning av avfallet vil dybden på avfallet kunne reduseres med mellom 15-25% avhengig av hvor god komprimeringen har vært (Berge et al, 2007).

Vann som kommer fra deponert avfall og vann som blir tilført deponiet danner et medium for oppløselige stoffer til å løse seg opp, og forårsaker at forurenset vann siger gjennom deponiet. Sivevann kan regnes som en mulig kilde for spredning av miljøgifter og annen forurensning. Mengden av sivevann generert er avhengig av hvor mye nedbør som trekker inn i deponiet både før og etter toppdekket er lagt over og hvor mye fuktighet avfallet bestod av før det ble deponert.

3.1.1 Deponigass

Mikrobiologiske reaksjoner i deponier skaper deponigass og sivevannssammensetningen. I et deponi vil nedbrytningen gå gjennom fire faser med forskjellige bakterietyper som dominerer i hver fase. Forskjellige områder i et deponi, selv nærliggende, kan være i forskjellige faser av nedbrytningsprosessen til samme tid. Jeg vil i følgende redegjøre for disse fasene i nedbrytningen, og vil i hovedsak bygge på Micales & Skog (1996).

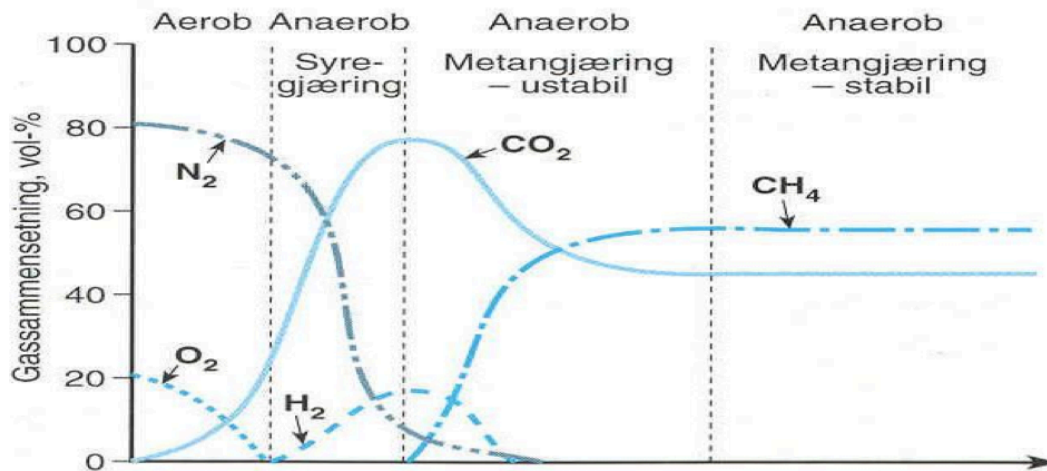
Avfall brytes i utgangspunktet ned aerobt, dette vil si at det er tilgang på oksygen, og dette er den første fasen. Aerobiske bakterier konsumerer oksygen mens de bryter ned de lange molekylkjedene av komplekse karbohydrater, proteiner og lipider som utgjør det organiske avfallet. Det primære biproduktet av denne prosessen er karbondioksid. Det organiske avfallet som brytes ned består av

matavfall, hageavfall, tekstiler, tre og papirprodukter. Nitrogeninnholdet er høyt ved begynnelsen av denne fasen, men avtar når avfallet beveger seg gjennom de fire nedbrytningsfasene. Denne første fasen fortsetter til alt tilgjengelig oksygen er benyttet, og kan vare i dager eller måneder avhengig av hvor mye oksygen som er tilgjengelig i deponiet. Tilgjengeligheten på oksygen beror på hvilken komprimering som er utført på avfallet, hvor mye avfall som er plassert over og tettheten i toppmassen på deponiet.

Når tilgangen på oksygen uteblir er det de anaerobe mikroorganismene som dominerer. Disse bakteriene konverterer forbindelser som er produsert av aerobe bakterier inn i eddiksyre, melkesyre, maursyre og alkoholer som metanol og etanol. Disse organiske syrene reduserer pH verdien til omtrent 4 -5, som fører til oppløsning av uorganiske materialer i deponiet. Den lave pH verdien er giftig for metanproduserende bakterier, så lite metan vil bli produsert i denne fasen. De gassformige biproduktene av denne prosessen er karbondioksid og hydrogen. Hvis det skulle tilkomme oksygen igjen til avfallet, vil den mikrobiologiske prosessen gå tilbake til den første fasen. Denne første anaerobe fasen er preget av lav pH, høy produksjon av flyktige syrer, høy kjemisk oksygenforbruk (KOF), høy ledningsevne og lav metanproduksjon.

Fase tre av nedbrytningen begynner når visse typer av anaerobe bakterier konsumerer de organiske syrene som har blitt produsert i fase to til å forme acetat, som også er organisk syre. De anaerobe bakteriene degraderer de flyktige syrene til metan og karbondioksid, i om lag en 50-50 ratio (Barlaz et al, 1988). Denne prosessen fører til at metanproduksjonen nå blir mer dominant. Dette resulterer i en økning av pH verdien til mer nøytrale verdier rundt 7-8. Det blir også et fall i KOF. Med en høyere pH verdi vil færre uorganiske salter bli oppløst som kombinert med mindre produksjon av flyktige syrer resulterer i fall i ledningsevnen. Forholdet mellom metan og karbondioksid bestemmes ikke bare av aktiviteten til produksjon av metan, men også arten av organiske komponenter i avfallet. For eksempel anaerob nedbrytning av cellulose og karbondioksid, proteiner og fett produserer mer metan enn karbondioksid.

Fase fire av nedbrytningen begynner når både komposisjonen og produksjonen av deponigass forblir relativt konstant. Denne deponigassen inneholder da omlag 45-60% metan i volum, 40-60% karbondioksid og 2-9% andre gasser, som eksempel sulfider. Gassen blir produsert stabilt gjennom denne fasen, som vanligvis kan være på om lag 20 år. Gassproduksjonen kan vare lenger, hvis større mengder organiske stoffer er blitt deponert. Utslipp av deponigass vil fortsette i 50 år eller mer etter at avfallet er deponert (Augenstein, 1992).



Figur 4 Nedbrytningsfaser i deponi

3.1.2 Faktorer som påvirker nedbrytningstid

Det er flere faktorer som påvirker hastigheten av nedbrytningen i et avfallsdeponi, størrelsen på avfallet, om det er blitt komprimert eller knust, sammensetningen av avfallet, faktorer som påvirker bakterievekst, slik som fuktighet, tilgjengelige næringsstoffer, pH og temperatur, utformingen av deponiet og om deponigassene holdes inne i deponiet eller blir tatt ut gjennom renseanlegg. Driften av deponiet, inkludert typen komprimering, type og tykkelse av toppdekket, mengden av naturlig fuktighet fra nedbør eller grunnvann, og om sigevannet blir tatt ut gjennom renseanlegg.

Mengden fuktighet er den faktoren som påvirker nedbrytningen i størst grad. Deponier er bygget opp for å forhindre infiltrasjon av nedbør, for å unngå store mengder sigevann. Sigevann utvikler seg når fuktighet siler gjennom avfall og samler med seg metabolske biprodukter og giftige forbindelser. Sigevann kan forurense grunnvannet når dette når bunnen av deponiet. Mye av fuktigheten i et deponi stammer allikevel fra avfallet som er deponert der. Forskning på deponier i USA på begynnelsen av 1990 tallet estimerte med at det gjennomsnittlige fuktighetsinnholdet i et deponi er 22% (Augenstein, 1992). Fuktighetsnivået kan variere i stor grad innad i et deponi og dermed skape svært variabel nedbrytning i et deponi. Det er vanlig å kunne finne intakt papir og andre nedbrytbare materialer som er 20-30 år gamle i en del av et deponi, og mer nedbrutte materialer i andre områder.

3.1.3 Papir og tre

Papir og trevirke ble, før gjenvinningen begynte, deponert ved avfallsdeponier her til lands. Papir og tre inneholder en mengde karbon, faren knyttet til dette er under

nedbrytning så vil karbon omdannes til karbondioksid og metan, for deretter å bli sluppet ut som en skadelig deponigass.

Cellulose og hemicellulose er organisk materiale som papir og tre er bygget opp av, og brytes ned under anaerobe forhold. Papir og tre er også bygget opp av lignin som ikke brytes ned i anaerobe forhold. Grunnet at cellulose og hemicellulose er innebygget av lignin i tre og papir begrenses nedbrytningen. Avispapir inneholder ca 20-27% lignin, noe som begrenser nedbrytningen av avispapir og annet lavt kvalitetspapir i deponier. Undersøkelser ved laboratorier viste at nedbrytningen av cellulose i avispapir ble anslått til 40%, mens for skrivepapir og høyere kvalitetspapirer ble nedbrytningen anslått til 90-97% da disse inneholder mindre lignin (Micales og Skog, 1996). Andelen med lignin begrenser altså graden av nedbrytning av papiret.

I en studie fra 1987 ble det antatt, gjennom støkiometriske beregninger, at papir blir brutt totalt ned innenfor 5-20 år, og trevirke over en tid på 20-100 år (Bingemer og Crutzen, 1987). Det skal tas hensyn til at støkiometriske beregninger overvurderer generelt metanutslippet med opptil 50%. En flerfase model utviklet i 1988 separerte de raske, moderate og sakte nedbrytbare materialene (Findikakis et al, 1988). Den estimerte tiden for 90% karbon utslipp var 5 år for raske nedbrytbare materialer, som papir, og for moderate nedbrytbare materialer, som trevirke, var det 12,5 år. Feltstudier som er utført ved deponier, viser at materialer fortsatt er gjenkjennelige etter 20-30 år, og støtter dermed ikke opp om disse støkiometriske beregningene eller flerfasemodellen.

3.1.4 Metaller

Korrosjon er den gradvise nedbrytningen av materialer, som regel metaller, ved kjemisk reaksjon med omgivelsene. Den vanligste formen for korrosjon er når metaller reagerer med oksygen eller vann. Korrosjonen kan konsentreres lokalt for å danne en grop eller sprekke, eller den kan spre seg over en større overflate. Det er forskjellige former for korrosjon, og noen har større sannsynlighet for å oppstå i deponier, som galvanisk, mikrobiologisk og søt korrosjon.

Galvanisk korrosjon oppstår når to metaller har fysisk kontakt med hverandre og er omgitt av en felles elektrolytt, dette kan være saltvann, syrer eller baser. Når to metaller korrodere sammen vil det aktive metallet (anode) blir raskere nedbrutt enn det edlere metallet (katode). Faktorer som størrelsen på anoden, typer metaller, temperatur, fuktighet og saltinnhold er med på å bestemme graden av galvanisk korrosjon.

Mikrobiologisk korrosjon er forårsaket eller fremmet av mikroorganismer. Dette kan skje for metalliske og ikke metalliske materialer både aerobt og anaerobt. I et deponi er tilgangen på oksygen svært begrenset, og det er anaerobe bakterier som driver korrosjon. Sulfat-reducerende bakterier som er aktive i fravær av oksygen produserer hydrogensulfid, som kan forårsaker sulfid spenningssprekker i metaller.

Søt korrosjon oppstår når utsatte materialer havner i omgivelser med høy karbon aktivitet. Denne korrosjonen fører til at metallet deler seg og blir til metallpulver.

3.1.5 Glass

Vanlig glass består av kiseloksid også kalt silisiumdioksid (SiO_2), som også bygger opp kvarts og sand. Det finnes også andre typer glass som har varierende egenskaper etter hvilken kjemisk oppbygning de har. Glass kan smeltes på omtrent 1500 grader Celsius litt avhengig av type glass, og er et stoff som både er fast og flytende.

I Norge samles det inn omtrent 60 000 tonn glass hvert år til gjenvinning, og har en returprosent på 90 prosent. Glass har også den egenskapen at det ikke brytes lett ned, men man kan ikke si med sikkerhet hvor lang tid det tar før det brytes ned. Men det spekuleres med at dette kan ta opptil en million år i vanlig miljø.

3.1.6 Plast

Plast er et syntetisk materiale som er kunstig fremstilt av polymerisasjon. Plast består av en eller flere polymerer, som er basisplasten, og forskjellige tilsetningsstoffer. Basisplasten har den karakteristikken at den på et trinn i bearbeidingen kan gjøres flytende og formes til ønsket produkt. Basisplasten er også med på å forme egenskapene til produktet, i form av hvilken grad de tåler mekaniske påkjenninger, varme og kulde, kjemikalier, løsemidler og videre. Plast blir i hovedsak delt inn i to grupper, termoplast og herdeplast. Termoplast er mange forskjellige typer avhengig av basisplast og tilsetningsstoff. Likheten for alle termoplaster er at de blir plastiske (formbare) når den varmes opp, og ved hver ny oppvarming. Typiske termoplaster finner vi i emballasjer, bæreposer, rør, flasker, regntøy, fleece og en rekke andre produkter.

Hvis derimot plasten reagerer kjemisk slik at harpiks- eller polymermolekylene blir bundet sammen til et nettverk, kalles plasten herdeplast. Egenskapene for herdeplast er at den ved oppvarming ikke blir plastisk igjen, og de er også uløselige i løsemidler. Herdeplast finner vi i maling, sparkel, gulvbelegg og konstruksjonsmaterialer for fly, båter og biler.

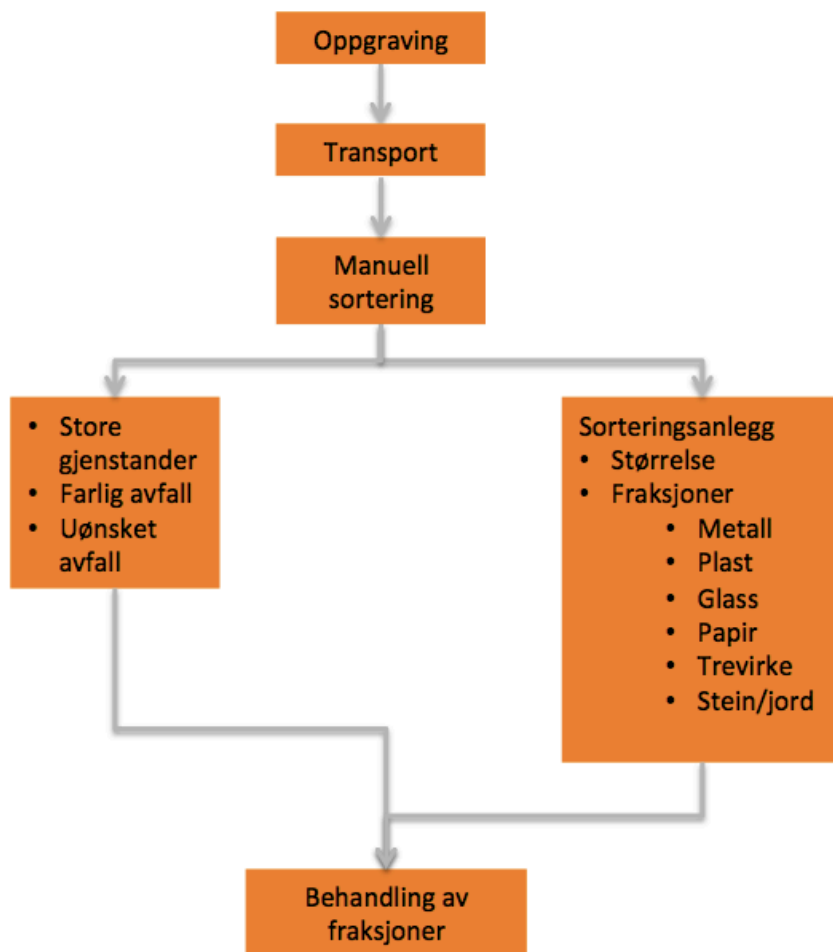
Polymer, som plast er bygd opp av, er ikke noe de mikrobiologiske bakteriene spiser av og av den grunn brytes ikke plast ned på kort tid i et deponi. Tidsperspektiv på hvor lang tid det tar før plast brytes ned er anslått til om lag 500 år, men dette er vanskelig å fastslå. Noen polymer i nyere plastmaterialer er nedbrytbare og produserer da metangass i prosessen. Denne nedbrytningen er i likhet med den for organisk materiale slik at den forsinkes i anaerobt miljø som i deponi.

3.2 Prosess

For å gjennomføre en LFM er det en lengre prosess som må utføres. En prosess kan defineres som en serie samhandlende aktiviteter som produserer noe eller fører til et spesifikt resultat.

LFM består i grove trekk av tre prosesser; grave opp avfallet, sortere de oppgravde materialene i størrelser og typer og behandling av disse. Første steget som består av å grave opp avfallet blir gjennomført med gravemaskin. Det oppgravde avfallet transporteres til stedet hvor sorteringen kan begynne. Dette kan være plassert i nær tilknytning til deponiet eller ved et eget sorteringanlegg. Avfallet legges ut på et flatt platå, og det er ønskelig å sortere ut store gjenstander, farlig og uønsket avfall før neste steg. Videre i prosessen som tar for seg å sortere avfallet i størrelser og fraksjoner, benyttes utstyr som allerede er i bruk i annen avfallssortering. Dette kan for eksempel være magneter for å ta ut magnetisk metall og virvelstrømseparator for å skille ut ikke-magnetisk metall.

Den ytterligere behandlingen av avfallet avhenger av målet med prosessen, tilstanden på avfallet og andre faktorer. Om hovedmålet er å hente ut gjenvinnbare materialer er det nødvendig å gjøre en nøyaktig sortering både med magneter, virvelstrømseparator, vannbad og flere prosesser. Ved andre prosjekter kan målet være å kun skille ut jord fra avfallet eller sende avfallet til forbrenning.



Figur 5 Landfill mining prosess

3.3 HMS

Gjennom et LFM prosjekt er det flere lovverk som må følges. Det må oppfylles krav for arbeidernes sikkerhet og mot avfallsutslipp, samt lover som begrenser deponering.

3.3.1 Arbeidsmiljøloven

Arbeidsmiljøloven i Norge er viktig i henhold til sikkerhet for arbeidere. Formålet med loven kommer frem i dens første paragraf som vises til nedenfor (Arbeidsmiljøloven, 2014).

§ 1-1. Lovens formål

Lovens formål er:

- a) å sikre et arbeidsmiljø som gir grunnlag for en helsefremmende og meningsfylt arbeidssituasjon, som gir full trygghet mot fysiske og psykiske skadevirkninger, og med en velferdsmessig standard som til en hver tid er i samsvar med den teknologiske og sosiale utvikling i samfunnet,
- b) å sikre trygge ansettelsesforhold og likebehandling i arbeidslivet,
- c) å legge til rette for tilpasninger i arbeidsforholdet knyttet til den enkelte arbeidstagers forutsetninger og livssituasjon,
- d) å gi grunnlag for at arbeidsgiver og arbeidstakerne i virksomheten selv kan ivareta og utvikle sitt arbeidsmiljø i samarbeid med arbeidslivets parter og med nødvendig veiledning og kontroll fra offentlig myndighet,
- e) å bidra til et inkluderende arbeidsliv.

Dagens gjeldene arbeidsmiljølov trådte i kraft 1. januar 2006. Lovens formål er som tidligere å sikre arbeiderenes sikkerhet mot skader og sykdom, trygge ansettelsesforhold og lokal ivaretagelse og utvikling i arbeidslivet. Arbeidsloven er gjeldene for alle virksomheter som sysselsetter arbeidstakere.

Fra kapittel 3 i arbeidsmiljøloven, *Virkemidler i arbeidsmiljøarbeidet*, legges det frem krav til systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid (HMS). Arbeidsgiver skal sørge for at det utføres systematiske HMS arbeid på alle plan i virksomheten, og dette skal utarbeides med arbeidstakerne og tillitsvalgte. Videre skal arbeidstakere gjøres kjent med ulykkes- og helsefarer som kan være forbundet med arbeidet, og at arbeider får den opplæring, øvelse og instruksjon som er nødvendig. Videre i arbeidsmiljøloven er det krav til et sikkert arbeidsmiljø, registrerings- og meldeplikt

ved skader, arbeidstider og flere forhold som er med på å legge til rette for lovens formål.

I tillegg til arbeidsmiljøloven er det også flere lover og forskrifter som retter seg mot mer spesifikke arbeider. Internkontrollforskriften har krav om systematisk gjennomføring av tiltak, og målsettingen er at forskriften skal fremme et forbedringsarbeid i virksomhetene innenfor:

- arbeidsmiljø og sikkerhet
- forebygging av helseskade eller miljøforstyrrelser fra produkter eller forbrukertjenester
- vern av det ytre miljø mot forurensning og en bedre behandling av avfall slik at målene i helse-, miljø- og sikkerhetslovgivningen oppnås.

Forskriften plikter til internkontroller og krav om dokumentasjoner.

3.3.2 Forurensningsloven

Lov om vern mot forurensninger og om avfall, også kalt forurensningsloven, retter seg mer direkte mot avfallshåndtering og arbeid ved deponier. Denne loven trådte i kraft 1. Oktober 1983, og lovens formål er verne det ytre miljø mot forurensning, redusere eksisterende forurensning, redusere mengden av avfall og fremme en bedre behandling av avfall. Loven skal sikre en forsvarlig miljøkvalitet, slik at forurensninger og avfall ikke fører til helseskade, går utover trivselen eller skader naturens evne til produksjon og selvfornyelse. Loven tar for seg hvilke regler som er satt for å forhindre forurensning, og tillatelse til virksomhet som kan volde forurensning.

Det er særlig kapittel 5 *Om avfall*, som er aktuelt ved anlegg for behandling av avfall. Kravene som er satt for behandlingen av avfall kommer frem av § 29 (Forurensningsloven, 2013).

§ 29 Krav til anlegg for behandling av avfall

Den som driver opplagsplass eller anlegg for behandling av avfall som kan medføre forurensning eller virke skjemmende, må ha tillatelse etter reglene i kap. 3. I tillatelsen kan det settes vilkår blant annet om transport, behandling, gjenvinning og oppbevaring av avfall og tiltak for å motvirke at anlegget virker skjemmende.

Denne lovs §10 gjelder tilsvarende for opplagsplass eller anlegg for behandling av avfall som trenger tillatelse etter første ledd.

Kommunen skal ha anlegg for opplag eller behandling av husholdningsavfall og kloakkslam og ha plikt til å ta imot slikt avfall og slam. Forurensningsmyndighetene kan i forskrift eller i det enkelte tilfellet fastsette at kommunen også skal ha anlegg for og plikt til å ta imot spesialavfall og næringsavfall. Forurensningsmyndighetene kan likeledes fastsette nærmere krav til avfallsanlegget.

3.3.3 Deponiforskriften

Med bakgrunn i EUs deponidirektiv, ble forskrift om deponering vedtatt 21. Mars 2002 i Norge (Deponiforskriften, 2002). Forskriften omhandler alle nye deponier, og de eksisterende deponier måtte ha nye tillatelser for drift eller bli avviklet innen 2009. Formålet med deponiforskriften er å sikre at deponering av avfall skjer på en forsvarlig og kontrollert måte. Det stilles strenge miljøkrav til deponiene og driften av disse. Det er i hovedsak miljøproblemer fra utslipp av miljøgifter til vann og grunn, samt utslipp av miljøskadelig deponigass.

Fra 2002 og frem til 2009 ble det en overgangsfase for deponiene. De kunne søke om tillatelse til videre drift eller legge frem plan om avslutning av deponiet. Forurensningsmyndighetene behandlet søknadene og ga tillatelse om videre drift med vilkår om når deponiforskriftens krav skulle iverksettes. For deponier som ikke skulle oppdateres til å oppfylle forskriften, ble det gitt en utslippstillatelse som setter vilkår for avslutning og etterdrift av deponiet. Deponier som ble avsluttet før 1. Mai 2002 er ikke omfattet av forskriften.

For å hindre at miljøskadelig sigevann skal forurense jord og vann, er det krav i forskriften om dobbel bunn- og sidetetting ved deponier. Det betyr at bunn og sider i deponiet skal være bygget opp med både en geologisk barriere og en kunstig tetningsmembran. I tillegg skal det etableres et dreneringsanlegg for å lede bort sigevann. Sigevannet skal samles opp og renses slik at det minimum oppnår kvalitet som tilfredsstillende kravene til utslipp i lokalområdet eller til avløpsnett.

Avfall i et deponi skal ikke bli tilført mer vann enn nødvendig, verken fra nedbør eller fra grunnvann. Noe nedbør vil bli tilført avfallet når deponi er i drift, men det er krav om toppetting ved avslutning av deponi. Toppdekket vil lede nedbørsvann vekk fra deponiet, og dermed begrense dannelsen av sigevann. I tillegg vil toppdekket redusere utslipp av deponigass. Ved avslutningen av et deponi er det også anbefalt å legge et gassdreneringslag på toppen av avfallet, slik at deponigassen kan fordeles jevnt og samles opp under et tett overdekke. Gassen kan derfra tas ut og energiutnyttes eller fakles av. For å fortsette den biologiske nedbrytningen er man avhengig av å tilføre noe vann til deponiet. Dette kan gjøres kontrollert ved å ha et

begrenset innsig fra toppdekket, eller et system for resirkulering av sigevann gjennom avfallet.

For å hindre utslipp av miljøskadelig deponigass, er det krav om at alle deponier som behandler biologisk nedbrytbart avfall skal ha anlegg for oppsamling av deponigass. Det anbefales fra miljødirektoratet at gassen blir benyttet til energiutnyttelse, men også fukling av gassen er mulig. Gode topplag og oppbyggingen er også med på å begrense utslippene av gass.

Tiltak ved et deponi til å begrense nærmiljøet skal også prioriteres. Da er det i hovedsak lukt, flygeavfall, sikkerhet ved anlegget, støv, støy og trafikk som må holdes til et minimum. Det skal i tillegg iverksettes tiltak mot fugler, skadedyr og insekter for å holde disse borte fra deponiet. Dette er ønskelig da disse kan føre til spredning av smitte over store områder, blant annet til åpne drikkevannskilder.

3.3.4 Deponiforbud

Det ble, i 2008, vedtatt en endring i avfallsforskriften fra 2004, hvor det nå er forbudt å legge nedbrytbart avfall i deponi (Avfallsforskriften, 2009). Forbudet innebærer at biologisk nedbrytbart materiale som tre, papir, våtorganisk avfall og tekstiler må behandles på andre måter enn ved deponering. Denne endringen har ført til at mer avfall går til material- og energigjenvinning. Og ifølge Miljødirektoratet, tidligere Klima- og Forurensningsdirektoratet (KLIF), vil dette føre til at utslippene av metangass fra deponier kan bli redusert med to tredeler innen 2040 (KLIF, 2009). I 2009 stod avfall som brytes ned i deponi for 2,5 prosent av Norges utslipp av klimagasser. Unntaket fra deponiforbudet er avfall som inneholder mindre enn 10 prosent totalt organisk karbon (TOC), eller om glødetapet er under 20 prosent.

3.4 Pris

En viktig inntektskilde fra et LFM prosjekt er de deponerte fraksjonene med positiv verdi. Hvor stor denne inntekten kan være avhenger av etterspørselen og prisen på materialet. Kvaliteten på materialene spiller her en stor rolle, men også prisutviklingen for materialet vil påvirke inntektene. Dette kapittelet ser på prisutviklingen som har vært for de materialene som det er mest relevant å få solgt, jern og metaller. Og viser også hvilken pris som kan forventes for ren råvare av andre fraksjoner.

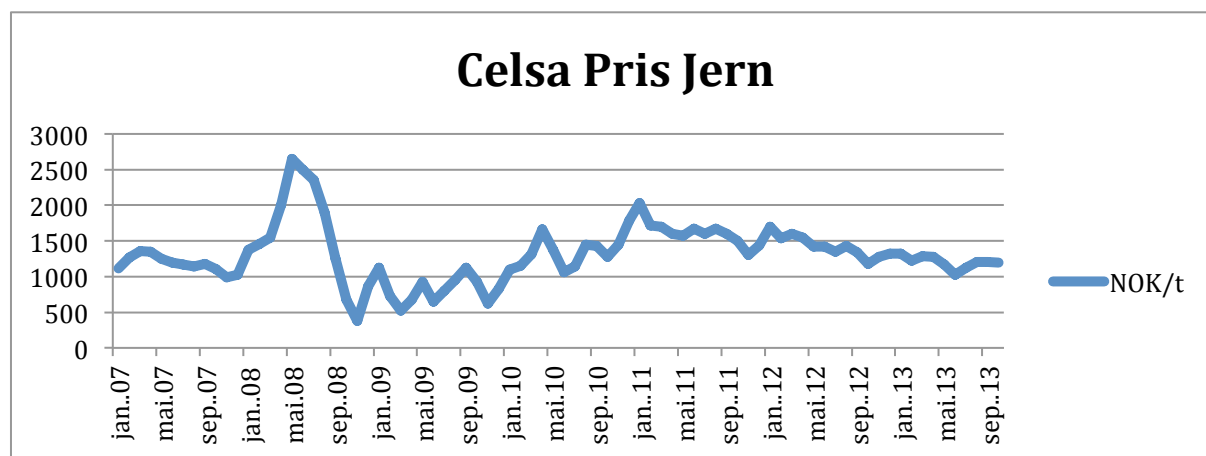
3.4.1 Jern og metaller

Pris på metaller baserer seg i stor grad på utviklingen på London Metal Exchange (LME). LME er en børs hvor kjøp og salg av metaller foregår. Prisene bestemmes av

tilbud og etterspørsel. Mange kontrakter sier at prisene skal linkes opp mot de prisene man kan oppnå på LME. Men det er også viktig å være oppmerksom på at det er andre forhold som er bestemmende, så LME må kun oppfattes som et overordnet bilde av markedsutviklingen. Andre faktorer som påvirker prisen på en fraksjon er varens renhet, mengde og ytterlig sortering. Disse faktorene knytter seg sterkt opp til hvilken kvalitet man kan oppnå ved utførelsen av et LFM prosjekt.

For stål og kompleksjern er det i Norge basispriser for jernklasser som benyttes, kalt Celsa pris. Utviklingen i Celsa prisen på jern fra 2007 kan leses av i grafen nedenfor. Ut fra tallene kan vi se at i snitt har prisen ligget på rundt 1300NOK/tonn, men at variasjonen er betydelig. Fra over 2500NOK/tonn til under 500NOK/tonn. Dette gir en betydelig risiko som kan ha stor påvirkning på lønnsomheten på LFM prosjekter.

Det er flere faktorer som påvirker stålprisen, deriblant verdensøkonomien. Gjennom 2007 og begynnelsen av 2008 var det stor økonomisk vekst i verden som førte til økning i byggeaktiviteten. På bakgrunn av dette økte stålprisen. Når verden da ble rammet av finanskrisen på slutten av 2008 falt den globale etterspørselen på stål og prisen deretter. Utbyggingen av nybygg er en annen faktor som påvirker prisen. Hvis andelen ledige leiligheter er høy fører dette til mindre utbygging og dermed synker ståletterspørselen og prisen.



Figur 6 Celsa pris jern 2007-2013

For metaller er også tilbud og etterspørsel med på å bestemme prisen, og de ulike metallene har alle hver sin pris som kan variere enormt. Aluminium og kobber samt noen andre metaller er det forventet å finne deponert, og nedenfor følger grafer som viser deres historiske pris.



Figur 7 Kobber pris 2008-2013



Figur 8 Aluminium pris 2008-2013

Den historiske utviklingen for metaller følger det samme mønsteret, men prisene for de aktuelle metallene er forskjellige. Disse grafene viser prisene som er gjeldene for rene varer og er ikke den prisen som kan forventes å oppnå for deponerte metaller.

3.4.2 Plast

Plastemballasjer variere i stor grad fra plastfolie, hardplast, PP-sekker til beholdere for farlig avfall. Bedrifter kan levere ferdig sortert plast kostnadsfritt til mottaksanlegg, forutsatt at plasten er egnet til materialgjenvinning. For kommuner og interkommunale selskaper er prisen på om lag 1250 NOK/tonn levert til gjenvinning (Kretsløpet, 2013).

3.4.3 Papir og papp

Når det er snakk om papir og papp er det stor forskjellig i kvaliteten på dette. Prisen varierer stor fra god kvalitet på papp til dårlig papirkvalitet, men dette er allikevel en ren vare. Kvaliteten som kan forventes fra deponert papir vil trolig ikke være god nok til å kunne bli solgt på markedet.

Prisen for bølgepapp ligger på omtrent 600 NOK/tonn, i det europeiske markedet i April 2013 (Kretsløpet, 2013). Prisen for hvitt papir og blandingspapir varierer fra mellom NOK 890 til 1300 per tonn, avhengig av kvalitet, for samme marked og tid.

3.5 Planleggingsfase

For å kunne kartlegge hvilke fraksjoner et deponi består av, og hvilke lønnsomhet det er i å utføre et LFM prosjekt er forberedelser og planlegging viktig. Grunnet de ulike forutsetningen hvert deponi har må denne fasen utføres for hvert enkelt deponi.

Det er av interesse å se hvilke inntekter et prosjekt vil medføre, og da er innholdet av avfallet og kvaliteten på dette av interesse. For å kunne danne en oversikt over innholdet vil informasjon om hvilke industrier som har benyttet deponiet, hvordan driften av deponiet har vært og fra hvilken tidsperiode deponiet har vært i drift være nyttig. I tillegg må det utføres testoppgravinger ved deponiet, dette vil styrke estimatene som gjøres av innholdet og kvaliteten.

Testoppgraving bør utføres etter disse faktorene:

- Antall oppgravingshull
- Hvor skal oppgravningene utføres
- Hvor dype skal hullene være
- Mengden avfall
- Hvilken sortering skal utføres
- Hvilke tolkninger kan trekkes

Utføringen av et feltstudie i planleggingen av et prosjekt bør bestå av flere testoppgravinger på deponiet, avhengig av størrelsen på deponiet. Antall hull må

også bestemmes med bakgrunn i hvilken informasjon som allerede er tilgjengelig for deponiet. Er det stor usikkerhet på innholdet og hvilke industrier som har benyttet deponiet, er det ønskelig med et større antall testgravinger og kan være opp mot seks gravninger. Godt kartlagte deponier vil kreve færre testoppgravinger, men det bør utføres minst to oppgravinger.

Kartlegging av hvor avfallet er plassert gjennom driftsperioden til deponiet er viktig, med bakgrunn i dette velger man hvor testoppgravningene skal foregå. Det er ønskelig at oppgravningene skal gi en god oversikt over hva hele deponiet består av, og derfor må testene graves opp forskjellige steder for å dekke avfall fra forskjellige årsperioder og forskjellige industrier. De ansvarlige for deponier har i hovedsak god oversikt over hvordan oppbyggingen av deponiet har vært gjennom driftsperioden.

Ved testoppgravinger er det relevant å kunne grave opp avfall som også er blitt deponert i bunnen av deponiet, slik at man ikke bare får med det avfallet som er plassert øverst. Dybden ved deponier vil variere, og kan være opp mot ti meter, men uavhengig av dybden bør et testhull gå ned mot bunnen av deponiet slik at testen også omfatter avfallet som ligger lenger ned. Forholdene som kan være mot bunnen av deponiet kan være mer fuktige enn forholdene rett under toppdekket. I tillegg vil avfallet kunne være mer komprimert på grunn av plassering av nytt avfall over.

Størrelsen på oppgravningene bør inneholde en mengde på om lag 10-15 tonn avfall per hull. Det essensielle ved et oppgravingshull er at man graver opp nok mengde til å gi svar på kvaliteten og andelen av fraksjoner ved det aktuelle området fra deponiet. Er dybden på aktuelt sted dyp, vil det naturlig graves opp mer avfall enn områder hvor det er mindre dybde.

For å kartlegge andelen av fraksjoner er noe form for sortering viktig. For å holde kostnadene nede ved et feltstudie kan en sortering, og bestemmelse av andeler foregå manuelt. Ved oppgravningen kan man benytte gravemaskinen til å sortere i noen grad, i tillegg vil observasjon av avfallet kunne anslå andel av fraksjoner. Utvalget av det oppgravde avfallet består av en liten del av hele deponiet, så en sorteringsprosess bestående av shredder, trommel og annet aktuelt utstyr vil ikke forsterke resultatene av andelen i stor grad.

I tillegg til å anslå andelen av fraksjonene er det viktig å se på kvaliteten for å kunne bestemme bruksområdet, slik at økonomien til prosjektet kan beregnes. Følgende bruksområde er aktuelle for fraksjonene:

-
- For jord/sand fraksjonen er det, uavhengig av årstall for deponiet, aktuelt med gjenbruk av fraksjonen til dekkmasse eller ved anleggsarbeid. Dette krever en ren fraksjon, eller gjennom søknad for bruk av en mindre ren kvalitet.
 - Glassfraksjonene vil etter en sortering være blandet inn i jord/stein fraksjonen. Ved optisk sortering kan dette skilles ut, men kostnadene knyttet til dette er høye. Av den grunn vil glasset være aktuelt til gjenbruk som del av jord/stein fraksjonen.
 - Plastfraksjonen kan være aktuell for materialgjenvinning eller forbrenning. Plast brytes ned over lang tid, og vil ikke være påvirket av dette i deponi. Fuktigheten og komprimeringen vil påvirke kvaliteten på plasten i større grad. Dette fører til at annet avfall fester seg til plasten og blander seg inn i større plast. For at plasten skal kunne benyttes til materialgjenvinning er det nødvendig med ren kvalitet i tillegg til at plasten sorteres videre i forskjellige plasttyper, slik at de kan presses rett i ball. Kostnadene knyttet til dette vil være høye, så hvis det ikke er svært spesielle tilfeller av plast som lett kan oppnå disse kriteriene vil forbrenning være aktuell behandling.
 - Metallfraksjonen er aktuell for materialgjenvinning. Metallene vil kunne være påvirket av korrosjon, avhengig av fuktighet i deponiet og tilgangen på oksygen, i tillegg til når metallet ble deponert. Tilgangen på oksygen er begrenset i deponier, så korrosjonsprosessen foregår sakte, så korrosjon vil ikke oppleves i stor grad ved nyere deponier fra 1990 tallet. For eldre deponier vil korrosjonen kunne oppleves større, men fortsatt vil metallene være aktuelle for materialgjenvinning selv med noe korrosjon.
 - For papp og papir er forbrenning den aktuelle behandlingen. Nedbrytningen av papp og papir foregår langsomt i deponier, og fullt lesbare aviser som er opp mot 30 år gamle er observert. På grunn av fuktigheten og komprimeringen ved deponiet vil allikevel ikke denne fraksjonen kunne gå til materialgjenvinning. Det vil være svært vanskelig å rengjøre og skille ut papir fraksjonene fra resten av avfallet slik at det er av ren nok kvalitet.
 - For trevirke er forbrenning aktuell behandling. På lik linje som papp og papir tar nedbrytningen i deponier lang tid, men fuktigheten fører til at trevirket blir våt og ikke oppnår god nok kvalitet for materialgjenvinning.
 - For tekstiler og annet diverse avfall er forbrenning aktuelle behandling.

3.6 Historiske erfaringer

Komposisjonen av avfall som er deponert er som tidligere nevnt en viktig faktor for at LFM prosjekter skal være av interesse. Andelen av gjenvinnbare fraksjoner med høy salgsverdi må vurderes før en oppgraving kan begynne. Hvilke industrier som benyttet seg av deponiet vil spille en stor rolle for innholdet samt fra hvilke årstall

deponiet ble benyttet. Det er begrenset informasjon på hvilke fraksjoner som er blitt deponert ved deponier, og hvor stor andel hver fraksjon utgjør av totalt volum. For å få en forståelse av hva som kan forventes å finne deponert vil vi se på tidligere prosjekter av interesse.

3.6.1 Korperud avfallsdeponi

Korperud avfallsdeponi, ved Kongsvinger, var et gammelt kommunalt deponi som var en skade for miljøet, grunnet forurenset sivevann fra deponiet og også deponigasser. Deponiet ble benyttet fra 1960 til 1995. Kongsvinger kommune fikk pålegg fra Fylkesmann om å utbedre deponiet slik at det innfridde miljøkravene for avfallsdeponi. NGN fikk i oppgave å utføre arbeidet for kommunen. Formålet var å rehabilitere Korperud, og avslutte deponiet på en miljømessig god måte slik at området kunne brukes til andre formål.

Kongsvinger kommune er eier av deponiet og avtalen med NGN var at arbeidet ble utført kostnadsfritt mot at NGN fikk beholde inntektene. Da i første omgang i form av gjenvinning av jern og metaller, og muligheten for deponering av nytt avfall. Hovedfokuset for prosjektet var å få gravd ut avfallet, bunn- og sidetette deponiet og installere pumpe- og renseanlegg. Side- og bunntettingen består av to lag med membran som forhindrer vesken i deponiet til å renne ut av deponiet. Installasjonen av pumpe- og renseanlegg sørger for at vesken i deponiet blir rensert slik at den ikke fører til miljøskader. I tillegg skulle det gjennomføres en sortering av avfallet og gjenvinnbare materialer skulle behandles. Kun en unyttig restfraksjon skulle legges tilbake i deponiet, i tillegg til nytt sortert avfall.

Oppgravingen av avfallet ble gjort i flere etapper slik at man etter hvert kunne begynne å legge ut membranen og fylle over med sortert restavfall. På denne måten var det ikke nødvendig å grave opp hele avfallsmengden først.

Før oppgravingen av avfallet begynte ble det gjort undersøkelser på hvilken industri som hadde benyttet deponiet siden begynnelsen. Dette er en viktig faktor for å prøve å kartlegge hvilket farlig avfall man kunne forvente å finne. Gjennom undersøkelsen fant man ingen ting som kunne føre til at oppgravingen av avfall kunne være farlig.

Sorteringen av avfallet ble gjort etter følgende metode:

- **Sortering av avfall med gravmaskin.** Under oppgravingen forhåndssorterer man ut store fraksjonen som dekk, hvitevarer og annet som ikke trenger sorteres i sikt. Også farlig avfall som ble observert ble tatt ut.

- **Sortering med fingersikt.** Sikten fungerer slik at avfallet legges på en vibrerende plate med hull hvor fraksjoner >60mm blir liggende på platen og blir sortert ut. Avfallet som går gjennom hullene faller ned på ny plate med hull hvor fraksjoner med størrelse 20-60mm ble tatt ut. Fingersikten hadde en kapasitet på 300-400 m³ pr dag, dette tilsvarer omtrent 300 tonn pr dag.
- **Sortering av fraksjoner.** Her foreligger dessverre liten informasjon av hvordan dette ble utført. Det ble benyttet magnet for å hente ut jern og metaller, men andre fraksjoner som papir, plast og glass ble nok ikke hentet ut. Disse fraksjonene havnet da mest sannsynlig sammen med jord og stein i restfraksjonen.
- **Restfraksjonen deponert.** Restfraksjonen ble tilbakelagt i deponiet etter hvert som avfallet var sortert. Den fineste fraksjonen 0-12mm ble benyttet til å legge direkte på membranen, dette for å beskytte duken for skader. Deretter ble restavfallet deponert. Komprimeringen av avfallet var viktig, slik at man kan deponere mer avfall på mindre areal. Det ble benyttet en 52 tonn hjullaster med jernhjul for å komprimere avfallet etter deponering.

Korperud avfallsdeponi har en størrelse på 10 mål og bestod av omtrent 100 000 tonn avfall før gravingen begynte. Siden hovedformålet ved rensingen av Korperud avfallsdeponi var å utbedre deponiet for å forhindre videre miljøskader ble ikke sorteringen av avfallet gjort i en grundig prosess. Uttak av jern, metaller og andre verdifulle materialer kunne i større grad vært gjort mer nøyaktig. En inspeksjon av deponiet 24.9.13 viste at på overflaten av deponiet kunne man finne små kobbertråder og annet metall.

En detaljert oversikt over innholdet i deponiet ble ikke gjennomført i prosjektet, men noen hovedtall foreligger. Resultatene fra avfallshåndteringen finnes i tabell nedenfor.

Tabell 2 Avfallshåndtering Korperud

Utførte arbeider	enhet	antall	andel
Utsortert 0-12mm til fiberduk	m ³	7 246	6,08 %
Utsortert 0-16mm 50/60	m ³	49 859	41,84 %
Utsortert stål og metaller	m ³	5 910	4,96 %
Utsortert dekk + div	m ³	2 750	2,31 %
Restfraksjon etter sortering	m ³	53 406	44,81 %
Totalt	m³	119 171	

3.6.2 Internasjonale erfaringer

Det første rapporterte LFM prosjektet var i Tel Aviv, Israel i 1953. Bakgrunnen for dette prosjektet var å gjenvinne jordfraksjonen og benytte den til å øke jordkvaliteten ved frukthager. I senere tid har prosjekter i USA, Europa og Asia vært utført med forskjellige hensikter. I hovedsak har frigjøring av deponiplass og forbedring av arealutnyttelsen vært mest fremtredende. Det er begrenset informasjon gjort tilgjengelig fra disse tidligere LFM prosjektene, men noe informasjon knyttet til komposisjonen av avfall finnes.

Graden av utvinning av materialer vil variere med kjemiske og fysiske forhold i deponiet, og hvor effektivt utstyret som er benyttet er. Jord er en fraksjon man kan forvente å finne stor andel av ved et deponi, og denne andelen kan være svært nyttig til flere formål. Jorden kan benyttes som toppmasse på et deponi, dette er for å forhindre lukt og fungerer slik at nedbør renner ut på siden av deponiet i stedet for å trekke inn i deponiet. Fraksjonen kan også benyttes som fyll i deponiet eller ved veiarbeid og liknende. Men for at denne fraksjonen skal kunne gjenbrukes stilles det ofte krav til kvalitet avhengig av hva den skal benyttes til, derfor er det viktig at andre fraksjonen sorteres ut.

Ved mange av de tidligere prosjektene har gjenvinning av jordmassen hatt stor fokus. Særlig fra prosjektene i USA foreligger det få resultater fra hvilken komposisjon deponiene bestod av, med unntak av forholdet mellom jord og avfall. Ved flere av disse prosjektene ble det kun benyttet trommel for å sikte ut en jordfraksjon, andre fraksjoner som metaller og plast ble kun utsortert manuelt. Disse prosjektene ble i stor grad gjennomført gjennom 1990-tallet og tidlig 2000. Siden den gang har kunnskapen om gjenvinning økt og i dag vil det være mer naturlig å sortere ut flere gjenvinnbare materialer.

Selv om resultater med høy kvalitet fra tidligere prosjekter er noe manglende, fremla Dr. Morton Barlaz i 2006 en gjennomsnittlig oversikt fra noen land (Barlaz, 2006). Resultatet kan lese av i tabell nedenfor.

Tabell 3 Andel av fraksjoner ved tidligere tester (% av totalt volum)

Fraksjoner	USA 2001	Singapore 2000	UK 2004	Tyskland	Spania 2001	Australia 1999	Snitt
Papir	28	20,6	19	10,3	21	9,9	18,1
Metall	7,4	3,2	8	5,4	4	7,1	5,9
Plastikk	14,9	5,8	7	7,9	11	7,3	9,0
Glass	6,3	1,1	4	4	7	6,8	4,9
Matavfall	15,8	38,8				38,1	30,9
Hageavfall	7,5	2,7				17,8	9,3
Kompost			41	26	44		37,0
Tekstil, gummi og skinn	8,5	0,9	2	3,5	5		4,0
Tre	7,4	8,9	6	3,3		6,4	6,4
Annet	2	15,3	13	34,5	8	6,6	13,2
Diverse uorganisk	2,2	2,7		5,1			3,3

3.6.3 REMO, Houthalen-Helchteren, Belgia

'Closing the Circle' prosjektet (CtC) har gjennomført en case studie gjort for å kartlegge mulighetene for å utføre et LFM prosjekt ved REMO deponi i Belgia. De ser stort forbedringspotensiale i de LFM prosjekter som tidligere er utført og benytter derav Enhanced Landfill Mining (ELFM) som uttrykk i stedet for LFM. De benytter også en ny teknisk prosess som utnytter avfallets verdi på en ny måte.

CtC prosjektet startet i 2007 og en del forundersøkelser er gjort for å validere de forutsetningen som ble gjort under konseptfasen av prosjektet. Etter planen skal utstyr stå klart slik at gravingen og sorteringen av avfallet kan starte i 2015. De ser for seg at prosjektet kan ta opptil 20 år. Målet er at på denne tiden skal hele området forandres til et naturområde. Deponiet har vært benyttet siden midten av 1970-tallet, og har en størrelse på 1300 mål og inneholder over 16 millioner tonn avfall. I motsetning til de fleste deponier er det ved REMO god oversikt over hvilke type, mengde og hvor fraksjoner er plassert. De vet at om lag 50% av avfallet består av brennbart materiale (papir, plast, tre, tekstiler). Ca 25% er fin fraksjon, i hovedsak jord, slam og noe flyveaske. De resterende 25% er bygg-og rivningsavfall, metaller og glass.

Gjennom CtC prosjektet har det blitt gjort prøvegravninger ved seks forskjellige områder på deponiet. To av stedene bestod av industriavfall, mens de resterende var fra kommunalt avfall. På de seks stedene ble det gravd helt ned til bunnen av

deponiet, som på det dypeste er 18 meter, og det ble tatt tester for hver meter. Testene ble først sortert ut slik at en fin fraksjon på <10 mm uteble. Manuell sortering ble deretter utført i 8 fraksjoner. Mengden av tre, papir/papp, tekstiler, plast, metall, glass, keramikk og en uidentifiserbar fraksjon ble sortert. Også mengden av finfraksjonen ble registrert.

Det ble benyttet to kalkulasjonsmetoder og resultatene ble sammenlignet for å kartlegge hvilke fraksjoner som var ved de fire stedene med kommunalt avfall. Den første baserer seg på de loggførte dataene av hva som er deponert, og det er tatt utgangspunkt i at nedbrytningen på avfallet er 50%. Den andre metoden er ut i fra de resultatene de oppnådde ved oppgravingen. Resultatet at metodene vises i tabellen under.

Tabell 4 Andel av fraksjoner ved REMO

Vektet %av tørr masse	Loggført	Oppgraving
Papp/Papir	11	7,5
Tekstiler	0,6	6,8
Plastikk	20	17
Metall	2,1	2,8
Glass/keramikk	1,7	1,3
Inert fraksjon (stein)	34	10
Tre	2,7	7
Finfraksjon	12	44
Organisk	7,5	-
Uidentifisert	8,4	3,8

Som man kan se ut i fra resultatene gav de fra oppgravingen en mye høyere andel av finfraksjon enn forventet og en mindre andel brennbar fraksjon. Dette kan forklares med at gjennom deponeringstiden har en del av det brennbare materialet festet seg til de fine partiklene. Ut ifra en dansk undersøkelse på tidligere historiske prosjekter (Renosam, 2009), er det kommet frem til at gjennomsnittlig andel finfraksjon er på om lag 50-60%, så resultatet fraviker ikke stort fra dette.

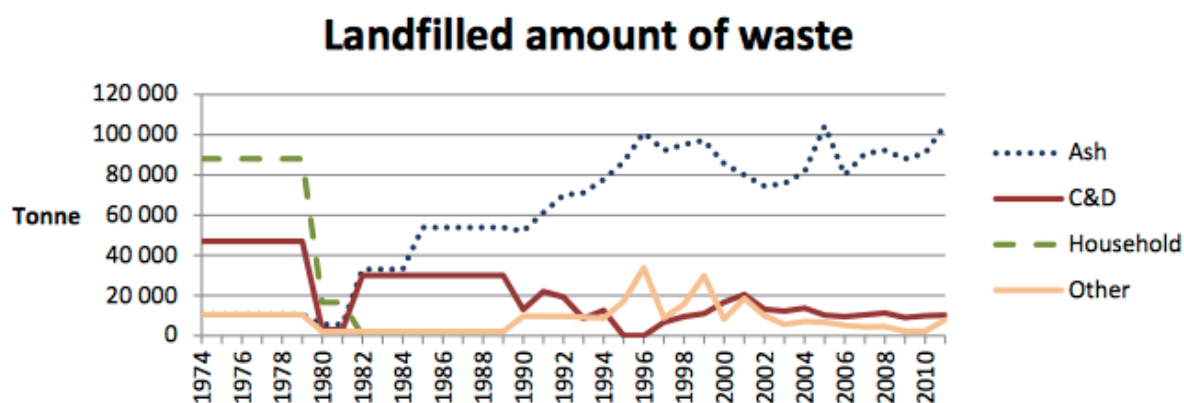
Det som skiller CtC prosjektet fra tidligere LFM prosjekter er den tekniske prosessen og hvilket utbytte de ønsker fra det deponerte avfallet. De ønsker å produsere syntetisk gass ut fra prosessen gjennom det som heter Advanced Plasma Power (APP). På lik linje med LFM sorteres avfallet i fraksjoner, resirkulerbare materialer

som metall, glass og hard plast benyttes til gjenbruk. Det resterende avfallet blir delt opp i mindre størrelse ved bruk av en shredder og blir deretter tørket. Etter denne prosessen er avfallet det de omtaler som Refuse Derived Fuel (RDF), og er det som benyttes i gassplasmaprosessen. Avfallet varmes så opp i flere omganger og man utvinner en ren syntetisk gass, som kan benyttes til å produsere elektrisitet gjennom gassmotorer og gassturbiner. Den kan også benyttes til å produsere varme, som da gjerne utnyttes direkte til å tørke og varme opp avfallet tidligere i prosessen igjen. Enkle kjemiske reaksjoner kan også omdanne denne syntetiske gassen over til hydrogen, og kan dermed benyttes som drivstoff til kjøretøyer. I stedet for å sitte igjen med en aske etter oppvarmingen av avfallet produserer en steinformet fraksjon, som heter plasmarok. Plasmarok er sterk, motstandsdyktig og stabil ovenfor omgivelsene og er miljøvennlig. Plasmarok er godt egnet for bruk i anleggsbransjen.

3.6.4 Gärstad landfill

Gjennom et masterstudium ved Linköping Universitet, Sverige, ble det gjort en undersøkelse på innhold av metaller i Gärstad avfallsdeponi, i Linköping. Prosjektet er et første steg for å se muligheten rundt LFM, som en alternativ måte å utvinne materialer. Prosjektet ble begrenset til metaller da dette er en av de viktigste ressursene i dagens samfunn.

Deponiet ved Linköping ble startet i 1974, og funnene er gjort frem til 2011. Det er ikke utført et LFM prosjekt, men gjort estimerer av mengden metaller. Innholdet i deponiet er noe variert, men store deler består av aske fra forbrenningsanlegg. Til sammen har deponiet et innhold på om lag 3,6 millioner tonn avfall. Nedenfor vises figuren når og hvilke type innhold som er deponert gjennom tiden, fordelt på aske, industriavfall (C&D), husholdningsavfall og annet.



Figur 9 Deponert mengde avfall ved Gärstad deponi

Resultatene fra prosjektet er basert på estimert mengde metaller i de typene avfall som er nevnt ovenfor. Nedenfor viser tabeller den estimerte mengden metaller som er gjort gjennom prosjektet (Tanha. A & Zarate. D, 2012).

Tabell 5 Andel metaller i aske ved Gärstad deponi

	Konsentrasjon (%)		Totalt (tonn)	
	Min	Max	Min	Max
Avfall	100		2 298 656	
Jern	4,26	6,37	97 915	146 383
Aluminium	3,92	4,43	90 039	101 856
Kobber	0,23	0,29	5 278	6 612
Sink	0,62	0,99	14 155	22 679
Andre	0,72	1,13	16 496	25 971

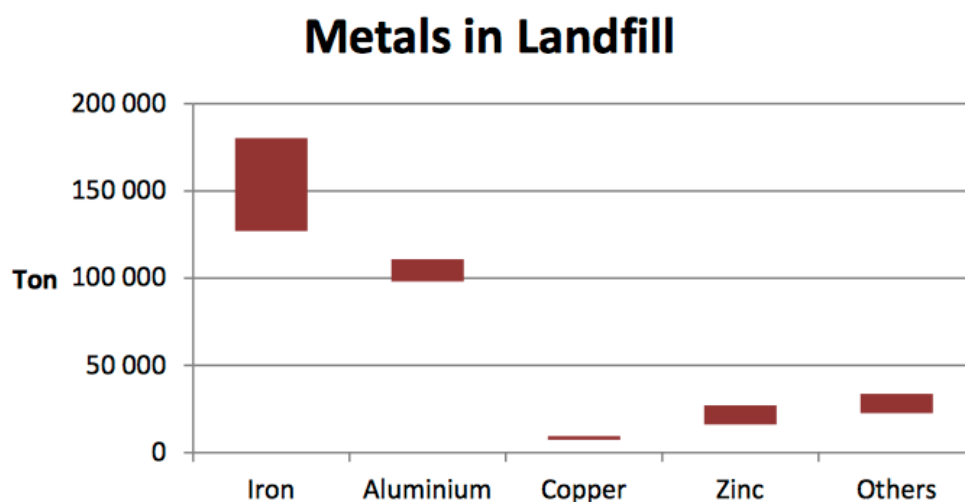
Tabell 6 Andel metaller i industriavfall ved Gärstad deponi

	Konsentrasjon (%)	Totalt (tonn)
Avfall	100	777 468
Jern	2,2	17 100
Aluminium	0,1	800
Kobber	0,2	1 600
Andre	0,5	3 900

Tabell 7 Andel metaller i husholdningsavfall ved Gärstad deponi

	Konsentrasjon (mg/kg)		Totalt (tonn)	
	Min	Max	Min	Max
Avfall	100		561000	
Jern	15 702	20 469	8 800	11 500
Aluminium	12 720	13 646	7 136	7 656
Arsen	9	14	5	8
Bor	25	61	14	34
Barium	274	451	154	253
Kadmium	4	7	2	4
Kobolt	7	13	4	7
Krom	89	137	50	77
Kobber	731	1 034	410	580
Mangan	223	293	125	164
Molybden	5	8	3	5
Nikkel	44	73	25	41
Bly	274	703	154	395
Antimon	50	103	28	58
Selen	1	2	1	1
Tinn	62	139	35	78
Titan	953	1 095	535	614
Vanadium	7	9	4	5
Sink	1 553	2 122	871	1 190

Det er gjennom prosjektet også satt opp et diagram som slår sammen de tabellene som er ovenfor. Denne viser andelen metaller i deponiet fordelt på jern, aluminium, kobber, sink og andre.



Figur 10 Deponert metall ved Gärstad deponi

I tillegg til å estimere mengden metaller i deponiet, er det også satt opp hvilken økonomisk verdi disse metallene har. Prisen på metallene er hentet fra Index Mundi, 2012, og er gjennomsnittlig pris fra oktober 2011 til april 2012. Prisene er opprinnelig i US dollar og konvertert til svensk krone med raten 1\$=6,5SEK. Som vi kan se fra tabellen er estimert verdi på metallene fra Gärstad deponi på om lag 3 milliarder SEK.

Tabell 8 Verdi av metaller ved Gärstad deponi

	Mengde (tonn)		Pris (USD/kg)	Estimert verdi (Msek)	
	Min	Max		Min	Max
Jern	127 015	180 283	0,14	116	164
Aluminium	98 075	110 912	2,13	1 358	1 536
Kobolt	100	161	27,00	17	28
Molybden	40	62	27,00	7	11
Nikkel	319	676	18,86	39	83
Kobber	7 388	9 392	7,97	383	487
Bly	2 442	4 726	2,00	32	61
Tinn	476	1 031	21,93	68	147
Titan	7 959	9 648	8,00	414	502
Sink	16 126	27 069	1,90	199	334
Totalt				2 633	3 353

4 Metode

I dette kapittelet blir det beskrevet hvilke metoder som er benyttet i oppgavens undersøkelser. Både for å komme frem til den tekniske løsningen og det økonomiske resultatet er det benyttet ulike metoder. Definisjon på metode er i følge Aubert *"En metode er en fremgangsmåte, et middel til å løse problemer og kommer frem til ny kunnskap. Et hvilket som helst middel som tjener dette formål, hører med i arsenalet av metoder."* (Hellevik, 2002).

4.1 Kvalitative intervju

Ved kvalitativ metode samles data inn ved intervjuer eller deltakende observasjoner. Et kvalitativt intervju er et åpent intervju der målet ikke er å styre intervjupersonens svar, men vise åpenhet rundt nye fenomener og unngå ferdig oppsatte kategorier og tolkningsskjemaer. Dette gir intervjueren et bredere innblikk i menneskers erfaringer og oppfatninger. Dette er i motsetning til kvantitative intervju hvor det benyttes strukturerte spørreskjemaer som gir informasjon som kan tallfestes.

I denne oppgaven har det vært viktig å samle inn informasjon fra personer med erfaringer innenfor avfallshåndtering. Dette har blitt gjort gjennom møter og besøk på anlegg. I begynnelsen av arbeidet var det viktig å få informasjon om hvilke prosesser som er nødvendig for avfallssortering, og hvordan disse prosessene utføres. Gjennom besøk på Esva Miljøpark har jeg fått anledning til å observere deler av en sortering, samt hentet inn informasjon fra ressurspersoner ved anlegget. Gjennom besøk ved Korperud deponi, hvor NGN tidligere har utført LFM prosjekt, gjorde jeg meg nyttige erfaringer om hvordan dette ble utført. I tillegg kunne de fortelle om hvordan avfallet som var deponert og hvilke utfordringer de hadde ved prosjektet. Ekspertene fra NGN på metaller og plast har også bidratt med kunnskap om hvilke kvalitet fraksjonene krever for å kunne gå til materialgjenvinning.

Møtene har som regel foregått med flere deltakere hvor tekniske prosesser, andeler, informasjon knyttet til deponi drift og annet har blitt diskutert. Samtalene i denne undersøkelsen har vært gjennom delvis strukturert samtale. Noen oppsatte spørsmål har vært viktig å få besvart, men også la intervjuobjektet få anledning til å fortelle om erfaringer og komme med innspill. Som er forberedelse har det vært viktig å sette seg inn i informantens informasjon, slik at man kan stille best mulig forberedt til samtaler. Til hver av samtalene ble det forberedt noen spørsmål jeg ønsket å få besvart i tillegg til å veilede informant inn på de temaene jeg ønsket erfaringer om.

4.2 Feltstudie

Feltstudie er en forskningsmetode som innebærer at forskeren enten er fysisk tilstede i situasjoner som er relevante for studien, og systematisk iakttar hvordan personene handler, eller opererer i det skjulte. Ved feltstudie foregår datainnsamlingen ved å ta notater og bilder, i tillegg til observasjon.

”Observasjon gir tilgang til informasjon som kan være vanskelig å få frem ved å bruke andre metoder som for eksempel spørreskjema og intervju” (Johannesen et al, 2011).

Gjennom denne oppgaven har det vært utført feltstudie ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg og Esval Miljøpark. Feltstudiet er beskrevet i kapittel 5 Feltstudie. Ved oppgravingen i Bjorstaddalen hadde jeg en rolle som fullstendig observerende, som beskrives ved at man kun observerer og ikke er deltakende i feltstudiet. Ved oppgravingen var det kun de ansatte ved deponiet som utførte arbeidet. Ved sorteringen på Esval var min rolle deltakende observerende, hvor jeg bidro og var deltakende på feltstudiet.

4.3 Sekundærdata

Sekundærdata finnes både i kvalitative og kvantitative undersøkelser, og er data som allerede er samlet inn. Årsaken til å se på sekundærdata er at man ønsker å se på hva tidligere erfaringer har vist om temaet i oppgaven. Ulempen er at dataene kan være hentet inn til andre formål enn oppgaven og usikkerhet rundt troverdigheten i dataene. Det er i denne oppgaven skrevet om erfaringer fra tidligere LFM prosjekter og hvilke resultater disse har ført til. I begynnelsen av studien var det nødvendig å sette seg inn i tidligere prosjekter for å forstå begrepet LFM, og hvilke prosesser det innebærer. Dataen fra de historiske prosjektene er tatt med for å kunne gi et innblikk i hvilke prosesser som tidligere er benyttet og andelen av fraksjoner som er oppdaget ved disse testene.

I tillegg til tidligere tester er det også innhentet sekundærdata i form av priser på materialer og kostnader knyttet til teknisk utførelse av LFM. Priser på fraksjoner er innhentet på rene råvarer og priser som kan forventes i form av kvalitet etter deponering. Disse tallene er nyttige for å kunne komme frem til det økonomiske resultatet.

4.4 Økonomisk modell

For å utlede de økonomiske sidene knyttet til LFM prosjekter har det i denne oppgaven blitt laget et verktøy som kan benyttes. Dataarket har blitt benyttet som

metode for å gi svar på hvilke økonomiske muligheter det er til å gjennomføre LFM prosjekter. Informasjonen om inntektene og kostnadene er basert på erfaringene gjort i feltstudiet ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg, i samtaler med ressurspersoner og på bakgrunn av den tekniske prosessen som er blitt utledet.

Det økonomiske verktøyet er utledet slik at det kan benyttes på alle deponier i Norge og er et verktøy NGN kan benytte til å se hvilke økonomiske muligheter som ligger i et deponi. Mer beskrivelse av modellen følger i kapittel 6 Økonomisk modell.

4.5 Kvalitet

For å oppnå troverdighet i metodene av en studie, blir det referert til fire termer; intern validitet, ekstern validitet, reliabilitet og objektivitet. Med validitet menes det om forskningen virkelig måler det som er ment å måle og hvor sannferdig forskningsresultatene er. Med reliabiliteten ser man på i hvilken grad resultatene er konsistente over tid, og reliabiliteten kan sees på som god hvis de samme resultatene kan oppnås ved utførelsen av en identisk metode. For objektivitet menes at resultatene kan bekreftes av andre forskere gjennom tilsvarende undersøkelser.

For å kunne oppnå god validitet på undersøkelsene i denne oppgaven har det vært viktig å ikke mistolke noe av erfaringene informantene har delt gjennom samtale. Etter samtale har jeg ved flere anledninger vært i kontakt med informantene for å rådføre meg på nytt og få bekreftelser på at de erfaringene de har delt stemmer overens med mine observasjoner. Flere av informantene sitter også inne med mye av den samme erfaringen, og jeg har derfor fått mye av de samme kunnskapene fra flere forhold.

Gjennom kvalitative samtaler med de samme informantene vil man nok erfare de samme resultatene som jeg har gjorde. Benytter man derimot andre informanter kan erfaringene oppleves forskjellig. Dette kan svekke noe av reliabiliteten i de kvalitative samtale.

5 Feltstudie

For å kunne danne et bilde av hvilke muligheter og utfordringer vi står ovenfor ved LFM har det gjennom dette prosjektet blitt utført et feltstudie ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg i Skien. Studiet har vært utført gjennom et samarbeid mellom NGN og Skien kommune. Formålet med studiet var å grave opp en begrenset mengde avfall fra deponiet på Bjorstaddalen Avfallsanlegg, for så å frakte avfallet til NGN sitt anlegg på Esval Miljøpark. Her skulle avfallet bli sortert ved deres sorteringsanlegg.

Bjorstaddalen Avfallsanlegg ligger i Skien og ble åpnet i 1993 og har blitt benyttet som deponi frem til 2011. Frem til 2009 ble det deponert en avfallsmengde på 1,1 millioner tonn, og fra 2009 har det blitt deponert om lag 50 000 tonn. Deponiet er bygd opp i en dal, som er begrenset med en fjellvegg på den ene siden og en vei på motsatt side. Avfallet har blitt deponert fra nederst i dalen og videre oppover i dalen frem til det ble avsluttet. Gjennom et møte ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg 17.10.13, kunne representantene som har lagt ut avfallet og komprimert dette fortelle at de la ca. 1,5 til 2 meter høye lag med avfall, som så ble komprimert med en 50 tonns dumper. Denne komprimeringen førte til at det meste av avfallet har blitt godt knust og delt. Hver eneste dag har det blitt lagt et topplag på det deponerte avfallet, dette for å forhindre lukt og fare for brann.

Gjennom møtet 17.10.13 ble det også diskutert hvilke fraksjoner det kunne forventes å finne ved oppgravingen. Det meste av papir ble gjenvunnet fra 1993, så mengden nedgravd papir er begrenset. I tillegg kom forbud om deponering av bildekk i 1995, som også begrenser funn av dette. Forbud mot deponering av elektrisk og elektronisk avfall (EE-avfall) kom i 1997, men ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg har de siden oppstarten tatt ut det meste av EE-avfall allerede fra starten. Det ble også lagt til at det frem til 1999 ble deponert husholdningsavfall ved deponiet.

NGN drifter et sorteringsanlegg ved Esval Miljøpark. Ved anlegget mottar de aske fra forbrenningsanlegg i Oslo-området. Der lagres asken før den blir sortert ved et sorteringsanlegg. De henter ut jern og metaller fra asken som går til gjenvinning, den gjenværende asken blir deponert ved miljøparken. Geir Sørensen, som drifter anlegget, kunne gjennom et besøk fortelle at anlegget har en kapasitet på 100 000 tonn per år, og henter ut om lag 10 prosent jern og 2,5 prosent andre metaller fra asken.

5.1 Utførelse

Utførelse av testen har blitt gjort av personer med god erfaring og kunnskap om avfallshåndtering. Det er blitt brukt utstyr som er aktuelt å benytte også ved større

LFM prosjekter. Sorteringsanlegget ved Esval Miljøpark har noe begrensninger ved at det kun har mulighet til å sortere ut jern og metaller. Dette var vi klar over, og visste at dette ville begrense sorteringen i henhold til det som er ønskelig for et LFM prosjekt.

Det ble benyttet en lastebil med to containere for transporten, som har en total kapasitet på 25 tonn. Dette begrenset andelen oppgravd avfall til denne verdien. For å unngå at testen skulle bli utført på dager med nedbør ble det tatt hensyn til værmeldingen, det var ikke ønskelig å få noe fuktighet tilført avfallet. Det ble videre planlagt at containerne skulle bli levert ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg og stå klare for å fylles. Disse ble levert noen dager før planen for oppgravingen skulle skje.

5.1.1 Oppgraving

Deponiet er utstyrt med rørsystem som tar ut og fakler av metangassen, og før oppgraving av avfall kunne begynne måtte de ansatte ved anlegget kartlegge hvordan dette rørsystemet så ut. Det var viktig at vi ikke skadet dette systemet. Da mye av toppmassen som er benyttet består av leire var det også nødvendig å gjøre prøvegraving for å se hvor lett håndterlig denne harde leiren var å få fjernet. Etter at rørsystemet var kartlagt og prøvegraving var utført fant vi et egnet sted for oppgraving til studiet.

Et areal av toppmassen på omtrent 40m² ble gravd og skrapet bort ved hjelp av gravemaskin, for å komme til avfallet. Tykkelsen på toppdekket var omtrent halvannen til to meter. Dette arbeidet ble utført en ettermiddag og oppgravingen av avfall skulle utføres dagen etterpå. Bildet nedenfor viser at toppmassen er tatt bort og oppgravingen av avfall kan påbegynnes.



Figur 11 Oppgraving av avfall ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg. Foto: Knut Erik Haugen

Oppgravingen av avfallet ble utført ved bruk av gravemaskin, deretter ble avfallet lagt over i en dumper, som fraktet avfallet 50 meter bort til containerne. Containerne stod strategisk plassert ved veien slik at det på enkelt vis kunne bli satt på lastebilen. Ved hjelp av dumperen ble også det oppgravde avfallet veid, som har innebygd vekt. Det var viktig for å vite at vi fikk fylt 12,5 tonn avfall i hver av containerne.

For å kontrollere om det var noen utslipp av metangass ved oppgravingen av avfall, benyttet vi en gassmåler for å kontrollere verdiene.



Figur 12 Avfallet blir plassert i dumper for transport til container. Foto: Knut Erik Haugen

5.1.2 Transport

Avfallet ble fraktet med en lastebil fra anlegget på Bjorstaddalen Avfallsanlegg til Esva Miljøpark, dette er en distanse på 200km. For å hindre at avfallet skulle bli fuktig, og for å sikre avfallet fra å falle ut, ble det lagt presenning over containerne før transport. Transporten ble utført av innleid transportselskap. På grunn av uvissheten om hvor lang tid oppgravingen av avfallet tok, ble transporten bestilt dagen etter oppgraving.

5.1.3 Sortering

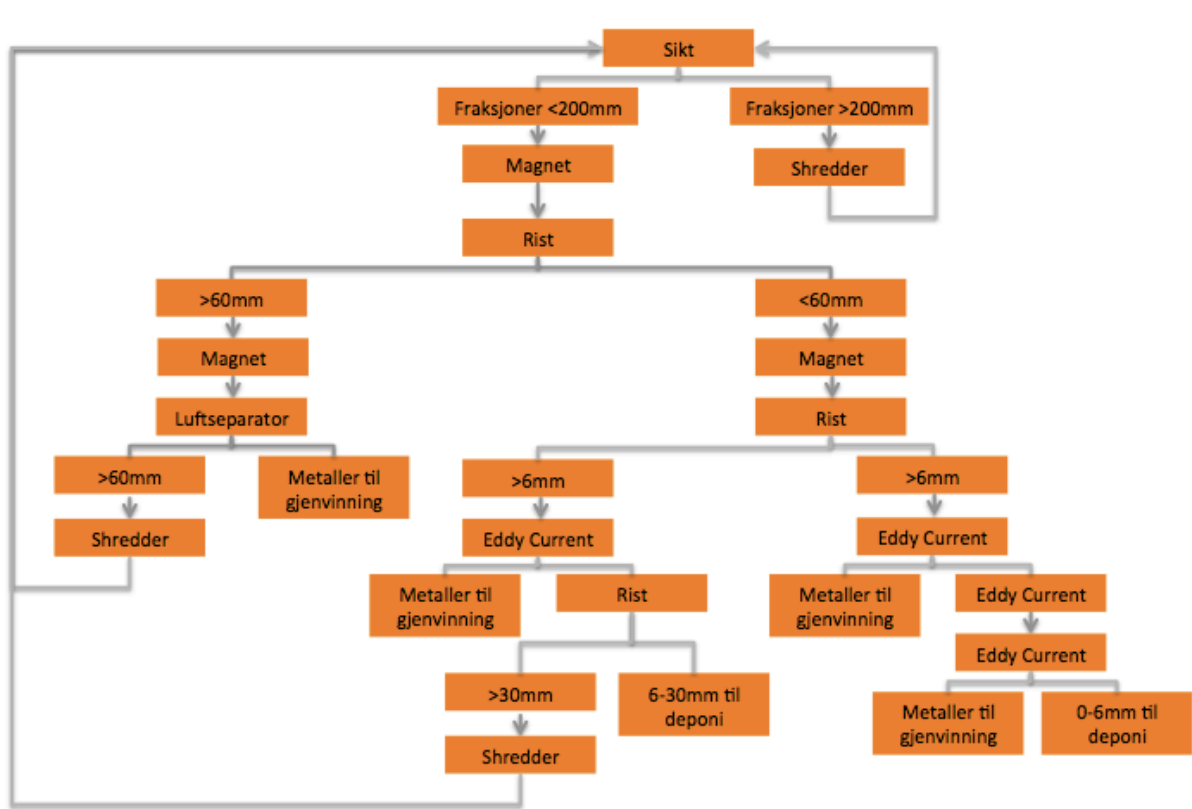
a) Esva Miljøpark

Sorteringsanlegget på Esva består av flere prosesser for å skille ut størrelse på fraksjonene og hente ut jern og metaller. Første del består av en sikt, hvor fraksjoner større enn 200mm blir sortert ut. Fraksjoner mindre enn dette blir fraktet via transportbånd, som all transporten i prosessen utføres av, under en magnet som henter ut jern. Deretter sendes fraksjonene over en rist som skiller størrelse på mindre enn og større enn 60mm. Fraksjonene større enn 60mm går under magnet som henter ut jern, og videre mot en luftseparator. Denne skiller ut metaller ved hjelp av sensorer som kjenner igjen metaller og blåser disse ut fra de resterende

fraksjonene. De metallene som skilles ut går til gjenvinning, mens resterende fraksjon knuses i en shredder og går gjennom prosessen på nytt.

Fraksjonene mindre enn 60mm går under en magnet, som henter ut jern. Deretter kommer en ny rist som skiller ut fraksjoner mindre enn 6mm. Denne fraksjonen føres til en Eddy Current separator, også kalt virvelstrømseparator. Denne skiller ut ikke-magnetiske metaller, som aluminium, kobber og messing, men tar ikke ut rustfritt stål. Deretter går fraksjonen gjennom en ny Eddy Current separator, før restfraksjonen på mindre enn 6mm blir deponert.

Fraksjonen med størrelse 6-60mm går gjennom en Eddy Current separator, før den transporteres til en ny rist. Her skiller fraksjoner større og mindre enn 30mm. Fraksjonen mindre enn 30mm blir deponert, mens fraksjonen større enn 30mm knuses i shredder og går gjennom prosessen på nytt.



Figur 13 Flytdiagram Esva Miljøpark

b) Gjennomføring

Da avfallet kom til Esva ble det lagt ut foran sorteringsanlegget. Vi observerte at avfallet var fuktig og at det bestod av en del større plastfraksjoner, noe vi var klar over kunne skape problemer for sorteringen. Sorteringsanlegget var tømt for andre fraksjoner før avfallet skulle kjøres igjennom, for å få resultater bestående kun av vårt avfall. En dumper fraktet deretter avfallet frem til sorteringsanlegget.

Sorteringsprosessen ved Esval Miljøpark består, som beskrevet og gjennom flyttdiagrammet, av en rekke utsorteringer av metaller. Og også en rekke sorteringer på bakgrunn av størrelse på fraksjonene. Avfallet ble først kjørt gjennom sikten. Her hadde vi på forhånd sett for oss at noe av plasten ville legge seg på toppen av sikten, og ikke gå gjennom. Siden deler av avfallet henger seg fast til plast på grunn av fuktigheten var det viktig å få plasten gjennom sikten. Løsningen ble å presse den gjennom sikten manuelt.

Da avfallet kom til første rist benyttet vi, i tillegg til vibrasjonene fra risten, en mann til å snu og vende på store plastfraksjoner, slik at mindre fraksjoner falt ut fra plasten. En del av de større plastfraksjonene ble også tatt ut fra prosessen her for at det ikke skulle sette seg fast senere.

Ved dette steg i prosessen kom vi til et nytt problem, at de mindre fraksjonene ikke falt gjennom risten. Den store andelen med plast førte til at mye av avfallet knyttet seg til dette, og ble liggende inne i plasten og ikke falt gjennom risten. I tillegg førte fuktigheten i avfallet til at mindre fraksjoner festet til hverandre og utgjorde dermed større fraksjoner. Av disse grunnene ble store deler av avfallet sendt videre i prosessen som større enn 60mm.

Problemet med plasten førte også til at en del magnetiske metaller ikke ble tatt ut ved magnetene, på grunn av at det ble holdt til transportbåndet av plasten. Hvis metaller ble tatt ut av magneten tok det ofte i tillegg med seg plast eller annet avfall som var festet til metallet.

Den andelen avfall som gikk videre etter risten som større enn 60mm førte også til problem ved luftseparatoren. Før avfallet kommer frem til sensorene ved luftseparatoren går de gjennom et kammer som jevner ut mengden, og her begynte avfallet å samle seg opp. Denne opphopningen oppstod fordi de store plastfraksjonen ble sittende fast i kammeret, og ble hindret og komme videre av gummiplater på anlegget. Dette vises også i bildene nedenfor. Dette førte til at vi måtte stoppe anlegget og få dette avfallet gjennom luftseparatoren. Etter en diskusjon blant deltakere i testen, ble det besluttet at testen måtte avsluttes etter å ha kjørt igjennom om lag 4 tonn avfall. De problemene som oppstod gjorde at vi ikke fikk sortert ut de mengdene av jern og metaller som avfallet faktisk inneholdt.



Figur 14 Opphopning av avfall ved luftseparator. Foto: Knut Erik Haugen



Figur 15 Opphopning av avfall ved luftseparator. Foto: Knut Erik Haugen

Noe av avfallet gikk gjennom prosessen slik vi ønsket. Ved magnetene, luftseparatoren og Eddy Current separatorene ble det hentet ut metaller. Vi fikk også en oversikt over hvor mye av mengden som havnet ved de forskjellige utløpene av sorteringen. Resultatene av dette finnes i kapittel 7 Resultat.

De metallene som var hentet ut fra prosessen hadde tatt med seg annet avfall som plast og jord. Grunnen til dette var gjennom fuktigheten som førte til at fraksjoner knyttet seg sammen, i tillegg til problemene med metaller som lå inne i plast. Større metallfraksjoner hadde også skarpe kanter hvor annet avfall festet seg til. Det var derfor nødvendig manuelt, med hendene, å sortere ut avfallet som var knyttet til metallene fra disse. Metallene ble tatt vare på i bokser for videre analyse, mens resterende avfall ble tatt hånd om ved Esva Miljøpark.

5.1.4 Kartlegging av metaller

For å få kartlagt hvilke metaller det kan forventes å finne deponert, tok vi med metallene fra sorteringen for videre analyse ved Norsk Gjenvinning Metall i Drammen. Her har de et anlegg hvor de kjøper inn skrapmetall, EE-avfall og kabler. Volumene som kjøpes inn kommer fra små og mellomstore bedrifter til store aktører i industri eller offshore. Her behandler de metallene og selger de videre til aktører for videre produksjon/omsmelting.

For å kunne kartlegge hvilke metaller vi hadde, benyttet vi røntgen spektroskopi. Dette gjøres ved at en håndholdt detektor skyter røntgen- eller gammastråler mot den aktuelle prøven. Det frigjøres energier som er karakteristiske for grunnstoffene i prøven. Disse fluorescerende energiene tas imot av detektoren og en multikanalanalysator skaper dette om til et energidispersivt spekter. Ved å analysere dette spekteret så kan man bestemme hvilke grunnstoff som er tilstede i prøven.



Figur 16 Benytter Thermo Scientific Niton XL3t for å bestemme metaller fra prøver. Foto: Knut Erik Haugen

Metallene delte vi deretter i forskjellige kategorier, jern, messing, kobber, aluminium, krumstål, bly, varmekfast, syrefast og rustfritt. Deretter ble kategoriene av metaller veid for å se kartlegge andelene.

6 Økonomisk modell

Som et verktøy for økonomisk evaluering av LFM prosjekt er det i denne oppgaven utledet en økonomisk modell som kan benyttes. Modellen er laget i Microsoft Excel, og finnes vedlagt. Den tar utgangspunkt i andelen av fraksjoner et deponi består av.

Modellen er bygget i form av et resultatbudsjett over de årene som er nødvendig å utføre LFM prosjektet. Modellen tar utgangspunkt i en rekke forutsetninger som må fylles inn for å fullføre budsjettet. Disse forutsetningene er størrelse på deponi, kapasitet, andel av fraksjoner, priser på videre behandling av fraksjoner, bemanning, lønnskostnader, kostnader knyttet til utstyr og avkastningskrav. Det er nødvendig å innhente informasjon om disse forutsetningene for at modellen skal kunne utfylles og gi resultat.

For å kunne beregne lønnsomheten knyttet til investeringen ved et LFM prosjekt regner modellen ut netto nåverdien. Diskonteringsrenten som benyttes er i form av et risikjustert avkastningskrav som legges inn som forutsetning i modellen. Modellen justerer ikke for inflasjon, men dette kan tillegges avkastningskravet i modellen.

Andelen av fraksjoner benyttes til å finne inntekter og kostnader fra materialene. Disse andelen legges inn som prosentvise tall. Metaller er de fraksjonene som gir størst inntekt, og det skilles mellom en pris for jern og en for resterende metaller. For plast, papp/papir, tre og diverse som graves opp er den mest aktuelle gjenvinningen forbrenning. I Norge er det en kostnad knyttet til å sende avfall til forbrenning. Med bakgrunn i at det kan være inntekter og kostnader for fraksjonene er det ved modellen nødvendig å sette inntekter fra fraksjonene inn som positive tall under pris, og for de som fører til kostnad sette det inn negative tall i pris.

Ved utføringen av LFM blir det benyttet en rekke maskiner og en mengde arbeidskraft for å rense og sortere avfallet. Disse prosessene tar med seg en rekke kostnader som må settes inn som en forutsetning for å utarbeide resultatbudsjettet.

6.1 Forutsetninger

For det økonomiske resultatet er det benyttet erfaringer fra feltstudiet ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg, og resultatene er de som er forventet ved et LFM prosjekt ved dette deponiet. Videre i dette kapittelet følger en beskrivelse av de forutsetningene som er benyttet for det økonomiske resultatet. I modellen er første forutsetningen hvilket år prosjektet skal begynne, aktuelt for Bjorstaddalen Avfallsanlegg er 2015.

De neste forutsetningen er volum på deponiet, som er 1 150 000 tonn. Og kapasiteten på prosessen er 25 tonn/time, og det er beregnet 1900 driftstimer per år. Kapasitet og driftstimer må settes inn for alle årene hvor prosjektet vil foregå. For Bjorstaddalen Avfallsanlegg vil disse verdiene være like gjennom hele prosjektet.

Andelen av fraksjoner er neste forutsetningen som må settes inn. For Bjorstaddalen Avfallsanlegg er disse verdiene utledet gjennom observasjoner under feltstudiet, samt erfaringer fra tidligere prosjekter. I tabellen nedenfor viser de aktuelle verdiene. Disse må settes inn for hvert år det er forventet å utføre prosjektet.

Tabell 9 Andel fraksjoner Bjorstaddalen Avfallsanlegg

Fraksjon	Andel %	Andel tonn
Jord/stein og glass	55,0 %	632 500
Jern	4,0 %	46 000
Metall	2,0 %	23 000
Plast	15,0 %	172 500
Papp/papir	10,0 %	115 000
Tre	7,0 %	80 500
Diverse	7,0 %	80 500
	100,0 %	1 150 000

Sorteringsanlegget har ikke mulighet på å hente ut 100 prosent av jern og metallet som avfallet består av. Av erfaring kan leverandør av anlegg fortelle at uttaket ligger på mellom 50 til 70 prosent. Som er forutsetning er det derfor i økonomisk resultat satt at 70 prosent av jern og metaller sorteres ut.

Forventet pris på fraksjonene må legges inn i modellen, og disse kan være inntekt i form av positive tall og kostnad i form av negative tall. I dette økonomiske resultatet er det tatt en forutsetning om at jord/stein og glass, plast, papp/papir, tre og diverse kan tilbakelegges i deponiet. Av denne grunn har disse en verdi på null kroner. For jern er prisen forventet å være 1000 NOK/kg. For de resterende metallene selges disse som en samlet gruppe til en pris på 6793 NOK/kg. Denne forutsetningen er nødvendig å legge inn for hvert år.

Antall arbeidere som er nødvendig i prosessen må settes inn i modellen. For å kunne holde en kapasitet på 25 tonn/time ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg er det nødvendig med tilsammen fire arbeider til oppgraving av avfall og drift av sorteringsanlegget.

Personalkostnadene knyttet til arbeiderne er timelønn på 173NOK, pensjon på 3%, feriepenger på 12%, arbeidsgiveravgift på 14,2% og sykefravær på 4%. Disse forutsetningen må legges inn for hvert år.

Gjennom prosessen er det nødvendig med en rekke utstyr, antallet på utstyret er en forutsetning. Ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg er behovet to gravemaskiner, en dumper og et sorteringsanlegg slik det er beskrevet i kapittel 7 Resultat. Prisen for et sorteringsanlegg er på mellom 15 til 25 millioner NOK. Dette avhenger noe av hvilken kapasitet og hvilke maskiner det inneholder. Det er satt forutsetning i resultatet om en kapitalutgift på 20 000 000 NOK for en slik investering. Dette innebærer de maskinene som inngår i sorteringsanlegget og innbygningen av dette. For videre utstyr er det satt 180 000 NOK for leie av gravemaskin årlig, og 144 000 NOK for dumper. Forbruk av diesel på henholdsvis gravemaskin og dumper er på 30 000 liter diesel per år og 38 000 liter diesel per år. Prisen på avgiftsfri diesel er satt til 7,5 NOK/liter. Sorteringsanlegget har et strømforbruk på 665 000 kwh per år, og prisen er på 0,37 NOK/kwh.

Vedlikeholdskostnadene årlig knyttet til maskinene er 18 000 NOK for gravemaskin, 18 000 NOK for dumper og 250 000 NOK for sorteringsanlegget.

En forutsatt avkastning krever også modellen. For dette prosjektet benyttes et realavkastningskrav på 10 prosent, dette er i tråd med det som benyttes av staten ved deres prosjekter (Samferdselsdepartementet, 2012). I et slik avkastningskrav er det tatt hensyn til inflasjon.

6.2 Sensitiviteter

Det vil være av interesse å se på hvordan netto nåverdien av resultatet variere når vi endrer på noen av forutsetningene. For ikke å endre på forutsetningen i modellen er det bygget en sensitivetsmodell. Denne er bygget slik at to av forutsetningen kan endres, mens de resterende forutsetningene holdes faste. I tabell 10 vises en tom modell. Ved å sette inn fem varierende verdier for en forutsetningen i den loddrette kolonnen, og fem i den vannrette vil verdien på netto nåverdi ved de aktuelle forutsetningene vises i de hvite cellene.

Tabell 10 Sensitivitet

X / Y					

Valget av variable for sensitivitetsanalysen i denne studien er gjort på basis av stor usikkerhet knyttet til de variablene, og at variablene har stor påvirkning på det økonomiske resultatet. Det er utført to sensitivitetsanalyser i dette studiet.

Analyse på forholdet mellom prisen på jern og metaller er utført. Disse prisene er korrelerte og i perioder med lite etterspørsel på jern og metall vil disse prisene være lave og ved høy etterspørsel vil prisen være høy. Noe som vil påvirke netto nåverdien. Det er også sett på forholdet mellom jernprisen og kostnaden på forbrenning. Hvis avfall må sendes til forbrenning vil dette bli en kostnad som påvirker netto nåverdien.

7 Resultat

Resultatene i denne oppgavene fremstilles videre i dette kapittelet. De viser resultatene fra feltstudiet, den tekniske prosessen og de økonomiske sidene ved et LFM prosjekt. Resultatene over den tekniske prosessen og økonomien er beregnet i henhold til å utføre et LFM prosjekt ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg. Allikevel vil resultatene gi et godt bilde av hvordan teknisk løsninger og økonomiske sider vil være ved et deponi i Norge.

7.1 Feltstudie

Ved feltstudiet var de interessante observasjonene; tidsbruk ved operasjonene, gassmålinger, hvilke avfallsfraksjoner testen innebar og metaller. I tillegg til å observere hvordan sorteringsprosessen ble gjennomført. Det ble gravd opp 25 tonn med avfall fra deponiet ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg. Og denne mengden ble transportert til anlegget ved Esva. På grunn av problemet med opphopning av avfallet ble det kun kjørt om lag 4 tonn gjennom sorteringsanlegget. Den resterende mengden på 21 tonn har det ikke blitt gjennomført noen sortering på.

Avfallet som ble gravd opp ved deponiet i Bjorstaddalen var blitt deponert i 1995. Deponeringstidspunktet ble fastsatt ved funn av aviser med dato på. Tidspunktet stemte også overens med de anslag som de ansatte ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg kom med på forhånd, på bakgrunn av kjennskap til hvor avfall ble deponert til hvilken tid.

7.1.1 Gass og lukt

Under oppgravingen var det ønskelig å se om det kunne være utslipp av gasser, da spesielt metan. For å måle dette ble det benyttet gassmåler. Måleren viste at det var ingen utslipp av metan fra oppgravingen.

Ved fjerning av toppmassen kom det frem en sterk avfallslukt, men denne virket å gi seg rimelig fort. Dagen etter når avfallet skulle begynne og graves opp var det kun svak avfallslukt å spore.

7.1.2 Benyttet tid

Tiden som er benyttet i denne testen kommer frem i tabellen nedenfor. Her er det ikke tatt hensyn til de timene som ligger med planlegging blant annet av sted for oppgraving, eller forberedelser ved Esva.

Tabell 11 Tidsforbruk ved feltstudie

Operasjon	Tidsforbruk (timer)
Oppgraving m/fjerning toppmasse	4
Transport	4
Sortering	1
Kartlegging metaller	0,5

7.1.3 Andel avfallsfraksjoner

Grunnet problemene ved sorteringen av avfallet er det vanskelig å fastslå i hvor stor andel de forskjellige fraksjonene opptrer. Mye metall, papir og jordfraksjon festet seg til og inne i plasten slik at vi ikke klarte skille det ut slik målet for testen var. Andelen plast var høy og mer enn forventet. Andelen med jord- og steinfraksjon var dominerende, og om lag 50%. Ved deponiet i Bjorstaddalen har de lagt på jord og stein hver dag så denne mengden var forventet. Mengden metall som ble hentet ut etter sorteringen var på 20kg, som utgjør en andel på 0,5%. Denne andelen er nok sannsynligvis en god del høyere da de metallene som ble sortert ut kun var de av større størrelse. Fra de resterende fraksjonene var en god andel med papp/papir og trevirke. Også glass, tekstiler og gummi hadde en andel.

7.1.4 Størrelse

Sorteringsanlegget ved Esva Miljøpark skiller som beskrevet tidligere avfallet i forskjellige størrelser. Vi ønsket og se hvor mye avfall som ble sortert ut ved de forskjellige utløpene av sorteringsprosessen. Avfallet ble ikke veid med vekt etter sortering, men anslått av de ansatte ved Esva Miljøpark, dette gir dermed ikke helt nøyaktige verdier.

Tabell 12 Andel av størrelser etter sortering ved feltstudie

Størrelse (mm)	Vekt (kg)	Andel (%)
>60	2500	62
30-60	20	0,5
6-30	500	12,5
<6	1000	25
Totalt	4020	100

7.1.5 Metaller

Et mål for utføring av testen var å kartlegge andelen metaller som avfallet inneholdt, og hvilke metaller. I alt ble det tatt med 20kg metall etter sorteringen og ned til Norsk Gjenvinning Metall i Drammen. Denne andelen var det sorteringsanlegget hadde sortert ut.

Store deler av metallene var jern og resten ble sortert innenfor messing, tambak, rustfritt, syrefast, varmekast, kobber, bly, aluminium og krumstål. Noen av disse kategoriene er en blanding mellom flere metaller, men ved hjelp av detektoren vi benyttet kunne vi finne prosentverdier på hvilke metaller blandingene inneholdt. Resultatene er vist i tabell 13, som viser grunnmetallene og deres andel. I tabell 14 er resultatene for metallkvalitetene og deres andel.

Tabell 13 Grunnmetaller fra utført test

Metall	Vekt (g)	Andel
Jern (Fe)	17 518,0	87,00 %
Aluminium (Al)	573,0	2,80 %
Bly (Pb)	65,0	0,30 %
Kobber (Cu)	660,9	3,30 %
Nikkel (Ni)	369,0	1,80 %
Tinn (Sn)	3,2	0,00 %
Krom (Cr)	778,7	3,90 %
Mangan (Mn)	1,5	0,00 %
Karbon (C)	64,1	0,30 %
Molybden (Mo)	0,4	0,00 %
Sink (Zn)	108,2	0,50 %
Totalt	20 142,0	

Tabell 14 Metall kvaliteter fra utført test

Metall kvalitet	Vekt (g)	Andel
Jern	14 422,0	71,60 %
Rustfritt	4 086,0	20,29 %
Messing	268,0	1,33 %
Aluminium	573,0	2,84 %
Tambak (90%Cu/10%Zn)	10,0	0,05 %
Syrefast	19,0	0,09 %
Kromstål (13%Cr/14%Mn)	11,0	0,05 %
Varmefast (20%Ni/20%Cr)	192,0	0,95 %
Rødgods (93%Cu/7%Sn)	46,0	0,23 %
Bly	65,0	0,32 %
Kobber-Nikkel (75%Cu/30%Ni)	7,0	0,03 %
Kobber	443,0	2,20 %
Totalt	20 142,0	

7.1.6 Kvalitet

Avfallet som ble deponert i 1995 har ikke vært stort påvirket av nedbrytning. Grunnet daglig påføring av toppmasse på deponiet har lite oksygen kommet til avfallet, og nedbrytningsprosessen har dermed gått tregt. Dette viser seg i form av fullt lesbare aviser, og trevirke som er helt. Den jevne påføringen av toppmasse har også ført til mye jord og stein i deponiet, noe som fører til at avfallet er veldig skittent.

I følge ansatt ved NGN var ikke kvaliteten på papiret og plasten som ble funnet, god nok til materialgjenvinning. Derimot kan man benytte denne fraksjonen til forbrenning. Dette er også aktuelt for tekstiler, trevirke og restfraksjonen "diverse".



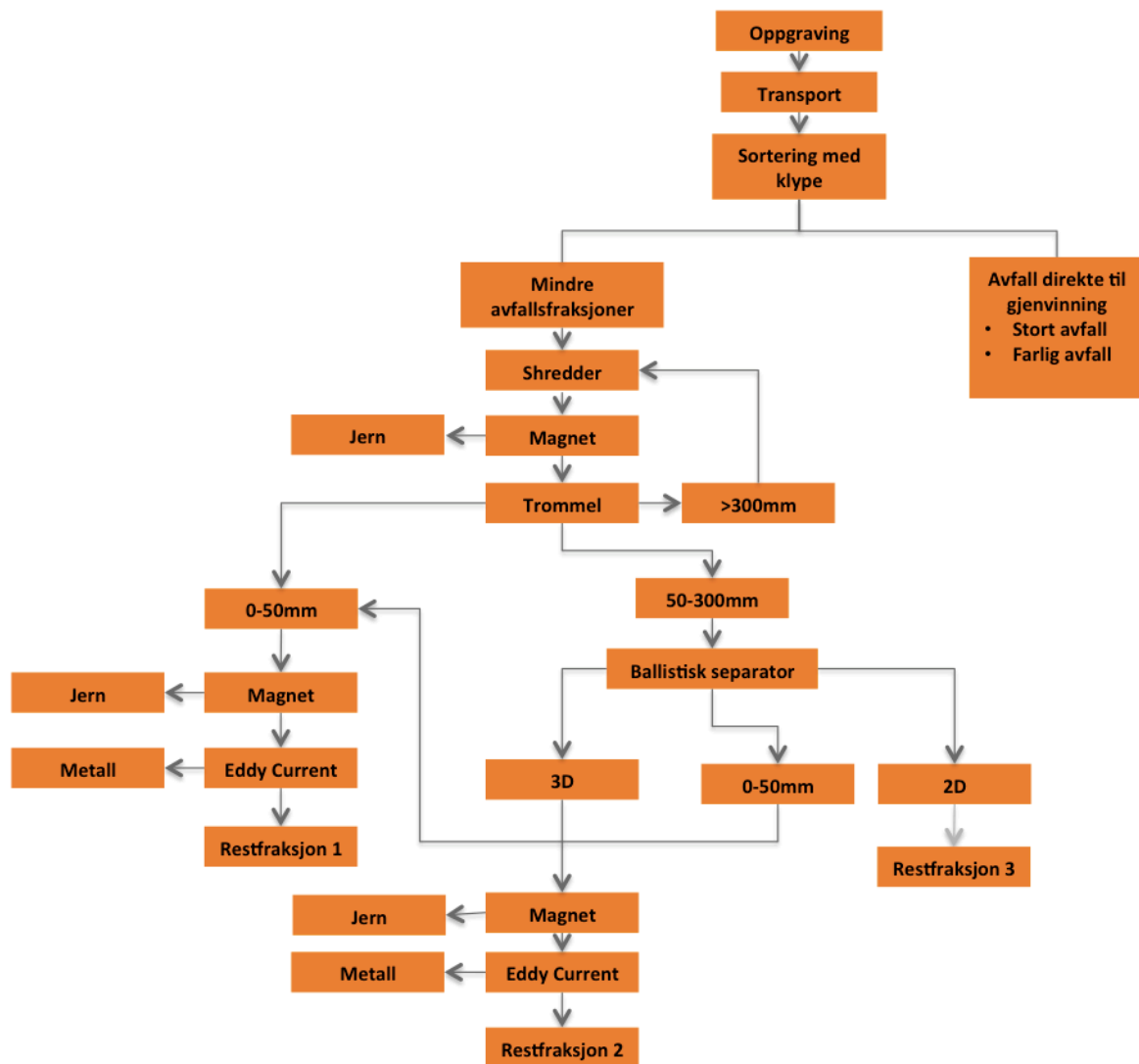
Figur 17 Plast og papir fra test. Foto: Knut Erik Haugen

Ved bedre sortering og utskilling av en renere jord- og steinmasse kan denne fraksjonen benyttes til toppdekking ved deponier eller fyllmasse ved veiarbeider eller lignende.

Metallene kan benyttes til materialgjenvinning, men de trenger en grundigere behandling før de kan utnyttas. Slik metallene ankom Norsk Gjenvinning Metal ville de ikke kjøpt inn metallene. Det er behov for å rengjøre metallene i større grad.

7.2 Teknisk prosess

Målet for tekniske prosessen er å sortere ut fraksjonene på en så god måte at alt kan gjenvinnes. Den beskrevne tekniske prosessen er med hensyn på utførelse av LFM prosjekt ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg. Prosessen er basert på et mobilt sorteringsanlegg, som kan driftes i nær tilknytning til deponiet. Anlegget vil også driftes under tak, men vil ikke bestå av vegger.



Figur 18 Flytskjema over teknisk prosess

Det beskrevne flytskjemaet ovenfor av prosessen innebærer oppgravingen av avfallet og de prosessene som må benyttes for å skille fraksjonene fra hverandre. Detaljer om hver prosess følger videre i dette kapittelet.

7.2.1 Oppgraving

Som et første ledd i den tekniske prosessen er fjerningen av toppmassen som et deponi består av. Denne toppmassen består i de fleste tilfeller av jord, stein og leire

og inneholder ofte ikke avfall. Av den grunn kan denne massen utnytted direkte slik den fremstår, og ikke bli med videre i sorteringsprosessen. Inneholder derimot toppmassen avfall, eller ikke er ren nok til å benyttes direkte vil det være anbefalt å ta med denne videre i sorteringen.

Etter at toppmassen er fjernet ved hjelp av gravemaskin vil man få tilgang til avfall, og oppgravingen av dette kan begynne. Her vil gravemaskin være egnet utstyr. Avfallet graves opp og legges opp i lastebil eller dumper som frakter avfallet videre i til et platå eller område hvor neste steg i prosessen kan foretas, utsortering med klo.

Dybden på deponier varierer, men er dybde på rundt 10 meter må forventes. På bakgrunn av dette må oppgravingen av avfall bestå av et system som gir effektiv oppgraving av hele deponiet. Da vil et godt system være å grave seg lag for lag nedover i deponiet, med fokus på noen avgrensede områder av gangen. Ved å fokusere på noen avgrensede området vil man hindre å fjerne toppmassen ved hele deponiet, noe som kan føre til mer fuktighet i avfallet. Avfallet skal fraktes fra der det graves opp og videre til sorteringen, og det må legges til rette for at dumper og lastebil har anledning til å transportere avfallet selv om man befinner seg dypt i deponiet. Veier kan formes ved bruk av toppmasse og deponerte mengder og legges til rette for ettersom man graver seg dypere i deponiet.

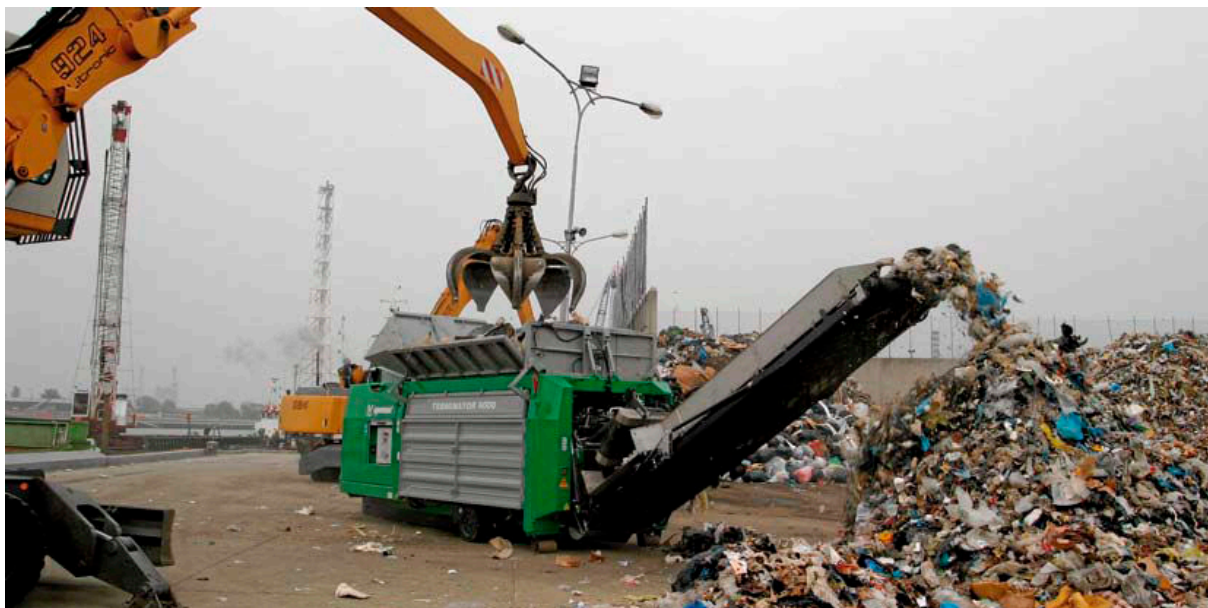
7.2.2 Sortering med klype

Etter at innholdet er gravd opp må avfallet transporteres til et område som er egnet til å legge ut avfallet. Når avfallet legges ut er det nødvendig å sortere ut større fraksjoner ved hjelp av klype eller klo, slik at dette ikke blir med videre i sorteringsprosessen. Dette kan være metaller som kan gå rett til materialgjenvinning, EE-avfall, kabler, dekk, farlig avfall og annet. Disse utsorterte fraksjonene legges i separerte containere og behandles videre etter deres formål. Også fraksjoner som kan skape problemer med sorteringsutstyr videre i prosessen er relevant å plukke ut, som for eksempel tau og annet som kan vikle seg fast i komponenter.

Maskinen som benyttes her er gravemaskin som har påmontert en klo slik at den enkelt kan plukke ut store fraksjoner og legge de i respektive containere. Det resterende avfallet blir deretter transportert til shredder.

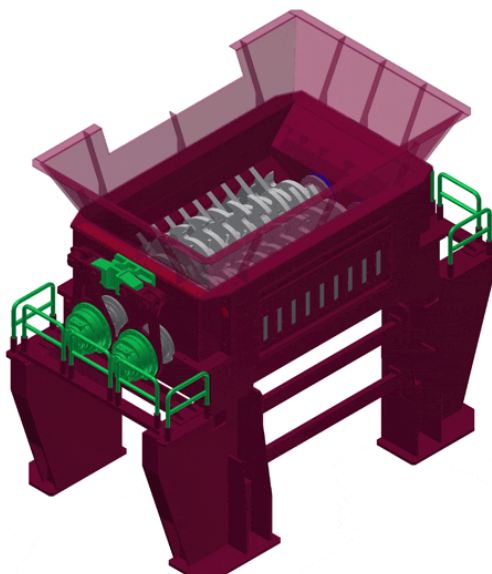
7.2.3 Shredder

For å utføre videre sorteringen på mest nøyaktig måte er det en fordel om avfallet består av en mindre størrelse. Ved hjelp av en shredder kan dette gjennomføres, i tillegg vil shredderen knuse avfallet slik at fraksjoner skiller seg fra hverandre.



Figur 19 Eksempel shredder ved avfallsanlegg (Direct Industry)

En shredder fungerer slik at avfallet blir ført mot roterende kniver eller kroker, som knuser og river avfallet i mindre deler, slik figuren nedenfor viser. Etter at avfallet er knust og revet fra hverandre fraktes det ut ved hjelp av et transportbånd.



Figur 20 Eksempel shredder (Promeco)

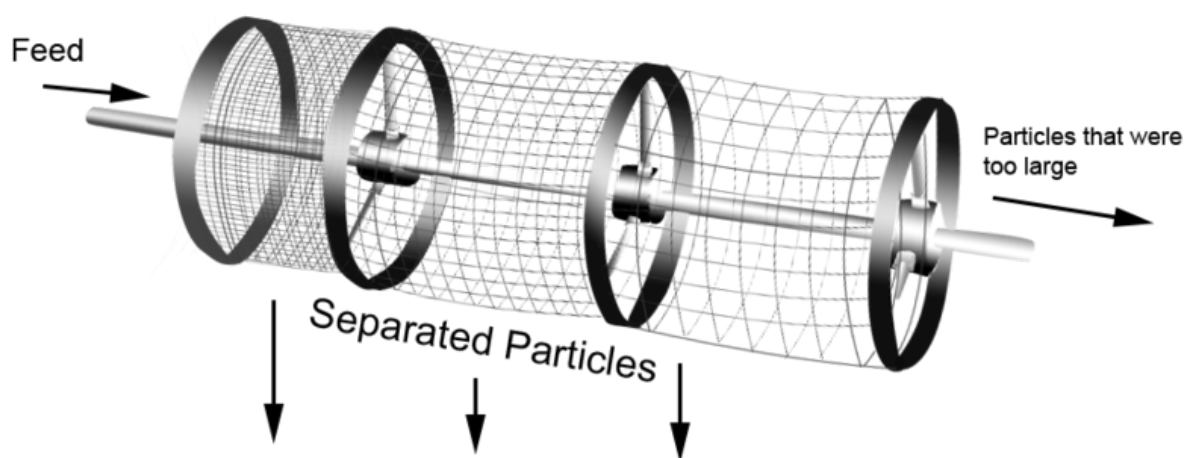
På markedet benyttes i dag shreddere ved grusanlegg og avfallsanlegg. Og utvalget av shreddere brer seg fra forskjellige kapasiteter til mulighet for å knuse stein og rive plast i biter. Det er designet shreddere som kan behandle avfall som vil befinne seg i deponier. Disse deler alt fra gummidekk, trevirke, metall, plast og mer. Shredderene finnes både som hydrauliske drevet og elektrisk.

Noen fraksjoner er det ikke mulig å knuse i shreddere, men disse tar shredderen selv ut når de setter seg fast ved knivene. På denne måten trenger man ikke sortere ut noen fraksjoner før de går til shredderen.

7.2.4 Magnet

Avfallet transporteres mellom shredder og til trommel ved hjelp av transportbånd. Over dette transportbåndet er det montert en magnet som tar ut jern.

7.2.5 Trommel



Figur 21 Prinsipp trommel

Trommelen består av en stor sylinder med hull i veggene, når denne roterer med avfallet inni vil mindre fraksjoner komme igjennom hullene, og de store fraksjonene vil kommet ut i enden av sylindere. En trommel består ofte av to sylindere med forskjellig hulldiameter, for å hente ut fraksjoner med forskjellig størrelse. Aktuelt for resultatet i denne oppgaven er størrelse på 0-50mm, 50-300mm og en størrelse >300mm som er den fraksjonen som kommer ut i enden. Fraksjonen >300mm sendes tilbake i prosessen og gjennom shredderen på nytt.

Når avfallet kommer inn i den roterende trommelen vil avfallet bli løftet opp langs veggene for så å falle ned mot bunnen igjen, dette vil i tillegg føre til at de forskjellige fraksjonene vil løse seg fra hverandre, og noen fraksjoner vil deles i mindre størrelser. Trommelen er designet slik at avfallet får en fremdrift fra der avfallet entrer sylindere til den andre enden, slik figuren ovenfor viser. Figur 20 viser en trommel som henter ut tre størrelser i tillegg fraksjonen med for store fraksjoner.



Figur 22 Trommel som ble benyttet ved Korperud Avfallsanlegg

Bildet ovenfor viser trommelen som ble benyttet under prosjektet ved Korperud Avfallsanlegg. Som vi ser av bildet til venstre skiller trommelen ut to størrelser av fraksjoner, en fin til venstre og en noe større til høyre. Bilde som er til høyre viser at det største avfallet går igjennom hele trommelen.

Etter trommelen vil avfallet sorteres i tre fraksjoner, fraksjonene $>300\text{mm}$ vil som tidligere nevnt gå tilbake til shredder. Videre prosess for fraksjonene $0-50\text{mm}$ og $50-300\text{mm}$ er beskrevet videre.

7.2.6 0-50mm

Avfallet i denne fraksjonen fraktes med transportbånd under en magnet som henter ut jern og videre til en Eddy Current separator som tar ut metaller. Det resterende avfallet, beskrevet som restfraksjon 1 i flytskjemaet, består i hovedsak av jord, småstein, noe glass, plast, trevirke og diverse.

7.2.7 50-300mm

Denne fraksjonen går via transportbånd til en ballistisk separator. Denne består av en skjev vibrerende plate med hull og flere nivåer. Når avfallet treffer denne platen vil fraksjoner med størrelse $0-50\text{mm}$ falle gjennom hullene. Videre vil flate, fleksible og lette fraksjoner bli løftet til toppen av platen og tatt ut. Dette er beskrevet som 2D i flytskjemaet. Rullende og tyngre fraksjoner havner i bunnen av platen og blir tatt ut, disse er omtalt som 3D i flytskjema.

Fraksjonene med størrelse $0-50\text{mm}$ blir transport til den delen av prosessen hvor denne størrelsen er tatt ut etter trommelen og får samme videre behandling.

3D fraksjonen går via transportbånd under er magnet og videre til en Eddy Current før vi får en restfraksjon, omtalt som restfraksjon 2 i flytskjema. Denne består av trevirke, plast og stein.

2D fraksjonen består av lettere plast, tekstiler og papir. Denne er omtalt som restfraksjon 3 i flytskjema.

7.2.8 Kapasitet

For å kunne beregne et tidsforbruk, og hvilken kapasitet den tekniske prosessen består av, benyttes erfaringer fra feltstudiet gjennomført ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg i tillegg til informasjon innhentet fra leverandør av sorteringsanlegg. Dette er et viktig ledd i å kunne se på økonomien knyttet til et LFM prosjekt i tillegg til hvilke ressurser som må benyttes.

7.2.8.1 Oppgraving

Ved oppgravingen er første steget fjerningen av toppmassen. Ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg ble det benyttet 2 timer til fjerning av en toppmasse på ca 80m³. Tilbakemeldingen fra de som utførte arbeidet sier at dette arbeidet kan utføres raskere. Grunnen til at det ble benyttet mer tid til dette ved testen var fordi det også ble benyttet tid til å finne ut hvor det skulle graves opp med hensyn på gassanlegg, og hvor toppmassen var mest håndterlig for oppgraving.

Ved oppgravingen av 25 tonn avfall ble det benyttet 2 timer. Mye av denne tiden ble benyttet til å vente på at dumper skulle frakte det oppgravde avfallet fra gravestedet til containere. Ved effektiv graving kunne de ansvarlige for oppgravingen fortelle at dette kan gjøre på i underkant av en time.

7.2.8.2 Sorteringsanlegg

Sorteringsanlegget bestående av shredder, trommel, ballistisk separator, magneter og Eddy Current separatorer har en kapasitet på 25tonn/time. Dette er informasjon fra møte med Steco, som er leverandør på slikt anlegg.

7.2.9 HMS

Ved LFM prosjekter er det mange hensyn knyttet til helse, miljø og sikkerhet (HMS). Operasjonen av utstyr som benyttes i den tekniske prosessen er viktig at utføres av fagarbeider innenfor dette. Ansatte med erfaring fra deponi og kunnskap om hvordan avfallet er håndtert ved deponering er nødvendig. Dette vil være med på redusere sannsynligheten for at farlige situasjoner kan oppstå. Forhåndsregler ved sikker oppgraving er viktig for å unngå farlige situasjoner.

Gjennom forberedende tester vil man kartlegge hvilke gassutslipp man kan forvente ved oppgraving av avfall. Det er viktig å ta hensyn til dette ved oppgraving da gasser kan være helseskadelige og eksplosjonsfarlige.

Området på deponiet hvor det foregår oppgraving må sikres i form av merkinger og annet som kan forhindre ulykker. I tillegg må regelverk som er gjeldene for arbeid på deponier følges.

7.3 Økonomiske resultater

Ved utnyttelse av den økonomiske modellen og ved de forutsetningen som er beskrevet i kapittel 6 Økonomisk modell, er det beregnet netto nåverdi, samt årlige driftsbudsjett for LFM prosjekt ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg. Det er også beregnet sensitiviteter.

7.3.1 Netto nåverdi

Et LFM prosjekt ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg vil benytte i overkant av 24 år på å gjennomføres. Netto nåverdien av prosjektet er på 2 207 000 NOK.

Netto nåverdi er beregnet etter følgende formel:

$$NNV = \sum_{t=1}^n \frac{\text{Kontantstrøm}}{(1+r)^t}$$

r – Avkastningskrav

n – Antall år

Det som er beskrevet som inntekter positive fraksjoner, er verdiene som er forventet som inntekt ved salg av oppgravde fraksjoner. Nedstrømskostnader er verdiene forventet som kostnad ved å føre fraksjoner til videre gjenvinning, for eksempel kostnad ved forbrenning. Forholdet mellom disse gir oss bruttofortjenesten.

Videre er det kostnadene knyttet til lønn og drift, som trukket fra bruttofortjenesten gir oss driftsresultat.

I tillegg kan det være år hvor vi har kapitalutgift, slik vi her har innkjøp av sorteringsanlegg. I dette leddet kan det også føres inn inntekter ved salg av maskiner eller annet. Etter dette får vi den årlige kontantstrømmen.

Nedenfor vises driftsbudsjettet som er utledet for Bjorstaddalen Avfallsdeponi. Årene 2020 til 2034 er skjult, men har like verdier som år 2019.

Deponi		Bjorstaddalen									
Resultatbudsjett		Tall i 1000									
		2015	2016	2017	2018	2019	2035	2036	2037	2038	2039
Inntekter positive fraksjoner		5 847	5 847	5 847	5 847	5 847	5 847	5 847	5 847	5 847	1 231
Jord/stein og glass		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jern		1 330	1 330	1 330	1 330	1 330	1 330	1 330	1 330	1 330	280
Metall		4 517	4 517	4 517	4 517	4 517	4 517	4 517	4 517	4 517	951
Plast		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Papp/Papir		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tre		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diverse		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nedstrømskostnader		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jord/stein og glass		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jern		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metall		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plast		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Papp/Papir		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tre		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diverse		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bruttofortjeneste		5 847	5 847	5 847	5 847	5 847	5 847	5 847	5 847	5 847	1 231
Lønnskostnader		-1 794	-1 794	-1 794	-1 794	-1 794	-1 794	-1 794	-1 794	-1 794	-378
Leie av utstyr		-504	-504	-504	-504	-504	-504	-504	-504	-504	-106
Energj		-981	-981	-981	-981	-981	-981	-981	-981	-981	-206
Vedlikehold		-304	-304	-304	-304	-304	-304	-304	-304	-304	-64
Driftsresultat		2 264	2 264	2 264	2 264	2 264	2 264	2 264	2 264	2 264	477
Kapitalutgifter		-20 000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kontantstrøm		-17 736	2 264	2 264	2 264	2 264	2 264	2 264	2 264	2 264	477
NNV		2 207									

Figur 23 Driftsbudsjett Bjorstaddalen Avfallsanlegg (År 2020-2034 er skjult)

7.3.2 Sensitiviteter

Det er sett på to sensitiviteter i denne oppgaven. Forholdet mellom jernprisen og metallprisen, og forholdet mellom jernprisen og forbrenningsprisen. Prisene er i NOK/tonn. Disse er sett på gjennom sensitivitetsmodellen og gir verdi på netto nåverdi.

7.3.2.1 Jernpris og metallpris

Tabell 15 Sensitivitet jernpris og metallpris (NNV tall i 1000)

Metall/Jern	500	750	1 000	1 250	1 500
3 793	21 744	18 751	15 757	12 763	9 769
5 293	12 763	9 769	6 775	3 781	787
6 793	3 781	787	2 207	5 201	8 194
8 293	5 201	8 194	11 188	14 182	17 176
9 793	14 182	17 176	20 170	23 164	26 158

Som vi ser fra prissensitiviteten vil prisen på jern og metall kunne påvirke netto nåverdien fra en negativ verdi, uttrykt ved rød skrift, til positiv verdi som er i sort. Den blå cellen viser verdien som er i den økonomiske modellen.

7.3.2.2 Jernpris og forbrenningspris

Tabell 16 Sensitivitet jernpris og forbrenningspris (NNV tall i 1000)

Forbrenning/Jern	500	750	1 000	1 250	1 500
-400	70 502	67 508	64 514	61 520	58 526
-300	53 822	50 828	47 834	44 840	41 846
-200	37 142	34 148	31 154	28 160	25 166
-100	20 461	17 467	14 474	11 480	8 486
0	3 781	787	2 207	5 201	8 194

Som vi ser fra prissensitiviteten vil prisen på jern og forbrenning kunne påvirke netto nåverdien fra en negativ verdi, uttrykt ved rød skrift, til en positiv verdi som er i sort. Den blå cellen viser verdien som er i den økonomiske modellen.

8 Diskusjon

Formålet med denne oppgaven er å sette opp den tekniske prosessen som er mest hensiktsmessig for et LFM prosjekt, og med utgangspunkt i denne prosessen se hvilke økonomiske muligheter det er for å utføre slike prosjekter ved norske deponier.

Gjennom dette kapittelet vil det diskuteres alternative løsninger, svakheter og styrker i de resultatene som er presentert og gjennom metoden som er blitt benyttet.

8.1 Metode

Feltstudiet som ble utført ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg innebar kun oppgraving av avfall fra et sted på deponiet. Dette kan ha begrenset hvilke fraksjoner vi gravde opp. Dette avfallet er antakelig deponert over en kortere tidsperiode og kan komme fra den samme industrien, noe som begrenser informasjonen om andelene fra hele deponiet. For å kunne utført oppgraving flere steder på deponiet ville det krevd mer tid og ført med seg større kostnader. Flere oppgravinger ville gitt bedre kunnskap om andelen fraksjoner, men det ville ikke gitt oss mer kunnskap om hvordan den tekniske utførelsen skal utføres.

For å kunne danne et bedre bilde av andelen fraksjoner og flere erfaringer rundt oppgravingsprosessen, kunne tester ved flere deponier også vært å foretrekke. Dette ville vært en for tidkrevende prosess i denne oppgaven.

Sorteringen av avfallet i feltstudiet ble kun gjennomført ved metallsorteringsanlegg, og benyttet ikke trommel, shredder og ballistisk separator som også er ledd i resultatet fra teknisk prosess. Disse prosessene ville gitt bedre kunnskap rundt utledningen av den tekniske prosessen. Skulle disse prosessene også vært benyttet ved feltstudiet ville det vært nødvendig å frakte avfallet mellom flere avfallsanlegg, hvor mulighetene for bruk av slik utstyr kunne blitt benyttet. Kostnadene og tiden begrenset muligheten for dette i denne oppgaven.

Problemer knyttet til fuktigheten i avfallet som ble sortert ved feltstudiet kunne vært unngått ved å tørke avfall før behandlingen ved sorteringsanlegget. Dette kunne ført til bedre og mer nøyaktig sortering.

Gjennomføringen av de kvalitative samtalene ble gjort på et mindre utvalg, og hvor flere er i tilknytning til NGN. Dette kan ha ført til at noe av resultatene som er hentet fra samtalene gjenspeiler de prosesser NGN allerede benytter, og har kunnskap om.

8.2 Tekniske muligheter

8.2.1 Prosess

Begrunnelsen for valg av den prosesslinje som fremstår under resultat er gjort med bakgrunn i de erfaringen som ble gjort ved testen i Bjorstaddalen. I tillegg gjennom samtaler med ressurspersoner fra NGN, leverandør av maskiner og andre med kunnskap rundt avfallssortering. Selv om prosesslinjen er designet for Bjorstaddalen Avfallsanlegg vil det gi en god indikasjon på hvordan linjen bør se ut ved andre LFM prosjekter i Norge.

Som et første ledd i prosessen er oppgravingen av avfallet med gravemaskin. Til sammenligning med tidligere erfaringer fra Sverige, Belgia og Korperud er dette mest hensiktsmessige metoden for å få opp avfallet (Gärstad, REMO). Alternativet som er benyttet ved deponi i USA, er å benytte en bulldoser til å skrape avfallet foran seg og frem til en gravemaskin som graver dette opp i lastebil (Innovative Waste Consulting Services, 2009). Denne metoden kan fungere ved deponier hvor svært store andeler er jord og stein, i tillegg til tørre forhold. Ved slike forhold vil ikke bulldoser synke ned i avfallet. Ved norske deponier er ikke forholdene slik at denne metoden kan benyttes.

Slik avfallet fremstod ved testen så vi nødvendigheten av at dette må sorteres med klype før avfallet kan gå videre i sorteringen. Mye kabler, større trefraksjoner og annet stort avfall vil det være nødvendig å ta ut før avfallet sendes gjennom shredder. Ved det samme prosjektet nevnt ovenfor i USA så de også nødvendigheten av å sortere ut større fraksjoner før videre sortering (Innovative Waste Consulting Services, 2009). Men ved dette prosjektet ble det benyttet hjullaster til å hente ut de store fraksjonene, på lik linje med bruk av bulldoser vil ikke en hjullaster kunne kjøre over avfallet i norske deponier slik avfallet fremstår. Bildet nedenfor viser hvordan forholdene er ved deponiet i USA, og man kan se at andelen av jord og stein er større, samt tørrere forhold enn bildene fra Bjorstaddalen viser.



Figur 24 Utsortering av større fraksjoner ved deponi i USA (Innovative Waste Consulting Services, 2009)

Valget for bruk av shredder er at mindre størrelse på avfallet fører til lettere sortering videre, og da i stor grad metallene som det er mest ønskelig å hente ut. Shredder er mye brukt i avfallshåndtering, men har ikke vært utnyttet i like stor grad ved tidligere LFM prosjekter. Begrunnelsen for dette ligger i hvilken hensikt man har for prosjektet. Mange historiske prosjekter har hatt stort fokus på å hente ut jord og steinfraksjonen og benytte denne til gjenbruk for så å deponere resten igjen. Av den grunn har kun bruk av trommel kunne gitt mye av de fraksjonene de har vært ute etter. Fra disse tidligere prosjektene har kun større gjenvinnbare materialer blitt sortert ut ved oppgravingen, det har ikke vært benyttet store sorteringsanlegg til videre sortering.

For å skille avfall i størrelse er det også mulighet til å benytte vibrerende rist, fremfor trommel, slik vi benyttet i vår test ved Esva Miljøpark. Etter de problemene vi erfarte vil trommel være anbefalt å benytte fremfor rist, noe som også bekreftes ved tidligere nevnte prosjekt fra USA (Innovative Waste Consulting Services, 2009). De benyttet både trommel og rist under deres prosjekt, og rapporterer om mer effektivitet ved bruk av trommel, og mindre problemer knyttet til driften av denne. Men risten kunne vise til noe bedre størrelse sortering.

For å kunne skille ut metallene er man avhengig av bruk av magneter og Eddy Current separatorer. Dette er utstyr som ikke er utbredt å benytte ved LFM, på samme bakgrunn som shredder, fordi formålet ved tidligere prosjekter ikke har vært knyttet til å hente ut store deler av metallene. For å kunne oppnå økonomiske

muligheter for LFM er man i Norge avhengig av å kunne hente ut mesteparten av metallene fra deponiet.

Fuktigheten i avfallet vi opplevde under feltstudiet ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg var i tillegg til de store plastremene med på å skape problemer for sorteringen. Resultatet over den tekniske prosessen i denne oppgaven inneholder ingen form for tørking av avfallet. Utstyr som benyttes i dag ved tørking av avfall er store tromler med forskjellige temperaturer, og det er en tidkrevende prosess. Disse er benyttet mye før avfall skal deponeres for å få ned mengden som blir lagt på deponier, dette er utbredt i de landene som fortsatt opererer med deponering av avfall. Prosessen benyttes rundt en uke før avfallet er tørket og fuktighetsnivået i avfallet synker fra omtrent 45% til 10% (Vandenbroeck International, 2014). En tørr masse vil gjøre sorteringsarbeidet lettere, og større andeler vil kunne skilles fra hverandre. Begrunnelsen for å ikke ha tørkeanlegg i prosesslinjen er med bakgrunn i utstyret og tiden som kreves. Noe tørking av avfallet vil foregå ved bruk av trommel, hvor avfallet er i bevegelse. I tillegg til benyttelse av shredder, er det sannsynlig av avfallet har god nok funksjonalitet for videre sortering. Etter at avfallet har vært gjennom shredderen er det også anledning for å legge avfallet under tak, i for eksempel et telt. Ved å la avfallet tørke en uke, hvor man vender på avfallet daglig vil avfallet være tørrere og lettere å sortere videre. Det er også mulighet for å legge avfallet utover gulv med dyser som kan blåse luft gjennom avfallet for å øke effektiviteten på tørkingen. Løsningen med å tørke avfall i telt, krever stor areal og er tidkrevende, men vil gi bedre resultat i den videre sorteringen.

Fraksjonen med størrelse 50-300mm etter bruk av trommelen i prosessen går videre til den ballistiske separatoren. Her har det gjennom prosjektet også vært vurdert løsninger for bruk av vannbad. Et vannbad vil skille flytende og synkende fraksjoner fra hverandre. Gjennom møte med leverandør av vannbad beskrives bruk av vannbad som vanskelig i Norge. Som beskrevet i resultatet er sorteringsanlegg ofte ute, og kun innebygd av tak, og dermed vil temperaturen på vinteren føre til at vannet kan fryse. Dette vil begrense bruken av et vannbad gjennom den perioden hvor temperaturen ikke tillater dette. Avfall som har vært deponert fremstår også som veldig møkkete, i form av mye jord og sand, noe som fører til mye slam i vannet. Da kreves jevnlig utskiftning av vannet, som er tidkrevende og begrenser kapasiteten på anlegget.

Restfraksjonen som er beskrevet som nummer 2 under resultatet, består som tidligere nevnt i hovedsak av plast, trevirke og stein. Plast er en fraksjon det er etterspørsel på, og ved hjelp av optisk sortering kan plasten hentes ut fra denne restfraksjonen. Da kan også plasten sorteres innenfor forskjellige plasttyper. Denne

prosessen er ikke tatt med i resultatet fordi dette krever mye utstyr som er kostbart, samt usikkerheten om kvaliteten på plasten er ren nok til å kunne benyttes som materialgjenvinning uten å ha noen form for rengjøring først.

8.2.2 Kapasitet

Kapasitetene som er presentert i resultatet er basert på drift ved deponiet og kun benyttelse av et sorteringsanlegg oppgitt med kapasitet på 25 tonn/time. Kapasitetene som er oppgitt vil kunne variere med hensyn på hvordan avfallet fremstår når det kommer til maskinen. Mye uhåndterlig avfall kan føre til at noe setter seg fast både ved shredder og trommel, dette vil begrense kapasiteten ved at dette må fjernes manuelt.

Sorteringsanlegget kan også oppgraderes slik at kapasiteten øker, dette i form av flere maskiner til å utføre sorteringen. Eller benytte større maskiner med høyere kapasitet. Ved en høyere kapasitet på sorteringsanlegget er det også nødvendig å øke kapasiteten på oppgravingen. Ved å sette inn en ekstra gravemaskin og ansatt vil det kunne graves opp 50 tonn/time. Ved en høyere kapasitet på sorteringsanlegget vil det derfor være av nødvendighet og også ha en kapasitet på 50 tonn/time på dette, for at det ikke skal oppstå noen flaskehals i prosessen.

8.3 Økonomisk muligheter

Det er flere usikre faktorer knyttet til økonomien til et LFM prosjekt. Som tidligere nevnt er andelen av fraksjoner og kvaliteten på disse usikre faktorer. Prisen på metallmarkedet er i kontinuerlig bevegelse og kostnaden til forbrenning er på vei nedover, noe som påvirker økonomien i stor grad. Også grunnet usikkerheten til gjenbruken av jord/stein- og glassfraksjonen er det vanskelig å anslå verdien på denne. LFM prosjekt vil ta flere år og prisene på markedene kan endre seg stor over så lange perioder.

8.3.1 Pris

Som beskrevet i kapittel 3.4 Pris er det svingninger i metallmarkedet, og som beskrevet der for rene varer. Kvaliteten på metallene som har vært deponert er ikke rene varer og kan ikke oppnå lik pris som disse. I den økonomiske modellen er det tatt utgangspunkt i priser som oppnås ved Esval Miljøpark. Ved studie beskrevet i kapittel 3.6.4 *Gårstad landfill* er det tatt utgangspris i prisene man oppnår for rene varer. Disse prisene ligger omtrent på det dobbelte av de prisene som er benyttet i denne oppgaven. For det svenske studiet er det også tatt prisen for metaller som grunnstoff og ikke blandende kvaliteter slik metall fremstår som materialer. Ved at

det i modellen benyttes priser som fremstår i markedet vil det gi et mer korrekt bilde av de inntektene som kan forventes.

Det er i denne oppgaven kun hentet inn priser fra Norsk Gjenvinning Metall. Dette er utført med bakgrunn i at dette er den aktuelle oppkjøperen av metall ved et prosjekt som vil bli utført av NGN. Gjennom test av metaller ved Norsk Gjenvinning Metall fikk vi også kunnskap om hvilke priser vi kan forvente. Skulle priser hentes inn fra andre aktører ville det vært hensiktsmessig å besøke disse med de metallene vi tok ut fra testen og foreta samme prosedyre som vi gjorde i feltstudie. Dette ville vært for tidkrevende i denne oppgaven.

For resterende avfall er fremtidige formål mer usikkert. Det er ønskelig å kunne benyttet jord/stein og glassfraksjonen, som er restfraksjon 1 fra resultat, til toppdekke eller ved anleggsarbeider. Per i dag kreves det en masse fri for tungmetaller og annet avfall for at fraksjonen kan benyttes til dette. Gjennom den beskrevne tekniske prosessen i denne oppgaven vil man ikke oppnå denne kvaliteten, og kan dermed ikke selge denne fraksjonen. Det arbeides i dag ved Esval Miljøpark om muligheten til å benytte en slik fraksjon til gjenbruk, men det er ikke kommet noen avklaring på dette enda.

For restfraksjon 2 og 3, som består i hovedsak av plast, tre, papir og tekstiler er videre gjenvinning et uklart område. I resultatet er det tatt som forutsetning at disse fraksjonene kan legges tilbake til deponiet, og dermed verken ha positiv eller negativ verdi. I følge Deponiforskriften kommer det ikke tydelig frem om dette er lovlig. Forskriften hindrer opprinnelig slikt avfall fra å deponeres, men sier ikke noe om avfall som allerede har vært deponert. Gjennom jevnlig kontakt med Miljødirektoratet gjennom denne oppgaven har jeg prøvd å få et svar på dette spørsmålet, uten at de har kunne svare direkte ja eller nei. Et annet alternativ er å benyttet disse fraksjonene til forbrenning med energiutnyttelse. Kostnaden knyttet til forbrenning i Norge var i 2011 mellom 400-500 NOK/tonn, mot 200-400 NOK/tonn i Sverige (Mepex, 2011). Med denne kostnaden ser vi av resultatet fra sensitivitet at netto nåverdien av et LFM vil kunne være negativt.

Et annet formål for videre utnyttelse av disse fraksjonene er ved produksjon av pellets som har høy brennverdi, og kan benyttes til energiutnyttelse. Dette er i Norge utbredt ved bruk av trevirke, men i Europa blir det også benyttet avfall til dette, under begrepet Refuse derived fuel (RDF). Dette er ikke så utbredt i Norge, med det kan være aktuelt å levere disse fraksjonen, uten noen kostnad, til anlegg hvor dette produseres.

8.3.2 Økonomisk støtte

Som et tilskudd til å kunne utføre LFM prosjekt har det ved tidligere prosjekter i Europa vært gitt statlig støtte for hvert tonn avfall som har blitt gravd opp, sortert og gjenvunnet. Med de miljømessige fordelene LFM fører med seg kan en slik statlig støtte også være aktuell her til lands. Gjennom dette prosjektet er det ikke sett på muligheten for søknad om dette.

Det kan forventes at eier av deponier har av interessert å bidra til å dekke kostnadene knyttet til et prosjekt. Aktuelt for dette studiet er Skien kommune eier av Bjorstaddalen Avfallsanlegg. Ved utføring av LFM ved dette anlegget vil de få anledning til å benytte arealet hvor deponiet har vært. Dette kan være i form av industribygg, park- og idrettsområde eller annet. Verdien knyttet til videre arealutnyttelse er ikke tatt hensyn til i de økonomiske resultatene i denne studien. Eieren av deponiet vil også kunne spare kostnader knyttet til fremtidig drift av gass- og sigevannsanlegg.

8.3.3 Andel

Ved norske deponier er det liten oversikt over hvilke fraksjoner som er deponert gjennom tiden, noe som fører til at andelen av fraksjoner må anslås. Gjennom vårt resultat er andelen anslått med bakgrunn i de observasjonene som ble gjort under feltstudiet. I tillegg er det sett på resultater fra tidligere tester om dette stemmer overens. Ved tabell 3 er ikke andelen stein/jord medberegnet, men gjennom et dansk studium viser de til en oversikt hvor andel stein/jord ved deponier er 50% (Renosam, 2009). Dette stemmer godt overens med den andelen vi har observert. Fra tabell 3 kan vi se at gjennomsnittlig andel plast er på 9% hvor vi observert om lag 15%. Som vi ser ut fra tabellen varierer også andelen mellom de forskjellige prosjektene medberegnet, dette kan vise at vårt resultat kan stemme. Til sammenligning med tabellen for papir ligger vårt resultat noe lavere, 18,1% mot 10%. I Norge har papirgjenvinningen vært god over lengre tid og kan begrunne hvorfor våre observasjoner ligger noe lavere enn ved utenlandske prosjekter.

Andelen av de forskjellige metallene i modellen baserer seg på funnene som ble gjort ved testen i Bjorstaddalen. Disse er gjort ut fra en mengde metaller på 20kg, noe som gir et usikkert bilde på andelen av metallene. En mer nøyaktig kartlegging av dette er gjort ved studiet i Gärstad. Blant de store forskjellene er mengden aluminium, hvor i følge deres studie viser til en andel på 32% aluminium, hvor til sammenligning fra denne testen kun er funnet 2,84%. Dette utgjør en stor mengde, som også viser seg på den økonomiske siden. Ved testing ved nye deponier vil andelen metaller i modellen oppdateres til mer nøyaktige verdier.

8.3.4 Kapasitet

Det kan utføres en større investering for å kunne ha et sorteringsanlegg med større kapasitet. Det vil som tidligere beskrevet da være hensiktsmessig å doble kapasiteten til 50 tonn/time. Ved å benytte den økonomiske modellen til å endre forutsetningene til å inneholde to sorteringsanlegg og endre driftskostnadene til det dobbelte gir det en netto nåverdi på 3 722 000 NOK. Det er da forutsatt en investeringskostnad i anlegg på 30 millioner. Da vil prosjektet benytte 13 år på og utføres. Det er ikke i denne studiene sett på om det er mulig å gjennomføre et slik fordobling av kapasiteten ved et anlegg. Det er heller ikke innhentet pris på kostnaden knyttet til et anlegg med denne kapasiteten.

9 Konklusjon

I følge dette studiet vil det anbefales å gjennomføre LFM prosjekt ved Bjorstaddalen Avfallsanlegg ved de gitte forutsetningene. Netto nåverdi gir totalverdien av prosjektet målt i dagens pengeverdi, og med et resultat på 2 207 000 NOK bør prosjektet utføres.

Gjennom sensitivitetsanalyse kan det konkluderes med at prisen på jern og metaller, samt kostnadene knyttet til videre behandling av andre fraksjoner påvirker netto nåverdien. Disse prisene variere med markedet og fører til at andre priser enn de som er forutsatt i denne oppgaven kan gi en annen netto nåverdi. Det er også forskjellige løsninger for videre behandling av andre fraksjoner enn jern og metall, som vil gi forskjellig verdi for netto nåverdien.

Den utledede økonomiske modellen er et verktøy NGN kan benytte videre i sitt arbeid knyttet til økonomiske muligheter for LFM ved nye deponier.

Resultatet fra den tekniske prosessen viser at LFM prosjekter kan utføres. Den mest hensiktsmessig prosessen er å benytte gravemaskin til oppgraving av avfallet og til utsortering av større avfall før det videre sorteres. Videre vil et sorteringsanlegg bestående av shredder, trommel, ballistisk separator, magneter og Eddy Current separatorer kunne sortere ut jern og metaller. I tillegg sortere ut en fraksjon bestående i hovedsak av jord, sand og glass. Videre en fraksjon av plast, trevirke og stein og en fraksjon bestående av plast, tekstil og papir.

10 Videre anbefaling

I det videre arbeidet må det kartlegges hvilke alternativer det er for gjenvinning av fraksjonene som ikke består av jern og metaller etter sorteringen. Hva Avfallsforskriften sier om å legge tilbake noe av avfallet må Miljødepartementet gi et klart svar på. Kostnadene knyttet til forbrenning fører til negativ netto nåverdi, så alternativer til annet gjenvinning må sees på. Muligheter for å få bidrag til kostnadene ved forbrenning fra staten.

Det må søkes til Miljødepartementet om å få gjenvinne jord, stein og glass fraksjonen i form av gjenbruk, eller forhøre seg om hvilke løsninger som er alternativ for denne fraksjonen.

Det må videre kartlegges om staten vil bidra med støtte til å utføre slike prosjekter. De gode miljøtiltakene som LFM prosjekter bidrar med må ligge som grunnlag for en diskusjon om støtte.

Møter med Skien kommune, som er eier av Bjorstaddalen Avfallsanlegg, bør gjennomføres for å høre hvilke økonomiske bidrag de eventuelt vil stille med ved et LFM prosjekt ved deres deponi. Deretter må en ny økonomisk utledning gjennomføres for å se hvilken muligheter som ligger til rette.

En mer omfattende feltstudie bør utføres for å innhente mer informasjon om andelene av fraksjoner. Dette vil skape mer sikkerhet knyttet til forventede inntekter. Et studie bør også innebære test av hele den tekniske prosessen. Ved utførelse av dette vil man gjøre flere erfaringer som kan være nyttig ved videre utvikling av prosessen.

Litteraturliste

Augenstein, D, 1992. *"The greenhouse effect and US landfill methane"*. *Globale Environmental Change Issue* 4.

Barlaz, M., Ham, R.K & Schaefer, D.M., 1988. *Bacterial Population Development and Chemical Characteristics of Refuse Decomposition in a Simulated Sanitary Landfill*. Madison, USA: Department of Civil and Environmental Engineering. Lokalisert 27.9.2013 på World Wide Web:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC184054/pdf/aem00094-0075.pdf>

Barlaz, M, 2006. *"Forest products decomposition in municipal solid waste landfills"*. *Waste management* 26. Lokalisert 04.10.2013 på World Wide Web:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16406564>

Berge, Brimi, Drange, Dørheim, Eliassen, Fremo, Frøland, Hancke, Hansen, Hole, Holt, Kjøgglum, Martinsen, Moltzau, Nag, Neerland, Salomonsen, Sigesmund, Tronstad, Ulla, Valved, Østebrød og Ottesen, 2007. *Måling og vurdering av gassutlekking fra den nedlagte avfallsfyllingen i Fredlydalen, Trondheim*. Rapport nr 2007.014. Lokalisert 24.10.2013 på World Wide Web:

http://www.ngu.no/FileArchive/237/2007_014.pdf

Bingemer, H.G. & Crutzen, P.J., 1987. *The Production of Methane From Solid Wastes*. *Journal of Geophysical Research* 92. Lokalisert 27.9.2013 på World Wide Web:

http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/artigos_dissertacoes/bingemer_crutzen.pdf

Bogner, J., 1992. *Anaerobic burial of refuse in landfills: increased atmospheric methane and implications for increased carbon storage*. København: Ecological Bulletins. Lokalisert 27.9.2013 på World Wide Web:

<http://www.jstor.org/discover/10.2307/20113110?uid=3738744&uid=2129&uid=2134&uid=2478583987&uid=2478583977&uid=2&uid=70&uid=3&uid=60&sid=21103391806507>

De forente nasjoner (FN), 2012. *World Population Prospects: The 2012 Revision*. Lokalisert 23.9.2013 på World Wide Web:

http://esa.un.org/unpd/wpp/unpp/panel_population.htm

Direct Industry, ukjent år. *One shaft mobile waste shredder*. Lokalisert 10.11.2013 på World Wide Web: <http://www.directindustry.com/prod/komptech/one-shaft-mobile-waste-shredders-62674-633920.html>

Findikakis, A., Halvadakis, C., Leckie, J. & Papelis, C., 1988. "Modelling Gas Production in Managed Sanitary Landfills". *Waste Management and Research* 6. Lokalisert 28.9.2013 på World Wide Web:

<http://wmr.sagepub.com/content/6/1/115.abstract>

Forskrift om deponering av avfall (Deponiforskriften). 2002. Lovdata

Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall (Avfallsforskriften), 2009. Lovdata.

Innovative Waste Consulting Services, 2009. *Landfill Reclamation Demonstration Project*. Florida: Florida Departement of Environmental Protection

Hellevik, O., 2002. *Forskningsmetode i sosiologi og statsvitenskap*. 7. Utgave. Oslo: Universitetsforlaget.

Johannesen, A., Kristoffersen, L. & Tufte, P.A., 2011. *Forskningsmetode for økonomiske-administrative fag*. Oslo: Abstrakt

Kleffelgård, Tore, 1999. *Beregningsmodell for utslipp av metangass fra norske deponier – historiske og framtidige utslippsmengder*. Rapport 99:16. Oslo: Statens forurensningstilsyn

Klima- og forurensningsdirektoratet, 2009. *Deponiforbud kutter klimagassutslipp*. Lokalisert 02.10.2013 på World Wide Web:

http://www.miljodirektoratet.no/no/Nyheter/Nyheter/Old-klif/2009/Juni_2009/Deponiforbud_kutter_klimagassutslipp/

Lorentzen, Stein, 2012. *Miljøgifter i sigevann*. Rapport nr 2/2012. Oslo: Avfall Norge

Lov om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern mv. (Arbeidsmiljøloven). 2014. Lovdata.

Lov om vern mot forurensninger og om avfall (Forurensningsloven). 2013. Lovdata.

Mepex, 2011. *Foreløpig evaluering av fjerning av sluttbehandlingsavgift på forbrenning*. Lokalisert 13.9.2013 på World Wide Web:

<http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2983/ta2983.pdf>

Micales, J. A. & Skog, K.E, 1996. *The Decomposition of Forest Products in Landfills*. Madison, USA: USDA Forest service.

Miljødirektoratet, 2013. *Avfall og gjenvinning*. Loalisert 17.12.2013 på World Wide Web: <http://www.miljostatus.no/Tema/Avfall/Avfall-og-gjenvinning/>

Miljødirektoratet, 2012. *Avfallsdeponering*. Lokalisert 25.9.2013 på World Wide Web: <http://www.miljostatus.no/Tema/Avfall/Avfall-og-gjenvinning/Avfallsbehandling/Avfallsdeponering/>

Oslo kommune, 2013. *Oslo kommune fraråder bruk av Langøyene*. Lokalisert 14.10.2013 på World Wide Web: <http://www.bymiljoetaten.oslo.kommune.no/article.php?articleID=255267&categoryID=50377>

Promeco, ukjent år. *Promeco primary shredders- Premier Series*. Lokalisert 10.11.2013 på World Wide Web: http://www.promeco.it/en/trituratore_primario.html

Renosam, 2009. *Landfill mining*. Lokalisert 29.9.2013 på World Wide Web: http://www.renosam.dk/c/document_library/get_file?uuid=4fab39e5-034c-4a08-bfc0-3924b53505cd&groupId=19854

Returkraft, 2013. *Avfallshierarkiet*. Lokalisert 17.12.2013 på World Wide Web: <http://returkraft.no/miljo>

Statistisk sentralbyrå, 2013. *Avfallsregnskapet 2011*. Lokalisert 23.9.2013 på World Wide Web: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/avfregno/aar>

Statistisk sentralbyrå, 2013. *Avfallshåndtering ved avfallsanlegg, 2011*. Lokalisert 25.9.2013 på World Wide Web: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/avfhand/aar/2013-02-06#vedleggsartikkel-1>

Tanha. A & Zarate.D, 2012. *Landfill Mining: Prospecting metal in Gärstad landfill*. Masteroppgave. Linköping: Linköpings universitet

Torstenson, Inge, 1997. *Fra Nattmann til Renholdsverk*, Oslo: ProArk AS.

Ukjent forfatter, 2013. "Avfallsmarkedet". *Kretsløpet 3*.

Vandenbroek international, 2014. *Refuse Derived Fuel*. Lokalisert 10.11.2013 på World Wide Web: <http://www.vadeb.com/fileadmin/vandenbroek/pdf/EN/brochure-rdf-drying-UK.pdf>

Vedlegg

Vedlegg I: Økonomiske modell

Ligger vedlagt på USB-pinne

Vedlegg II: Resultat Bjorstaddalen Avfallsanlegg

Ligger vedlagt på USB-pinne

Vedlegg III: Sensitiviteter

Ligger vedlagt på USB-pinne



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no