



UiT Norges arktiske universitet

Fakultet for naturvitenskap og teknologi

Institutt for fysikk og teknologi

Klimanøytral miljøpark – en vurdering av kostnader og nytteverdi for klimagassreducerende tiltak

Petter Hofstad Strand

Masteroppgave i energi, klima og miljø – EOM 3901 – Desember 2020

Abstrakt

Remiks AS har gjennom flere år gjort en kartlegging av klimagassutslipp knyttet til egen virksomhet. På bakgrunn av dette er det iverksatt flere tiltak på aktuelle områder som har blitt identifisert. Det er i midlertidig ikke sikkert at investeringene som er gjort er de mest effektive tiltakene om man vurderer kostnadene mot klimanytten. Denne studien vil vurdere tiltakene solenergi, biodrivstoff, biogass, nedstrømspartnere, ettersortering av avfall og hydrogenbatteri. Studien vil videre gå inn i de forskjellige tiltakene som er kartlagt for å sammenligne kostnadene mot klimanytten. Dette gjelder de fleste tiltakene utenom behandlingsmetoder for avfall. Her er bare klimanytten vurdert, ved å sammenligne flere forskjellige metoder på utvalgte avfallsfraksjoner. Statistikken som blir brukt i denne oppgaven er hentet inn fra Remiks sin egen vektstasjon. Det er brukt en programvare kalt PVsyst for å kartlegge mulighetene for å produsere egen energi på eiendommen med bruk av solceller. En annen programvare som er brukt i denne studien er Sima Pro Share and Collect, som er en programvare for livssyklusanalyser laget for avfallsbransjen.

Tiltakene som er vurdert i denne studien er solenergi, biodrivstoff, biogass, nedstrømspartnere, ettersortering av avfall og hydrogenbatteri. Fra undersøkelsene kommer det fram at biodiesel er et godt tiltak for å redusere klimagassavtrykket til bedriften, uten å måtte investere i nye biler. I tillegg gir salg av biogass som drivstofferstatning en reduksjon i klimagassutslipp, samtidig som det er en god løsning på organisk avfallsbehandling. Hydrogenceller er en annen teknologi som har potensial til å spare drivstoff på kjøretøyene til Remiks, men videre undersøkelser kreves for å kunne konkludere med noe sikkert. Det kommer også fram at valg av riktige avfallsbehandlingsmetoder har mye å si for klimaavtrykket til avfallet. Et tiltak som kan øke mengden avfall som blir materialgjenvunnet er ettersortering. Dette er et stort investeringstiltak som bør vurderes grundig og helhetlig før man vedtar noe. Til slutt er det, for flere av disse tiltakene, en anbefaling om videre arbeid for å kartlegge andre klimapåvirkninger som ikke er blitt vurdert i denne oppgaven.

Forord

Ord kan ikke beskrive hvor takknemlig jeg er ovenfor alle som har brukt av tiden sin for å hjelpe meg gjennom studiene, og spesielt denne oppgaven. Jeg vil starte med å rette en takk til UiT og hovedveilederen min, Tobias Boström, for å ha gitt meg muligheten til å skrive denne oppgaven, samt veiledningen jeg har fått på veien. Jeg vil også rette en stor takk til Ronald Hardersen for tiden og de gode ressursene han har delt med meg. En av disse var Johannes Hojem, som jeg også vil takke for masse god informasjon og innspill til oppgaven. Det hadde vært vanskelig å komme i mål uten dette.

Jeg vil så rette en spesiell takk til Remiks AS for å gå til engasjement av denne oppgaven. Det har vært utrolig spennende å få jobbe sammen med dere på et interessant og dagsaktuelt tema. Jeg vil her starte med å rette en stor takk til bedriftsveilederen min, Sigve Rasmussen, som har brukt masse tid og ressurser på denne oppgaven. Veiledningen og informasjonen jeg har fått har vært helt uvurderlig. Videre vil jeg takke Julie Nygård og Martin Torheim for all hjelpen de har gitt i arbeidet med biogass. Det var helt avgjørende for gjennomføring av kapittelet. Jeg vil så takke resten av kollegaene jeg har jobbet med hos Remiks; Øyvind Østbø, Carl Henrik, Espen Nikolaisen, Nikolas Nyhagen og Mathias Pettersen, for mange gode innspill, ressurser og støtte.

Gjennom disse årene som student har jeg blitt godt kjent med to helt fantastiske medstudenter, Ina Løvvold og Hannes Witt. De har vært to utrolig gode støttespillere gjennom godt og vondt de siste årene, og jeg hadde ikke vært hvor jeg er i dag uten dem. Tusen takk for all hjelpen og tiden vi har brukt sammen. Det har vært en utrolig spennende reise gjennom studiene sammen.

Til slutt vil jeg takke mine nærmeste for all støtten jeg har fått gjennom studietiden. Jeg vil da spesielt takke kjæresten min, Embla Valum, for alt hun har gjort for meg, og støtten gjennom en vanskelig studietid. Foreldrene mine, Janne Hofstad og Norvald Strand, for alt de har gjort for meg. Jeg håper jeg klarer å gjøre dere stolte. Jeg vil også takke besteforeldrene mine, Helga og Alf Strand for alt de har gjort for meg. Og til sist, men ikke minst, brødrene mine, Sivert og Sander Strand for all støtte og oppmuntring de har gitt gjennom årene.

Innholdsfortegnelse

Klimanøytral miljøpark – en vurdering av kostnader og nytteverdi for klimagassreducerende tiltak.....	i
Abstrakt.....	iii
Forord.....	iv
1 Innledning.....	1
1.1 Formål.....	2
1.2 Begrensninger.....	2
1.3 Struktur.....	3
2 Teori.....	5
2.1 Remiks AS.....	5
2.2 Solenergi.....	6
2.2.1 Solcellen.....	6
2.2.2 Temperatur.....	8
2.2.3 Moduler.....	8
2.2.4 Optimalisering av moduler.....	9
2.2.5 Skygning.....	10
2.2.6 Ytelsesforhold.....	10
2.2.7 Invertere.....	11
2.3 Biodrivstoff.....	11
2.3.1 Fotosyntese og organisk materiale.....	11
2.3.2 Diesel.....	12
2.3.3 Førstegenerasjons biodiesel.....	12
2.3.4 Andregenerasjons biodiesel.....	13
2.4 Biogass av organisk materiale.....	13
2.4.1 Biogass.....	14
2.4.2 Kompost.....	15

2.5	Avfallsbehandling.....	16
2.5.1	Bakgrunn	16
2.5.2	SimaPro-verktøyet.....	17
2.6	Ettersortering	18
2.7	Hydrogenbatteri	19
2.7.1	Elektrolyse.....	19
2.7.2	Hydrogenceller i system.....	20
3	Metode.....	23
3.1	Sol.....	23
3.1.1	Energistatistikk.....	23
3.1.2	Solkart og areal.....	24
3.1.3	PVsyst.....	26
3.1.4	CO2 avtrykk fra gjeldende strømleverandør	26
3.2	Drivstoffbytte.....	26
3.2.1	Drivstoffstatistikk.....	26
3.3	Organisk avfallshåndtering.....	27
3.3.1	Energiforbruk Skiboten	28
3.3.2	Mengdestatistikk	28
3.3.3	Gasspotensial.....	29
3.3.4	Kostnader	29
3.3.5	Klimanytte.....	29
3.4	Valg av nedstrøms håndtering	30
3.4.1	Livsløpsanalyse	30
3.4.2	Vektlegging og beregninger	31
3.4.3	Restavfall.....	32
3.4.4	Matavfall	32
3.4.5	Metall	32

3.4.6	Plast	33
3.4.7	Trevirke	33
3.4.8	Alternative scenarioer	34
3.5	Ettersorteringsanlegg	34
3.5.1	Prisanslag	36
3.6	Hydrogenbatteri	37
4	Resultater.....	39
4.1	Solcellesystem	39
4.1.1	Inverteranalyse	40
4.1.2	Kostnader for hele systemet	45
4.1.3	CO2 bespart per KWh solceller mot nåværende strømleverandør og kostnader. 46	
4.2	Drivstofferstatning	47
4.3	Organisk avfallshåndtering.....	48
4.3.1	Gasspotensial.....	48
4.3.2	Resultat kompostering.....	49
4.4	Nedstrøms håndtering.....	50
4.4.1	Våtorganisk behandling.....	51
4.4.2	Plasthåndtering	51
4.4.3	Håndtering av trevirke.....	52
4.4.4	Restavfall og metall.....	53
4.5	Ettersortering av avfall	54
4.5.1	CO2 besparelser på ettersortering	55
4.6	Resultater hydrogenbatteri.....	56
5	Diskusjon.....	59
5.1	Nytten ved å produsere egen strøm	59
5.2	Nytten ved drivstoffbytte fra diesel til biodiesel	60

5.3	Organisk avfallsbehandlinger	61
5.4	Nedstrøms håndteringer	62
5.4.1	Behandling av våtorganisk avfall	62
5.4.2	Behandling av Trevirke	63
5.4.3	Behandling av plastikk	63
5.4.4	Behandling av metall og restavfall	63
5.5	Ettersortering av restavfall.....	64
5.6	Nytten ved bruk av hydrogen-celler i en vanlig forbrenningsmotor.....	65
6	Konklusjon	67

Tabelliste

Tabell 1 Statistikk fra årsrapporten til Klimakost basert på tall fra Remiks AS	27
Tabell 2 Forbruksdata på diesel hos Origo Skibotn AS for 2020	28
Tabell 3 Inverteranalyse av et 1220 kWp øst-vest vendt system med en 10 graders tilt	40
Tabell 4 Inverteranalyse av et 610 kWp installert sør vendt system med 53 grader tilt.	41
Tabell 5 Optimalisering av et 1220 kWp innstalert øst-vest vendt system med 5 graders tilt.	42
Tabell 6 Optimalisering av et 1218 kWp installert øst-vest vendt system med 10 graders tilt	43
Tabell 7 Optimalisering av et 1220 kWp installert øst-vest vendt system med 15 graders tilt	44
Tabell 8 Optimalisering av et 1220 kWp installert øst-vest vendt system med 20 graders tilt	45
Tabell 9 Kostnader for de forskjellige systemene.	46
Tabell 10 Generert årlig strøm, kg CO2 ekv./kW og Kg CO2 ekv./NOK	46
Tabell 11 CO2 ekv. per liter for diesel og biodiesel med snitt pris per liter	47
Tabell 12 Klimakostnadene ved forbruk av diesel og biodeisel på et år, samt CO2 ekv. per krone investert i biodisel	47
Tabell 13 Liter gass produsert og omregnet i strømekvivalenter	48
Tabell 14 Pris på systemet med og uten Enova støtte	48
Tabell 15 Tonn CO2 ekv. spart ved å anta at energiekvivalenten til biogass er lik diesel.....	49
Tabell 16 Pris på systemet gitt i CO2 ekv./ per nok med og uten enova støtte til tiltaket	49
Tabell 17 Tonn CO2 ekv. ved kompostering og tilhørende diesel forbruk.....	50
Tabell 18 Differansen i CO2 ekvivalenter som kommer av avfallet, samt CO2 per krone investert i anlegget	55
Tabell 19 prosent forskjell mellom før og etter installasjon av hydrogenceller basert på km/l og km/l/kg	58
Tabell 20 Resultater på pris, drivstoffbesparelser og CO2 ekv, samt CO2 ekvivalenter per invester krone	58

Figurliste

Figur 1 NIR-maskin, sorter fraksjoner ved å identifisere bølgelengden til forskjellig type avfall. Med tillatelse fra Rudolf Meissner overingeniør ved IVAR.....	19
Figur 2 Grafisk framvisning av målinger gjort på sotinnhold i eksos med og uten UC. Figur fra Heiko Beilfuss Blue Thing AS.....	21
Figur 3 Et kart som viser solpotensialet for administrasjonsbygget helt nord på bildet og produksjonsbygget lengre sør. Det siste bygget er Kvitebjørn AS sitt anlegg som ikke utgjør en del av denne vurderingen. Hentet fra solkart.no [23].....	24
Figur 4 Et kart som viser solpotensialet for RHB bygget lengst nord på kartet og returstasjonen i gult, lengst sør på kartet. Hentet fra Solkart.no.....	25
Figur 5 Tonn husholdningsavfall i utsorterte fraksjoner før det automatiske sorteringsanlegget ble tatt i bruk og etter. Statistikk for Stavanger kommune.....	35
Figur 6 Prosentendering i husholdningsfraksjonene etter at det automatiske sorteringsanlegget ble tatt i bruk i Stavanger kommune.	36
Figur 7 seks hydrogenbatterier som er blitt påmontert en av RN sine biler. Ultimate cell, som er teknologien som er påmontert, er beskrevet i kapittel 2,7,2. Figur fra Heiko Beilfuss Blue Thing AS.	37
Figur 8 To forskjellige avfallshånderings metoder på organisk avfall, gitt i tonn CO2 ekv. per tonn avfall.....	51
Figur 9 To forskjellige avfallshånderings metoder på plast, gitt i tonn CO2 ekv. per tonn avfall	52
Figur 10 To forskjellige avfallshånderings metoder på trevirke, gitt i tonn CO2 ekv. per tonn avfall.....	52
Figur 11 Avfallshåndtering av metall og restavfall, gitt i tonn CO2 ekv. per tonn avfall	53
Figur 12 Statistikk på vær fraksjon før og etter tenkt implementering av et ettersorteringsanlegg, figuren viser tonn avfall på vær fraksjon.	54
Figur 13 Tonn CO2 ekvivalenter per tonn avfall. Beregningene er gjort før og etter at det tenkte anlegget er tatt i bruk. Stor utsortering av plast gjør at materialgjenvinning av denne fraksjonen fører til store besparelser av CO2.....	55
Figur 14 Kjørestatistikk med og uten hydrogencellene i tonn hentet, km kjørt og liter brukt ..	56
Figur 15 Forbruk av drivstoff med og uten hydrogenceller gitt i km/l for 2017 og 2018.....	57
Figur 16 Forbruk av drivstoff gitt i km/l/kg med og uten hydrogenceller	57

Forkortelser

AC	-	Vekselstrøm
DC	-	likestrøm
FF	-	Fill factor
HC	-	Hydrokarbon
HVO	-	Hydrotreated vegetable oil
LCA	-	Livssyklusanalyser
NIR	-	Near infrared
NOK	-	Norske kroner
PPM	-	Part per million
PR	-	Ytelsesforhold
RH	-	Remiks husholdning
RN	-	Remiks næring
SSB	-	Statistisk sentralbyrå
STC	-	Standard testing condition
TKN	-	Tromskraft nett
UC	-	Ultimate cell
Wp	-	Watt peak
Yf	-	Faktisk energiutbytte
Yr	-	Referanseutbytte

Nomenklatur

Symbol:	Beskrivelse:	Unit:
eV	Elektronvolt	J
FF	Fill Factor	Enhetsløs
h ν	fotonenergi	J/hz
I	Strøm	A
I _l	Solcellestrøm under belysning	A
I ₀	Metningsstrømmen	A
I _{sc}	Kortslutningsstrømmen	A
I _{mpp}	Strømmen ved optimal last	A
J	Joule	Ws
k	Boltzmanns konstant	J/K
η	Effektivitet	Enhetsløs
P ₀	Ideell effekt	W
P _i	input effekt	W
P _{mpp}	Effekten ved optimal last	W
q	Ladning	C
T	Temperatur	Kelvin
V	Spenning	V
V _{mpp}	Spenning ved optimal last	V
V _{oc}	Spenning ved åpen krets	V
Y _f	Endelig utbytte	kWh/kW
Y _r	Referanseutbytte	kWh/kW
α	Elevasjonsvinkel	Grader
β	Vinkel mellom pv modul og planet	Grader
δ	Deklinasjonsvinkel	Grader
φ	Breddegraden	Grader

S_{modul}

Solinnstråling på modulen

Grader

$S_{horisontal}$

Solinnstråling på horisontale

Grader

1 Innledning

Remiks Miljøpark AS er et avfallsselskap eid i sin helhet av Tromsø og Karlsøy kommune. Selskapet samler inn og behandler husholdnings- og næringsavfall gjennom sine datterselskaper Remiks Husholdning, Remiks Næring og Remiks Produksjon. Konsernet har som formål å være en totalleverandør av avfallstjenester, samtidig som det skal være et kunnskaps- og innovasjonssenter og en regional utvikler innenfor tema knyttet til avfall, miljø og gjenvinning. Remiks er en viktig partner for Tromsø og Karlsøy kommune som kompetansebedrift på fagområdene avfall, miljø og gjenvinning.

Remiks har i 2020 jobbet med å legge en strategi for retningen virksomheten skal ta frem mot 2030 [1]. I arbeidet med å jobbe frem en ny strategi har man sett en likhet mellom de overordnede fokusområdene i Remiks og noen av FNs bærekraftsmål. Dette har Remiks jobbet videre med og har besluttet å bruke fire av FNs bærekraftsmål som overordnede fokusområder for aktiviteter og prosjekter som skal gjennomføres de neste 10 årene. Disse er:

- 9. Industri, innovasjon og infrastruktur
- 11. Bærekraftige byer og lokalsamfunn
- 12. Ansvarlig forbruk og produksjon
- 13. Stoppe klimaendringene

Som et element knyttet til FNs bærekraftsmål nr. 13 har Tromsø kommune satt seg et mål om å redusere sine klimagassutslipp med 50 % innen 2025 og 85 % innen 2030, sammenlignet med utslipp i 2009. Som Tromsø kommunes kompetansebedrift innen avfall, miljø og gjenvinning jobber også Remiks med å utforme mål som samsvarer med de som er satt i Tromsø kommune. De to foregående årene har Remiks gjort en god kartlegging av klimagassutslipp knyttet til egen virksomhet. Tallene viser at det er direkte utslipp fra Remiks' bil- og maskinpark som utgjør den største kategorien med utslipp, og her er det implementert flere tiltak de siste årene for å redusere utslipp (kilde). Det er imidlertid ikke gitt at det er innenfor dette området det er mest effektivt å implementere tiltak hvis man tar kostnadene i betraktning. Remiks søker derfor mer kunnskap om hvor investeringer bør gjøres for å gjøre den største positive påvirkningen på sine klimagassutslipp, og det er nettopp dette som har gitt opphav til denne avhandlingen.

1.1 Formål

Formålet med denne studien er å undersøke flere tiltak som Remiks kan implementere for å redusere sine klimagassutslipp. Disse er solenergi, biodrivstoff, biogass, nedstrømspartnere, ettersortering av avfall og hydrogenbatteri. Disse er valgt ut fra poster på klimagassutslipp som bedriften selv har kartlagt. Remiks ønsker da mere kunnskap om tiltakene i forhold til investering og klimanytte. Tiltakene som blir sett på er tiltak som på kort sikt og på langsikt vil endre klimagassavtrykket til bedriften, og de kan deles inn i følgende; tiltak uten store investeringer i ny teknologi, og tiltak som krever større investeringer. De kortsiktige tiltakene som bytte til biodiesel og hydrogenceller hjelper på den største klimagassposten til Remiks, som er kjøretøy. Det vil da bli undersøkt hvordan bytte til biodiesel på alle kjøretøyene vil slå ut på denne posten. I tillegg er det gjort tidligere forsøk hos Remiks med hydrogenceller, og det vil også bli undersøkt hvordan dette tiltaket påvirker klimagassutslippet på kjøretøyene. Dette er to tiltak som kan implementeres på bilene som i dag allerede er i bruk.

Det vil videre bli vurdert tiltak som omhandler behandling av avfall og arbeidet bedriften gjør. Solenergi er et tiltak som vil bli vurdert fordi det gir Remiks muligheten til å produsere sin egen energi. Automatisering av sorteringsprosessen er et tiltak som blir sett på for å kunne nå målene om økt sorteringsgrad. Det vil bli gjort en undersøkelse av et anlegg som er i drift i Stavanger for å se om dette er noe som kan implementeres i Tromsø, og nytten av å gjøre dette vil bli analysert. Et annet tiltak som blir vurdert er biogassbehandling av organisk materiale. Per i dag går organisk avfall til kompostering, og klimanytten vil bli vurdert for begge disse metodene for organisk avfallsbehandling.

Remiks er også opptatt av samfunnsnyttene av jobben de gjør med å hente inn og sortere avfall. Det vil derfor i denne studien bli sett på nytten av forskjellige behandlingsmetoder, som vil gi bedriften kunnskap om klimanytten av forskjellige metoder for avfallsbehandling.

1.2 Begrensninger

I denne studien er det bare sett på klimagass i form av CO₂ ekvivalenter og andre klimaforhold er ikke tatt med i vurderingen. Det er også satt en grense på klimabelastningen ved transport av avfallet til Norges grenser. Det er gjort fordi det er vanskelig å finne tall på transport når avfallet, som skal gå til gjenvinning, går ut på det åpne markedet. Det er heller ikke regnet på CO₂ avtrykket til råmaterialer som blir utvunnet for å lage materialet som til slutt ble til avfall. Det er da gjort en avgrensning der avfalletsavtrykket først teller fra og med det blir lagt i en gjenvinningscontainer.

1.3 Struktur

Uten å ta med introduksjonskapittelet er oppgaven delt inn i:

Kapittel 2 – I dette kapittelet vil teorien og bakgrunnen som trengs for å forstå de forskjellige tiltakene, bli presentert. Det vil bli gitt en introduksjon til Remiks AS og hva denne bedriften gjør. En introduksjon til temaene solenergi, biodrivstoff, biogass, avfallsbehandling, ettersortering og hydrogenceller vil bli gitt i dette kapittelet.

Kapittel 3 – Metoden for beregningene og analysene som er gjort på de forskjellige tiltakene vil bli presentert her. Det vil bli gitt en oversikt over statistikken og vurderingene som er gjort for å beregne på klimanytte og kostnadene for alle temaene.

Kapittel 4 – Her vil resultatene av beregningene og vurderingene gjort i denne studien bli presentert. Disse vil så bli brukt videre som grunnlag for diskusjonskapittelet.

Kapittel 5 – Basert på resultatene vil vært tiltak bli diskutert i dette kapittelet.

Kapittel 6 – Er en oppsummering og konklusjon av arbeidet gjort i denne studien.

2 Teori

Dette kapittelet vil omhandle teorien bak de forskjellige teknologiene og metodene som vil bli brukt for å vurdere de forskjellige tiltakene Remiks AS kan ta i bruk for å minske sitt klimaavtrykk. Kapittelet vil omhandle seks temaer; solenergi, biodrivstoff, biogass, nedstrømspartnere, ettersortering av avfall og hydrogenbatteri. Innenfor disse temaene vil det bli forklart den teorien som trengs for å vurdere de forskjellige tiltakene i lys av klimanytte.

2.1 Remiks AS

Remiks AS er et selskap som driver med avfallshåndtering i Nord Norge. Selskapet henter inn, sorterer og behandler avfall. Selve selskapet er delt opp i flere datterselskaper som har forskjellige oppdrag. Remiks Husholdning AS (RH) har i oppdrag å hente inn husholdningsavfall fra Tromsø og Karlsøy kommune. Husholdningsavfallet som RH samler inn er lagt under optibagsystemet. Dette er et system som sorterer avfall optisk, noe som betyr at forskjellige avfallsfraksjoner har egne poseordninger. Næringskunder som skoler og byggeplasser er det Remiks Næring AS (RN) som har ansvar for. Her er det også avfall som blir samlet inn via poseordningen, men også mye annet avfall. Alt avfallet som blir samlet inn blir veid og registrert. I tillegg har både Remiks Husholdning og Remiks Næring en returstasjon hver, hvor kunder selv kan levere inn avfall. Et annet datterselskap til Remiks AS er Origo Skibotn AS, som eies sammen med Avfallservice. Origo Skibotn AS er et deponi og komposteringsanlegg. Her deponeres avfall som ikke kan gjenvinnes. Komposteringsanlegget omvandler organisk avfall som mat og slam til kompost.

Avfallsarbeidet til Remiks AS foregår stort sett i produksjonsbygget nord på Tromsøya. I dette bygget tømmes og sorteres avfall. Etter at det er sortert klargjøres det for videre transport. Vegg i vegg med produksjonsbygget ligger Kvitebjørn AS. Dette er et selskap som driver et fjernvarmeanlegg. Siden det ligger vegg i vegg med Remiks AS sitt produksjonsbygg, kvernes restavfall og sendes over til Kvitebjørn AS direkte på transportbånd. I tillegg til produksjonsbygget og returstasjonene har Remiks AS et bygg for returhåndtering av hovedsakelig paller fra COOP AS. De har også et administrasjonsbygg hvor det administrative arbeidet foregår.

2.2 Solenergi

Dette kapittelet vil omhandle teorien knyttet til solceller og moduler. Videre vil det bli framlagt den teorien som trengs for å forstå og optimalisere et solenergianlegg. De viktigste faktorene for optimalisering av et slikt anlegg vil bli presentert her.

2.2.1 Solcellen

En solcelle som brukes til energiproduksjon i dag består hovedsakelig av silisium. Et mineral som ikke har perfekte egenskaper, men veldig gode i forhold til pris, tilgjengelighet og miljøinngrep. Silisium er et materiale med et båndgap på 1,1eV, som gjør det til et materiale som blir mye brukt. Siden det er store forekomster av det i naturen blir ikke kostnadene så høye på grunn av eksotiske materialer. Riktignok består en celle av flere eksotiske materialer, men det meste av cellen består av silisium. Selve silisiumet er dopet med en n-del og en p-del. Dette er silisium som er tilført positive ioner og negative ioner som lager en p-n overgang når de to delene er satt sammen. For å lede energibærere er det to kontaktskinner, kalt busbars, som går langs cellen, og ut fra disse går det tynnere fingre. Forsiden av cellen er dekket med et antireflekerende belegg som bidrar til å minske refleksjonen av innkommende sollys. Baksiden av cellen kan være dekket av metall, men det finns andre løsninger, som tosidig solceller som gjør det mulig å ta opp mer lys som blir reflektert opp fra bakken. Der hvor det ligger snø vil dette være spesielt bra siden snø reflekterer mer lys. Da kan en tosidig solcelle få mer sollys å bruke til å produsere energi. [2]

Båndgapet i en celle er definert som den minste energien et elektron trenger for å bryte seg løs fra en bundet tilstand for å bli eksitert til sitt neste energinivå. Den laveste energitilstanden i materialet kalles valensbåndet, og når energien som trengs for å rive løs elektronet er møtt, løftes elektronet opp i ledebåndet. Her kan elektronet bidra til å lede strøm i ledebåndet, og hull som blir igjen etter elektronet kan lede i valensbåndet [2].

For å måle ytelsen på strømmen i en gitt celle kan man kortslutte terminalene, noe som gir en kortslutningsstrøm I_{sc} . Fra I-V ligningen for en solcelle

$$I_{total} = I_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) - I_L \quad (1)$$

hvor I_0 er metningsstrømmen. Denne oppstår mellom den n-dopede og p-dopede siden under et bias V , og kan være positiv eller negativ. I_L som er strømmen som oppstår under belysning av cellen. Ved å kortslutte terminalene og sette $V=0$, vil det gi

$$I_{sc} = - I_L \quad (2)$$

som sier at kortslutningsstrømmen er lik den lysgenererte strømmen. Dette vil da være den maksimale strømmen som går gjennom cellen. Det vil også være et mål på hvor god cellens ytelse er. Det er da viktig når man etterpå bygger moduler hvor man seriekobler flere celler at ytelsen på strømmen til cellene i serien er likest mulig hverandre. Dette fordi cellen med laveste ytelse vil være den begrensende faktoren i seriens totale ytelse.

Videre kan man måle ytelsen på spenningen i cellen når terminalene er koblet fra hverandre. Spenningen over cellen vil da kunne uttrykkes som

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad (3)$$

når $I = 0$ og settes inn i I-V ligningen. Her er spenningen over cellen avhenger av den lysgenererte strømmen I_L og I_0 , som er diffusjonsstrømmen. Slik som med I_{sc} er det viktig at cellen er optimalisert med tanke på V_{oc} , som også er et mål på ytelse. V_{oc} hos alle cellene i modulen burde være likest mulig, da serien med lavest V_{oc} vil være den begrensende faktoren i modulen.

Fill factor (FF) er et mål på den maksimale effekten i en solcelle. Den beskriver hvor rektangulær I-V kurven ser ut. Den teoretiske maksimale effekten til en sol celle kan beskrives som $P_{mpp} = V_{mpp} \times I_{mpp}$. Over den ideelle effekten til cellen $P_0 = V_{oc} \times I_{sc}$. Dette gir da FF til en celle som

$$FF = \frac{V_{mpp} I_{mpp}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (4)$$

FF beskriver da tapene som kan oppstå i en celle og en høy FF betyr at cellen har mindre tap. Også dette er en indikasjon på hvor god cellen er, og man bør også her velge celler som er lik hverandre når man setter dem inn i moduler [2].

Virkningsgraden til en solcelle kan så bli beskrevet som forholdet mellom innkommende og utgående effekt. Under standard testforhold (STC) er det $1000\text{W}/\text{m}^2$ som blir brukt til å regne på effektiviteten til en celle. Selve effektiviteten kan beskrives som

$$\eta = \frac{P_{mpp}}{P_{in}} \quad (5)$$

der P_{mpp} er den utgående effekten og P_{in} er input effekten under STC. En alternativ måte å uttrykke effekten på er å uttrykke det i form av V_{oc} og I_{sc} som gir

$$\eta = \frac{V_{oc}I_{sc}FF}{P_{rad}} \quad (6)$$

, hvor P_{mpp} er effekten under STC. Hvis man måler effekten til en solcelle under STC får man det som heter Watt peak (Wp) og dette kan brukes til å regne på hvor mange Watt man installerer i et anlegg [2].

2.2.2 Temperatur

Temperaturen i cellen påvirker hvor godt cellen presterer. Det betyr at omgivelsene til cellen kan ha en innvirkning på hvor god ytelsen er. Under standard test forhold (STC) for å måle effekten til en solcelle blir innkommende sol innstråling satt til 1kW/m^2 med en celle temperatur på $25\text{ }^\circ\text{C}$ [2]. Det vil da i virkeligheten være store variasjoner på operasjonstemperaturen, basert på hvor på kloden systemet befinner seg.. For å vise temperaturavhengigheten kan man se på ligningen for V_{oc} som er avhenger av I_0 . V_{oc} minker med økt temperatur som kommer av at båndgapet minker med økt temperatur. Temperatur effekten på I_{sc} er også til stede, men gir lite utslag [3]. Til sammen vil effekten på temperatur i silisium gi en nedgang i effekt på 0,4% til 0,5% per $^\circ\text{C}$. Det betyr i praksis at virkningsgraden på en solcelle blir bedre der hvor klimaet er kaldt [4].

2.2.3 Moduler

For å kunne bruke solceller til å lage strøm som er stor nok til at den kan brukes i drift av Remiks AS er det nødvendig å koble flere solceller sammen i moduler. Det vil da gi større strøm ved å koble de i parallell og det vil gi større spenning ved å koble de i serier. Fra Kirchoffs strøm lov har man

$$I_t = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (7)$$

som sier at strømmen som flyter ut av et punkt er summen av strømmene som flyter inn. Det betyr at strømmen fra celler i parallell legges sammen og man får en sterkere strøm ut en om man har de i serie, hvor strømmen vil være den samme gjennom grenen.

For spenningen i kretsen gjelder Kirchoffs spennings lov, hvor en serie av motstander med en strøm igjennom, kan uttrykkes i form av spenning

$$V_t = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (8)$$

Denne loven brukt på moduler betyr at for å øke spenningen modulen kan levere kobler man solceller i serie. Sammen betyr det at man ønsker å koble celler i serie for å øke spenningen en modul kan levere og man ønsker å koble celler i parallell for å øke spenningen de kan levere [2].

2.2.4 Optimalisering av moduler

For å optimalisere produksjon eller møte et spesielt lastkrav med solcellemoduler er det viktig å kartlegge hvordan solen beveger seg over himmel på stedet du ønsker å bruke systemet. Gjennom et år beveger jorden seg en runde rundt solen og man har skiftende sesonger som skyldes at jordaksen tilter $\pm 23.5^\circ$ i forhold til solen. Det gir sommer på den nordlige halvkule når jorden tilter $+23,5^\circ$ mot solen og vinter når den tilte andre veien, som skjer den 21 juni og den 21 desember [2]. Dette kalles deklinasjonsvinkelen og kan brukes til å beregne elevasjonsvinkelen. Den maksimale elevasjonsvinkelen som er vinkelen mellom bakken og solen kan beregnes som

$$\alpha = 90 + \varphi - \delta \quad (9)$$

, hvor δ er deklinasjonsvinkelen og φ er breddegraden. Denne varierer gjennom året med deklinasjonsvinkelen og med breddegraden man befinner seg på [3]. Er summen positiv betyr det at solen står i sør midt på dagen, noe som betyr at man befinner seg på den nordlige halvkulen. For at en fastmontert modul skal kunne optimaliseres for produksjon på den nordlige halvkulen bør den da peke direkte sør og når solen står på sitt høyeste bør sol innstrålingen komme perpendikulært på panelet. Dette gjelder så lenge man ikke installerer et system som kan følge solen gjennom dagen. Det kan da uttrykkes en optimal tilt på panelet i forhold til den innkommende sol innstrålingen

$$S_{modul} = \frac{S_{horizontal} \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha} \quad (10)$$

, hvor α er elevasjonsvinkelen og β er vinkelen til modulen i forhold til planet.

2.2.5 Skygning

Solcellesystemer påvirkes av skygning fra vær og omgivelser. Spesielt kan dette være utfordrende for moduler som er montert i områder med omkringliggende bygninger. Så lenge cellen ikke er skygget for, vil den kunne levere hele sitt potensial. Hvis solen kommer bak et objekt som begynner å skygge for cellen, vil mengden strøm som cellen kan levere falle proporsjonalt med mengde skygge som faller på cellen [3]. Dette kan også skje i en modul, hvor skygning av celler i en serie vil slå av hele serien. Dette er fordi strømmen i serien er lik gjennom hele strengen, og skygning av en eller flere celler fører til at strømmen stopper. De gjenværende cellene i serien vil da møte motstand i den cellen som er skygget, som betyr at energien som er produsert blir avsatt i den cellen som er skygget. Dette vil føre til varmegang i denne cellen og kan føre til at den bryter sammen. For å unngå dette installerer man dioder som kan lede strøm rundt celler og serier av celler. Da vil strømmen kunne passere uhindret forbi den cellen som blir skygget og man unngår varmegang [2].

2.2.6 Ytelsesforhold

Ytelsesforhold eller Performance Ratio (PR), er et mål på hvor godt et solcellesystem presterer. PR har ingen enheter og måles fra 0-100%, hvor 0% er dårlig og 100% er bra. Et godt system har da som regel en PR på mer enn 80% [5] og PR kan brukes som en indikator på at noe i systemet kan optimaliseres videre. Det betyr at en lav PR kan representere at noe er galt i systemet å må rettes opp. I ligning 11 defineres PR som

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (11)$$

, som er forholdet mellom det faktiske energi utbytte (Y_f) og referanse utbyttet (Y_r). Dette er da den energien som er tilgjengelig til nettet etter at man har regnet med tapene i varme, motstand og systemets eget forbruk. Y_f kan videre defineres som

$$Y_f = \frac{\text{Endelig energi utbytte (kWh)}}{\text{nominell d.c energi (kW)}} \quad (12)$$

i ligning 12, som normaliserer energien i forhold til størrelsen på systemet. Y_r kan så skrives som

$$Y_r = \frac{\text{inkommende solinnstråling på planet } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right)}{\text{PV referanse solinnstråling } \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}\right)} \quad (13)$$

i likning 13. Som sier noe om den faktiske innkommende solinnstrålingen mot STC. Som mål på ytelse blir PR anerkjent globalt og mye brukt for å si noe om hvordan et system presterer [5]

2.2.7 Invertere

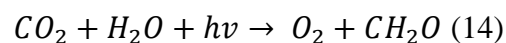
En solcellemodul som produserer strøm, vil da levere likestrøm (DC). DC strøm kan brukes direkte til å lade batterier eller andre elektriske maskiner, men det byr på problemer hvis man ønsker å koble modulen på ett kraft nett. Strømmen som leveres i ett kraft nett er vekselstrøm (AC). For å kunne koble modulen til ett kraft nett må man konvertere fra DC til AC. Dette kan gjøre med en inverter [2].

2.3 Biodrivstoff

Dette kapitlet vil omhandle den teorien som dekker hvordan diesel og biodiesel blir produsert. Fra sollys konverteres energien til organisk materiale som igjen kan bli brukt til energiutnyttelse. I drivstoffsammenheng er det da mulig å konvertere organisk materiale til biodiesel. For å ikke konkurrere med matkilder er det heller viktig å utnytte andre kilder til organisk materiale, sånn som matavfall og andre kilder som ikke kommer direkte fra matjord. Dette kapitlet vil da se på hvor biodiesel kommer ifra og hvordan det produseres, samt se på hvor vanlig diesel kommer i fra slik at man kan sammenligne disse senere. For at energiutnyttelse av biologisk materiale skal kunne ansees som en bærekraftig energikilde er det flere ting man må ta hensyn til, som CO₂ utslipp ved landklaring, planting, gjødsling, høsting og transport. Man skal også ta hensyn til at det biologiske materiale man tar ut, blir gjeninnført. På denne måten kan energiutnyttelse av biologisk materiale være en fornybar energiressurs [6].

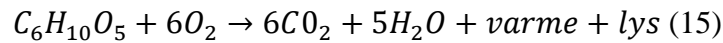
2.3.1 Fotosyntese og organisk materiale

I fotosyntesen til planter konverteres karbondioksid, med hjelp av fotoner fra sollys, til oksygen og karbohydrater, eller sukker. Dette kan representere i en forenklet kjemisk likning 14



, hvor hv er foton energien og CH_2O er karbohydrater. Dette er det plantene bruker for å omdanne energi fra solen og CO₂ fra luften til å vokse. Den energien som konverteres fra lys til karbohydrater kan brukes igjen senere, for eksempel, ved forbrenning.

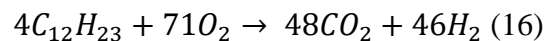
Ved til forbrenning har historisk sett vært den mest brukte kilden til energi, lys og varme. Ved brenner med en temperatur på 220-300 grader celsius og frigjør da den lagrede bioenergien iboende i treverket. En forenklet framstilling av denne prosessen kan beskrives som likning 15



, hvor det da er nok oksygen til stede for en fullstendig reaksjon. Dette er en reaksjon som først forkuller treverket og danner gasser. Det forkullede treverket blir omdannet til aske og gassene til flammer. Med tørrved vil man kunne oppnå en produksjon på 15MJ kg⁻¹ og all energien ville blitt omgjort hvis reaksjonen var fullstendig. Fra ligningen over kan man også regne ut at reaksjonen av 1kg ved ville gitt 1,64kg CO₂. I praksis vil temperatur og oksygen tilgang være en begrensende faktorer. Man vil få mindre energi ut og mer røyk som består av vann og organiske rester som er skadelig [7 2015].

2.3.2 Diesel

Diesel er et drivstoff som blir fremstilt av råolje gjennom en fraksjonert destillasjonsmetode som går ut på å varme opp råoljen og skille de lette elementene fra de tunge. Den ideelle forbrenningsreaksjonen til diesel ser slik ut

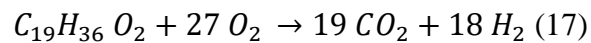


, som sier at diesel antennes sammen med oksygen fra luften og blir til energi, karbondioksid og vann. Fra ligningen over, kan det vises at en liter diesel gir 3,26Kg CO₂ og 45 MJ Kg⁻¹ [7 2015]. Når det regnes på klimagasser og utslippsreduksjon er det et problem at forskjellige gasser har forskjellige innvirkninger på klima. For å sammenligne utslipp er enheten CO₂-ekvivalenter brukt. Det gjør at alle gassene som måles kan omregnes til CO₂ ekvivalenter og sammenlignes.

2.3.3 Førstegenerasjons biodiesel

Ved å omgjøre biologisk materiale til drivstoff kan man unngå belastningen som kommer av å utvinne fossilt drivstoff. Ved bærekraftig drift av det biologiske materialet kan man bruke dette som en fornybar energi kilde [6]. Et system som omdanner organisk materiale til drivstoff bruker vegetabiliske oljer og omdanner dette gjennom en prosess til noe som kan brukes som drivstoff. I første generasjons biodrivstoff er biodiesel av FAME (fatty acid methyl esters) et godt kjent produkt [8]. Denne vegetabiliske oljen har gjerne en del stoffer i seg som ikke er gunstig for motoren, så gjennom en kjemisk behandling med metanol, kan oljen endres til noe

som er bedre egnet til motoren [9]. Generelt kan man si at en ideell forbrenning av biodiesel kan beskrives med følgende reaksjon



som sier at en karbonkjede blir omgjort til karbondioksid og vann. Fra ligningen over kan man estimere at 1kg med biodiesel gir 2,82Kg CO₂ og 37.8 MJ Kg⁻¹ energi [7 2015].

2.3.4 Andregenerasjons biodiesel

Avanserte biodrivstoff eller andregenerasjons biodrivstoff bruker biologisk materiale først og fremst fra kilder som ikke er til matproduksjon. Dette gjør at de ikke konkurrerer om landareal som blir brukt til mat. En kilde som ikke konkurrerer med landareal til mat er avfall. HVO (Hydrotreated vegetable oil) er en prosess som tar vegetabiliske oljer og hydrogen, for å lage en raffinert dieselerstatning. Denne biodieselen kan blandes ut med vanlig diesel eller substituere denne direkte. Denne biodieselen er svovelfri og kommer med egenskaper som gjør det mulig å optimalisere drivstoffet for en dieselmotor, uten modifikasjoner på selve motoren [8].

I en HVO prosess trengs det hydrogen, som gjerne blir framstilt av naturgass. Noen selskaper har dedikerte anlegget for framstilling av biodiesel mens andre utvinner det på samme anlegget som raffinerer olje til andre typer drivstoff. På slike anlegg vil hydrogen være lett tilgjengelig. I prosessen reagerer den biologiske oljen og med hydrogenet under en temperatur på 300 grader celsius og trykk på 20-70bar. Ved hjelp av en katalysator blir dette til produktet HVO-100 biodiesel. Et produkt som kan brukes som erstatning til vanlig diesel [10].

2.4 Biogass av organisk materiale

Dette kapitlet vil omhandle den teorien som trengs for å sammenligne klimanytten av organisk materiale. De to metodene for håndtering av denne typen avfall vil bli vurdert som biogass og kompost. Den tredje metoden er energigjenvinning og vil bli diskutert i kapittel 2,5. Med biogassbehandling er målet å lage så mye gass som mulig av massene, slik at man kan samle det opp og videreforedle gassen slik at den kan brukes til drivstoff. Et hinder for videreforedling av gass er kostnadene som kommer av å installere et eget anlegg for dette. Det vil da være vanskelig å gjennomføre for små anlegg hvor de ikke produserer nok gass som kan selges å dekke mer kostnadene. Både de store og de små anleggene kan da også brukes som en avfallhåndteringsmetode. Da vil gassen som blir produsert kunne bli brukt til å tørke sluttproduktet. Det vil gjøre at volumet på endeproduktet blir mindre og lettere å håndtere. Det

er i denne oppgaven antatt at biogassen som blir produsert skal oppgraderes å bli solgt som et fullverdig drivstoff.

Kompostering er en annen metode for organisk avfallshåndtering. Gjennom en lang prosess blir organisk avfall som mat, omgjort til jord. Basert på materialet som blir brukt og metode for kompostering, vil endeproduktet få en klassifisering som tilsier hva den videre kan brukes til. Dette kapittelet vil se på hvordan disse behandlingsformene fungerer slik at de senere kan sammenlignes.

2.4.1 Biogass

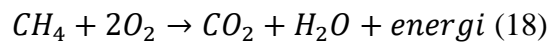
Biogass er betegnelsen på en samling av gasser som produseres når biologiske materialer brytes ned. En metode som blir brukt for å produsere biogass, for eksempel, fra matavfall, kalles anaerobe nedbrytning. Under anaerob nedbrytning vil det ikke være tilgang på oksygen og det vil oppstå gasser ved at bakterier spiser av det tilgjengelige materialet. Gjennom denne prosessen vil det dannes forskjellige mengder og sammensetninger av biogassen, basert på innholdet i den biologiske massen. Selve massene kan bestå av kloakk, dyreavføring, matavfall og annet biologisk nedbrytbart avfall. Basert på typen sammensetning av massene må det da velges en prosess som er optimalisert for den type behandling. Endeproduktet fra et biogassanlegg er det samme som ved kompostering, bare flytenes. Det er også her et problem med at massene ikke kan brukes til matjord om det er for mye plast eller tungmetaller i den. Basert på innhold vil endeproduktet klassifiseres og reguleres.

Selve biogassmiksen består gjerne av metan, karbondioksid, karbonmonoksid, vandamp, hydrogen, hydrogensulfid, nitrogen, hydrogen og oksygen, i forskjellige mengder. Prosessen ved nedbrytning kan deles inn i fire steg hydrolyse, forsuring, acetogenese og metanformasjon, som forklares i neste avsnitt [11].

I en aerobisk nedbrytningsprosess vil materialet, som består av komplekse molekyler bli brutt ned i mindre komponenter ved hjelp av bakterier. Denne prosessen starter med hydrolyse. I dette steget brytes komplekse molekyler som proteiner ned til aminosyrer. Denne delen av prosedyren er kritisk fordi bakteriene i systemet ikke klarer å fordøye de komplekse molekylene. I det andre steget, forsuringen, bryter acidogeniske og fermentiske bakterier ned de mindre komplekse molekylene som ble dannet under hydrolysen. I det tredje steget, acetogenese vil acetogeniske bakterier bryte ned molekylene som ble produsert i det forrige

steget, til acetater og karbondioksid. Til slutt får vi metainformasjon ved at metanogene bakterier bryte ned acetater, hydrogen og karbondioksid, til metan [11].

Det som gjør biogass nyttig i forhold til avfallshåndtering er at biogassen som produseres har potensialet til å erstatte både elektrisitet og dieselforbruk. Generelt kan forbrenning av biogass beskrives som



, hvor metan og oksygen forbrennes og rest produktet blir karbondioksid, vann og energi. Det er da mulig å utnytte denne gassen til strøm produksjon. Dette gjør at man kan erstatte drivstoffet som brukes i dag, med strøm.

For å kunne bruke gassen til kjøretøy eller annet arbeid med gass motor, må gassen videreforedles før den kan benyttes til dette. Dette er fordi gassen som blir produsert i en biogassreaktor inneholder mye mer enn bare metan gass. Denne gassen inneholder gjerne andre derivater som vann, nitrogen, hydrogensulfat, karbondioksid og vann [11]. Hovedsakelig er problemet med disse gassene, sammens med metan, får en lavere varneverdi en ren metangass. Det vil si at mengden med energi som frigjøres når gassen brennes, faller med mengden urenheter i gassen. Dette medfører en mer kostnad da man må investere i et anlegg som kan rense gassen. En mulighet her er å selge gassen videre på det åpne markedet for å dekke noe av investeringskostnadene [11].

2.4.2 Kompost

En annen form for avfallsbehandling av organisk avfall er kompostering. Dette er en prosess som forandrer avfallet til kompost jord som kan brukes og selges som et produkt. Selve prosessen kalles beluftet storranke, den starter med at avfallet blir skilt fra posene med en poseskiller som spinner rundt og skrur oppover. Slik presses avfallet ut av posen slik at det kan gå videre i prosessen. Først legges blandingen fortløpende ut i en bingje. Etter hvert blir massene flyttet for å starte oppbyggingen av en ranke. Massene fordeles langs ranken for å få riktig lengde, før den bygges opp i høyden. Når en ranke er bygget opp starter man på neste ranken, og den første blir ikke tilført mer volum. Nå vil selvoppvarmingen ved nedbrytning av massene føre til at det tørker, siden en ranke er varmest nederst vil man måtte rullere disse ved at de vendes og flyttes etter en periode, slik at man kan lage en ny ranke ved starten igjen. Videre vil

man måtte overvåke rankene nøye, spesielt med hensyn til temperatur, slik at de ikke selvantenner og for at de skal være varmenok til at bakterier som listeria og e.koli dør. Noe av rankene vil gå videre, mens noe vil bli lagret slik at man kan blande dem inn med nye masser. Det vil akselerere startprosessen og øke kvaliteten på sluttproduktet. Rankene som går igjennom hele prosessen, vil så bli tatt ned, siktet og lagret. En analyse av råkomposten vil bli tatt for å kunne kvalitetssikre den, samt finne ut hvilken klassifisering den har [12].

For gjødsel finnes det kvalitetsklasser fra 0-2, hvor klasse 0 kan brukes til matjord uten restriksjoner. De øvrige klassene vil få betegnelsen jordforbedringsprodukt, som har en begrensning på hvor store mengder man har lov å tilføre i en tiårsperiode. Dette kan føre til en metning av markedet rundt anlegget og by på logistikkproblemer i lengden [13]. Denne formen for behandling av organisk avfall er arealkrevende og gir forurensinger i form av lukt og sigevann. Det er også bakterielle farer knyttet til denne formen for behandling av matavfall, som e.koli og listeria [14]. En annen utfordring en slik prosess gir er utslipp av klimagasser slik som metan, CH₄, dinitrogenoksid, N₂O og karbondioksid, CO₂. Størst utslag på klima har CH₄ og N₂O, som har en oppvarmingskoeffisient på henholdsvis 20 og 300 ganger effekten av CO₂ [15]

2.5 Avfallsbehandling

Dette kapittelet vil omhandle teorien for å analysere klimaavtrykket til avfallet gjennom innhenting, sortering og sending til sin endestasjon, hvor en tredjepart vil stå for sluttbehandlingen avfallet får.

2.5.1 Bakgrunn

Ved å dele inn avfall i avfallsfraksjoner kan man analysere hver fraksjons livssyklus. Forskjellige fraksjoner har forskjellige CO₂-avtrykk basert på innhold og behandlingsmetode. Gjennom flere LCAer har Avfall Norge [16] utarbeidet en rapport som omhandler avfallsfraksjoner og klimabelastningene som er knyttet til disse. Rapporten tar for seg kategoriene glass, metall, papir, papp, plast, treavfall, restavfall fra husholdninger og våtorganisk avfall. I rapporten er disse fraksjonene samlet inn via husholdningsavfall, bygg og anleggsavfall og avfall fra tjenestenæringen. Videre har de delt hver kategori inn i tre deler; transport, behandling og erstattet energi/materiale. Systemene for behandling, som er vurdert i rapporten, er deponi, energiutnyttelse og materialgjenvinning. Hovedsakelig viser resultater fra rapporten til Avfall Norge at deponering av avfall er det som gir størst utslipp av CO₂ og at de mest besparende tiltakene er forbrenning og gjenvinning. Med antagelsen fra IPPC klima

rapport [17] legger rapporten til grunne at det å forbrenne organisk materiale gir netto null utslipp [16].

En LCA rapport er livsløpsvurderinger og metoder baser på internasjonale standarder kalt ISO standarder. Standardene det gjerne refereres til for LCA analyserer er ISO 14040/44 [18]. LCA rapporter søker å identifiser klimaavtrykket til et produkt på flere punkter i livsløpet. Rapporten gir informasjon til de som skal ta beslutninger som omhandler produktet og fremheve relevante klimaindikatorer som gjør det mulig å markedsføre produktet basert på disse. Det en slik rapport tar for seg er klimapåvirkningene til et produkt, fra råvarene blir utvinnet, gjennom livsløpet og til slutt punktet hvor produktet blir behandlet, deponert eller resirkulert [18].

2.5.2 SimaPro-verktøyet

SimaPro er et verktøy for LCA analyser, som er utviklet i tråd med internasjonale ISO standarder som gjelder for en LCA analyse. Programvaren SimaPro er bygget på bibliotek Ecoinvent 3, som er en av verdens største samlinger av LCA studier. Som alle andre modeller av virkeligheten er det ikke en eksakt representasjon av den faktiske situasjonen da det er gjort enkelte forenklinger. Programvaren SimaPro Share and Collect er et interaktivt webbasert verktøy. Verktøyet er laget for en lett og god brukeropplevelse. Det er da tatt hensyn til at brukeren ikke er ekspert i LCA metodikk og er derfor utformet slik at brukeren kan supplere med sine egne tall. Det er lagt til grunne en modell som ikke lar seg endre på, med unntak av enkelte vektninger som energiutnyttelse og hvordan strømmen som blir brukt er produsert. Slik kan man supplere med egen statistikk, mens metoden og sammenhengene allerede er satt.

Biogent CO₂

SimaPro kommer med to forskjellige valg for hvordan CO₂ fra biogene kilder skal beregnes. Dette er CO₂ utslipp knyttet til organiske materialer som matavfall og treavfall. Den første måten å gjøre det på er å regne biogent CO₂ som sum null utslipp. Det vil si at alt opptak av biogent CO₂ og alle utslipp forbundet med dette regnes som like store og at summen av disse blir null. Dette er den tradisjonelle måten å regne på, men det er en viss treghet i systemet som det ikke blir tatt høyde for. Trær har en levetid og bruker mange år på å vokse, som binder CO₂ over en periode. Man har opptak når treet vokser og utslipp når det brytes ned. Dette er noe som blir regnet med i den andre metoden. Her regnes det med en faktor på -0,39 ved opptak av CO₂ og +1 ved utslipp av CO₂ [19 A. H. Strømman 2013]. Klimaeffekten er den samme om

det er biogent CO₂ eller fossilt, derfor settes det en faktor +1 på utslipp. Ved forbrenning er det ingen gevinster eller utslipp fra produksjon av produkter som blir til avfall, inkludert trevirke. Så forbrenning gir kun en faktor +1, men for erstattet produksjonen av nytt trevirke slår faktoren -0,39 inn. Som gir en større gevinst en Klima V1 modellen hvor dette blir satt til sum 0 [19 A. H. Strømman 2013].

2.6 Ettersortering

Som et alternativ til hvordan avfall kan sorteres kommer det stadig nye teknologiske framskritt som gjør jobben helautomatisk. Et slikt helautomatisk anlegg er IVAR som ligger i Stavanger. Selve anlegget består av tre deler, som til sammen kommer på en investeringskostnad på 690 millioner kroner, hvor 393 millioner kroner er kostnadene på selve restavfall sorteringsanlegget [20]. Restavfallsanlegget vil kunne ta imot 66250 tonn avfall i året. Plastsorteringsdelen av anlegget er i 2020 ikke oppe for fullt, men det forventes at det kommer i gang i løpet av 2021. Dette anlegget vil kunne skille på flere plastfraksjoner, som betyr at det vil være lettere å materialgjenvinne den plasten som er plukket ut. Den tredje delen av anlegget er da et papirsorteringsanlegg, som vil kunne utsortere i flere forskjellige papp og papir fraksjoner og sånn som med plast, vil det være lettere å materialgjenvinne når fraksjonen er renere sortert.

Avfallet som kommer til anlegget, kommer inn i en pose. Posene som går gjennom restavfallsanlegget blir først kvernet, så siktet. Metall blir sortert ut hjelp av magneter i båndet. Resten av avfallet blir sortert ut ved hjelp av nære infrarødt lysspekter (NIR) maskiner. En skisse av en slik maskin framstilles i figur x-x. Slike maskiner bruker lys til å identifisere forskjellige typer avfall slik som plast og papir [21]. De kan også skille i forskjellige typer papir, som kartong og bølgepapp.



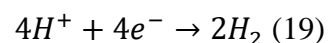
Figur 1 NIR-maskin, sorter fraksjoner ved å identifisere bølgelengden til forskjellig type avfall. Med tillatelse fra Rudolf Meissner overingeniør ved IVAR

2.7 Hydrogenbatteri

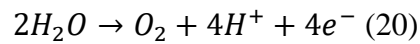
Hydrogen batterier til elektrolyse for produksjon av hydrogengass, kan bli brukt til å forbedre forbrenningen i en eksisterende motor. Ved elektrolyse omdannes vann til hydrogen og oksygen. Deretter sprøytes en blanding av disse to gassene direkte inn på motoren. Formålet med dette er å få motoren til å brenne bedre slik at utslippene ved ufullstendig forbrenning går ned. Samt, at man oppnår noen drivstoffbesparelser ved at effekten i motoren øker.

2.7.1 Elektrolyse

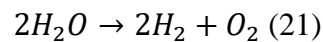
Elektrolyse er hovedprosessen i hydrogenbatterier, og den går ut på å splitte en molekylær forbindelse inn i sine ioniske deler. Dette kan man gjøre ved å sette strøm på en væske som inneholder den forbindelsen man ønsker å dele opp. Bruker man vann som det mediet man ønsker å splitte får man, ved å påføre strøm, ut hydrogengass (H_2) og oksygen (O_2). Rent vann fungerer dårlig til elektrolyse uten en elektrolytt. Elektrolytter, eller en ionisk løsning, er et stoff som består av ioner og må være vanskeligere å oksidere enn vann. Tilførselen av dette vil gjøre det lettere å gjennomføre elektrolyse på vann. Selve prosessen ved den negativt ladede katoden kan beskrives som



, hvor hydrogen gass blir til. Ved den positivt ladede anoden kan prosessen beskrives ved



, hvor oksyngengass blir til. Den samlede prosessen kan beskrives som



, hvor vann blir omdannet til hydrogen gass og oksyngengass [6].

2.7.2 Hydrogenceller i system

Ultimate cell er et produkt som består av flere hydrogenceller som produserer H_2 og O_2 ved hjelp av elektrolyse. En illustrasjon av systemet er vist i figur 1. Ved å sette sammen flere hydrogenceller kan man produsere nok H_2 og O_2 til å tilføre en forbrenningsmotor på en bil eller lastebil. Ved å tilføre små mengder av disse gassene som en direkte innblanding med drivstoffet før forbrenning, vil drivstofforbruket minke noe, og på dieselmotorer kan også sotutslippene reduseres [22]. Basert på tidligere eksperimenter kan det dokumenteres at direkte innsprøyting på motoren av disse gassene gir noe bedre effekt i motoren. Det kan også vises til sotbesparelser [23].

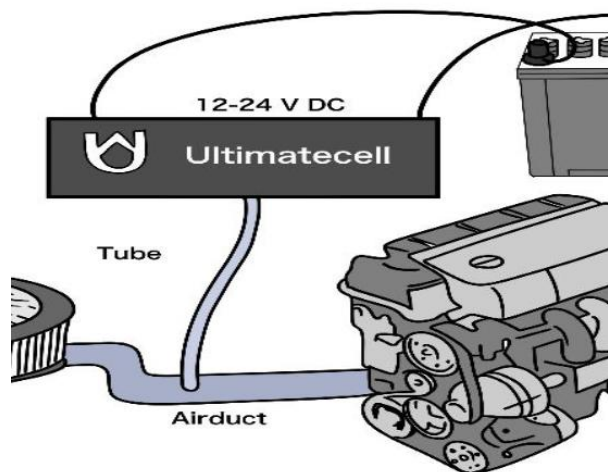
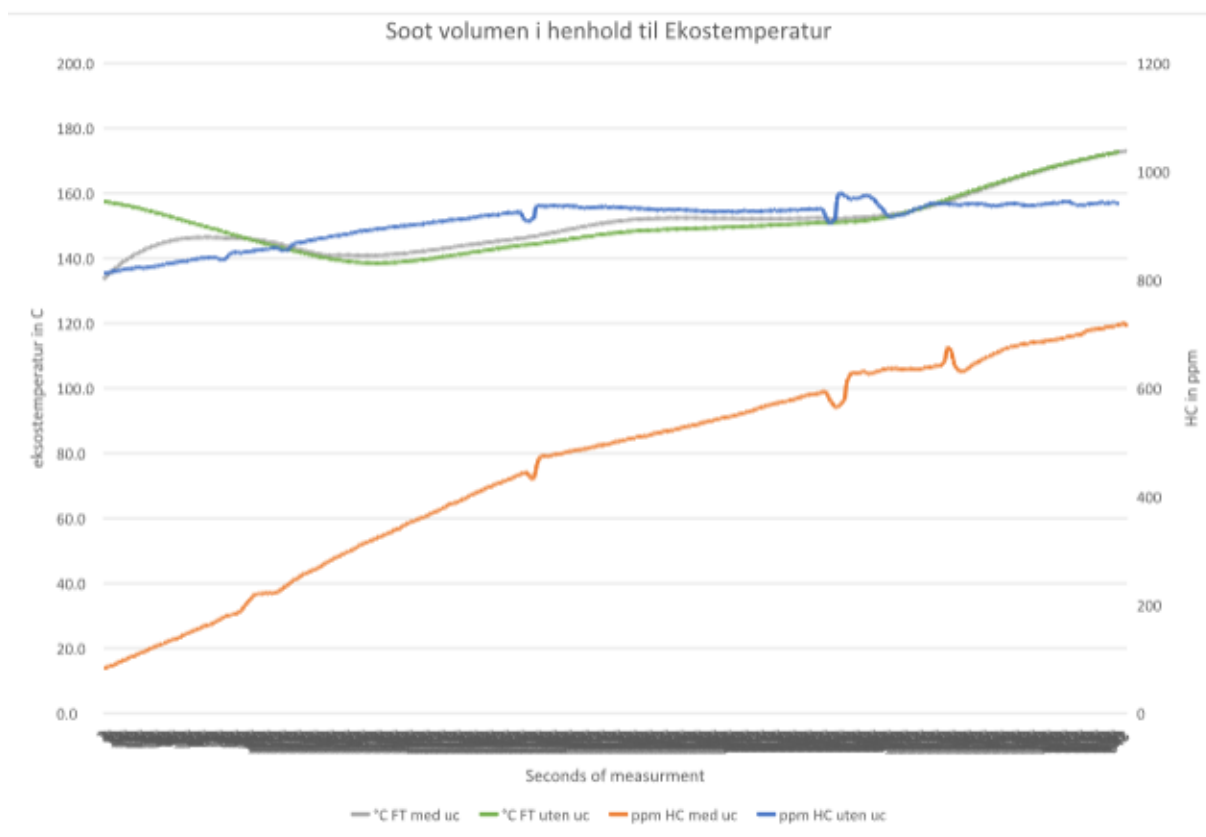


Figure 1 Ultimate cell, en skisse av hvordan systemet fungerer. Hydrogencellen er koblet på bilens batteri og pumper hydrogen og oksygen direkte inn på motoren. Figur fra Heiko Beilfuss Blue Thing AS.

2.7.2.1 Tidligere forsøk gjort hos Remiks AS med hydrogenbatterier

Gjennom egne eksosmålinger, gjennomført av Blue Thing, på en av Remiks AS sine biler ble det vist at utslippet av hydrokarboner (HC) gikk ned når Ultimate Cell (UC) var aktivert. Målingene ble gjennomført med og uten UC koblet på ved samme eksostemperatur, og både UC, motorens katalysator, målesystemet og sensorene ble rensert mellom målingene. Når driftstemperaturen på eksosen ble nådd, ble målinger utført ved 1000, 1500, 2000, 2300 omdreininger, og hver måling tok 2 minutter. Målingene ble utført ved 140 grader celsius, og samme framgangsmåte ble brukt med og uten UC systemet. Fra disse målingene ble figur 2 produsert, som viser eksostemperatur (FT), med og uten UC slått på.



Figur 2 Grafisk framvisning av målinger gjort på sotinnhold i eksos med og uten UC. Figur fra Heiko Beilfuss Blue Thing AS.

Grafen viser også utslipp av hydrokarboner i parts per million (PPM) med og uten UC slått på. Resultatene viser at ved en gitt temperatur er det mindre HC i PPM i eksosen. Dette vil bli brukt i diskusjonen av nytten ved bruk av denne teknologien på eksisterende biler. Effekten avtar med tiden etter vært som turtallet på motoren øker.

3 Metode

Dette kapitlet vil omhandle metodene som er brukt i arbeidet med å finne alternative tiltak som kan bidra til å forbedre klimaavtrykket til Remiks AS. Det er gjennom deres klimarapporteringsverktøy og samarbeid, blitt vektlagt flere tiltak som kan være aktuelle for å endre klimaavtrykket til bedriften.

3.1 Sol

Ett av tiltakene som er vurdert for å redusere karbonavtrykket til bedriften er å se på alternative energikilder. Med et stort takareal, er det mulig å dekke noe av energibehovet ved implementering av solenergi. Dette kapitlet vil ta for seg hvordan solenergi kan bli utnyttet til å redusere energibehovet i avfallsarbeidet.

3.1.1 Energistatistikk

Fra det lokale nettselskapet Troms Kraft Nett er det anskaffet timesdata på strømforbruk hos Remiks AS gjennom hele 2019. En analyse av datasettet er gjennomført for å framstille en gjennomsnittlig sommerdag, altså fra 1. april til 30. oktober, og en gjennomsnittlig vinterdag, fra 1. november til 30. mars. Dette er gjort for å kunne si noe om lasten gjennom en gjennomsnittlig dag. Det vil da, med hensyn til solenergi, være av nytte å redusere noe av lasttoppene ved å produsere egen strøm ved tidspunktene med høyest last. En oversikt over forbruket gjennom dagen blir beskrevet i figur 3 og 4.

3.1.2 Solkart og areal



Figur 3 Et kart som viser solpotensialet for administrasjonsbygget helt nord på bildet og produksjonsbygget lengre sør. Det siste bygget er Kvitebjørn AS sitt anlegg som ikke utgjør en del av denne vurderingen. Hentet fra solkart.no [24]

Som en første undersøkelse er det hentet inn data fra solkart.no. Dette for å få en tidlig innsikt i potensialet som kan være tilgjengelig. I selve kartet presenteres lysegult som godt potensial for sol innstråling, mens blått indikerer dårlige forhold. Av de tilgjengelige takarealene på eiendommen til Remiks AS har det nordligste bygget, administrasjonsbygget, et buet tak som er nordvendt. Dette gjør at potensialet ikke er veldig stort, så dette taket blir ikke vurdert videre. Det første bygget som blir vurdert som et godt potensial er prosessbygget til Remiks AS, som ligger like sør for administrasjonsbygget på eiendommen. Dette har et takareal på 7400m², og mesteparten av taket ligger østvendt. Dette gjør at potensialet til dette taket ser bra ut i de første undersøkelsene. Ett problem med beliggenheten til prosessbygget er den korte avstanden til Kvitebjørn Varme AS sitt forbrenningsanlegg. Kvitebjørns anlegg ligger sør for prosessbygget, er fire meter høyere og har ei pipe på 60 meter som vil kaste skygge over taket til prosessbygget når solen står i sørlig retning.



Figur 4 Et kart som viser solpotensialet for RHB bygget lengst nord på kartet og returstasjonen i gult, lengst sør på kartet. Hentet fra Solkart.no.

Et tredje aktuelt takareal tilhører Remiks AS sitt returhåndteringsbygg, RHB bygget. Dette bygget er lokalisert sør for Kvitebjørn og har et helt flatt tak. Dette gjør det taket godt egnet for solceller da det ikke er skyggende objekter sør for bygget. Det eneste problemet hva gjelder skygge her kan være under midnattssolperioden, da Kvitebjørn kan kaste skygge fra nord. Dette avhenger av hvordan solcellene er orientert, og vil bli undersøkt. Det siste takarealet som blir undersøkt tilhører miljøstasjonsbygget, lokalisert helt sør på tomten til Remiks AS. Dette er et avlangt tak med en bue som vender øst/vest. Det har et areal på 1750m^2 og vil i stedefor bue, bli modellert som skråtak. Dette er for å forenkle beregningene. En utfordring med denne lokasjonen er fjellet som ligger sør for stasjonen og vest for hele eiendommen. Det vil helt klart være skygning i de delene av året hvor solen henger lavest på himmelen. Det er derfor nødvendig å analysere forholdne videre for å finne den optimale plasseringen og orienteringen av modulene på disse tre takene.

3.1.3 PVsyst

PVsyst er en programvare som lar deg bygge en scene med bygninger og objekter som man kan plassere solceller på. Slik kan man undersøke solenergipotensialet til et område eller en eiendom. Selve programvaren inneholder oppdaterte tekniske data på solceller og invertere, samt data på solforhold på gitte koordinater. Hovedresultatet fra PVsyst er totalenergi produsert, gitt i MWh/y, virkningsgrad, PR i prosent, og spesifikk energi i kWh/kWp. [4]

I modellen ble det brukt en modul som heter JKM410M-72H-V med en virkningsgrad på 20,50%. Sammen med denne er det brukt tre invertere, CORE-500.0-TL (500kW), PV5800-57-0630kW-B (630kW) og ULTRA-700.0-TL_BDEW (700kW).

3.1.4 CO2 avtrykk fra gjeldende strømleverandør

For beregninger på CO2 ekvivalenter på gjeldene strømvaktale hos Remiks AS er det lagt til grunne dagens avtale om opprinnelsesgaranti fra Tromskraft Nett (TKN). TKN garanterer da i henhold til energiloven, at all strømmen som blir kjøpt er produsert fra 100% fornybar energi. I varedeklarasjonen til TKN ligger det da et estimat på klimagassutslipp per kWh, som gir CO2 ekvivalenter i g/KW = 0,3 [25].

3.2 Drivstoffbytte

Dette kapittelet vil ta for seg metoden som ligger bak beregningene av nytten ved å bytte drivstoff fra vanlig diesel til biodiesel.

3.2.1 Drivstoffstatistikk

For å evaluere nytten og kostnadene ved å bytte drivstoff på dagens maskiner som operer hos Remiks AS, er det hentet inn literpriser fra SSB på diesel og egne tall på HVO-100 biodiesel. Tallene for biodiesel er hentet fra leverandøren til Remiks AS, Bunkeroil, og literprisen for 2019 og fremt til oktober i 2020 er da beregnet fra utstedte fakturaer. Det er så tatt et gjennomsnitt fra disse to periodene for å finne en pris per liter. For diesel er gjennomsnittet beregnet for samme periode og hentet fra SSB.

Tallene fra rapporten på drivstoff og tilsvarende utslipp i tonn CO2 ekvivalenter er gitt i tabell 1. Med pris per liter og CO2 ekvivalentene er det mulig å beregne hvor mye hver CO2 ekvivalent koster i kroner, og vil bli brukt til å sammenligne klimanytten av drivstoffbytte.

Tabell 1 Statistikk fra årsrapporten til Klimakost basert på tall fra Remiks AS

Kategori	Liter
Diesel Forbruk egne kjøretøy	99819
KP, Diesel	250376
Biodiesel Bunker Oil HVO100	37309

I tabell 1 har klimakostrappen skilt mellom diesel på egne kjøretøy og KP. Diesel til egne maskiner er da kjøretøy som henter avfall. KP diesel er da de resterende maskinene på eiendommen som bruker diesel i arbeidet med avfallet. Videre i beregningene skilles det ikke mellom innsamlingskjøretøy og maskiner som jobber på eiendommen med hensyn til dieselforbruk.

Basert på data fra klimakost og bunkeroil er det lagt til grunne at biodiesel gir en utslippsfaktor på 0,3 kg CO₂ ekv./per liter drivstoff [26]. Det er da brukt kg CO₂ fra klimakostrappen til Remiks AS og delt på antall liter biodiesel brukt. Fra miljødirektoratet sin konverteringstabell er det gitt at biodiesel gir en utslippsfaktor på 2,85 kg CO₂ ekv./liter drivstoff [27]. For beregningene i denne avhandlingen er det brukt et gjennomsnitt fra disse to kildene, noe som gir 1,57 kg CO₂ ekv./liter.

3.3 Organisk avfallshåndtering

Komposten blir til ved behandling av matavfallsfraksjonen som Remiks AS samler inn og kjører til Skibotn. Som et av tiltakene til bedriften kan vurdere for å minke avtrykket sitt er det å gjøre denne behandlingen om til biogass istedenfor kompost. Gassen vil så kunne oppgraderes til en kvalitet som kan brukes som drivstoff. Det er da nødvending med kjøretøy som kan bruke denne gassen, men dette er ikke en del av oppgaven å regne på kostnadene ved å kjøpe inn nye kjøretøy. Et slikt anlegg ville også hjelpe med å minske farene ved bakterier som listeria og e.koli da det er en lukket prosess.

3.3.1 Energiforbruk Skiboten

Energiforbruket til Skiboten er beregnet ved hjelp av drivstoffstatistikk hentet fra fakturaer hos Circle K. Denne statistikken er fra fylling av diesel tank per andre måned. Fordi det var mye konstruksjonsarbeid i 2019 er ikke drivstofforbruket dette året knyttet til drift. Det betyr at den statistikken ikke kan brukes som mål på energiforbruket. Det er da brukt statistikk fra 2020, fra januar til oktober. Det er så tatt et gjennomsnitt av alle dieselfyllingene og derfra regnet ut hva det totale energiforbruket er for 2020. Dette vil bli gjort med en konverteringstabell fra miljødirektoratet som omregner fra en enhet til KWh [27]. Statistikken representeres i tabell 2

Tabell 2 Forbruksdata på diesel hos Origo Skibotn AS for 2020

Dato	Liter
31.01.2020	4223
02.04.2020	5009
05.05.2020	5051
21.07.2020	5086
03.08.2020	1668
27.10.2020	4232

3.3.2 Mengdestatistikk

Mengder avfall som skal gå til biogass produksjon er basert på antagelser fra mulige leverandører og fra statistikk på organisk avfall som leveres til Skiboten i dag. Den totale mengden med organisk avfall som er prosjektert er da på opptil 6000 tonn i året. Disse mengdene består av forskjellige typer organiskmateriale som fiskeavfall, septik, korn og matavfall. For alle disse typene er det gjort antagelser om gasspotensial, beskrevet nærmere i kapittel 3,3,3. For kompostering legges til grunne den samme prosjekterte mengden på 6000 tonn avfall.

3.3.3 Gasspotensial

Gasspotensialet til det organsikematerialet vil bli regnet ut med noen antagelser. Først vil det bli gjort en antagelse av hvor mye av mengdene som er tørrstoff, fra denne mengden vil det så bli anslått at 85 prosent av dette er organisk materiale [10] [28]. Fra dette kan man kalkulere ett gasspotensial, hvor 65 prosent vil bli antatt er metan gass [11]. Fra gass potensialet er det så mulig å regne energi ekvivalenten. Det vil da bli antatt at den oppgraderte biogassen har en energiekvivalent med diesel på 10.1 KWh/liter [29].

3.3.4 Kostnader

Et investeringsestimert blir basert på erfaringer fra forskjellige leverandører av slike type anlegg, som Amtec og BioWoima. Det vil så bli gjort et estimert for minste og høyeste pris på for et anlegg og dette inkluderer et gassoppgraderingssystem. Det vil så bli lagt til grunne en støtte til biogass anlegg som levers av Enova. For å få denne støtten må anlegget oppnå kravet om at produksjonen av biogass av drivstoffkvalitet på tilsvarende 1 GWh i året [30]. Denne støtten er på mellom 35-45 prosent av hele prosjektet og vil bli brukt i utregningene for total kostnadene av prosjektet. Kostnadene på kompost vil ikke bli vurdert i denne oppgaven.

3.3.5 Klimanytte

På skiboten i dag behandles matavfallsfraksjonen ved kompostering. For å beregne klimanytten ved kompostering er det lagt til grunne mengdestatistikk fra 2019 som Remiks AS selv rapporterer. Dette blir brukt i programvaren Sima Pro Share and Collect, sammen med kilometer statistikk på innhenting av denne fraksjonen. Det er også lagt en bit diesel og en bit elektrisk arbeid som går til behandlingen av avfallet hos Remiks AS. Dette er samme framgangsmåte som beskrevet i større detalj i 3,4,2. Samme framgangsmåte vil bli brukt for biogass.

Nytten av gassen vil bli vurdert som en drivstoffstatning. Det vil si at gasspotensialet som blir regnet ut vil bli antatt brukt til å erstatte drivstoff i andre anleggsmaskiner. Basert på manglende data og kommersielle tall vil det ikke være med i beregningene hvor mye det vil koste og erstatte maskinene som i dag går på diesel til maskiner som kan bruke gass. Det vil da for denne oppgaven heller bli antatt at gassen som produseres kan selges som et produkt som vil erstatte diesel i andre transportsektorer.

3.4 Valg av nedstrøms håndtering

Remiks AS sitt fremste mål er å få ned avfallsmengden og at det avfallet som samles inn i størst mulig grad kan gjenvinnes. Med et mål på 60% gjenvinningsgrad er det derfor viktig å sørge for at avfallet som kommer inn blir håndtert riktig og sendt til en nedstrømspartnere som har gode løsninger.

Statistikken som blir lagt som beregningsgrunnlag er hentet fra Remiks AS. De har en egen rapport på mengder avfall i tonn, som kommer til anlegget gjennom året. Årsrapporten skiller i mengder mellom RH og RN, men for å få et mer oversiktlig resultat er disse delene slått sammen til en mengde. Gjennom klimakost rapporteringen er det også ført statistikk på strømforbruk og dieselforbruk som vil bli brukt i beregningene til programvaren SimaPro Share and Collect. Den siste inputen programvaren trenger er virkningsgraden på forbrenningsanlegget. Den er satt til 0.8 som stemmer ganske godt med gjennomsnittet for alle forbrenningsanlegg i Norge. [31]. Det er også satt at all energien som brukes og produseres, kommer fra og erstatter en norsk energi miks. Dette er gjort for å være konservativ i beregningene som skulle gjelde energierstatning, sånn som ved forbrenning av restavfall.

3.4.1 Livsløpsanalyse

For denne analysen er det satt en avgrensning av livsløpet til produktet. Denne avgrensningen er at beregningene først starter når produktet har havnet i en gjenvinningscontainer. Det betyr at denne analysen ikke tar hensyn til hele livsløpet til produktet. Det er gjort for å framheve klimaavtrykket de forskjellige behandlingsmetodene har på produktet. Analysen følger så produktet til sluttbehandling hvor det blir materialgjenvunnet, deponert eller omgjort til energi. Analysen skal også forholde seg til klimaeffekten til produktet og behandlingsmetodene, som betyr at andre miljø og klimakonsekvenser som, forsuring, fotokjemisk oksidasjon, eutrofiering, støyforurensning, spillvann, dyreliv, bygging av fabrikken som lager produktet og lignende ikke blir tatt med

3.4.2 Vektlegging og beregninger

For å kunne vektlegge mengder avfall med kilometer kjørt, brukes formelen

$$R_{km} = \frac{\text{Total innsamling RH og RN km}}{(\text{Total tonn avfall})} * X \text{ Tonn avfallsfraksjon} \quad (22)$$

, hvor x er en fraksjon som matavfall. Dette gjør det mulig å vektlegge mengden avfall som blir transportert. Det er jo klart at det går mer diesel på å transportere en stor mengde restavfall mot en liten mengde plastikk. Det er også lagt sammen RH og RN for en mer oversiktlig representasjon.

Energiutnyttelsesgraden for forbrenning av avfall er i denne versjonen av SimaPro låst til 80%. Dette er vanligvis noe man kan stille på, men på grunn av overgang til ny versjon er dette ikke lenger mulig. For denne rapporten er det ikke et stort problem da en artikkel fra Avfall Norge i 2019 sier at den gjennomsnittlige forbrenningsanleggene i Norge ligger på 81% [31]. Verktøyet har også flere valg for hva energigjenvinningen ved forbrenning skal erstatte. I denne rapporten er det lagt til grunne at Remiks AS benytter seg av en norsk energimiks og at energien som blir produsert går til å erstatte en norsk energimiks.

For å kunne gi den riktige inputen til SimaPro Share and Collect er det nødvendig å beregne hvor mye strøm og eller diesel som blir brukt til å håndtere de forskjellige avfallsfraksjonene. Det meste fra husholdning kommer inn i optibagsystemet som går på strøm. Remiks AS kjøper så strøm med grønt sertifikat, slik at avfallet som blir håndtert med strøm får norsk miks som strømgrunnlag. Det er så for å være konservativ lagt til at energien som blir produsert av Kvitebjørn AS også skal erstatte norsk strømmiks.

$$R_{strøm} = \frac{\text{Total strømforbruk}}{\text{Total tonn fra optibag}} * \text{Total X tonn avfallsfraksjon} \quad (23)$$

, hvor x er en fraksjon som matavfall. Det er kun brukt total mengde avfall som er inne i optibagsystemet da dette kun blir behandlet elektrisk. Det vil også være nødvendig med tonn*km for de fraksjonene som har en annen endestasjon en Kvitebjørn AS. På samme måte som strøm vektlegges per tonn avfall håndtert må man gjøre det samme for diesel

$$R_{diesel} = \frac{\text{Total liter diesel}}{(\text{Total tonn avfall} - \text{total tonn avfall optibag})} * \text{Total x tonn avfall} \quad (24)$$

, hvor x kan være en fraksjon sånn som matavfall. Det er så trukket i fra mengdene som blir behandlet av optibagsystemet da dette er utelukkende elektrisk.

Siden brukeren har begrenset tilgang til den underliggende metoden og sammenhengene, blir dette en usikkerhet som må diskuteres med resultatene [32]. For å kvalitetssikre tallene vil de bli sammenlignet med tall fra Avfall Norges rapport [16]. En oversikt over datagrunnlaget for beregningene til programmet legges som vedlegg.

3.4.3 Restavfall

Restavfall som kommer inn til Remiks AS kommer inn på flere måter. En er igjennom husholdning og den hvite poseordningen. En annen delen som RH har ansvar for og det innsamlede avfallet blir sortert i optibag systemet. Det kommer også inn restavfall fra returstasjonene til Remiks AS. Statistikken for mengdene er hentet fra 2019. Den andre biten av restavfallet som blir hentet inn er fra RN. Her vil det være snakk om avfall fra næringskunder som for eksempel en skole eller byggeplass. I denne analysen vil disse to delene bli lagt sammen til en mengde, og lagt inn i SimaPro Share and Collect. For utregningene på CO2 ekvivalentene er det lagt til grunne energierstatning, siden restavfallet kvernes og leveres til Kvitebjørn AS som brenner restavfallet og gjør det om til fjernvarme. Metoden for vektlegging av massene er beskrevet i kapittel 3,4,3.

3.4.4 Matavfall

Matavfall blir samlet inn i grønne poser og hentet av Remiks AS sine kjøretøy. Det som ikke går direkte i en container blir utsortert i optibagsystemet. Deretter blir det satt på en lastebil og kjørt til Skibotn. I skiboten blir matavfallet materialgjenvunnet til kompost og solgt videre som et jordforbedringsprodukt. Siden denne fraksjonen blir materialgjenvunnet er dette lagt inn i Sima Pro Share and Collect for å beregne CO2 ekvivalenten. Vektleggingen av mengdene og behandlingen av fraksjonen er beskrevet i kapittel 3,4,3. På grunn av oppdatering av programvaren er det for forbrenning lagt til grunne en nordisk miks isteden for norsk strøm miks slik det er på metall og restavfall og energien forbrenningen erstatter er da også skandinavisk miks i istedenfor norsk miks.

3.4.5 Metall

Metallfraksjonen blir kjørt til Remiks AS av privatkunder, det er da ikke lagt på noe kjørestatistikk for denne type kjøring da det ikke foreligger noe data. Det er også en hel del metall som kommer inn gjennom RN og blir maskinsorter. Det gjør at metall bare får et dieselpåslag. Metallet sendes så til HRS Metallico i Tromsø hvor det blir sortert videre og gjort klart til sending. Fra HRS sendes 96% av metallet de tok imot videre ned til Fredrikstad for enda en sortering. I Fredrikstad sorteres det ut 20% av dette, som går til forbrenning av

restavfall, mens 80% går til videre salg. Det er da ikke mulig å spore metallet videre siden det selges i bolker på et åpent marked. Det er da gjort en forenkling og sagt at metallet som kommer til Fredrikstad og blir sortert ut som metall, blir materialgjenvunnet til nytt metall [36].

3.4.6 Plast

Plastemballasje kommer inn til Remiks AS gjennom den blå poseordningen og gjennom næringskunder. De blå posene sorteres i det optiske anlegget og næringsplast blir maskinsortert. Disse to mengdene er hentet fra statistikken til Remiks AS og lagt sammen. Vektlegging av mengdene ved behandling og kjørte kilometer blir beskrevet i kapittel 3,4,3. Plastemballasje sånn som metallfraksjonen er vanskelig å spore etter at den er sendt til Fredrikstad for videre behandling. På grunn av manglende data er det da også her lagt til grunne at all plasten blir sendt fra Fredrikstad og blir materialgjenvunnet. Dette er da en antagelse som vil bli diskutert senere.

3.4.7 Trevirke

Trevirke kommer inn til Remiks AS gjennom husholdningskunder som kjører treavfall til Remiks AS og gjennom næringskundene. Det er heller ikke for denne fraksjonen tatt hensyn til klimaavtrykket som kommer av at kunder kjører til Remiks AS. Basert på Remiks AS sin statistikk er det lagt til grunne at trevirke under husholdning går til materialgjenvinning og trevirke fra næring går til energigjenvinning. Det er ikke gjort et skille på mengdene i beregningene, slik at CO2 ekvivalenten gjelder for denne sammensetningen av tre som går til material og energigjenvinning. Det er flere endestasjoner for nedstrømspartnerne til Remiks AS, det er derfor også her antatt at en kjørerute til Fredrikstad til Tromsø og ikke tatt hensyn til videre transport. Vektlegging av transport og behandling hos Remiks AS er beskrevet med metoden i kapittel 3,4,3.

3.4.8 Alternative scenarier

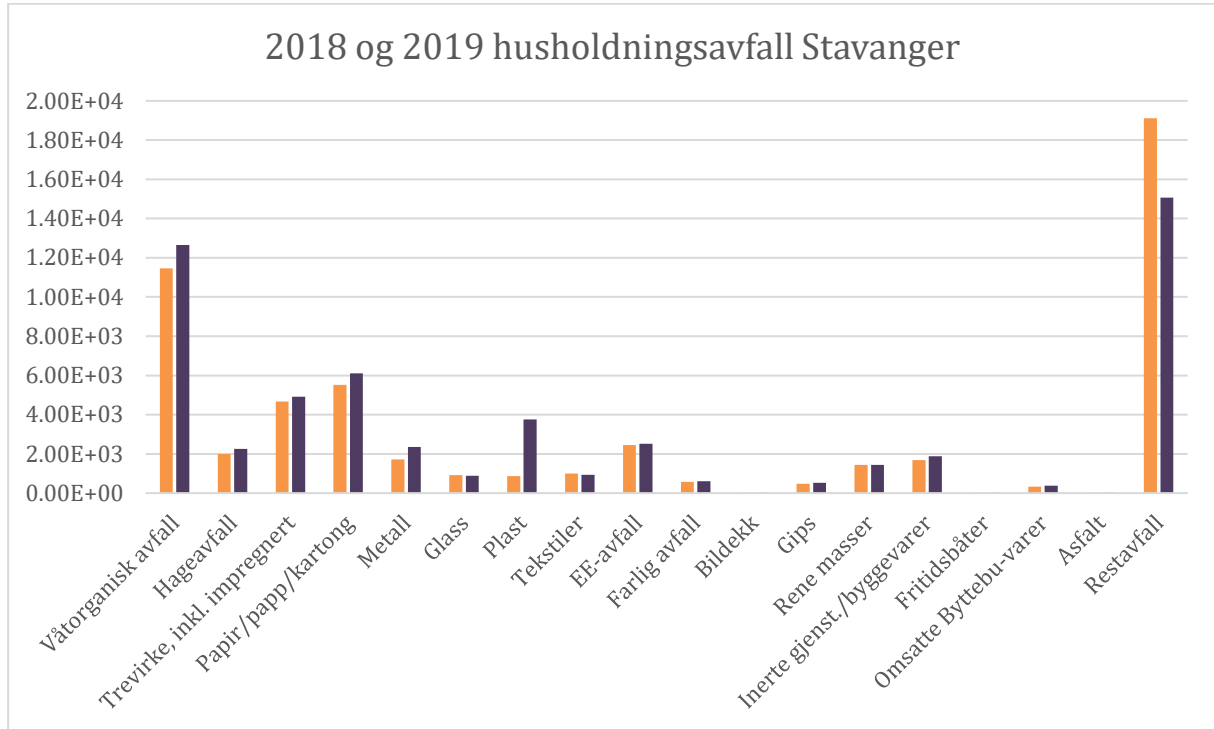
For å sammenligne forskjellige behandlingsmetoder slik som energierstatning og materialgjenvinning vil det bli brukt den samme statistikken for de utvalgte fraksjonene, den samme vektleggingen på transport til og fra Remiks AS og behandlingen hos Remiks AS. Det eneste som da endres på er om mengdene går til materialgjenvinning eller til energigjenvinning. Det vil også være de samme antagelsene for energigjenvinning i de alternative scenarioene som de første beregningene. Det vil da kun være hva som skjer med fraksjonene som endres på, slik at de er sammenlignbare tall for CO₂ ekvivalenter. Det vil da for treavfall være nødvendig med ett ekstra sammenligning scenario i forhold til de andre, det er fordi mengdene i denne fraksjonen deles opp i både materialgjenvinning og energigjenvinning. For å kunne sammenligne behandlingsmetoder er det da nødvendig å se på hvordan CO ekvivalenten ser ut om hele fraksjonen går til materialgjenvinning og hvordan det kan sammenlignes om alt går til energigjenvinning.

3.5 Ettersorteringsanlegg

Gjennom gjenvinning av avfall kan man ta vare på verdifulle materialer som allerede har blitt utvunnet fra sine kilder. På denne måten kan man redusere nødvendigheten av nye materialer for å lage ting. Slik kan man bidra til sirkulær økonomien i praksis, ved å material gjenvinne. Videre er det fra EU sin side kommet resirkulerings mål for 2030. Et mål EU har satt er for resirkulering av husholdningsavfall skal opp til 65% [33]. I Tromsø i 2019 lå denne sorteringsgraden på 39,1 prosent. En mulig løsning på problemet er å investere i et ettersorteringsanlegg. Som automatiserer sorteringen av husholdningsavfall og gjør sorteringsjobben lettere for kunden.

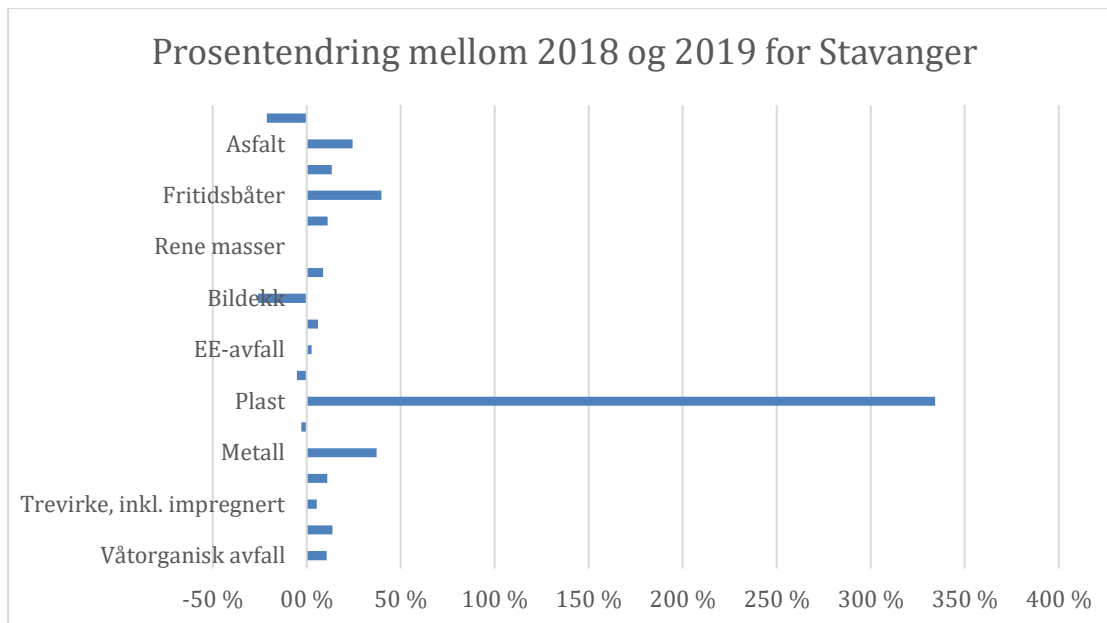
For å kunne finne klimanytten av et slikt anlegg i Tromsø er det blitt gjort en sammenligning med et anlegg kalt IVAR, som befinner seg i Stavanger. Dette anlegget ble tatt i drift i 2019 for sortering av restavfall og resten av anlegget for plastvasking skal ferdigstilles i 2021. Metoden som er brukt i denne oppgaven er da å ta statistikk fra husholdningsavfall i Stavanger fra 2018 og sammenlignet det med statistikken fra 2019. Dette er da før og etter at anlegget ble tatt i bruk. Det er så beregnet en prosent endring i vær av kategoriene som våtorganisk, papir, plast, med flere, slik at det kommer fram hvor mye vær kategori har økt i mengde og hva som har minket i mengde. For så å kunne si noe om hvordan anlegget ville ha fungert i Tromsø er det da brukt statistikk på husholdningsavfall fra 2019. De samme prosentene som ble funnet i

Stavanger vil da bli brukt på avfall statistikken til Tromsø. En oversikt over alle kategoriene og prosentendringene vil bli gitt i figur



Figur 5 Tonn husholdningsavfall i utsorterte fraksjoner før det automatiske sorteringsanlegget ble tatt i bruk og etter. Statistikk for Stavanger kommune.

Videre er prosentendringen gitt i figur 6, som så vil bli brukt på statistikken til Tromsø, for å kunne si noe om hvordan et slikt anlegg vil påvirke sorteringsgraden.



Figur 6 Prosentendring i husholdningsfraksjonene etter at det automatiske sorteringsanlegget ble tatt i bruk i Stavanger kommune.

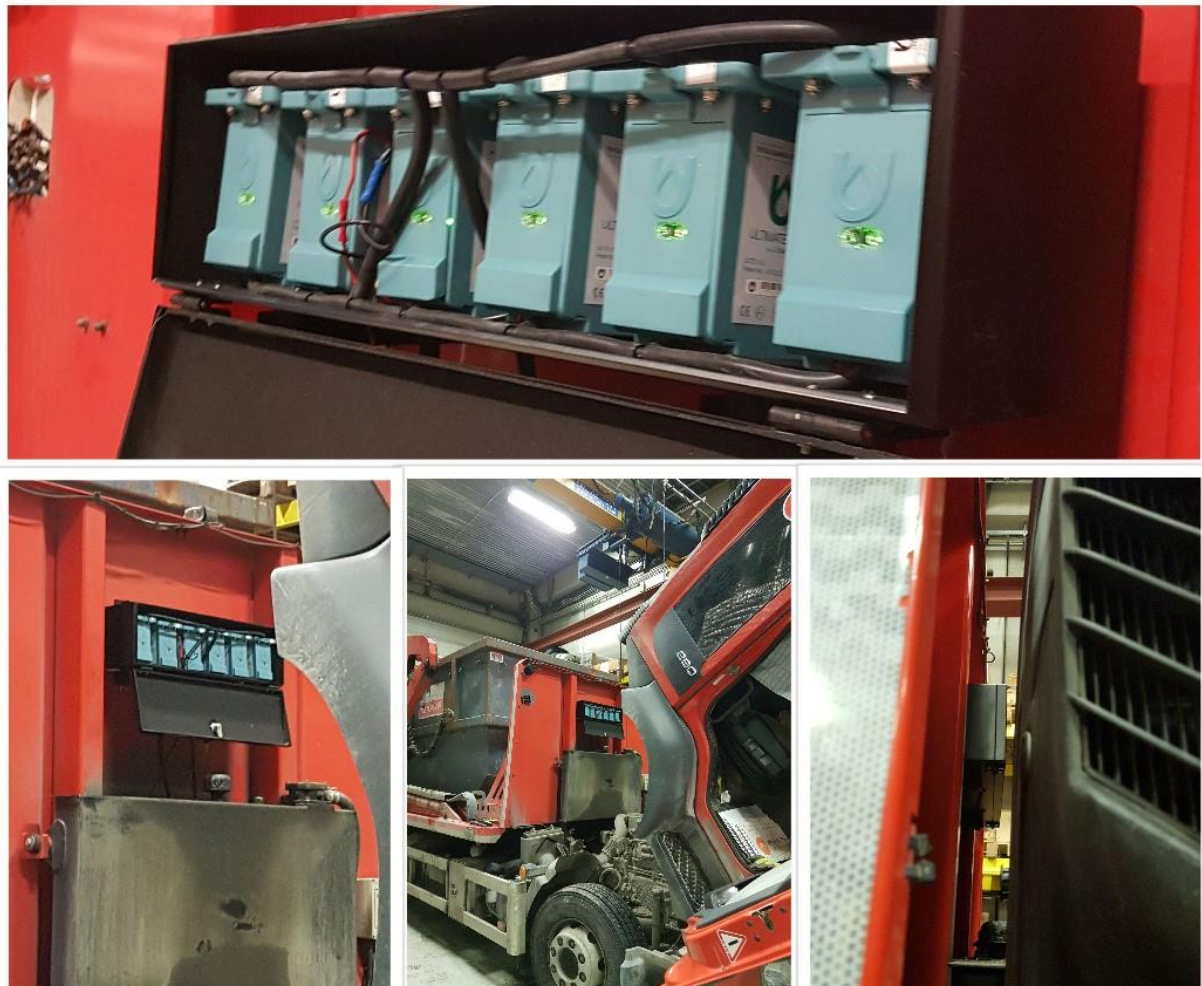
Videre vil klimanytten bli kalkulert, ved å bruke Sima Pro Share And Collect, på mengdestatistikken for Tromsø før og etter at det tenkte anlegget ville vært implementert.

3.5.1 Prisanslag

Tall gitt fra Rudolf Meisner, fagansvarlig for renovasjon i IVAR, anslår en kostnad på 690 millioner for hele anlegget, i 2019, inkludert plastvasking og pappsorteringsanleggene, i tillegg til restavfall sorteringsanlegget. Selve restavfall sorteringsanlegget anslår han at kostet 393 millioner kroner. Det vil da i denne avhandlingen bli antatt samme investeringskostnad på videre beregninger av klimanytte per krone investert. Dette vil da være et anlegg som kan ta 66 250 tonn restavfall i året, noe som er stort nok for Tromsø.

3.6 Hydrogenbatteri

I dette kapitlet presenteres en metode for å regne på drivstoffbesparelser ved hjelp av hydrogenbatterier. Som ett av tiltakene for å redusere klimaavtrykket til Remiks AS er det fra tidligere gjort forsøk med hydrogenbatterier. Dette har blitt påmontert en av dieselbilene til RN og statistikk er hentet fra denne bilen. Statistikken fra bilen inkluderer dieselutfyllinger og kjørte kilometer i periodene januar til september 2017, 2018 og 2019. 2017 er året før prosjektet med batteriene, slik at man har statistikk på hvordan bilen ble brukt med tanke på antall tonn som ble kjørt, lengde og drivstoffbruk. 2018 er året da batteriene var koblet til, og i 2019 var de koblet fra igjen. Selve oppsettet av hydrogenbatteriene er illustrert i figur 7, som viser hvordan cellene er montert på bilen.



Figur 7 seks hydrogenbatterier som er blitt påmontert en av RN sine biler. Ultimate cell, som er teknologien som er påmontert, er beskrevet i kapittel 2,7,2. Figur fra Heiko Beifuss Blue Thing AS.

Hvordan teknologien fungerer er beskrevet i kapittel 2,7,2. I denne avhandlingen ble først drivstofforbruk og kilometer kjørt hentet ut fra Circle K sine tall for fakturering av drivstoff til Remiks AS (kilde). Fra disse er det beregnet hvor mye drivstoff bilen bruker per kilometer i den oppgitte perioden. Det samme er gjort for 2018 når cellene var påmontert og i bruk, samt 2019 når cellene ikke lenger var i bruk. Det er så hentet inn vektdata fra vekta til Remiks AS, som registrerer hvor mye avfall bilen har tømt i samme periode. Dette er gjort for å undersøke om en av kildene til forskjellene i drivstofforbruket kan skyldes mengden avfall bilen har tømt. Hvis bilen har kjørt mindre mengder, kan det tyde på at dette er grunnen til at bilen har brukt forskjellige mengder drivstoff og dette må undersøkes nærmere. Det er også andre faktorer, som temperatur og andre klimatiske forhold, som kan ha store utslag på drivstofforbruket. Det har også noe å si hvilken sjåfør som kjører bilen, men disse faktorene blir ikke evaluert i denne oppgaven.

4 Resultater

Fra metodene beskrevet i metodekapitlet vil resultatene fra dette bli presentert her. Det vil bli gitt resultater fra beregningene på et solcellesystem, drivstofferstatning, organisk avfallshåndtering, valg av nedstrømsløsninger og ettersortering. Det vil bli gitt resultater for kostnader i kroner og i CO₂ ekvivalenter for alle utenom nedstrømsløsninger. For nedstrømsløsninger vil det bli gitt resultater for CO₂ ekvivalenter ved forskjellige valg på avfallshåndtering. Resultatene vil så bli diskutert i neste kapittel.

4.1 Solcellesystem

Ved Remiks AS er det mye takareal tilgjengelig med lav helle grad, noe som gjør det mulig å få taket tilpasset med solcellemoduler. Det ble for denne oppgaven sett på taket på produksjonsbygget som har 7400 kvadratmeter. Dette taket er et øst-vest vendt tak med under ti grader helling. Det gjør at det er mulig å tilpasse taket med to forskjellige systemer, et sørvendt og et øst-vestvendt. I modellen ble det brukt en modul som heter JKM410M-72H-V med en modulvirkningsgrad på 20,50%. Sammen med denne er det brukt tre invertere, CORE-500.0-TL (500kW), PV5800-57-0630kW-B (630kW) og ULTRA-700.0-TL_BDEW (700kW). Dette gav ett modul areal på 5988 m² for øst-vestvendte systemet og 2994 m² for det sørvendte systemet. Det gav, for det øst-vestvendte systemet, ett utbytte på 779 MWh/år med en PR på 88%. For det sørvendte systemet ble det ett utbytte på 461 MWh/år med en PR på 71,2%

Det ble med hjelp av PVsyst valgt en vinkel på systemene som programvaren anbefaler og gjennom noen simuleringer ble det plukket ut to systemer, basert på kriteriet om mest mulig generert energi. Disse systemene fikk så en inverter analyse for å optimalisere den genererte energien.

4.1.1 Inverteranalyse

Fra PVsyst ble det valgt optimale vinkler for de to systemene basert på forslag fra programvaren. Det gav et sørvendt system med en tilt på 53 grader og et øst-vestvendt system med ti grader. Det ble gjort simuleringer for å optimalisere begge systemene, basert på kriteriet om mest mulig generert energi. Det best presterende systemet for sør og øst-vest ble valgt ut og presentert i tabell 3. Samtidig ble simuleringene for forskjellige invertere presentert i samme tabell. Det er gjort for å spare plass å ikke fylle oppgaven med tabeller. Det sørvendte systemet presterer litt mindre en øst-vestvendte systemet, men begge er presentert. Videre vil resultatene for optimalisering av øst-vestvendt systemet bli presentert. Det er gjort fordi det oppfyller kravet om mest mulig generert energi.

Tabell 3 Inverteranalyse av et 1220 kWp øst-vest vendt system med en 10 graders tilt

Inverter analyse øst-vestvendt med 10 grader tilt	Underestimert 500kW	Estimert 630kW	Overestimert 700kW
Generert energi MWh/år	779	776	776
Utbytte kWh/kWp/år	641	636	636
PR %	88,0	87,3	87,3

Tabell 4 Inverteranalyse av et 610 kWp installert sør vendt system med 53 grader tilt.

Inverter analyse for sør vendt med 53 grader tilt	Underestimert inverter 500KW	Estimert inverter 630 KW	Overestimert inverter 700 KW
GenerertEnergi MWh/år	461	461	461
Utbytte kWh/kWp/år	759	756	755
PR %	71,2	71,0	70,9

Siden øst-vest presterer best vil dette systemet bli vurdert videre for optimalisering. For å optimalisere systemet videre er det undersøkt om vinkelen på systemet kan endres for å få mer generert energi. Samt om mellomrommet mellom vær rekke har noe å si for generert energi.

Tabell 5 Optimalisering av et 1220 kWp installert øst-vest vendt system med 5 graders tilt.

Mellomrom mellom hver rekke (m)	2,4	2,9	3,4
Generert energi MWh/yr	778,6	647,7	544
Utbytte kWh/kWp/år	638	636	638
PR %	87,41	87,19	87,41
Antall Moduler	2976	2482	2080
Modul areal m ²	5988	4994	4185
Kostnad NOK/KWh	0,83	0,83	0,83

Tabell 6 Optimalisering av et 1218 kWp installert øst-vest vendt system med 10 graders tilt

Mellomrom mellom modulene	2,4	2,9	3,4
Generated energi MWh/yr	779	646	543
Utbytte kWh/kWp/yr	641	635	637
PR %	88	87,1	87,4
Antall moduler	2964	2482	2080
Modul Areal m ²	5964	4994	4185
NOK/KWh	0,83	0,83	0,83

Tabell 7 Optimalisering av et 1220 kWp installert øst-vest vendt system med 15 graders tilt

Mellomrom mellom modulene	2,4	2,9	3,4
Generated energi MWh/yr	771	646	543
Utbytte kWh/kWp/yr	632	635	637
PR %	86,8	87,1	87,4
Antall. Mod	2976	2482	2080
Areal m ²	5988	4994	4185
NOK/KWh	0,84	0,84	0,84

Tabell 8 Optimalisering av et 1220 kWp installert øst-vest vendt system med 20 graders tilt

Mellomrom mellom modulene	2,4	2,9	3,4
Generated energi MWh/yr	763	642	543
Utbytte kWh/kWp/yr	628	631	637
PR %	86	86,5	87,2
Antall Moduler	2964	2482	2080
Areal m ²	5964	4994	4185
NOK/KWh	0,85	0,85	0,85

4.1.2 Kostnader for hele systemet

Ved bruk av ett kalkyle ark fra Hojem [34] ble det brukt tall fra Irena [35] på installasjonskostnadene og derfra funnet en pris på hele systemet. Det er lagt til grunne amerikanske installasjonspriser som vil gi høyere priser enn det som er regnet ut her. Dette vil bli videre diskutert i kapittel 5 og resultatene av beregningene er gitt i tabell 9. Alle systemene har veldig lik eller lik mengde installerte moduler, som gir veldig lik pris.

Tabell 9 Kostnader for de forskjellige systemene.

System: Øst-Vest	Kostnad i NOK
5 grader tilt	10 949 378
10 grader tilt	10 931 428
15 grader tilt	10 949 378
20 grader tilt	10 904 504

4.1.3 CO2 bespart per KWh solceller mot nåværende strømleverandør og kostnader.

Ved å erstatte kjøpt strøm med egenprodusert strøm, med antagelsen at strøm fra solcellesystemet ikke har noe CO2 avtrykk, er det regnet på hva man sparer i CO2 ekvivalenter. Det er så beregnet hvor mange CO2 ekvivalenter man kan spare med kroner investert i systemets størrelse. Dette er gjort for vær av de fire systemene på 5, 10, 15 og 20 graders tilt, med 2,4m mellomrom mellom rekkene. Fordi dette var systemene som presterte best i forhold til produsert energi. Tabell 10 viser generert strøm for de fire systemene og CO2 ekvivalenter spart ved å forbruke egenprodusert strøm, istedenfor kjøpt strøm. Som nevnt i kapittel 3,4,1 er CO2 avtrykket til den kjøpte strømmen 0,3 g/kWh.

Tabell 10 Generert årlig strøm, kg CO2 ekv./kWh og Kg CO2 ekv./NOK

System: Øst-Vest	MWh/yr	Kg CO2 ekv./kWh	Kg CO2 ekv./NOK
5 grader tilt	778,6	23,4	2,14e-06
10 grader tilt	779	23,4	2,14e-06
15 grader tilt	771	23,1	2,11e-06
20 grader tilt	763	22,9	2,10e-06

4.2 Drivstoffestatning

Ved bruk av metoden beskrevet i kapittel 3,2 er det beregnet CO2 ekvivalenter ved forbruket av vanlig diesel og biodiesel. Det er her antatt at alt drivstoffet som Remiks AS bruker på et år er diesel eller biodiesel, for å kunne sammenligne CO2 ekvivalentene ved bytte fra diesel til biodiesel. Det er så beregnet en kostnad for både diesel og biodiesel slik at det kan beregnes en CO2 ekvivalent per investert krone i nytt drivstoff. Resultatene for CO2 ekvivalentene blir vist i tabell 11 og CO2 ekvivalentene per investert krone blir vist i tabell 12.

Tabell 11 CO2 ekv. per liter for diesel og biodiesel med snitt pris per liter

Drivstoff	Kg CO2 ekvivalent / liter	Snitt pris per liter
Diesel	3,1	13,20
Biodiesel HVO100	1,57	14,34

Tabell 12 Klimakostnadene ved forbruk av diesel og biodeisel på et år, samt CO2 ekv. per krone investert i biodiesel

Drivstoff	Totalt tonn CO2 utlipp	Total kostnad per år i kroner
Diesel	1201	5 115 053
Biodiesel	608	5 556 807
CO2/NOK	0,001	

Resultatet av å erstatte alt drivstofforbruk med biodiesel vil dermed gi en merkostnad på 8,6%, men omtrent en halvering i CO2 utlipp. Hensyn til økonomi og miljø må dermed veies opp mot hverandre.

4.3 Organisk avfallshåndtering

Remiks AS samler inn, sorterer og behandler avfall. Ved behandling av avfall er det i tillegg til kostnadene, ved investering, nødvendig å vurderes hvordan klima påvirkes av behandlingsmetoden. Det vil på bakgrunn av metoden beskrevet i kapittel 3, bli beregnet kostnader ved implementering av et biogassanlegg i Skibotn. Dette anlegget vil da behandle organisk avfall som per i dag blir kompostert. Klimanytten vil så bli vurdert for begge behandlingsmetodene slik at de kan sammenlignes.

4.3.1 Gasspotensial

Ved å anta en mengde organisk avfall på 6000 tonn i året, er det beregnet gasspotensialet av denne mengden. Det vil fra dette gasspotensialet bli beregnet nytten av å substituere diesel med biogass. Slik at det kan beregnes en kostnad på anlegget og CO₂ ekvivalenten per investerte krone. Resultatene for beregningene som er gjort på gasspotensialet av det organiske avfallet er representert i tabell 13. Det er fra gasspotensialet regnet om til energiekvivalenter for å sammenligne energiekvivalenten fra diesel.

Tabell 13 Liter gass produsert og omregnet i strømekvivalenter

Årlig produksjon gass	1626937 liter
Strøm ekv.	16432060 KWh

Enovas krav om årsproduksjon, for å få innvilget støtte til et slikt prosjekt, ligger på 1 GWh i året. Basert på utregningene vist i tabell 13 er produksjonen her tilstrekkelig for støtte fra Enova, og dette vil bli lagt til grunne for resultatet av utregningene for pris på prosjektet. Prisestimat, med og uten støtte fra ENOVA, finnes i tabell 14

Tabell 14 Pris på systemet med og uten Enova støtte

Pris på prosjekt uten støtte i norske kroner (NOK)	Pris med 40% støtte fra Enova
60-90 mill. NOK	36-90 mill. NOK

Det er verdt å nevne at disse tallene er basert på erfaringer fra flere selskaper, som nevnt i kapittel 3,3 og er derfor ikke prisen på det faktiske anlegget som vurderes.

Hvis man antar at 1626937 liter biogass i stedet hadde vært diesel, kan det beregnes CO₂ avtrykket til dieselen. Hvis man da istedenfor erstatter dieselen med biogass har man spart CO₂. Tabell 15 viser da resultatene av CO₂ ekvivalentene som kan bli spart dersom gassen selges som drivstoffersatning. Det er her antatt at energiekvivalenten til oppgradert biogass er tilsvarende lik energiekvivalenten til diesel, som betyr at en bil som bruker en liter diesel kommer seg like langt på en liter biogass.

Tabell 15 Tonn CO₂ ekv. spart ved å anta at energiekvivalenten til biogass er lik diesel

Tonn CO ₂ .ekv	4474076
Kg CO ₂ ekv. spart ved diesel erstatning	5043503

Videre er det så beregnet hvor mye CO₂ man kan spare per krone ved å omforme organisk avfall til biogass. Resultatene er vist i tabell 16, som viser hvor mye CO₂ man sparer per krone investert, basert på prisestimatet på anlegget.

Tabell 16 Pris på systemet gitt i CO₂ ekv./ per nok med og uten enova støtte til tiltaket

Uten Enova støtte til prosjektet	Med Enova støtte til prosjektet
0,08 - 0,05 CO ₂ /NOK	0,14 – 0,09 CO ₂ /NOK

4.3.2 Resultat kompostering

Resultatene for behandlingen av organisk avfall til kompostering finnes i tabell 17, samt CO₂ forbruket av diesel. Det er her listet opp resultatene fra behandlingen av organisk avfall til kompost, funnet ved bruk av Sima Pro Share and Collect, samt dieselforbruket i Skiboten. Det er her ikke tatt hensyn til biogent CO₂ i beregningene.

Tabell 17 Tonn CO2 ekv. ved kompostering og tilhørende diesel forbruk

Tonn CO2 ekv. Ved kompostering	486
Tonn CO2 ekv. Diesel forbruk.	87,63

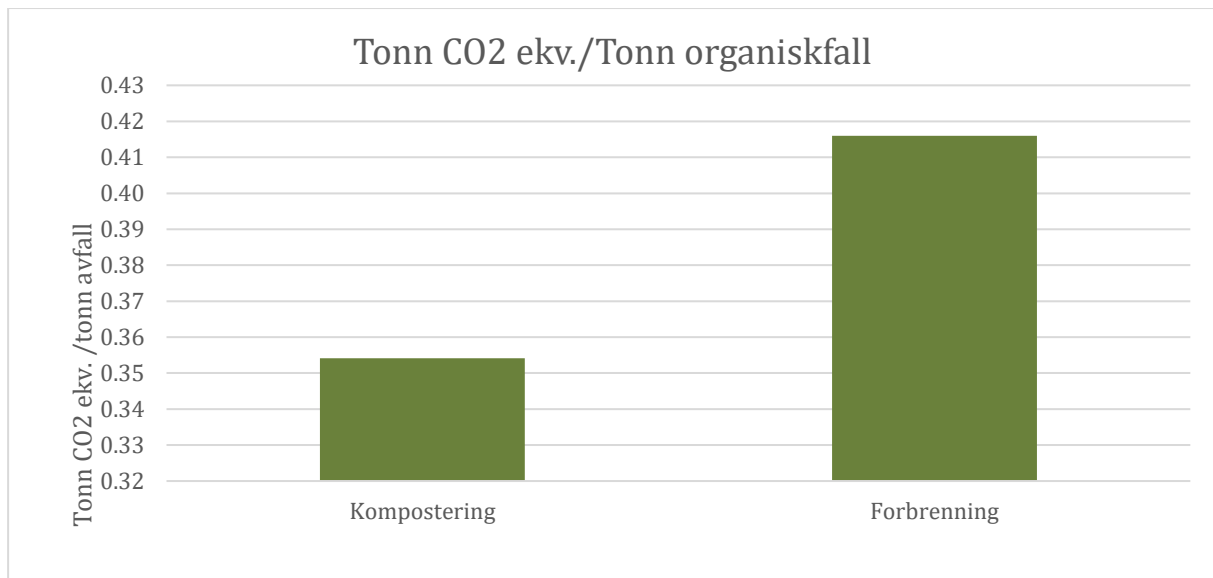
Den andre delen av endeproduktet er flytende kompost. Basert på innholdet i massene som blir behandlet kan endeproduktet bli solgt som et jordforbedringsprodukt. Problemet med dette er metningen av markedet rundt anlegget, da det er strenge regler for hvor store mengder og hvor lenge mellom hver gang man har lov å bruke massene på et gitt sted. Dette vil da i tillegg ha en ekstra utfordring med at den er flytende, i forhold til vanlig tørr kompostering, som gjør volumet større. Det er i denne oppgaven er det ikke regnet på massene som vil bli til kompost og hvilket avtrykk dette vil ha. Resultatet av å kompostere de samme mengdene med organisk avfall som å behandle det med biogass gir da et større klimaavtrykk en ved diesel erstatning fra biogass. Det er også regnet på dieselforbruket i skiboten som eventuelt kan bli erstattet med biogass, gitt at de samme maskinene er der og utfører samme type arbeid etter at anlegget er oppe. Som vil kunne spare på bedriftens klimaavtrykk. En svakhet her er at maskinarbeidet kan endre seg med et nytt anlegg.

4.4 Nedstrøms håndtering

Basert på metoden i kapitel 3,4 vil det bli gitt en oversikt over klimanytten ved forskjellige avfallshåndteringsmetoder. Det vil bli sett på CO2 avtrykket av å behandle organiskavfall, plast, trvirke, restavfall og metall. Metodene som blir vurdert er materialgjenvinning og energigjenvinning. Det er regnet på flere tenkte scenarioer med noen unntak.. De fraksjonene som blir energigjenvinning og materialgjenvinning er følgende utført; Det er først antatt at hele mengden går til energigjenvinning, også til materialgjenvinning, for sammenligning. For de fraksjonene som bare har en behandlings metode, som energigjenvinning, er det lagt inne et tenkt scenario med den andre metoden, materialgjenvinning. Det er ikke tatt hensyn til kostnadene ved eventuelle bytter av nedstrøms løsninger i denne avhandlingen, da økonomiske aspekter ligger utenfor fokusområdet. Nyttten vil bli diskutert i kapittel 5,4.

4.4.1 Organisk behandling

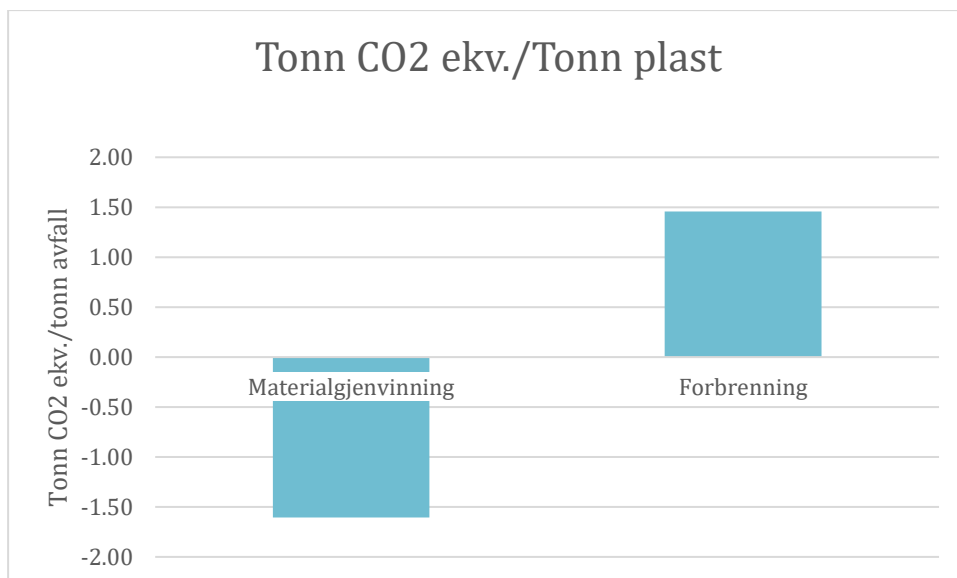
I figur 8 er det illustrert to scenarier som viser CO₂ avtrykket ved energigjenvinning og materialgjenvinning av organisk materiale. Kompostering er per i dag, hvordan Remiks AS behandler organisk avfall. Det alternative tiltaket er da forbrenning av organisk materiale, og den samme statistikken er lagt til grunne. Det er bare metoden for avfallshåndteringen som er endret på.



Figur 8 To forskjellige avfallshåndterings metoder på organisk avfall, gitt i tonn CO₂ ekv. per tonn avfall

4.4.2 Plasthåndtering

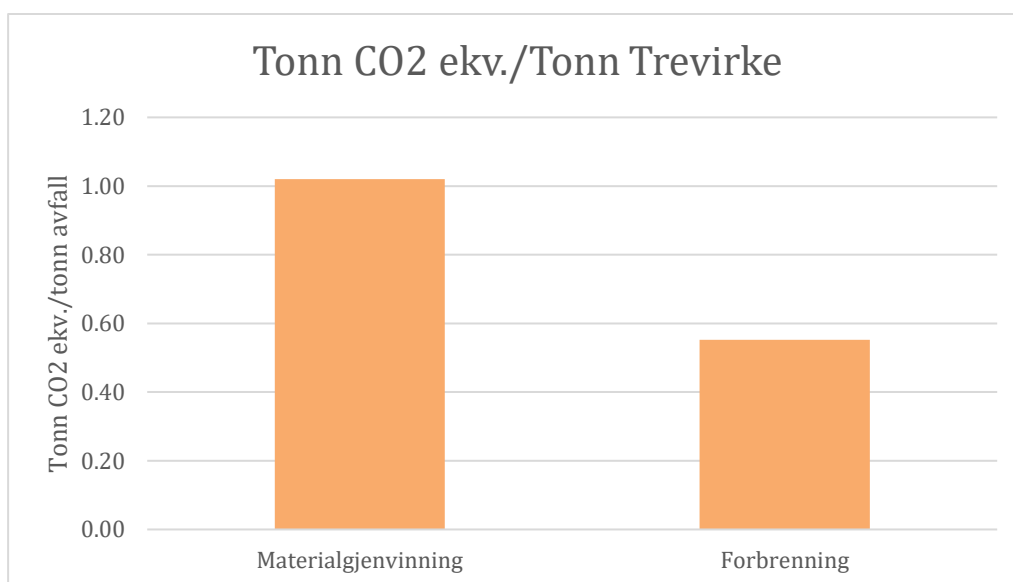
Ved hjelp av metoden beskrevet i kapittel 3,4,6 er det blitt gjort en framstilling av hvordan klimanytten knyttet til materialgjenvinning er i forhold til energigjenvinning av plast. Per i dag benytter Remiks AS seg av nedstrømspartnere som materialgjenvinner plast. For å sammenligne nytten av denne behandlingen er det derfor laget et tenkt scenario hvor all plasten heller går til forbrenning. Resultatene framstilles i figur 9.



Figur 9 To forskjellige avfallshånderings metoder på plast, gitt i tonn CO2 ekv. per tonn avfall

4.4.3 Håndtering av trevirke

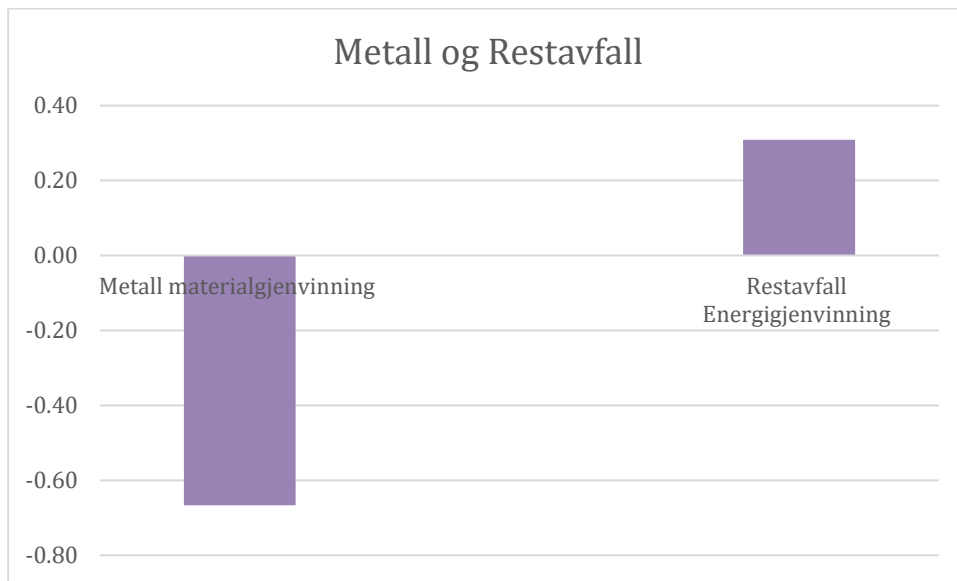
Basert på metoden er det beregnet CO2 avtrykket ved energigjenvinning og materialgjenvinning av trevirke. Per i dag er dette en fraksjon som går til både materialgjenvinning og energigjenvinning. Det er da antatt at hele mengden går til vær metode for å sammenligne. Resultatet er presentert i figur 10.



Figur 10 To forskjellige avfallshånderings metoder på trevirke, gitt i tonn CO2 ekv. per tonn avfall

4.4.4 Restavfall og metall

Basert på metoden i kapittel 3,4,5 og 3,4,3 er det regnet på nytten av å materialgjenvinne metall og energigjenvinne restavfall. Det foreligger ingen annen metode en nevnt for disse to fraksjonene. Det er da verd å nevne at deponering av metall ville gitt et null utslippsscenario, da metall ruster og vil bli borte med tid. Det er da ingen nytte knyttet til deponering av metall. Restavfall er forbudt å deponere i Norge og innholdet er så variert at det ikke kan materialgjenvinnes. Resultatet av å materialgjenvinne metall og energigjenvinne restavfall er presentert i figur 11.



Figur 11 Avfallshåndtering av metall og restavfall, gitt i tonn CO2 ekv. per tonn avfall

4.5 Ettersortering av avfall

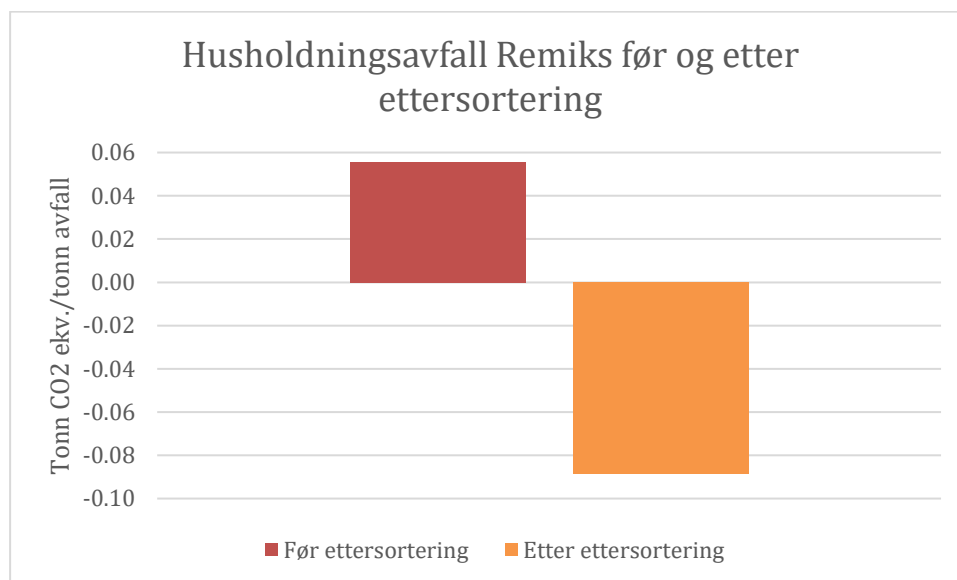
Etter å ha brukt metoden som beskrevet i kapittel 3,5, er det beregnet på CO2 avtrykket på husholdningsavfallet Remiks AS tar inn i løpet av et år. Det er beregnet CO2 avtrykket på dette avfallet før implementering av anlegget og etter implementering av anlegget. Det er da antatt at anlegget ville sortert like godt i Tromsø som det gjør i Stavanger i dag. Statistikken på husholdningsavfall er hentet fra 2019 hos Remiks AS. Resultatet av mengdeendringen i de forskjellige fraksjonene fra husholdningsavfallet før og etter implementering av ettersortering er presentert i figur 12.



Figur 12 Statistikk på vær fraksjon før og etter tenkt implementering av et ettersorteringsanlegg, figuren viser tonn avfall på vær fraksjon.

4.5.1 CO2 besparelser på ettersortering

Basert på metoden i kapittel 3,5 er CO2 ekvivalenten til husholdningsavfallet blitt kalkulert. Det er da først beregnet på CO2 ekvivalenten på avfallet før sortering også for å sammenligne, etter sortering. Resultatet er presentert i figur 13.



Figur 13 Tonn CO2 ekvivalenter per tonn avfall. Beregningene er gjort før og etter at det tenkte anlegget er tatt i bruk. Stor utsortering av plast gjør at materialgjenvinning av denne fraksjonen fører til store besparelser av CO2.

Videre er det beregnet differansen på CO2 utslipp på avfallet før og etter at sorteringsanlegget er implementert. Siden mye mer plast blir sortert ut er avtrykket etter at anlegget er tatt i bruk lavere en før det ble implementert. I tabell 18 er differansen i CO2 ekvivalenter presentert sammen med beregningene for CO2 ekvivalenter spart per krone investert i anlegget.

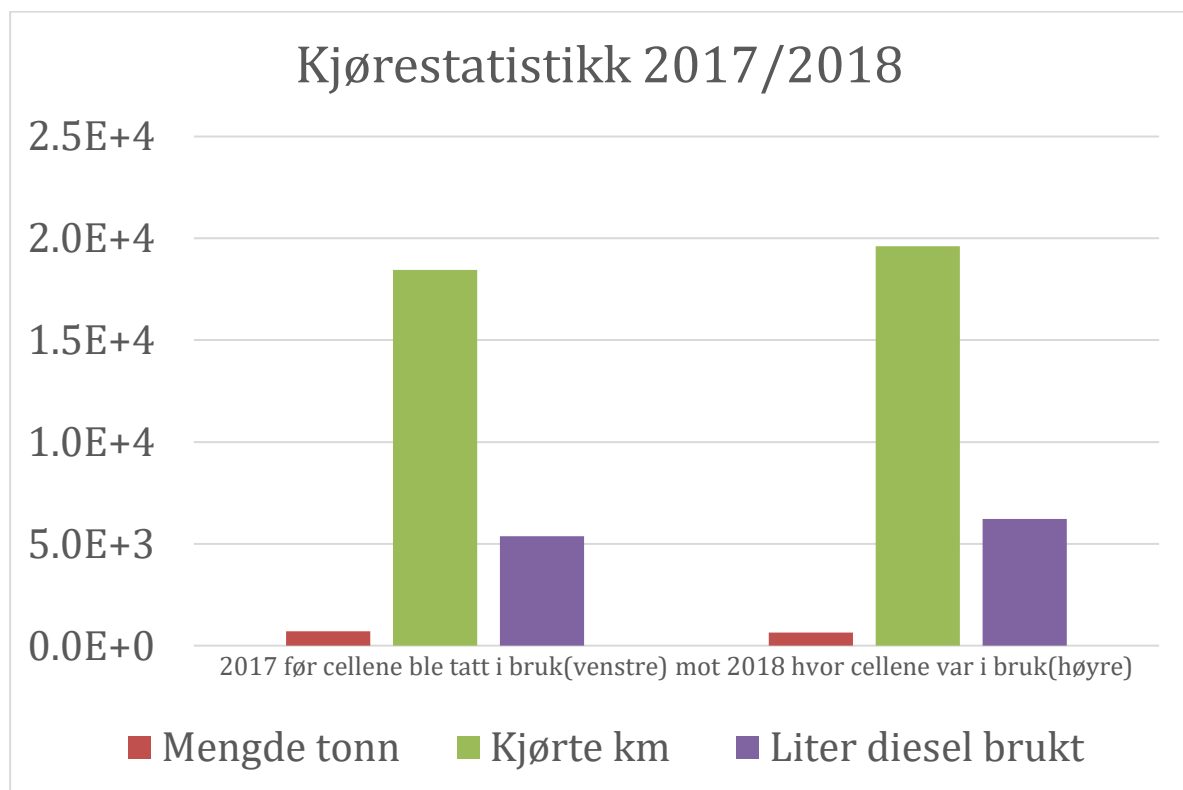
Tabell 18 Differansen i CO2 ekvivalenter som kommer av avfallet, samt CO2 per krone investert i anlegget

Differansen av CO2 ekvivalenter i tonn	389
CO2 ekvivalent per krone	$9,89 * 10^{-3}$

4.6 Resultater hydrogenbatteri

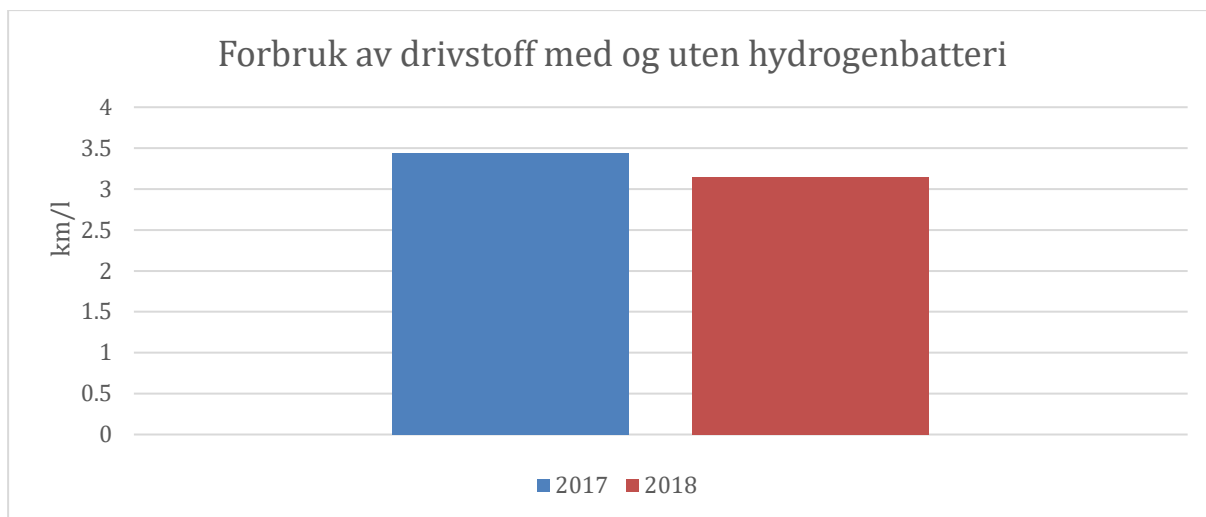
I 2018 ble det montert hydrogenceller på en baklaster til Remiks AS for å se om dette var en teknologi som kunne hjelpe til med å endre klimaavtrykket på bilene. I dette kapittelet presenteres beregningene gjort med metoden beskrevet i kapittel 3,6.

Fra rapporten levert av Circle K ble tankvolum mellom hver fylling lagt sammen og total kilometer kjørt i perioden januar til september i 2017 og 2018 beregnet. I tillegg ble vektdata fra Remiks AS for denne ene bilen hentet ut. Resultatene er presentert i figur 14.



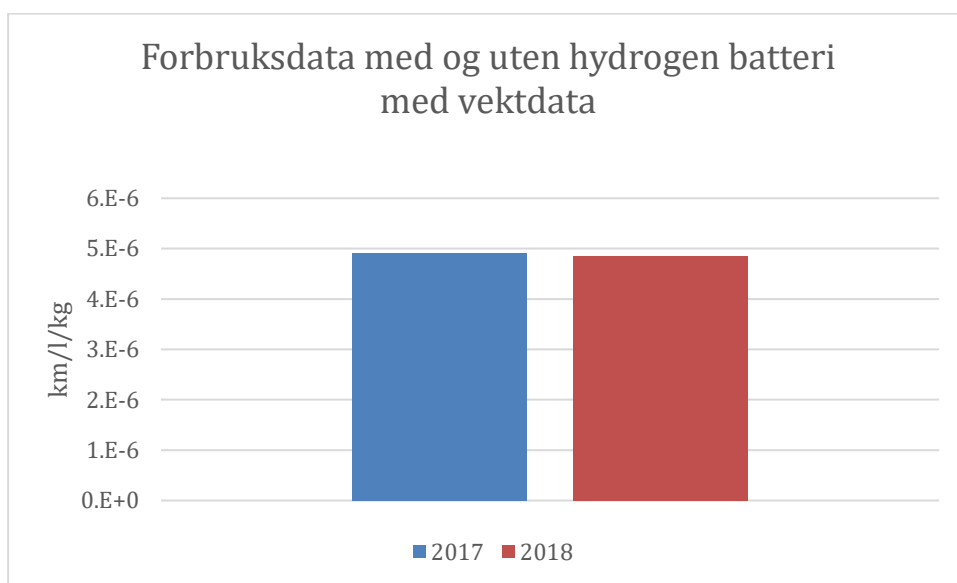
Figur 14 Kjørestatistikk med og uten hydrogencellene i tonn hentet, km kjørt og liter brukt

Hvor vektdata for disse to periodene er relativt like. Det kommer fram at det er litt flere kilometer og drivstofforbruk i 2018 mot 2017. For å undersøke videre hvordan cellene presterer er det i figur 15 beregnet hvor langt bilen kjørte per liter drivstoff.



Figur 15 Forbruk av drivstoff med og uten hydrogenceller gitt i km/l for 2017 og 2018

For å videre undersøke om forskjellen mellom periodene skyldes de påmonterte cellene er det lagt til vektdata for samme perioden. Det er da i figur 16 framstilt hvor langt bilen kjører per liter drivstoff per kg avfall bilen har hentet.



Figur 16 Forbruk av drivstoff gitt i km/l/kg med og uten hydrogenceller

Siden forskjellene i figurene 15 og 16 kan være vanskelig å lese av er det blitt beregnet en prosentforskjel mellom periodene. Disse er gitt i tabell 19.

Tabell 19 prosent forskjell mellom før og etter installasjon av hydrogenceller basert på km/l og km/l/kg

Prosent forskjell km/l	-8,25%
Prosent forskjell km/l/kg	-1,06%

Det er videre beregnet pris på den ene bilen forsøket ble gjort på. Det er da evaluert kostnaden ved å installere et slikt system, og derifra regnet et estimat på hvor mye CO₂ per krone man sparer. Resultatene er oppsummert i tabell 20.

Tabell 20 Resultater på pris, drivstoffbesparelser og CO₂ ekv, samt CO₂ ekvivalenter per invester krone

Pris installasjon og påfylling det første året	41712 NOK
Diesel spart i liter	61,4
CO ₂ ekv. spart i Kg	190
CO ₂ /NOK	0,005

5 Diskusjon

Basert på resultatene fra kapittel 4, metoden i kapittel 3 og teorien i kapittel 2 vil det i dette kapittelet bli diskutert nytten av å implementere tiltakene solenergi, biodrivstoff, biogass, nedstrømspartnere, ettersortering av avfall og hydrogenbatteri.

5.1 Nytten ved å produsere egen strøm

Med å vurdere et solcellesystem på taket til produksjonsbygget, er muligheten for å dekke 41% av strømforbruket, på årsbasis, til Remiks AS til stede. Det ble i denne studien sett på to forskjellige systemer, et sørvendt og et øst-vestvendt system. Øst-vest ble da valgt som det beste alternativet når målet var mest mulig produsert strøm. Et problem med et slik øst-vestvendt system er snø på vinteren. I forskjell fra det modellerte sørvendte systemet er det lav tilt på modulene, noe som gjør dem utsatt for oppbygging av snø. Det er da viktig å se nærmere på vekt av panelene, med snø, slik at man er sikker på at det ikke overstiger makslasten til takkonstruksjonen. I modellen ble det ikke vurdert en albedoeffekt, altså økt produksjon grunnet snøens refleksjon av sollys, da den ikke har en betydelig effekt i denne modellen. Ved en videre vurdering av dette tiltaket bør det imidlertid gjøres en dypere analyse av dette.

Fra modellen i PVsyst ble det videre forsøkt å optimalisere det øst-vestvendte systemet med hjelp av tilt og inverteranalyser. Det ble funnet at en tilt på fem og ti grader gav like resultater, mens høyere tilt på systemet gav dårligere resultater. Dette kan skyldes skygning fra andre rader. Det ble undersøkt om større mellomrom mellom radene ville gitt et bedre resultat. Ved å øke mellomrommet mellom radene ble det plass til færre moduler. Selv om modulene prestere bedre, var det ikke nok til å kompensere for de manglende modulene. Det er videre funnet at et system med en litt underdimensjonert inverter, og en tilt på fem til ti grader, gav mest produksjon. Disse valgene gav imidlertid også størst areal på systemet, noe som resulterer i høyere pris. Det kan derfor være hensiktsmessig, i en ny vurdering av tiltaket, å sette et ønskelig mål med systemet, enten gjennom et budsjettert tak eller et produksjonstak. Slik kan man vurdere tiltaket under andre kriterier enn bare strømproduksjon.

Videre er det vanskelig å vurdere systemets klimanytte. Systemet ble vurdert mot innkjøpt strøm fra sertifisert grønn strøm. Deklarasjonen til TKN gir lite CO₂ å spare per kW erstattet strøm, selv om man antar at energi fra solcellene har null utslipp. En ny vurdering kan gjøres hvor man ser på nytten ved å erstatte diesel i egen drift med elektrifisert maskinpark. Det må da vurderes som et mer helhetlig tiltak hvor man kan benytte strømmen man produserer til å

lade anleggskjøretøy i driften, i tillegg til å erstatte kjøpt strøm. Dette kan også være ett av kriteriene for en ny vurdering av tiltaket, slik at man bedre kan definere systemet innenfor rammene av kostnad, produksjon og nytte. Under de kriteriene som ble satt i denne studien presterer tiltaket med solenergi dårligst. Det er et dyrt tiltak som gir nær ingen klimagassbesparende fordeler.

5.2 Nytten ved drivstoffbytte fra diesel til biodiesel

Et enkelt tiltak for å redusere CO₂ avtrykket til Remiks AS, er å bytte drivstofftype fra diesel til biodiesel. Det er tiltaket som lar seg gjennomføre enklest, uten investeringer i nye maskiner. Biodiesel, som fungerer som fullverdig dieselerstatning, gjør det mulig å bytte drivstoff på maskinene som allerede er i drift. Dette er en fordel i forhold til andre tiltak, som elektrifisering av kjøretøyene, som vil være en betydelig investering som må gjøres over tid. Det kan dermed være ønskelig å bytte drivstoff på kort sikt for å endre klimaavtrykket på kjøretøyene nå. Fra 2020 har bedriften planlagt at alle kjøretøy i RH skal driftes med biodiesel, og det er fremdeles en mulighet å inkludere de resterende maskinene.

Prisene som er hentet inn for denne oppgaven har en svakhet med at innsamlingen av data er fra en kort periode. Siden SSB ikke har statistikk på HVO 100 er det brukt fakturaer fra 2019 for å beregne pris per liter, så for å sammenligne er prisen på diesel hentet fra samme periode. Det er derfor verdt å understreke at det ikke er foretatt et prisgjennomsnitt på HVO-100 fra alle leverandørene av denne typen diesel, men bare Bunkeroil sin prisstatistikk per liter drivstoff. Prisene per liter er hentet fra 2019 for biodiesel og diesel. I tillegg til pris har det vært vanskelig å finne kilder på CO₂ avtrykket til HVO-100. Bunkeroil har kilder på CO₂ besparelser i forhold til diesel, som de bruker i promoteringen av drivstoffet sitt. Disse kildene er brukt i denne oppgaven, sammen med miljødirektoratet sine tall på CO₂, for å lage et gjennomsnitt. En svakhet ved dette er at det burde gjøres en egen LCA analyse fra utvinning av råmaterialene som trengs, gjennom prosessering og distribusjon til kundene. Dette er utenfor denne oppgavens rammer, da det vil kreve en egen, grundig studie.

For CO₂ reduksjon er dette tiltaket en måte å redusere avtrykket på kort sikt. Med ett konservativt estimat ble det funnet at biodiesel kan spare 50% av CO₂ utslippene. Det finnes ikke belegg for å si nøyaktig hvor mye CO₂ man kan spare, men de fleste kildene peker mot at biodiesel utgjør et betydelig klimabesparende tiltak i forhold til diesel. Basert på denne studien er det å bytte til biodiesel et godt tiltak med hensyn på kostnad og klimanytte. Når det er sagt er ikke dette tiltaket en måte å oppnå nullutslipp på, siden biodiesel har et eget CO₂ avtrykk ved at det både skal produseres og brennes. For å oppnå nullutslipp kreves det heller investering i ny teknologi, og maskiner som kan utnytte strøm fra grønn energi eller andre teknologier, som for eksempel hydrogen.

5.3 Organisk avfallsbehandlinger

Som et tiltak for å endre klimaavtrykket til avfallet som Remiks AS håndterer er biogass et alternativ til kompostering og forbrenning. Dette er det tiltaket som presterer best med hensyn til klimagass spart per krone investert. Man tar da i bruk en kilde som allerede er i omløp, slik at man ikke trenger å utvinne nye jomfruelig materialer. Selve biogassen kan brukes som drivstoffstatning, og på den måten være med på å senke klimaavtrykket.

Denne studien er ikke en heldekkende analyse av klimaavtrykket til organiskavfall fra det blir produsert til det ender opp som biogass. Det er heller ikke tatt hensyn til anlegget eller driften av anlegget i denne vurderingen. Et annet problem med biogass som ikke er tatt hensyn til er at metangass er mange ganger sterkere som klimagass enn karbondioksid. Noe som betyr at eventuelle lekkasjer fra selve anlegget fort kan motvirke sin hensikt ved å senke klimaavtrykket til avfallet.

Den andre delen av endeproduktet er flytende kompost. Basert på innholdet i massene som blir behandlet kan endeproduktet bli solgt som et jordforbedringsprodukt. Problemet med dette er metningen av markedet rundt anlegget. Det er strenge regler for hvor mye mengder og hvor lenge mellom hver gang man har lov å bruke massene på et gitt sted. Dette gjelder også vanlig tørr kompost. Komposten fra biogass vil da i tillegg ha en ekstra utfordring med at den er flytende. Det at den er flytende gjør at den tar mer volum en tørrkompost. Det må da vurderes godt hva man kan gjøre med komposten ved implementering av dette tiltaket.

Resultatet fra kompostering er at dette er også en god måte å behandle organisk avfall. Som gir et endeprodukt som kan brukes som et jordforbedringsprodukt. Kompostering er også den foretrukne metoden i forhold til biogass, hvis gassen bare fakles av.

5.4 Nytten av valg av nedstrøms håndteringer

I dette kapittelet vil resultatene fra forskjellige nedstrøms løsninger på avfallet bli diskutert. Fraksjonene det er gjort en LCA analyse på er organisk avfall, trevirke, plast, metall og restavfall. Det er for denne studien antatt at beregningene starter fra avfallet ender opp i en avfallsdunk til det blir materialgjenvunnet eller energigjenvunnet. Det er satt en transport begrensning innenfor Norges landegrenser, da det er vanskelig å følge avfallet på det åpne markedet. Det er da en mulig for videre studier å følge opp dette med en livssyklusanalyse som ser på hele avtrykket til de forskjellige fraksjonene fra de oppstår til de når sin endestasjon. Det er heller ikke i denne studien tatt hensyn til biogent CO₂, noe som kan undersøkes ved en annen anledning. Det er heller ikke mulig å bare velge en nedstrøms løsning da disse mengdene ofte går på anbud. En mulig løsning kan da være å sette anbudskrav til klima i tillegg til pris. Det er i denne studien ikke tatt med papp og papir da programvaren ikke lar brukeren skille på disse to fraksjonene. Det er også viktig å nevne at denne studien ikke har sett på andre klimaforhold en CO₂ ekvivalenter.

5.4.1 Nytten av forskjellige behandlinger av organisk avfall

Resultatene fra denne studien avviker fra forventningene fra tidligere studier og da spesielt den fra Avfall Norge [16]. Fra teorien konkluderes det med at energiutnyttelse av organisk avfall er mer belastende på klima en kompostering. Dette er da motsatt av det resultatet som ble funnet i denne oppgaven. Programvaren er riktignok oppdatert med nyere tall enn det Avfall Norge opererte med, og metodene er forskjellig. Det kan være en forklaring på hvorfor resultatene er forskjellig fra det en først forventet. Det at strømmen som erstattes ved energiutnyttelse ved forbrenningen er skandinavisk miks istedenfor norskmiks. Det er et problem, det forventes her at resultatet burde være litt større for energigjenvinning, siden det er mindre gevinst å hente ved å erstatte norsk energi, da den er regnet som grønnere en skandinavisk miks. Det er da klart at en ny vurdering av denne fraksjonen burde gjøres når programvaren er oppdatert og at teori fra tidligere undersøkelser som tilsier at materialgjenvinning er den beste behandlingsmåten bør ligge til grunne.

5.4.2 Nytten ved behandling av Trevirke

Basert på denne undersøkelsen vil det være fordelaktig å velge en nedstrømspartner som behandler trevirke til energigjenvinning. I denne undersøkelsen er det antatt at trevirke har like lang transport rute til endestasjonen sin, dette er da ikke tilfelle hvis Kvitebjørn AS hadde blitt en nedstrømspartner for alt trevirke. Dette er et forbrenningsanlegg som ligger vegg i vegg med Remiks AS og ville da spart de klimakostnadene som er knyttet til transport av trevirke. Resultatene fra forskjellig behandling av trevirke viser at materialgjenvinning er litt mer belastende på klimaet en forbrenning. Dette er også mot forventningen av at materialgjenvinning er den mest besparende måten og håndtere avfall på. Det er mulig programvarens nye oppdatering vil ha andre vektlegginger og nye undersøkelser bør gjennomføres. Det er også her lagt inn at trevirke som blir energigjenvunnet erstatter skandinavisk miks og behandling ved materialgjenvinning og energigjenvinning skjer med skandinavisk miks. Det kan da forventes at det er mindre gevinst ved energigjenvinning av trevirke som erstatter norskmiks og for begge metodene mindre belastende hvis de blir behandlet med norsk strømkiks istedenfor nordiskmiks

5.4.3 Nytten ved behandling av plast

Resultatene for plasthåndtering stemmer godt med forventningene om at materialgjenvinning er den beste løsningen. Fra disse undersøkelsene vil det være mest klimabesparende å velge materialgjenvinning. En svakhet med denne vurderingen er at all plasten går til materialgjenvinning, dette er sjeldent tilfelle da plastfraksjonen inneholder mange forskjellige typer plast. Disse lar seg sjeldent materialgjenvinnes sammen og noen plasttyper kan ikke gjenvinnes i det heletatt. Det er derfor nødvendig å undersøke hva nedstrømspartnerens løsning er, før man bestemmer seg for noe.

5.4.4 Nytten ved behandling av metall og restavfall

Disse to fraksjonene har ikke programvaren noen alternative scenarier for. Det betyr at resultatene som står er materialgjenvinning av metall og energigjenvinning av restavfall. Metall er en fraksjon det ikke går å energigjenvinne, så et alternativ til behandlingsmetoden er å deponere metallet, hvor det sakte vil ruste og brytes ned. Det er klart fra denne undersøkelsen at man sparer miljøet masse på å materialgjenvinne metall. For restavfall er det ingen andre gode løsninger en energigjenvinning. Selv om man ettersorterer restavfall vil det til slutt være en bit av avfallet som ikke lar seg sorteres ut eller gjenvinnes. Den beste behandlingsmetoden

er da den å energigjenvinne restavfallet for å omgjøre det til strøm som man kan bruke til noe nyttig.

5.5 Nytten av å ettersortere restavfall

Eu har som mål å få opp resirkuleringen av husholdningsavfall til 65% innen 2030. Som et tiltak for å få dette til og samtidig endre klimaavtrykket på avfallet som Remiks AS håndterer er det å investere i et ettersorteringsanlegg en mulighet. Et slikt anlegg som er sammenlignbart med Tromsø er IVAR sitt anlegg i Stavanger. Begge disse kommunene er etter husholdningsavfallsstatistikken, ganske like. Selve anlegget er et helautomatisk sorteringssystem som ettersorterer restavfall, med en vaskehall av plast og anlegg for utsortering av papp og papir, som enda ikke er i drift når denne studien ble gjennomført. Det vil da være nødvendig å undersøke det nærmere når hele anlegget er i drift. Ved å undersøke avfallsstatistikken til Stavanger året før og året etter at anlegget ble satt i drift, ble det funnet en prosent endring på vær fraksjon. Ved å anta at anlegget sorterer like godt i Tromsø er denne prosenten brukt på avfallsstatistikken til Remiks AS. En svakhet ved dette er at det kan være forskjeller i innholdet i restavfallet mellom kommunene, som gjør at noen av fraksjonene ville ha kommet ut annerledes hvis anlegget ble plassert i Tromsø. Eneste måten å finne ut av dette må da ha vært å sende en test mengde med restavfall ned til Stavanger og målt sorteringsgraden etter at det har vært igjennom anlegget.

Dette anlegget er også det dyreste tiltaket på 390 millioner for restavfallsanlegget og 690 millioner kroner for hele anlegget med plastvask og pappsortering. I tillegg til pris er det i denne studien vurdert klimanytten ved ettersortering. Fra resultatene gir anlegget en betydelig mengde mer utsortert plast, papir og metall. Dette er fraksjoner som programvaren Sima Pro Share and Collect venter godt for materialgjenvinning. Noe som gir et stort utslag på tonn CO₂ ekv. per tonn avfalls beregningene. Det er da viktig å huske på at det antas her at alt av det som går til materialgjenvinning blir materialgjenvunnet. Det kan også se ut som det her er besparende på klima å sortere så mye, men det er i denne studien ikke tatt hensyn til avtrykket ved utvinning og nedbrytning av materialet. En fullstendig LCA analyse på vær fraksjon vil da kunne gi et mer fullstendig bilde av klimanytten av å materialgjenvinne.

5.6 Nytten ved bruk av hydrogenceller i en vanlig forbrenningsmotor

Det å benytte seg av hydrogenceller for å endre utslippskarakteristikken på dieselmotorer har to fordeler. Fra resultatene kommer det fram at man kan spare drivstoff. Besparelsene etter at vekten ble lagt til var på 1%. Dette er så lavt at man kan ikke si om man faktisk sparer drivstoff ved å implementere dette tiltaket.

Drivstoff koster og spesielt hvis man går over på biodiesel, noe Remiks AS har gjort for alle sine husholdningsbiler. Det er da potensial for å spare på kostnadene på diesel med denne teknologien. Beregningene er gjort med statistikk på tankvolum mellom vær fylling og vekt er hentet fra vekten til Remiks AS. Det er i denne oppgaven tatt et gjennomsnitt for hele året for å beregne drivstofforbruket. Dette potensialet for drivstoffbesparelser kan da undersøkes nærmere ved bruk av et mer sofistikert målesystem som kan måle drivstofforbruket, hva bilen veier, hvordan den blir kjørt og andre eksterne faktorer som vær for å kunne avgjøre om det er et system som virkelig kan spare drivstoff. Som med bytte til biodiesel kan dette være teknologi som på kort sikt kan endre klimaavtrykket på kjøretøy.

Prisen på systemet er beregnet for en bil. Det vil da være nødvendig å undersøke flere biler slik at man får litt forskjellig type kjøremønster. Det vil også kunne gi andre tall på hvor mye man sparer per investerte krone. Slik kan man estimere hva det ville kostet for antall ønskede biler og man vil få et bedre svar på hvor mye klima man kan spare per investerte krone. Denne studien gir litt besparelser, men prosenten er så lav at det ikke kan sies med sikkerhet.

Det er i denne studien ikke vurdert andre klimabelastende faktorer en CO₂, men det er av nytte å vurdere endringen i sotutslipp ved bruk av hydrogenceller. Som presentert i teorien, viser målinger gjort på eksosen av denne bilen som ble utrustet med hydrogenceller, at det er mindre sot partikler i eksosen. Det som er spesielt med innsamlingsbilene er at disse bilene går mye på tomgang i tett befolkende områder, mye start stopp kjøring og de arbeider på lave turtall. Det er da arbeid som gir større sotutslipp en ved lang kjøring, hvor motoren får jobbe mer konstant. Da bør det vurderes å gjøre nye målinger av eksosen, slik at man kan regne på sotutslippene og ta det med i vurderingene av dette tiltaket hvis det skal implementeres på flere biler.

6 Konklusjon

Som et tiltak for å redusere klimaavtrykket til avfallet som Remiks AS behandler er valg av nedstrømspartnere viktig. Hvis en ikke bare vurderer lønnsomhet i form av kroner, men også i form av klimanytte, kan man prøve å finne partnere som er forenelig med dette målet. Som vist i denne studien er det å materialgjenvinne det som er mest lønnsomt med tanke på klimanytte. Energigjenvinning er også en god løsning for flere fraksjoner og da spesielt restavfall, som man ikke kan gjøre noe mer med. Man får da behandlet avfallet på en slik måte at det blir noe nyttig, i form av nye materialer som erstatter jomfruelig råmaterialer og energi som kan brukes til andre formål.

Det kan også skilles på kortsiktige og langsiktige tiltak for reduksjon av klimaavtrykket til Remiks AS. Som en av de store utslippspostene til selskapet er drift av kjøretøy og maskiner som bruker diesel en stor post. Med kortsiktige tiltak menes tiltak som kan implementeres raskt uten store investeringer i ny teknologi. For maskinparken er et slikt tiltak å gå over fra diesel til biodiesel. Dette fører til en merkostnad da denne studien viser at biodiesel er dyrere en diesel, men det gir også en klimabesparelse. Det ble funnet med et konservativt estimat at biodiesel halverer CO₂ utslippet sammenlignet med diesel og er et tiltak som kan anbefales for klimagassreduksjon hos bedriften. Det andre kortsiktige tiltaket er implementering av hydrogenceller. Det ble vist i denne studien at hydrogenceller har potensial til å spare diesel, men besparelsene som ble regnet ut er veldig små. Tiltaket kan da ikke anbefales basert på denne studien. Det anbefales da heller et bedre drivstoffovervåkningssystem som kan si noe om hvor godt eller dårlig hydrogencellene presterer. Det er også andre klimahensyn som bør vurderes ved implementering av disse to tiltakene.

Det er også mulig å implementere større tiltak som krever langtidsinvesteringer. Et slikt tiltak er å produsere egen energi med solenergi. Det er med tanke på beliggenhet og takareal som er tilgjengelig på tomten, muligheter for å dekke nesten halvparten av energiforbruket til bedriften med solceller. Det er i denne studien bare satt en ramme på maksimal produsert energi. Med et så lite definert system, er det derfor i denne studien blitt en dyr investering som ikke kan anbefales. I tillegg presterer dette tiltaket dårlig i form av klimanytten, da bedriften allerede har sertifisert grønn energi. Det er mulig at dette tiltaket kan prestere bedre om rammene for tiltaket blir bedre definert. Spesielt med hensyn på kostnader og om man kan bruke den genererte energien til noe annet enn å erstatte strømmen som kjøpes inn.

Et annet stort tiltak som påvirker hvordan organisk avfall behandles er biogass. Sammenlignet med kompostering er sluttproduktet ved biogassbehandling. Gassen kan brukes som drivstoffstatning og på den måten bidra til en reduksjon i klimagassutslipp. Tiltaket er en stor investering, men med støtte fra Enova er det mulig å redusere kostnadene. Det vil også hjelpe på kostnadene om gassen blir solgt. Det kan da være med på å redusere kostnadene med å investere i et gassoppgraderingsanlegg slik at biogassen kan brukes som drivstoff. Dette tiltaket er det som i denne studien presterer best med hensyn til CO₂ spart per investerte krone.

En utfordring biogass har i forhold til kompostering er at endeproduktet er flytende og tar dermed mer volum en tørr kompost. Det er derfor viktig å finne en god løsning på endeproduktet ved implementering av et biogassanlegg. Det siste tiltaket som ble sett på i denne studien er et ettersorteringsanlegg. Med mål om at mer avfall skal sorteres, slik at sorteringsgraden øker, er det å automatisere prosessen et alternativ. Anlegget i Stavanger presterer godt på sortering og fraksjonene som blir sortert ut er renere. Dette er da et klimagassreduserende tiltak siden mer materiale kan gå til materialgjenvinning og erstatte jomfruelig materiale. Tiltaket er en så stor investering at det man sparer i klimagasser ikke er nok til at dette tiltaket kan anbefales uten videre undersøkelser.

Basert på denne studien er det flere tiltak som viser seg å være gode løsninger som Remiks AS kan ta i bruk. Det første er å gå over på biodiesel for å kutte i sine klimagassutslipp til kjøretøy. Dette tiltaket viste seg å være effektivt på kort sikt og det vil gi bedre tid til å vurdere nye kjøretøyteknologier. Det andre tiltaket som presterer godt, er behandling av organisk materiale til biogass. Dette er en langsiktig investering som vil kunne spare klimagassutslipp ved at biogassen selges som drivstoffstatning. En tredje anbefaling er å vurdere klima i tillegg til pris ved anbud fra nedstrømspartnere, da riktig behandling av avfallet har mye å si for klimaavtrykket på avfallet.

7 Referanser

- [1] "Remiksmelding." <https://2019.remiksarsmelding.no/miljopark/> (accessed 13.12.2020, 2020).
- [2] C. S. Solanki, *Solar Voltaics Fundamentals, Technologies and Applications*, Third Edition ed. Asoke K. Ghosh, 2016, p. 487.
- [3] "PVEDucation." <https://www.pveducation.org/> (accessed 05.12.2020, 2020).
- [4] "PVsyst features " [pvsyst.com/features](https://www.pvsyst.com/features) (accessed).
- [5] A. M. Khalid, I. Mitra, W. Warmuth, and V. Schacht, "Performance ratio – Crucial parameter for grid connected PV plants," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 65, pp. 1139-1158, 2016/11/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.066>.
- [6] N. J. John Andrews, "Energy Science, Principles Technologies and Impacts, Second edition," 2013.
- [7] M. Guo, W. Song, and J. Buhain, "Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 42, pp. 712-725, 2015/02/01/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.013>.
- [8] S. N. Naik, V. V. Goud, P. K. Rout, and A. K. Dalai, "Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 2, pp. 578-597, 2010/02/01/ 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.003>.
- [9] L. C. Meher, D. Vidya Sagar, and S. N. Naik, "Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 10, no. 3, pp. 248-268, 2006/06/01/ 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.09.002>.
- [10] K. Svensson, L. Paruch, J. C. Gaby, and R. Linjordet, "Feeding frequency influences process performance and microbial community composition in anaerobic digesters treating steam exploded food waste," *Bioresource Technology*, vol. 269, pp. 276-284, 2018/12/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.08.096>.
- [11] J. G. Speight, *Biogas: Production and Properties*. New York, UNITED STATES: Nova Science Publishers, Incorporated, 2019.
- [12] "HIM-40-M-01 Metode for kompostering-Frilandskompostering av våtorganisk avfall med lufting."
- [13] "norsklandbruksrådgivning faktaark." <https://avfallnorge.no/fagomraader-og-faggrupper/rapporter/romerike-landbruksr%C3%A5dgivning> (accessed 13.12.2020, 2020).
- [14] Y. Ma and Y. Liu, "Turning food waste to energy and resources towards a great environmental and economic sustainability: An innovative integrated biological approach," *Biotechnology Advances*, vol. 37, no. 7, p. 107414, 2019/11/15/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.06.013>.
- [15] L. Nasini *et al.*, "Gas emissions during olive mill waste composting under static pile conditions," *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 107, pp. 70-76, 2016/02/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.11.001>.
- [16] H. L. R. I. S. M. o. K.-A. Lyng, "Klimaregnskap for avfallshåndtering
- Fase I og II: Glassemballasje, metallemballasje, papir, papp, plastemballasje, våtorganisk avfall, treavfall og restavfall fra husholdninger," 25.1.2010.
- [17] P. Core Writing Team, R.K and Reisinger, A. (eds.), "Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," IPCC, 4, 2007.

- [18] "ISO Standard." <https://www.iso.org/standard/38498.html> (accessed 05.12.2020, 2020).
- [19] G. Guest, R. M. Bright, F. Cherubini, and A. H. Strømman, "Consistent quantification of climate impacts due to biogenic carbon storage across a range of bio-product systems," *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 43, pp. 21-30, 2013/11/01/ 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2013.05.002>.
- [20] "epostkorrespondans IVAR," ed.
- [21] W. Xiao, J. Yang, H. Fang, J. Zhuang, and Y. Ku, "A robust classification algorithm for separation of construction waste using NIR hyperspectral system," *Waste Management*, vol. 90, pp. 1-9, 2019/05/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.036>.
- [22] "BlueThing." <https://www.blue-thing.com/> (accessed 05.12.2020, 2020).
- [23] M. Ozcanli, M. A. Akar, A. Calik, and H. Serin, "Using HHO (Hydroxy) and hydrogen enriched castor oil biodiesel in compression ignition engine," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 36, pp. 23366-23372, 2017/09/07/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.01.091>.
- [24] "Solkart." Solkart.no (accessed 07.12.2020, 2020).
- [25] "TKN varedokumentasjon." https://kundeservice.ishavskraft.no/hc/no/articles/360014274900-Har-dere-en-varedokumentasjon-?fbclid=IwAR0oqDxorHUhOvxUQhvZO6hlghFL3lBa_x1jW-CqZ6q8V3G4Ia7NXeaHk (accessed 07.12.2020, 2020).
- [26] "Bunkeroil HVO 100." <https://www.bunkeroil.no/no/aktuelt/hvo-100-syntetisk-biodiesel/> (accessed 07.12.2020, 2020).
- [27] "Konverteringstabell." <https://www.miljodirektoratet.no/myndigheter/klimaarbeid/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energiplanlegging/tabeller-for-omregning-fra-energivarer-til-kwh/> (accessed 07.12.2020, 2020).
- [28] M. Zamanzadeh, L. H. Hagen, K. Svensson, R. Linjordet, and S. J. Horn, "Biogas production from food waste via co-digestion and digestion- effects on performance and microbial ecology," *Scientific Reports*, vol. 7, no. 1, p. 17664, 2017/12/15 2017, doi: 10.1038/s41598-017-15784-w.
- [29] "Volvo Biogass." <https://www.volvotrucks.no/> (accessed 13.12.2020, 2020).
- [30] "Enova Støtte." <https://www.enova.no/bedrift/biogass/> (accessed 07.12.2020, 2020).
- [31] "Energiutnyttelsesgrad " <https://avfallnorge.no/bransjen/nyheter/h%C3%B8yeste-energiutnyttelsesgrad-fra-avfallsforbrenning-i-2019> (accessed 07.12.2020, 2020).
- [32] *Sima Pro Share and Collect*.
- [33] "EU husholdnings sorteringsgrad." https://ec.europa.eu/environment/waste/target_review.htm?fbclid=IwAR3aqUTPEmEvMTAfgndq_O5FkkX3ct_8WKquUuHFsgvzyA9O8qK5qa4sIwA (accessed 07.12.2020, 2020).
- [34] "Epostkorrespondanse Johannes Hojem," P. H. Strand, Ed., ed, 2020.
- [35] "IRENA " <https://www.irena.org/> (accessed 13.12.2020, 2020).
- [36] "Epostkorrespondanse Nils Tokheim," P. H. Strand, Ed., ed, 2020.

