

Klimagassutslipp fra alternative strategier for avfallshåndtering i Forsvaret – et klimaregnskap for fem utvalgte lokaliteter

Oddvar Myhre, Trine Reistad og Kjetil Longva

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI)

22. februar 2011

FFI-rapport 2011/00521

1153

P: ISBN 978-82-464-1891-3

E: ISBN 978-82-464-1892-6

Emneord

Avfallshåndtering

Klimagassutslipp

Forsvarssektorens miljødatabase (MDB)

CO₂-ekvivalenter

Globalt oppvarmingspotensial (GOP)

Godkjent av

Kjetil S Longva

Prosjektleder

Jan Ivar Botnan

Forskningssjef

Sammendrag

Hensikten med dette arbeidet var å sammenligne klimagassutslipp fra alternative metoder for avfallshåndtering i Forsvaret for å finne fram til den mest miljøvennlige håndteringen sett i et klimaperspektiv. Klimagassregnskapet ble utført med fokus på avfallsmottak, hvor den initielle avfallsorteringen finner sted. Her sorteres og oppgraderes avfallet før det sendes videre til industribedrifter for produksjon av nye produkter, eller sendes til forbrenning med energiutnyttelse som et alternativ til bruk av fossile energibærere for oppvarming av boliger.

Metodikken for beregning av klimagassutslipp i dette arbeidet inkluderer oppstrøms utslipp fra drivstofforbruk i forbindelse med henting og transport av avfall ved fem ulike militærleire, operasjonelle aktiviteter ved avfallsmottaket, og nedstrøms prosesser. Disse inkluderer materialgjenvinning av avfall (glass, plast, papir, jernholdig metall, elektrisk- og elektronisk avfall, og dekk) sammenlignet med primærproduksjon av nye produkter ved bruk av jomfruelige råvarer, eller forbrenning med energiutnyttelse (blandet avfall, matavfall, blandet trevirke, og smittefarlig avfall) sammenlignet med varme fra strøm basert på energibærere av fossil opprinnelse (gjennomsnittstall fra strømproduksjon fra Europeisk kraftmarked hovedsakelig basert på kull, atomkraft, gass, fyringsolje og vannkraft).

Resultatene viser at materialgjenvinning er fordelaktig framfor primærproduksjon og bruk av jomfruelige råvarer, og forbrenning av avfall med energiutnyttelse til oppvarming av boliger er bedre enn bruk av strøm fra fossile energibærere (innsparinger på henholdsvis 0,9 og 0,3 kg CO₂-ekvivalenter kg⁻¹ avfall). Sortering av alt blandet avfall ved oppsamlingspunkter i militære leire (containere) etterfulgt av materialgjenvinning av de separerte avfallsfraksjonene ville teoretisk sett resultert i 44 % reduksjon av klimagassutslipp, sammenlignet med nåværende praksis med forbrenning med energiutnyttelse. Videre forskning vil være nødvendig for å avdekke betydningen av økt sortering av blandet avfall for hele forsvarssektoren sett i et klimaperspektiv.

English summary

Greenhouse gas (GHG) emissions emanating from waste management practices in the Norwegian Armed Forces were assessed. Focus was on use of a material recovery facility (MRF) where the initial sorting of waste takes place. The MRF upgrades the waste before it is delivered to other industries to produce new products; alternatively, it undergoes incineration with energy recovery as an alternative to burning fossil fuel.

The GHG emissions accounting practices examined in this paper included upstream emissions from fuel consumption of collection and transport of waste, operational activities at the MRF, and downstream processes. The latter means recycling of waste (glass, plastics, paper, ferrous metal, electrical and electronic equipment, and tires) compared to primary production using virgin materials, or the incineration of waste with energy recovery (mixed waste, food waste, wood waste, and infectious waste) compared to energy production from sources of fossil origin.

The results show that recycling proves to be beneficial over primary production, and incineration of waste in waste to energy plants is favorable compared to the use of fossil fuel (savings of 0.9 and 0.3 kg CO₂-equivalents kg⁻¹ waste, respectively). Sorting of all the mixed waste at military camp collection sites followed by recycling of the separated fractions at MRF would result in avoided GHG emissions of 44%, compared to the current practice of incineration with energy recovery. Further research is needed to fully elucidate the importance and benefits of increased sorting of mixed waste in the Norwegian Armed Forces seen from a GHG perspective.

Innhold

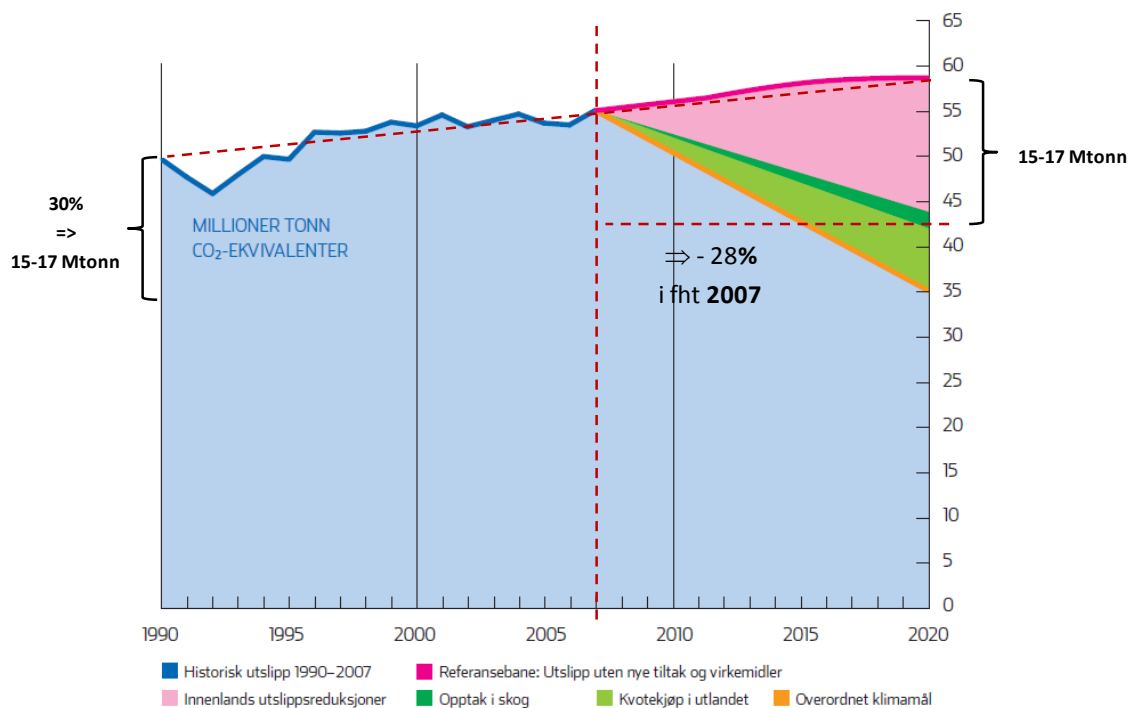
1	Innledning	7
1.1	Hensikt og omfang	7
1.2	Forsvarssektorens krav gitt i tildelingsbrev og iverksettelsesbrev	8
1.2.1	Sorteringsgrad av avfall i forsvarssektoren	8
1.3	Avfallshåndtering, energiforbruk og klimagassutslipp	9
2	Materialer og metoder	10
2.1	Forsvarssektorens miljødatabase	12
2.2	Henting og transport av avfall	12
2.3	Forsyning av drivstoff	13
2.4	Forbrenning av avfall	13
2.5	Materialgjenvinning	14
3	Resultater	17
3.1	Generering av avfall	17
3.2	Klimagassutslipp ved oppstrøms prosesser	17
3.3	Klimagassutslipp ved operasjonelle prosesser	17
3.4	Klimagassutslipp ved nedstrøms prosesser	17
3.5	Klimagassutslipp fra blandet vs sortert avfall	19
3.6	Sammenligning av miljøprestasjon for de ulike militærleirene	19
4	Diskusjon	21
4.1	Klimagassutslipp, avfallssortering og avfallshåndtering	21
4.2	Hvilke tiltak kan iverksettes i forsvarssektoren for å bedre miljøprestasjon?	22
4.3	Miljøprestasjonsindikatorer for sammenligning av de ulike militærleirene	23
5	Konklusjon	24
	Referanser	25
	Forkortelser	29
	Appendix A Klimagassutslipp fordelt på de ulike lokalitetene	30

1 Innledning

1.1 Hensikt og omfang

Med bakgrunn i økt nasjonalt fokus på utslipp av klimagasser ønsket vi å utarbeide et klimaregnskap for avfallshåndteringen ved fem utvalgte militærleire i Forsvaret. Målet om nasjonale utslippskutt er nedfelt i avtalen om klimameldingen (kalt klimaforliket) som flertallet på stortinget inngikk i 2008. Målet er at utslippene i Norge skal reduseres med 15-17 millioner tonn CO₂-ekvivalenter innen 2020, i forhold til referansebanen slik den er presentert i nasjonalbudsjettet for 2007 (St.meld. nr. 2, 2008-2009), når skog er inkludert. Skogtiltakene anslås å gi et netto opptak på 3 millioner tonn CO₂. De innenlandske utslippene skal dermed reduseres med 12-14 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, slik at de ikke overstiger 45-47 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2020 (Klimakur, 2010). Sett i forhold til 2007 referansebanen tilsvarer dette en reduksjon i klimagassutslipp på 28 % fram mot 2020 (se Figur 1.1).

Hovedhensikten med denne rapporten er å identifisere de viktigste prosessene for klimagassutslipp forbundet med avfallshåndtering i Forsvaret, og å foreslå tiltak for å forbedre utslippsprofilen tilsvarende 28 % sammenlignet med dagens nivå. Derne har målet vært å vise hvilke potensialer for forbedring av klimagassutslipp som ligger ved ulike veivalg for avfallshåndteringen.



Figur 1.1 Målsetting for klimapolitikken (Klimakur, 2010).

Data fra forsvarssektorens miljødatabase (MDB) er benyttet som datakilde for beregningene og ligger til grunn for vurderinger av hvordan Forsvaret kan forbedre miljøprestasjonen med hensyn på optimalisering av sortering og avfallshåndtering (resipienter) ved fem ulike lokaliteter.

Sammenligning av klimagassutslipp for ulike avfallshåndteringsmåter for valgte avfallsfraksjoner ble benyttet som beslutningsgrunnlag for å finne fram til den mest miljøvennlige løsningen. Rapporten fokuserer på håndtering av hovedfraksjonene glass, plast, papir, jernholdig metall, elektrisk- og elektronisk avfall, dekk, blandet avfall, matavfall, trevirke og smittefarlig avfall. I beregningene benyttes data innhentet fra Veolia miljø for følgende leirer: KNM Harald Hårfagre, Kolsås base, Rygge Flystasjon, Sessvollmoen og Rena leir. Dette datagrunnlaget muliggjør livsløpsanalyser av avfallshåndtering innbefattende klimagassutslipp ved henting og transport av avfall, energiforbruk ved operasjonelle prosesser ved avfallsmottak, samt håndtering av avfallet.

Dette studiet er brukt som grunnlag for forslag til tiltak for å bedre miljøprestasjonen for avfallshåndtering i Forsvaret.

1.2 Forsvarssektorens krav gitt i tildelingsbrev og iverksettelsesbrev

Miljørelaterte oppdrag tildeles, i likhet med andre oppdrag, gjennom FDs Tildelingsbrev eller Iverksettelsesbrev (IVB) til de underliggende etatene og sektoren som helhet. I forsvarssektorens langtidsplan legges det vekt på at virksomheten skal søke å redusere utslipp av klimagasser, øke innsamling av farlig avfall samt redusere mengden farlig avfall som oppstår. I IVB til FB er det stilt krav om minimum 60 % sortering og 70 % gjenvinning av avfall (dvs avfall som ikke går til deponi eller forbrenning uten energiutnyttelse) generert i 2009.

1.2.1 Sorteringsgrad av avfall i forsvarssektoren

Tabell 1.1 viser mengden avfall registrert i MDB for rapporteringsåret 2009 fra Forsvaret, FD, FB Skifte Eiendom, FB Utvikling, FFI og NSM, fordelt på ulike fraksjoner, samt sorteringsgrad (%). Sorteringsgraden er beregnet som andel avfall i andre fraksjoner enn blandet avfall. Avfall generert ved prosjekter i regi av FB Skifte Eiendom og Utvikling utgjør 61 % av sektorens totalmengde og øker sektorens sorteringsgrad fra 54 % for driftsavfall til 78 % når byggavfall inkluderes.

Tabell 1.1 Mengde avfall (kg) registrert i MDB i 2009 fordelt på de ulike etatene, samt sorteringsgrad (%) (kilde: Reistad et al., 2010).

	Farlig avfall (kg)	Annet avfall (kg)	Blandet avfall (kg)	Total (kg)	Sorteringsgrad (%)
Forsvaret	2 100 273	4 926 996	6 040 976	13 068 245	54
FD	8 922	147 298	100 287	256 507	61
Forsvarsbygg					
Skifte eiendom	534 119	14 091 866	768 649	15 394 634	95
Utvikling	474 440	4 737 105	470 288	5 681 833	92
FFI	8 922	103 890	79 415	192 227	59
NSM	-	-	-	-	-
Sum	3 126 676	24 007 155	7 459 615	34 593 446	78

Avfallsdata fra Forsvarsbygg egen drift ligger i tallene presentert for Forsvaret

1.3 Avfallshåndtering, energiforbruk og klimagassutslipp

Miljøvernmyndighetenes pyramide (Figur 1.2) illustrerer på en enkel måte myndighetenes prioriteringer i avfallspolitikken som beskrevet i St. meld, nr. 26 (2006/2007):

”Miljøvernmyndighetenes mål er å sørge for at skadene fra avfall på mennesker og naturmiljø blir så små som mulig. Avfallsproblemene skal løses gjennom virkemidler som sikrer en samfunnsøkonomisk god balanse mellom omfanget av avfallet som genereres og som gjenvinnes, forbrennes eller deponeres”.



Figur 1.2 Miljøvernmyndighetenes avfallspyramide.

Avfall kan klassifiseres på flere måter, for eksempel i henhold til opprinnelse, sammensetning eller miljøpåvirkning. Standard Norge har laget en standard for norsk avfallsklassifisering, NS 9431 (Standard Norge, 2011), som klassifiserer avfall etter materiell, opprinnelse, metode for sluttbehandling og opprinnelsessted. Hensikten er å stimulere til en ensartet bruk av kategorier for registrering og rapportering av avfall. Avfall generert i forsvarssektoren er beskrevet i henhold til NS 9431: 2011.

Gjenvinning betyr at materialer eller energien i produktet brukes på nytt. Ved materialgjenvinning kan materialer benyttes som råstoff i ny produksjon samtidig som energiforbruket reduseres sammenlignet med bruk av nytt råstoff. Råvaremarkedet er globalt og økt gjenvinning i Norge reduserer behovet for å ta i bruk nye råvarer andre steder i verden. Dermed reduseres energibruken og utslippet av klimagasser globalt (Veolia, 2008). Energiutnyttelsen av avfall som forbrennes erstatter bruken av olje og gass samt elektrisitet til oppvarming, og reduserer dermed utslipp av klimagasser.

Avfallshåndtering av resirkulerbare materialer inkluderer henting, transport og sortering på avfallsmottak og utføres med hensikt å levere et nyttig produkt til industrien som produserer nye produkter (Astrup *et al.* 2009a; Damgaard *et al.* 2009; Eisted *et al.* 2009; Larsen *et al.* 2009a; Merrild *et al.* 2009;) eller alternativt til et avfallsforbrenningsanlegg for oppvarming av boliger (Astrup *et al.* 2009b; Fruergaard *et al.* 2009).

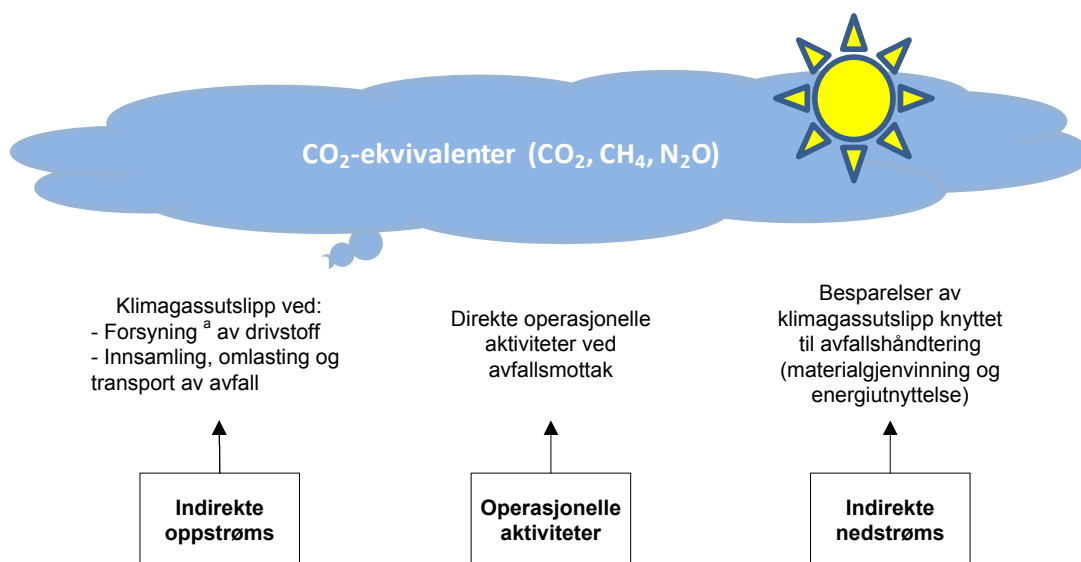
Energi er viktig i avfallshåndteringssystemer fordi ulike former for energi trengs for å operere avfallsmottak og fordi energi kan gjenvinnes fra avfall i avfallsforbrenningsanlegg. Denne rapporten tar for seg klimagassutslipp relatert til substituerende av varmereproduserende teknologier

basert på fossile energibærere i forbrenningsanlegg. Miljøeffekter fra forbrenningsprosesser, inkludert effekter av CO₂ og globalt klima er oppsummert av Petts and Eduljee (1994). I foreliggende arbeid inkluderer terminologien ”avfallsforbrenning” forbrenning av “solid recovered fuel” (SRF) laget fra blandet avfall, matavfall, blandet trevirke, og smittefarlig avfall. Livssyklustrinnene for materialgjenvinning inkluderer generering av avfall, avfallshåndteringssystemet, gjenvinning av materiell, bearbeiding, og behandling av avfallet. Alle trinnene langs denne livssyklusen påvirker klimagassutslipp. Livssyklusen til jomfruelige råvarer inkluderer råmaterialer, gruvedrift og annen utvinning, transport, bearbeiding, og produktforbruk. Blant disse trinnene kan gruvedrift og annen utvinning, transport og bearbeiding av jomfruelige materialer innvirke på klimagassutslipp (White et al. 1995).

2 Materialer og metoder

Kildene til klimagassutslipp representerer utslipp i relasjon til aktivitetene fra avfallshåndteringssystemet for fem militærleire i Forsvaret. Livsløpsanalyse av avfallet er nødvendig for å kunne vurdere det totale bidraget til klimagassutslipp fra avfallshåndtering. Figur 2.1 viser de ulike trinnene i livssyklusen for de prosessene vi har vurdert i dette studiet, hvor prosessen starter ved hentepunktet i militærleiren og endepunktet er håndtering av avfallet (forbrenning med energiutnyttelse eller materialgjenvinning).

Dette studiet inkluderer vurdering av operasjoner ved avfallsmottaket i tillegg til prosesser som medfører utslipp oppstrøms og nedstrøms for avfallsmottaket (Gentil *et al.* 2009). Klimagassutslipp er sterkt knyttet til energiforbruket i avfallshåndteringsprosessene fordi energi i ulike former trengs for å drive avfallsbehandlingsanlegg, framdrift av kjøretøy for henting og transport av avfall, og fordi energi gjenvinnes i fjernvarmeanlegg. Flere protokoller foreslår bruk av gjennomsnittlige energidata for europeiske land (EpE 2007; Eggleston *et al.* 2006; ISO 2006), men disse rapportene spesifiserer ikke om individuelle data for de konkrete avfallsmottak som omhandles er applisert eller ikke. I dette studiet er spesifikk data for drivstofforbruk, samt drivstoff og energiforbruk ved avfallsmottaket gitt av Veolia Miljø AS (Tabell 2.1).



^a: Forsyning inkluderer klimagassutslipp ved utvinning, raffinering, bearbeiding, lagring og transport av drivstoff fram til drivstoffpumpe.

Figur 2.1 Oversikt over livsløpet til avfallet for vurdering av klimagassutslipp med oppstrøms prosesser i forhold til avfallsmottaket (utslipp ved forsyning av drivstoff, henting og transport av avfall), direkte operasjonelle aktiviteter ved avfallsmottaket (oppvarming av bygg, sortering og transport), samt nedstrøms prosesser med håndtering av avfallet (forbrenning med energiutnyttelse sammenlignet med energi fra fossile energibærere og materialgjenvinning sammenlignet med nyproduksjon med jomfruelige råvarer).

Utslippsfaktorer fra forsyning av drivstoff er hentet fra Fruergaard *et al.* (2009). Utslippsfaktorer fra nedstrøms unngåtte klimagassutslipp ved avfallsforbrenning med energigjenvinning og materialgjenvinning er hentet henholdsvis fra Gaillarde (2008) og Bio Intelligence Service (2008) (Tabell 2.1). De operasjonelle data oppstrøms for avfallsmottaket inkluderer forbruk av diesel og dermed utslipp av klimagasser fra heiscontainervogn, krokcontainervogn, flatvogner og komprimatorbiler som brukes for henting og transport av avfall. Kilder til klimagassutslipp ved avfallsmottak inkluderer forbrenning av fyringsolje, bruk av naturgass for kjøretøy, elektrisitet for oppvarming av bygg, og andre arbeidskrevende prosesser ved mottaket.

Tabell 2.1 Utslippsfaktorer brukt i klimagassregnskapet for de ulike avfallsmengdene.

Prosess/utslipp		Utslippsfaktor	Referanse
Transport			
	Forbruksfaktor		
Forsyning av diesel		440-570 kg CO ₂ -ekv tonn ⁻¹	Fruergaard <i>et al.</i> 2009
Forsyning av fyringsolje		440-560 kg CO ₂ -ekv tonn ⁻¹	Fruergaard <i>et al.</i> 2009
Forsyning av gass		0.2-0.3 kg CO ₂ -eq. Nm ⁻³	Fruergaard <i>et al.</i> 2009
<i>Forbrenning av diesel - søppelbiler</i>			
Heis containervogn	0.34 L km ^{-1*}	2.7 kg CO ₂ -ekv L ⁻¹	Fruergaard <i>et al.</i> 2009
Krok containervogn	0.42 L km ^{-1*}	2.7 kg CO ₂ -ekv L ⁻¹	Fruergaard <i>et al.</i> 2009
Flatvogn	0.20 L km ^{-1*}	2.7 kg CO ₂ -ekv L ⁻¹	Fruergaard <i>et al.</i> 2009
Komprimator	0.45 L km ^{-1*}	2.7 kg CO ₂ -ekv L ⁻¹	Fruergaard <i>et al.</i> 2009
Avfallsmottak			
Forsyning og forbruk av ekektrisitet		7 kg CO ₂ -ekv MWh ⁻¹	
Forbrenning av naturgass		205 kg CO ₂ -ekv MWh ⁻¹	Bio Intelligence Service (2008); Fruergaard <i>et al.</i> 2009
Forbrenning av fyringsolje		2.5 kg CO ₂ -ekv L ⁻¹	
Håndtering av avfall			
<i>Materialgjenvinning:</i>			
Jernholdige metaller		- 1.5 tonn CO ₂ -ekv tonn ⁻¹	Bio Intelligence Service (2008)
Glass		- 0.29 tonn CO ₂ -ekv tonn ⁻¹	Bio Intelligence Service (2008)
Plast		- 1.1 tonn CO ₂ -ekv tonn ⁻¹	Bio Intelligence Service (2008)
Papir		- 0.4 tonn CO ₂ -ekv tonn ⁻¹	Bio Intelligence Service (2008)
EE-avfall		- 1.746 tonn CO ₂ -ekv tonn ⁻¹	Bio Intelligence Service (2008)
Dekk		- 1.1 tonn CO ₂ -ekv tonn ⁻¹	Bio Intelligence Service (2008)
<i>Forbrenning med energiutnyttelse:</i>			
Blandet avfall		- 0.52 tonn CO ₂ -ekv tonn ⁻¹	Gaillarde (2008)
Matavfall		- 0.52 tonn CO ₂ -ekv tonn ⁻¹	Gaillarde (2008)
Blandet trevirke		- 0.52 tonn CO ₂ -ekv tonn ⁻¹	Gaillarde (2008)
Farlig avfall		- 0.52 tonn CO ₂ -ekv tonn ⁻¹	Gaillarde (2008)

2.1 Forsvarssektorens miljødatabase

I 1998 ble det besluttet at MLED skulle implementeres i Forsvarssektoren. MLED er sektorens system for miljøstyring, et overordnet system for miljøvern som skal bidra til at miljø blir en integrert del av alle plan- og beslutningsprosesser i sektoren. Forsvarssektorens miljødatabase (MDB) samler miljøinformasjon fra hele sektoren, og er en viktig del av forsvarssektorens MLED system. Dette systemet utvikles og vedlikeholdes av Forsvarets forskningsinstitutt (FFI).

Informasjon om avfallsmengdene generert ved de ulike militære lokalitetene og data for håndtering av avfallet (materialgjenvinning og forbrenning med energiutnyttelse) ble hentet fra MDB. Programvaren (TEAMS 4.7) brukt til å etablere databasen er levert av Emisoft Ltd, Norge. Programmet er utviklet for å håndtere miljødata rapportert fra industri eller for andre interne eller eksterne formål. Miljøregnskap for forsvarssektoren rapporteres årlig (Christiansen *et al.* 2005; 2006a, 2006b; Reistad *et al.* 2008; 2010; Ringnes *et al.* 2009).

2.2 Henting og transport av avfall

Drivstofforbruk per avfallsmengde avhenger av flere faktorer som areal for henting, type og tilstand av kjøretøy, og avstand til avfallsmottaket. Drivstoff forbrukes ved akselerasjon, kjøring, håndtering, og pakking av avfallet (Larsen *et al.* 2009b). Avfall fjernes fra hentepunktet ved

militærbasene og transporteres til avfallsmottaket for bearbeiding, behandling, og avhending. Avfallshåndtering ved avfallsmottaket inkluderer også sortering i tillegg til transport.

2.3 Forsyning av drivstoff

For å kunne betrakte hele livsløpet til drivstoff, må utslipp av klimagasser fra utvinning og raffinering, bearbeiding, lagring, og transport inkluderes (Eggleston *et al.* 2006). I dette arbeidet er disse aktivitetene karakterisert som forsyning av drivstoff og inkludert i oppstrøms aktiviteter eller aktiviteter ved avfallsmottaket. Utslippsfaktorer som beskriver forsyning av diesel, fyringsolje, naturgass og elektrisitet er hentet fra Fruergaard *et al.* (2009). Forsyning av elektrisitet inkluderer forsyning og forbrenning av drivstoff, konstruksjon og avhending av energi-produserende kraftverk, og håndtering av avfallsprodukter. Disse dataene representerer europeiske tall for forsyning av drivstoff, inkludert alle faser av livssyklusen til drivstoffet. Klimagassutslipp fra diesel er i området 440-570 kg CO₂-ekv. tonn⁻¹, 440-560 kg CO₂-ekv. tonn⁻¹ for fyringsolje, og 0.2-0.3 kg CO₂-ekv. Nm⁻³ for naturgass (Fruergaard *et al.* 2009; Tabell 2.1). Utslipp av drivhusgasser fra elektrisitetsproduksjon er spesifikk for de enkelte land. I Norge er strømproduksjon hovedsakelig basert på vannkraft, noe som resulterer i det laveste klimagassutslippet blant europeiske land. Klimagassutslippet for elektrisitet inkluderer utslipp fra drivstofforbruk og oppstrøms utslipp tilsvarende 0.007 kg CO₂-ekv. kWh⁻¹ (Dones *et al.* 2004).

2.4 Forbrenning av avfall

En viktig motivasjon til å forbrenne avfall er fordelene med å energigjenvinne avfallet, samt å minimalisere mengdene av brennbare og biologisk nedbrytbare avfallsfraksjoner til deponering. Termal omdanning av avfall er karakterisert av en nær fullstendig oksidering av organisk materiale til CO₂. Avfallskomponenter som ikke oksideres fullstendig frigis som CO eller andre hydrokarboner. N₂O kan også dannes og frigis (Astrup *et al.* 2009b). Disse utslippene fra forbrenningsanleggene bidrar til global oppvarming. Energi utvunnet fra avfallsforbrenningsanleggene kan på den annen side erstatte andre fossile energibærere, og dermed medføre reduserte klimagassutslipp. Fast bunnfall fra forbrenningen som for eksempel metaller kan også gjenvinnes og erstatte nyproduksjon med jomfruelige råvarer.

Utslipp av karbon fra avfall kan være i form av biogent karbon eller fossilt karbon (Fellner *et al.* 2007; Mohn *et al.* 2008). Det er generelt akseptert at biogent karbon er klimanøytralt med globalt oppvarmingspotensial (GOP) på 0, mens fossilt karbon har GOP på 1. Det er derfor nødvendig med detaljert kunnskap om sammensetning av avfallet for å finne andel biogent karbon, ellers må estimater basert på relevante data benyttes. Klimagassutslippene relevant for avfallsforbrenning i denne rapporten er CO₂ og N₂O, mens CH₄ og andre sporgasser ikke er funnet relevant for forbrenningsanleggene brukt av Veolia Miljø AS i Oslo. Klargjort SRF laget av Veolia Miljø AS benyttes direkte i forbrenningsovnene, uten sortering eller annen forbehandling som en del av arbeidsflyten ved avfallsmottaket. For avfallet generert ved de fem militærlairene, utgjør blandet avfall omtrent 60 % av den totale mengden av avfallet vurdert i dette arbeidet (Tabell 3.2). Data fra klimagassutslipp fra forbrenningsprosessen er basert på utslippsfaktorer og GOF for anlegg med avgassrensing (Astrup *et al.*, 2009b). Med grunnlag i disse dataene, er klimagassutslipp fra avfallsforbrenningsprosessen estimert med bruk av biogent karboninnhold på 255 kg tonn⁻¹ og et

fossilt karboninnhold på 194 kg tonn⁻¹ for SRF. Figur 2.2 viser et forenklet flytdiagram av forbrenningssystemet.

2.5 Materialgjenvinning

Metaller er en viktig avfallsfraksjon og utgjør rundt 8 % (v/v) av den total avfallsmengden for de fem militærleirene (Tabell 3.2). Skrapmetall deles inn i jernholdig metaller bestående av jern og stål, og ikke-jernholdig metaller bestående av alle andre typer. Metaller resirkuleres på grunn av sin ekstremt energiintensive prosess ved nyproduksjon og framstilling fra jomfruelige råvarer, og fordi metaller er en begrenset ressurs (Damgaard *et al.* 2009). Gjenvinning av metaller krever at fremmedlegemer fjernes, og at metallene sorteres til deres respektive metalltyper. Metaller innsamlet ved de fem militærleirene var jernholdig metallskrap (jern og stål). Materialgjenvinning av metaller bidrar til klimagassutslipp ved forbrenning av drivstoff eller ved elektrisitetsforbruk.

Omtrent 15 % (v/v) av avfallsmengdene består av papp og papir, primært kontorpapir og pappemballasje. Papp og papiravfall sorteres mekanisk ved avfallsmottaket og separeres i totalt 31 ulike papirkvaliteter. Disse deles igjen inn i 4 produktgrupper; trykk-kvalitet for nyproduksjon av kontorpapir eller toalettpapir, treverk-innholdende kvaliteter for avisepapir, brune kvaliteter for papp og kartong, og blandet kvalitet tiltenkt for eksempel emballasje og melkekartonger (Veolia Miljø AS, 2008).

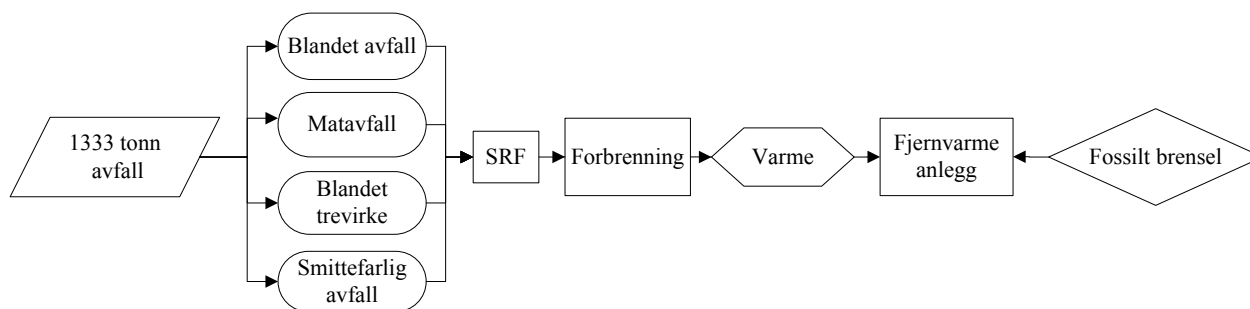
Plast utgjør en relativt liten andel av avfallet generert i Forsvaret, og består hovedsakelig av blandet plast og mykplast for emballasje. Denne fraksjonen utgjør omtrent 0.6 % (v/v) av den totale avfallsmengden ved de fem leirene (Tabell 3.2). Det meste av platen sorteres for materialgjenvinning til nye produkter ved avfallsmottaket. Gjenvinning av plast til nye høykvalitets plastprodukter krever at de resirkulerte plastmaterialene er rene. I disse tilfellene kan disse materialene substituere jomfruelige råvarer i ny plastproduksjon. Hvis den resirkulerte platen er kontaminert og/eller er en blanding av flere typer plast vil kvaliteten på den produserte platen bli lavere og vil dermed vanligvis bli brukt til produkter som også kan lages av andre typer materialer.

Materialgjenvinning av glass gir grunnlag for nye varer brukt i husholdninger eller industri. Gjenvinning av post-konsument glass innebærer i all hovedsak sortering av glasset og smelting for substitusjon av jomfruelige råvarer. I Norge resirkuleres rundt en tredjedel av det innsamlede glasset og smeltes om til nye glassmaterialer, rundt en tredjedel til glassfibervev, og den siste tredjedelen til andre bygningsmaterialer. Ombruk av flasker ved vasking og refylling er ikke inkludert i denne studien da dette er håndtert av separate mottakssystemer. Som kan leses av Tabell 3.2, består rundt 1.1 % (v/v) av den totale avfallstonnasjen av glass. I glassproduksjon er de to viktigste kildene til klimagassutslipp innspart energi ved unngått bruk av jomfruelige råvarer for nyproduksjon, og unngått kalisinering av råvarer. Opp til 20 % av råvaremengden brukt i primærproduksjon av glass går tapt under smelting, hovedsaklig i form av CO₂ fra nedbrytning av natriumkarbonat, kalkstein og dolomitt (karbonater) (Larsen *et al.* 2009a; Eggleston *et al.* 2006). Dette tilsier at 1.2 tonn av de primære råvarene erstattes og utslipp av 0.2 tonn CO₂ unngås når 1 tonn glassavfall tilføres produksjonsprosessen. Natriumkarbonat brukes i all hovedsak til å senke smeltetemperaturen og er en spesielt energikrevende prosess, og unngått

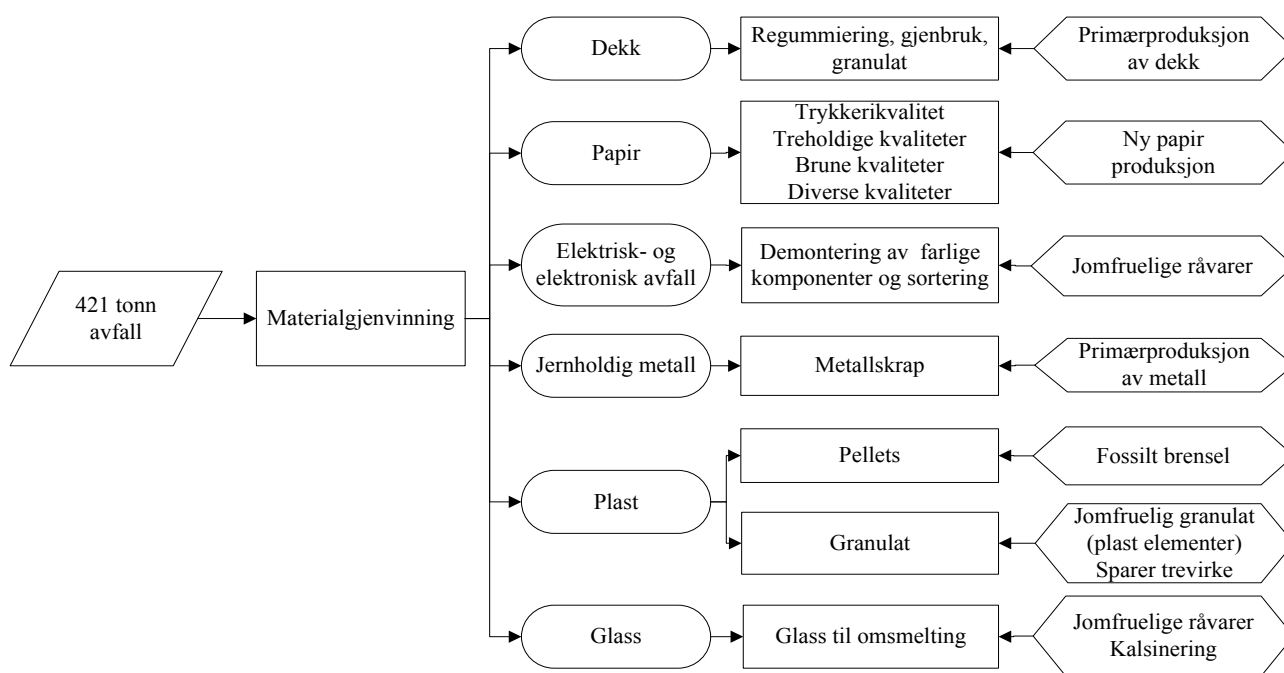
natriumkarbonat representerer nesten 49 % av de totale unngåtte klimagassutslippene (Grant *et al.* 2001; Tabell 3.1).

Veolia Miljø AS har satt opp et spesielt system for behandling og materialgjenvinning av EE avfall. Farlige forbindelser som er vanlig i EE produkter inkluderer bly, kvikksølv, beryllium, barium, heksavalent krom, kadmium, arsenikk, nikkel, sink, og bromerte flammehemmere (Widmer *et al.* 2005). Komponenter som inneholder disse forbindelsene fjernes og behandles separat som farlig avfall. Den resterende delen av EE avfallet er resirkulerbart og demonteres for bruk i nyproduksjon av materialer isteden for jomfruelige råvarer.

Dekk mottatt av Veolia Miljø AS i Oslo sendes videre til materialgjenvinning, og utgjør omtrent 0.4 % (v/v) av den totale avfallsmengden ved de fem militære lokalitetene (Tabell 3.2). Gummi fra gamle bildekk kan brukes for regummiering, eller ombrukes til dekkmatter for sprengning, fendere, og lekeapparater for barn. Resirkulert gummi kan også kuttes til granulater og brukes i for eksempel betongkonstruksjoner. Figur 2.3 viser et forenklet flytdiagram for gjenvinningssystemene omtalt i denne rapporten.



Figur 2.2 Forenklet flytskjema som illustrerer forbrenning av blandet avfall, matavfall, blandet trevirke og smittefarlig avfall med energigjenvinning i et avfall-til-gjenvinningsanlegg. Indirekte oppstrøms klimagassutslipp skjer i venstre del av flytskjemaet, direkte utslipp fra forbrenningen og operasjonelle aktiviteter ved avfallsmottaket, og indirekte nedstrøms utslipp er relatert til prosessene i høyre del av figuren.



Figur 2.3: Forenklet flytskjema som illustrerer materialgjenvinning av dekk, papp og papir, EE avfall, jernholdig skrapjern, plast og glass ved avfallsmottaket til Veolia Miljø AS i Oslo. Oppstrøms klimagassutslipp er beskrevet i venstre del av skjemaet, utslipp fra operasjonelle aktiviteter ved avfallsmottaket og nedstrøms utslipp er relatert til prosessene i høyre del av figuren.

3 Resultater

3.1 Generering av avfall

Blandet avfall utgjør hoveddelen av avfallstonnasjen, og utgjør hele 60 % av det totale avfallet (v/v) beskrevet i dette arbeidet, og 80 % av avfallet som går til forbrenning. Av totalen på 1732 tonn avfall (Tabell 3.2) utgjorde blandet avfall 1047 tonn. Unngåtte klimagassutslipp fra materialgjenvinning tilsvarer 0.9 kg CO₂-ekv. kg⁻¹ avfall, mens innsparte klimagassutslipp fra forbrenning med energiutnyttelse inkludert selve forbrenningsprosessen tilsvarer 0.3 kg CO₂-ekv. kg⁻¹ avfall.

3.2 Klimagassutslipp ved oppstrøms prosesser

Som vist i Tabell 3.1 skjer det meste av klimagassutslippene som en konsekvens av bruk av fossilt drivstoff konsumert ved henting og transport av avfallet i oppstrøms prosesser. Videre viser resultatene at henting og transport av avfall forårsaker mer klimagassutslipp enn forsyning av drivstoff (henholdsvis 106.3 vs 14.7 - 18.9 tonn CO₂-ekv.).

3.3 Klimagassutslipp ved operasjonelle prosesser

Klimagassutslippene ved avfallsmottaket stammer fra forbrenning av fyringsolje og bruk av elektrisitet fra strømmettet for oppvarming av bygg, og bruk av naturgass for drift av kjøretøy. Videre viser kolonne to i Tabell 3.1 utslipp fra forsyning av elektrisitet, fyringsolje og naturgass (Fruergaard *et al.* 2009). Utslippene fra operasjonelle aktiviteter ved avfallsmottaket er relativt små, sammenlignet med utslipp oppstrøms i systemet (henholdsvis 2.9 - 3.1 tonn CO₂-ekv. vs 121 - 125 tonn CO₂-ekv.).

3.4 Klimagassutslipp ved nedstrøms prosesser

Nedstrøms utslipp er kalkulerede unngåtte klimagassutslipp (tonn CO₂-ekv.) som et resultat av substitusjon av jomfruelige råvarer for nyproduksjon av produkter med resirkulert glass, plast, papir, jernholdige metaller, EE avfall, og dekk. Estimert unngåtte klimagassutslipp ved forbrenning av blandet avfall, matavfall, blandet trevirke, og smittefarlig avfall sammenlignet med energiproduksjon for oppvarming av bolighus ved bruk av fossile energibærere er gitt i kolonne 3 og 4 i Tabell 3.1. Totalt klimagassutslipp fra forbrenning av fossilt karbon i avfall er estimert til 254 tonn CO₂-ekv., tilsvarende 194 kg CO₂-ekv. tonn⁻¹. Som vist i Tabell 3.1 er det totale unngåtte klimagassutslippet for energigjenvinning fra avfall sammenlignet med bruk av fossile energibærere 682 tonn CO₂-ekv. Når klimagassutslipp fra avfallsforbrenning inkluderes i regnskapet er de totale innsparingene 428 tonn CO₂-ekv. De unngåtte klimagassutslippene for materialgjenvinning sammenlignet med primærproduksjon er totalt 373 tonn CO₂-ekv. Transport av resirkulerte materialer fra avfallsmottaket til sluttbehandlingsstedet er ikke inkludert i regnskapet, fordi retur av nyttelast er antatt.

Tabell 3.1 Total klimagassutslipp angitt som CO₂-ekv. og global oppvarmingsfaktor (GOF) eller global oppvarmingspotensial (GOP) er angitt for avfallshåndtering ved fem militærbase i Forsvaret. De første to kolonnene viser henholdsvis utslipp oppstrøms for avfallsmottaket og utslipp fra operasjonelle prosesser. Unngåtte utslipp (som tonn CO₂-ekv.) er forårsaket av substitusjon av jomfruelige råvarer med resirkulerte materialer (materialgjenvinning), og avfallsforbrenning med energigjenvinning i stedet for strømforbruk fra fossile energibærere. Klimagassutslipp fra selve forbrenningsprosessen er gitt i siste kolonne.

Oppstrøms klimagassutslipp (tonn CO ₂ -ekv):	Operasjonelle prosesser avfallsmottak (tonn CO ₂ -ekv):	Unngåtte nedstrøms klimagassutslipp (tonn CO ₂ -ekv):	Klimagassutslipp fra forbrenningsprosessen
GOF (tonn CO ₂ -ekv): 120.975-125.180	GOF (tonn CO ₂ -ekv): 2.947-3.079	GOF (unngåtte tonn CO ₂ -ekv): 1054.885	
Forsyning: - Diesel ^a : 14.682-18.887	Forsyning : - Elektrisitet fra nettet: 0.044 - Fyringsolje b: 1.528-1.943	Unngåtte klimagassutslipp: Materialgjenvinning: - Glass: 1.648 - Plast: 13.296 - Papir: 87.065 - Jernholdig metall: 208.375 - EE-avfall: 55.362 - Dekk: 7.405	Forbrenning med energiutnyttelse: - Blandet avfall: 544.313 - Matavfall: 68.909 - Blandet trevirke: 68.447 - Smittefarlig avfall: 0.064
Beregnet fra transport: - Heiscontainervogn: 13.222 (4908 L of diesel) - Krokcontainervogn: 4.373 (1623 L of diesel) - Flatvogn: 34.027 (12 631 L of diesel) - Komprimatorbil: 54.671 (20 294 L of diesel)	Beregnet fra forbruk: - Naturgass ^c : 0.001 - Naturgass: 0.008 - Fyringsolje : 9.022 - Elektrisitet fra nettet: 0.254		Fossilt karbon: GOP = 1 GOF (tonn CO ₂ -ekv): 254

a: Applisert tetthet: 0.84 kg L⁻¹, b: Applisert tetthet 0.86 kg L⁻¹, c: Applisert tetthet 1000 Nm³=1 tonn=12.8MWh

Forsyning: for å kunne betrakte hele livsløpet til drivstoff, må utslipp av klimagasser fra utvinning og raffinering, bearbeiding, lagring, og transport inkluderes (Eggleston et al. 2006). I dette arbeidet er disse aktivitetene karakterisert som forsyning av drivstoff og inkludert i oppstrøms aktiviteter eller aktiviteter ved avfallsmottaket, avhengig av prosessene for drivstofforbruket. Utslippsfaktorer som beskriver forsyning av diesel, fyringsolje, naturgass og elektrisitet er hentet fra Fruergaard et al. (2009).

Tabell 3.2 Avfallsmengder levert for materialgjenvinning og forbrenning med energiutnyttelse for de ulike avfallsfraksjonene. De militære lokalitetene er angitt i kolonne 1.

Lokalitet	Materialgjenvinning						Forbrenning med energiutnyttelse			
	Glass	Plast	Papir	Jernholdig metall	EE-avfall	Dekk	Blandet avfall	Matavfall	Blandet trevirke	Smittefarlig avfall
KNM Harald Haarfagre	850	860	49 210	10 760			215 899	30 400	7 140	
Kolsås base	15 115	420	31 336	490	5 620		120 363	5 032	200	
Rena leir	2 660	4 011	48 880	66 670	5 048	5 138	225 738	39 025	56 068	123
Rygge flystasjon	660	480	29 592	41 130	15 130	4	214 825	14 250	37 020	
Sessvollmoen leir		6 316	58 646	19 868	5 910	1 590	269 930	43 810	31 202	
Total	19 285	12 087	217 664	138 918	31 708	6 732	1 046 755	132 517	131 630	123

3.5 Klimagassutslipp fra blandet vs sortert avfall

Avfall Norge (Marthinsen et al., 2006) har presentert en oversikt over vanlig fordeling av avfallsfraksjoner i blandet avfall basert på avfallssorteringsanalyser og litteraturstudier av avfallsforbrenningsanlegg i Norge. Som et resultat av dette har vi gjort en teoretisk beregning av fordeling av fraksjoner i blandet avfall fra de fem militærleirene (Tabell 3.3). Prosentvis fordeling av de ulike avfallsfraksjonene i blandet avfall generert i industrisektoren er angitt. Resultatene viser at en forandring i resipientfordelingen fra blandet avfall til sortering med påfølgende materialgjenvinning isteden for forbrenning medfører 44 % lavere klimagassutslipp.

Tabell 3.3 En teoretisk sammenligning av unngåtte klimagassutslipp (kg CO₂-ekv.) fra behandling av blandet avfall (forbrenning med energiutnyttelse) sammenlignet med samme mengde avfall som sorterte avfallsmengder (materialgjenvinning). Antagelsen er fullstendig sortering av blandet avfall til fraksjonene angitt i første kolonne.

Avfallsfraksjon	Fordeling (%) ^a	Mengde (kg)	Redusert klimagassutslipp som blandet fraksjon (kg CO ₂ -ekv)	Redusert klimagassutslipp som sorterte fraksjoner (kg CO ₂ -ekv)
Plast	16.7	174 808		192 293
Papir	29.5	308 793		123 516
EE-avfall	0.9	9 421		19 993
Gummi (f.eks dekk)	0.9	9 421		10 363
Total	48	502 443	230 119	346 165

^a Prosentvis innhold av de ulike avfallsfraksjonene i blandet avfall generert av industrisektoren (Marthinsen et al., 2006).

3.6 Sammenligning av miljøprestasjon for de ulike militærleirene

Evaluering av miljøprestasjon er en intern styringsprosess og et verktøy utviklet for å gi pålitelig informasjon som kontinuerlig kan bekreftes for å bestemme om organisasjonens miljøprestasjon tilfredsstillende de krav som ledelsen har satt for organisasjonen, og å identifisere områder for forbedring (ISO, 1999). Utvikling av et godt rammeverk for miljøprestasjonsevaluering i forsvarssektoren vil kunne muliggjøre en helhetlig evaluering av miljøprestasjon. Dette vil kunne danne et enkelt og godt kommunikasjonsverktøy for miljøprestasjonen. Målet er å kunne gi en best mulig sammenligningsgrunnlag for historiske data og utvikling over tid. Slike indikatorer kan brukes som verktøy for å identifisere de viktigste områdene for miljøforbedringer (EEA, 1999).

Tabell 3.4 viser miljøprestasjonsindikatorerne som er benyttet for å sammenligne miljøprestasjon opp mot avfallshåndtering for de fem militærleirene. Her kommer det fram at KNM Harald Hårfagre genererer mest avfall per ansatt, per kvadratmeter bygg, samt dårligste prestasjon målt

som unngåtte klimagassutslipp for avfallshåndtering (materialgjenvinning eller forbrenning med energiutnyttelse) per tonn avfall. De andre leirene kommer relativt likt ut for disse indikatorene.

Sorteringsgraden er gjennomgående lav for alle disse lokalitetene, sammenlignet med sorteringsgraden for hele forsvarssektoren på 54 % (Reistad *et al.*, 2010). Tabellen viser også at antall kildesorteringsmuligheter i form av containere eller lignende er lavt, kun omtrent to stk ved hvert avfallspunkt. Når det gjelder unngåtte klimagassutslipp fordelt på antall ansatte kommer alle lokalitetene relativt likt ut, med unntak av Kolsås som ligger noe under de andre.

Tabell 3.4 Miljøprestasjonsindikatorer for avfallshåndtering ved KNM Harald Hårfagre, Kolsås, Rena leir, Rygge flystasjon og Sessvollmoen i 2009.

Miljøprestasjonsindikatorer	KNM Harald Hårfagre	Kolsås base	Rena leir	Rygge flystasjon	Sessvollmoen
Antall ansatte	280	800	1150	520	830
Forsvarsgren	Marinen	Hæren	Hæren	Luftforsvaret	Hæren
Byggningsmasse (Kvm)	21 845	71 252	183 307	116 978	81 944
Mengde avfall	318 309	164 556	481 907	373 209	440 703
Sorteringsgrad (%)*	34	29	40	43	40
Unngåtte klimagassutslipp (tonn CO ₂ -ekv.)	153	89	306	239	252
Antall avfallspunkt	35	24	58	67	53
Antall kildesorteringspunkter pr leir	77	54	137	130	112
<hr/>					
Avfall (kg)/ansatt	1 137	206	419	718	531
Avfall (kg)/kvm	14,6	2,3	2,6	3,2	5,4
Unngåtte klimagassutslipp/tonn avfall	0,48	0,54	0,63	0,64	0,57
Kildesorteringspkt. /avf. pkt	2,2	2,3	2,4	1,9	2,1
Unngåtte klimagassutslipp (tonn)/ansatt	0,5	0,1	0,3	0,5	0,3

* Sorteringsgrad hentet fra forsvarssektorens miljøregnskap 2009 (Reistad *et al.* 2010).

4 Diskusjon

4.1 Klimagassutslipp, avfallssortering og avfallshåndtering

I henhold til Bio Intelligence Service (2008), representerer avfallssektoren rundt 3 % av globale klimagassutslipp og 2.3 % i EU-land. Utslippene fra den norske avfallssektoren utgjorde i 2008 omtrent 1.3 millioner tonn CO₂-ekv., hvorav 1.2 millioner tonn kom fra avfallsdeponier (Klimakur, 2010). I dag er ikke regnskap over klimagassutslipp en del av Forsvarets avfallshåndteringssystem. Derimot er flere nye reguleringer innført i offentlig sektor for å redusere klimagassutslipp. Disse omfatter blant annet forbud mot langtidsdeponering av bionedbrytbart avfall, tiltak for å øke oppsamling og brenning av metangass fra avfallsanlegg, og avfallshåndteringsgebyr på avfall og emballasjeavtaler. Videre er det gjort tiltak for å redusere klimagassutslipp ved å inkludere bedre energiutnyttelse fra forbrenning ved å erstatte energiproduksjon fra fossile energibærere, økt materialgjenvinning som erstatning for jomfruelige råvarer, og redusert klimagassutslipp fra deponier og forbrenning av avfall.

Materialgjenvinning og forbrenning med energiutnyttelse resulterer i ulike typer miljøpåvirkninger avhengig av avfallsfraksjon, kvaliteten på avfallet, behandlingsteknologi og løsninger, og transportavstander. Flere studier har estimert miljøpåvirkningene av klimagassutslipp ved å sammenligne ulike praksiser for avfallshåndtering. Disse studiene er ofte vanskelig å sammenligne siden antagelsene som danner basis for livssyklusanalysene er ulike og dermed ikke direkte sammenlignbare. For å oppnå tilstrekkelig grad av innsyn og nøyaktighet i det rapporterte datasett, har vi benyttet “upstream-operating-downstream” rammeverkkonseptet for avfallshåndtering foreslått av Gentil *et al.* (2009). Her angis et klart skille mellom klimagassutslipp fra oppstrøms, operasjonelle og nedstrøms prosesser. Dette gir en transparent prosess og muliggjør identifikasjon av de viktigste prosessene for klimagassutslipp gjennom avfallshåndteringssyklusen, og gjør det mulig å sette i gang tiltak for å øke miljøprestasjon gjennom å redusere klimagassutslippene ved de fem militærleirene (Tabell 3.1).

Reduksjon av avfallsmengde og økt materialgjenvinning er ofte de mest fordelaktige avfallshåndteringspraksisene i et klimagassperspektiv, men det er nødvendig med en materiell-spesifikk sammenligning av tilgjengelige avfallshåndteringsmuligheter for å klargjøre hvor de største potensialene for klimagassreduksjon er for de ulike materialene i avfall. Materialgjenvinning av stål og jern er godt karakterisert og svært lønnsomt både økonomisk og sett i et miljøperspektiv, men noen avfallsfraksjoner er heterogene og vil ha flere mulige gjenvinningsmåter. Dette er spesielt gjeldende for papir og plast som gjør det krevende å finne fram til det mest gunstige valget og de respektive utslippsfaktorene for klimagasser. Et gjennomsnitt av utslippsfaktorer hentet fra litteraturen for hver avfallsfraksjon er oppgitt i Bio Intelligence Service (2008), og vil derfor representere den best mulige tilnærming til klimagassutslipp i vårt studie. Våre data viser at materialgjenvinning er bedre enn primærproduksjon, hvor resirkulerte materialer erstatter jomfruelige råvarer. Videre er avfallsforbrenning med energiutnyttelse å foretrekke framfor produksjon av energi fra fossile energibærere.

Sett i et klimagassperspektiv, er materialgjenvinning bedre enn forbrenning med energiutnyttelse for alle avfallsmengdene vurdert i vår studie. Denne konklusjonen støttes av flere publikasjoner. Som rapportert av Eriksson *et al.* (2007), er avfallsforbrenning ofte det foretrukne valg når dette erstatter deponi av avfall, men er ikke det mest miljøvennlige alternativet hvis forbrenning erstatter materialgjenvinning. For plast vil materialgjenvinning og dermed substituering av jomfruelig plast med resirkulert plast i de fleste tilfeller være det beste valg (Astrup *et al.* 2009a; Eriksson & Finnveden, 2009; Finnveden *et al.* 2005). Dette er i samsvar med våre funn. I tilfeller hvor plastavfallet er kontaminert eller består av flere plasttyper av lav kvalitet, vil forbrenning være det beste valg. Også for glass, i samsvar med resultatene fra Larsen *et al.* (2009a), vil nedstrømseffektene av materialgjenvinning være store besparinger av klimagassutslipp på grunn av unngått produksjon av nye materialer. Videre, i følge Damgaard *et al.* (2009), vil gjenvinning av stål være fordelaktig sammenlignet med jomfruelig produksjon. I vårt studie er stål antatt representativt for den jernholdige skrapmetallfraksjonen. Materialgjenvinning av gummi er rapportert å gi et betydelig bidrag til reduksjon av klimagassutslipp (ISRI, 2009). Produksjon av EE utstyr er også et raskt voksende marked, og derfor vil også mengden av EE avfall fortsette å vokse de kommende år. I følge Hischer *et al.* (2005), vil et system for gjenvinning av denne avfallsfraksjonen ha klare miljøfordeler sammenlignet med "basis-scenariet" med fullstendig forbrenning av all EE avfall. Flere initiativ er tatt over hele verden for å forbedre håndteringspraksis og stimulere til økt materialgjenvinning av EE avfall (Wagner, 2009), og materialgjenvinning er rapportert å være det beste alternativ for denne avfallsfraksjonen i et klimagassperspektiv (Department of Environmental Protection, 2010). Dette støtter også våre funn.

4.2 Hvilke tiltak kan iverksettes i forsvarssektoren for å bedre miljøprestasjon?

I følge Klimakur (2010) er potensialet for utslippreduksjoner fra avfallssektoren i Norge begrenset. De største klimagassutslippene kommer fra deponier, og den framtidige tilførselen av nedbrytbart avfall til deponier vil bli svært begrenset grunnet nye regler for deponiforbud. Fordi deponert avfall avgir metangass i flere tiår, vil utslippene fra allerede deponert avfall fortsette i lang tid framover. Derfor er det fortsatt et potensial for å utnytte den oppsamlede metangassen til energiformål og som erstatning for fossilt brensel.

Utslipp fra forbrenning av biologisk materiale (biogent karbon) i avfall er klimanøytralt (Klimakur, 2010). Klimagassutslipp fra forbrenning av fossilt materiale i avfallet vil øke som følge av generell økning i avfallsmengde og med andelen som går til forbrenning. Samtidig vil bedre energiutnyttelse fra avfallsforbrenning redusere klimagassutslipp i andre sektorer, hvis denne energien erstatter energi fra fossile energibærere.

Økt materialgjenvinning vil føre til reduserte klimagassutslipp fra utvinning og bearbeiding av jomfruelige råvarer, samt reduserte utslipp fra deponering eller forbrenning av avfallet. Forsvarsbygg etablerer rammeavtaler med avfallsselskaper om avfallshåndtering i de ulike markedsområdene i Forsvaret. Det anbefales derfor å inkludere valg av avfallsselskap med den mest miljøvennlige avfallsbehandlingsmåten som kriterier for inngåelse av rammeavtaler. Her vil høy grad av materialgjenvinning være gunstig sett i et klimagassperspektiv.

Som vist i tabell 3.1 gir nedstrøms aktiviteter mye større reduksjoner i klimagassutslipp enn utslippene fra oppstrøms aktiviteter og aktivitetene ved avfallsmottaket. Oppstrøms aktiviteter gir et høyere klimagassutslipp enn aktivitetene ved avfallsmottaket. Dette viser at det største potensialet for forbedringer vil være å optimalisere håndtering av avfallet.

Med en sorteringsgrad på bare 40 % (Tabell 3.2) er det et stort potensial for forbedringer. Blandet avfall er den fraksjonen som er til overs etter sortering av avfallet i containere ved hentepunktene i de fem militærleirene, men som likevel representerer store volumer av materialer og inntekt for avfallsselskapene. Blandet avfall har også større miljøpåvirkninger fordi sorteringsystemene ved avfallsmottakene er mer begrenset enn den mye mer detaljerte sorteringen ved hentepunktene. Resultatene i Tabell 3.3 viser at sortering av blandet avfall med videre bearbeiding til en mer gunstig avfallshåndtering (det vil si materialgjenvinning i stedet for forbrenning) ville ha resultert i 44 % reduksjon i klimagassutslipp ved de fem militærleirene. Dette er i samsvar med anbefalinger fra Østfoldforskning, som rapporterer at større satsning på avfallssortering er det beste enkeltbidraget for å forbedre avfallshåndteringssystemene fra de enkelte produsentene av avfall i dag (Marthinsen *et al.*, 2006).

Som rapportert i Klimakur (2010) har Norge satt nasjonale klimamål i henhold til klimaforliket om reduksjon av klimagasser med 28 % i forhold til 2007 nivået innen 2020. For å oppnå dette målet for avfallshåndtering i forsvarssektoren fram mot 2020 må vi øke avfallssorteringsgraden betraktelig for driftsavfall (Tabell 3.2 og Figur 1.1), sannsynligvis opp mot 80 % sortering. Videre forskning vil være nødvendig for å kunne bekrefte om disse beregningene på klimagassutslipp ved økt sortering av blandet avfall er representative for hele forsvarssektoren. Dette vil kunne gjøre det mulig å tallfeste mål for sorteringsgrad i framtidige IVB fra FD fram mot 2020 for å oppnå 28 % redusert klimagassutslipp for avfallshåndtering i hele sektoren.

4.3 Miljøprestasjonsindikatorer for sammenligning av de ulike militærleirene

Vi ser av Tabell 3.4 at KNM Harald Hårfagre genererer mest avfall per ansatt, per kvadratmeter bygg, samt dårligste prestasjon målt som unngåtte klimagassutslipp for håndtering per tonn avfall. Forklaringen på dette kan være relatert til aktiviteten til etablissementet, i og med at det er rekruttskolevirksomhet her. Sorteringsgraden ved alle fem lokalitetene ligger også betraktelig under gjennomsnittet for forsvarssektoren på 54 %, og langt under målet gitt i IVB fra FD på 60 %. Dette tilsier da at tiltak bør settes i gang for å forbedre prestasjonen, for eksempel holdningsskapende arbeid og informasjon.

Tabellen viser også at antall kildesorteringmuligheter ved hvert avfallspunkt er meget lavt i forhold til antall avfallsfraksjoner som leveres ved de ulike etablissementene. Økt mulighet til å sortere ved de ulike avfallsmottakspunktene kan være et mulig tiltak for å få ned andel blandet avfall, og dermed økt sorteringsgrad for lokalitetene. Dette bør undersøkes nærmere og eventuelt kommuniseres til avfallsselskapene eller til ansvarshavende for utplassering av containere.

Når det gjelder unngåtte klimagassutslipp fordelt på antall ansatte kommer alle lokalitetene relativt likt ut, med unntak av Kolsås som ligger noe under de andre. Klimagassutslippene vil her

være avhengig av hvilke avfallsfraksjoner som hentes ved de ulike lokalitetene, og om avfallet resirkuleres eller forbrennes med energiutnyttelse. I tillegg til reduksjon av avfallsmengde er det viktigste bidraget for reduksjon av klimagassutslipp økt sortering av blandet avfall ved alle lokalitetene for å øke materialgjenvinningsandelen, og dermed en mer klimagunstig håndtering av avfallet.

5 Konklusjon

Resultatene viser at i et klimagassperspektiv er materialgjenvinning av dekk, jernholdig metall, papir, glass, EE avfall, og plast er mer gunstig enn primærproduksjon, og avfallsforbrenning er mer gunstig enn energiproduksjon fra fossile energikilder. Sortering av alt blandet avfall ved de fem militære basene og videre materialgjenvinning av de separate fraksjonene ville resultert i en 44 % reduksjon i klimagassutslipp sammenlignet med nåværende praksis med forbrenning med energiutnyttelse.

Videre forskning vil være nødvendig for å kunne bekrefte om disse beregningene på klimagassutslipp ved økt sortering av blandet avfall er representative for hele forsvarssektoren, for igjen å kunne talleste mål for sorteringsgrad i framtidige IVB fram mot 2020 om å oppnå nasjonale mål på 28 % redusert klimagassutslipp for avfallshåndtering.

Referanser

Astrup, T., Fruergaard, T., & Christensen, T.H. (2009a) Recycling of plastic: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27, 763-772.

Astrup, T., Moller, J., & Fruergaard, T. (2009b) Incineration and co-combustion of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27, 789-799.

Bio Intelligence Service, (2008) Literature analysis – How much GHG is avoided by the recycling of different fractions in waste management systems? Final report.

Christiansen, M., Reistad, T., Isdal, T., & Longva, K.S. (2006a) *Forsvarets miljøregnskap for 2006*. FFI-rapport 2006/01349.

Christiansen, M., Reistad, T., Ringnes, H., & Longva, K.S. (2006b) *Forsvarets miljøregnskap for 2005*. FFI-rapport 2006/01808.

Christiansen, M., Ringnes, H., & Longva, K.S. (2005) *Forsvarets miljøregnskap for 2004*. FFI-rapport 2005/04023.

Damgaard, A., Larsen, A.W., & Christensen T.H. (2009) Recycling of metals: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27, 773-780.

Department of Environmental Protection (2010) Report on Maine's Household E-waste Recycling Program. Report on Maine's Household E-waste Recycling Program (<http://www.maine.gov/dep/rwm/publications/legislativereports/pdf/2010ewastereportfinal.pdf>) (accessed November 2010).

Dones, R., Heck, T., & Hirschberg, S. (2004) Greenhouse gas emissions from energy systems, comparison and overview. In: Cleveland, C. (ed.): *Encyclopedia of Energy*, Vol. 3, pp. 77-95. Academic Press/Elsevier, San Diego, CA, USA.

EEA (European Environmental agency), 1999. Making sustainability accountable: eco-efficiency, resource productivity and innovation. European Environmental agency, Copenhagen.

Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. & Tanabe, K. (2006) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 5 Waste. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan. (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>) (accessed November 2010).

Eisted, R., Larsen, A.W., & Christensen, T.H. (2009) Collection, transfer and transport of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contribution. *Waste Management & Research*, 27, 738-745.

EpE, (2007) Protocol for the Quantification of Greenhouse Gases Emissions from Waste Management Activities. Version 2. Enterprises pour l'Environnement, Nanterre, France.

Eriksson, O., & Finnveden, G. (2009) Plastic waste as a fuel - CO₂-neutral or not? *Energy & Environmental Science*, 2, 907-914.

Eriksson, O., Finnveden, G., Ekvall, T., & Bjorklund, A. (2007) Life cycle assessment of fuels for district heating: A comparison of waste incineration, biomass- and natural gas combustion. *Energy Policy*, 35, 1346-1362.

Fellner, J., Cencic, O., & Rechberger, H. (2007) A new method to determine the ratio of electricity production from fossil and biogenic sources in waste-to-energy plants. *Environmental Science & Technology*, 41, 2579-2586.

Finnveden, G., Johansson, J., Lind, P., & Moberg, A. (2005) Life cycle assessment of energy from solid waste - part 1: general methodology and results more options. *Journal of Cleaner Production*, 13, 213-229.

Fruergaard, T., Astrup, T., & Ekvall, T. (2009) Energy use and recovery in waste management and implications for accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27, 724-737.

Gaillarde, E. (2008) Facteur d'émission CO₂ du CSR: note méthodologique – Premiers resultants pour le Groupe Veolia (CO₂ emission factor for SRF: methodology – Primary results from the Veolia Group, in French). Veolia Proprete. Direction de la Strategie et du Developpement, 1-22.

Gentil, E., Christensen, T.H., & Aoustin, E. (2009) Greenhouse gas accounting and waste management. *Waste Management & Research*, 27, 696-706.

Grant, T., James, K.L., Lundie, S., & Sonnewald, K. (2001) Stage 2 of the National Project on the Life Cycle Assessment of Waste Management Systems for Domestic Paper and Packaging Waste Management Scenarios in Victoria (http://www2.medioambiente.gov.ar/ciplycs/documentos/archivos/Archivo_72.pdf) (accessed December 2010), 1-140.

Hischier, R., Wager, P., & Gaughhofer, J. (2005) Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE). *Environmental Impact Assessment Review*, 25, 525-539.

ISO (1999). International Standard ISO 14031: Environmental management: environmental performance evaluation: guidelines. International organisation for Standardization ISO 14031:1999, Geneva.

ISO, (2006). ISO 14064. Greenhouse gases – Part I: Specification with Guidance at the Organization Level for Quantification and Reporting of Greenhouse Gas Emissions and Removals. International Organisation for Standardisation, Geneva, Switzerland.

ISRI, Institute of Scrap Recycling Industries Inc. (2009). Carbon Footprint of USA Rubber Tire Recycling 2007.
(<http://www.cmshredders.com/Public/12303/Final%20Rubber%20Tire%20Recycling%20Carbon%20Footprint.pdf>) (accessed November 2010).

Klimakur 2020 (2010). *Tiltak og virkemidler for å nå norske klimamål mot 2020*. Rapport TA 2590/2010

Larsen, A.W., Merrild, H., & Christensen, T.H. (2009a) Recycling of glass: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27, 754-762.

Larsen, A.W., Vrgoc, M., Christensen, T.H., & Lieberknecht, P. (2009b) Diesel consumption in waste collection and transport and its environmental significance. *Waste Management & Research*, 27, 652-659.

Marthinsen, J., Berggren, M., Olufsson, M. (2006) *Fornybar andel i avfall til norske forbrenningsanlegg*, Avfall Norge rapport 7/2006.

Merrild, H., Damgaard, A., and Christensen, T.H. (2009) Recycling of paper: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27, 746-753.

Mohn, J., Szidat, S., Fellner, J., Rechberger, H., Quartier, R., Buchmann, B., Emmenegger, L. (2008) Determination of biogenic and fossil CO₂ emitted by waste incineration based on (CO₂)-C-14 and mass balances. *Bioresource Technology*, 99, 6471-6479.

Petts, J., & Eduljee, G. (1994) *Environmental Impact Assessment for Waste Treatment and Disposal Facilities*. John Wiley & Sons Ltd., Chisester.

Reistad, R., Myhre, O., Bratland H., & Longva, K.S. (2010) *Environmental reporting in the Norwegian defence sector for 2009*. FFI-rapport 2008/00860.

Reistad, R., Ringnes, H., Myhre, O., & Longva, K.S. (2008) *Forsvarets miljøregnskap for 2007*. FFI-rapport 2008/00860.

Ringnes, H., Myhre, O., Reistad, T., & Longva, K.S. (2009) *Forsvarssektorens miljøregnskap for 2008*. FFI-rapport 2008/00860.

Standard Norge, (2011) Klassifikasjon av avfall. Norsk standard NS 9431:2011, 1-18.

Veolia Miljø AS (2008) *Miljørapport 2008*, 1-78.

Wagner, T.P. (2009) Shared responsibility for managing electronic waste: A case study of Maine, USA. *Waste management*, 29, 3014-3021.

White, P.R., Franke, M. & Hindle, P. (1995) *Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory*. Blackie Academic and Professional, London.

Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M., & Böni, H. (2005) Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review* 25, 436–458.

Forkortelser

CO ₂ - ekv.	CO ₂ -ekvivalenter
GOP	Global oppvarmingspotensial
GOF	Global oppvarmingsfaktor
IVB	Iverksettelsesbrev
MDB	Forsvarssektorens miljødatabase
MLED	Miljøledelse
SRF	Solid recovered fuel

Appendix A Klimagassutslipp fordelt på de ulike lokalitetene

Tabell A.1 Rygge flystasjon

Oppstrøms utslipp (tonn CO₂-ekv):	Operasjonelle prosesser (tonn CO₂-ekv):	Unngåtte nedstrøms klimagass utslipp (tonn CO₂-ekv):
GOF (tonn CO ₂ -ekv): 21.309-22.068	GOF (tonn CO ₂ -ekv): 2.306-2.415	GOF (tonn CO ₂ -ekv): - 239.041
Forsyning av drivstoff (tonn CO ₂ -ekv):	Forsyning (tonn CO ₂ -ekv):	Umngåtte klimagassutslipp:
- Diesel ^a : 2.571-3.33 tonn CO ₂ -ekv	- Elektrisitet fra nettet: 0.009	Forbrenning med energitnyttelse:
	- Fyringsolje b: 0.284-0.361 tonn CO ₂ -ekv	- Blandet avfall: 111.709
	- Naturgass c: 0.000156-0.000234	- Matavfall: 741
Beregnet fra transport:	Berget fra forbruk (tonn CO ₂ -ekv):	- Blandet trevirke: 19.25
- Heis containervogn: 3.224	- Naturgass: 0.002	- Smittefarlig avfall: 0
- Krok containervogn: 0.136	- Fyringsolje: 1.893	
- Flatvogn: 1.207	- Elektrisitet fra nettet: 0.053	
- Komprimatorbil: 14.171		

Tabell A.2 Sessvollmoen

Oppstrøms utslipp (tonn CO₂-ekv):	Operasjonelle prosesser (tonn CO₂-ekv):	Unngåtte nedstrøms klimagass utslipp (tonn CO₂-ekv):
GOF (tonn CO ₂ -ekv): 24.414-25.281	GOF (tonn CO ₂ -ekv): 2.947-3.079	GOF (tonn CO ₂ -ekv): -251.644
Forsyning av drivstoff (tonn CO ₂ -ekv):	Forsyning (tonn CO ₂ -ekv):	Umngåtte klimagassutslipp:
- Diesel a: 2.945-3.812 tonn CO ₂ -ekv	- Elektrisitet fra nettet: 0.011	Forbrenning med energitnyttelse:
	- Fyringsolje b: 0.39-0.496 tonn CO ₂ -ekv	- Blandet avfall: 140.364
	- Naturgass c: 0.000156-0.000234	- Matavfall: 22.781
Beregnet fra transport:	Berget fra forbruk:	- Blandet trevirke: 16.225
- Heis containervogn: 6.398	- Naturgass: 0.002	- Smittefarlig avfall: 0
- Krok containervogn: 0.124	- Fyringsolje: 2.235	
- Flatvogn: 5.008	- Elektrisitet fra nettet: 0.063	
- Komprimatorbil: 9.939		

Tabell A.3 Kolsås base

Oppstrøms utslipp (tonn CO2-ekv):	Operasjonelle prosesser (tonn CO2-ekv):	Ungåtte nedstrøms klimagass utslipp (tonn CO2-ekv):
GOF (tonn CO2-ekv): 7.295-7.452	GOF (tonn CO2-ekv): 1.075-1.147	GOF (tonn CO2-ekv): -89.293
Forsyning av drivstoff (tonn CO2-ekv):	Forsyning (tonn CO2-ekv):	Ungåtte klimagassutslipp:
- Diesel a: 0.968-1.125 tonn CO2-ekv	- Elektrisitet fra nettet: 0.004	Forbrening med energitnyttelse:
	- Fyringsolje b: 0.146-0.186 tonn CO2-ekv	- Blandet avfall: 62.589
	- Naturgass c: 0.000156-0.000234	- Matavfall: 2.617
Beregnet fra transport:	Beregnet fra forbruk:	- Blandet trevirke: 0.104
- Heis containervogn: 0.092	- Elektrisitet fra nettet: 0.023	- Smittefarlig avfall: 0
- Krok containervogn: 0.311	- Fyringsolje: 0.836	
- Flatvogn: 0.377	- Naturgass: 0.00008	
-Komprimatorbil: 5.547		

Tabell A.4 KNM Harald Hårfagre

Oppstrøms utslipp (tonn CO2-ekv):	Operasjonelle prosesser (tonn CO2-ekv):	Ungåtte nedstrøms klimagass utslipp (tonn CO2-ekv):
GOF (tonn CO2-ekv): 15.8-16.4	GOF (tonn CO2-ekv): 2.025-2.208	GOF (tonn CO2-ekv): - 152.6
Forsyning av drivstoff (tonn CO2-ekv):	Forsyning (tonn CO2-ekv):	Ungåtte klimagassutslipp:
- Diesel a: 1.902-2.464 tonn CO2-ekv	- Elektrisitet fra nettet: 0.008	Forbrening med energitnyttelse:
	- Fyringsolje b: 0.282-0.358 tonn CO2-ekv	- Blandet avfall: 112.267
	- Naturgass c: 0.000156-0.000234	- Matavfall: 15.808
Beregnet fra transport:	Beregnet fra forbruk:	- Blandet trevirke: 3.713
- Heis containervogn: 1.292	- Naturgass: 0.002	- Smittefarlig avfall: 0
- Krok containervogn: 0.091	- Fyringsolje: 1.614	
- Flatvogn: 0.528	- Elektrisitet fra nettet: 0.0456	
-Komprimatorbil: 11.956		

Tabell A.5 Rena leir

Oppstrøms utslipp (tonn CO2-ekv):	Operasjonelle prosesser (tonn CO2-ekv):	Unngåtte nedstrøms klimagass utslipp (tonn CO2-ekv):
GOF (tonn CO2-ekv): 52.188-54.048	GOF (tonn CO2-ekv): 2.947-3.079	GOF (tonn CO2-ekv): -306.2
Forsyning av drivstoff (tonn CO2-ekv):	Forsyning (tonn CO2-ekv):	Unngåtte klimagassutslipp:
- Diesel a: 6.296-8.156 tonn CO2-ekv	- Elektrisitet fra nettet: 0.012	Forbr enning med energitnyttelse:
	- Fyringsolje b: 0.426-0.542 tonn CO2-ekv	- Blandet avfall: 117.384
	- Naturgass c: 0.000156-0.000234	- Matavfall: 20.293
Beregnet fra transport:	Beregnet fra forbruk:	- Blandet trevirke: 29.155
- Heis containervogn: 2.216	- Naturgass: 0.002	- Smittfarlig avfall: 0.064
- Krok containervogn: 3.711	- Fyringsolje for heating of buildings: 2.444	
- Flatvogn: 26.907	- Elektrisitet fra nettet: 0.069	
-Komprimatorbil: 13.058		

a: Applisert tetthet: 0.84 kg L⁻¹, b: Applisert tetthet 0.86 kg L⁻¹, c: Applisert tetthet 1000 Nm³=1 tonn=12.8MWh