



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgåve 2017 30 stp
Handelshøyskolen

Geopolymerbetong – Samfunnsøkonomisk lønsamt samanlikna med eksisterande metodar?

Geopolymer concrete – Economical and
environmentally beneficial compared to existing
methods?

Lisbeth Bringebøen
Master i Økonomi og Administrasjon (Siviløkonom)

Føreord

Denne oppgåva er skriven i samband med mastergrada mi i økonomi og administrasjon (siviløkonom) ved Handelshøyskolen ved Norges miljø- og biovitenskaplege universitet. Hovudprofilen min, som denne oppgåva er ein del av, er samfunnsøkonomi, og sideprofilen min er finansiering og investering.

Eg vil spesielt takke rettleiaren min professor Knut Einar Rosendahl ved NMBU for verdifull kunnskap, støtte og rettleiing undervegs i prosessen.

Eg vil også rette ei stor takk til Carbo Lucra som kontakta Rosendahl ved NMBU med førespurnad om å få ei samfunnsøkonomisk vurdering av eventuell produksjon av geopolymertbetong, og såleis gjorde denne oppgåva til ein realitet. Carbo Lucra har bidrege med god kunnskap.

Ås/Sogndal 2017

Lisbeth Bringebøen

Samandrag

Dette er ei nytte-kostnadsanalyse av prosjektet til Carbo Lucra (CL) om å produsere geopolymertbetong. Konklusjonen syner at geopolymertbetong er samfunnsøkonomisk lønsamt.

Geopolymertbetong kan nyttast til det same som tradisjonell portland sement betong, men er likevel enno ikkje kommersialisert. Geopolymertbetongen er laga av avgangsmassar frå gruvedrift og flygeoske, og er dermed eit innovativt og miljøvenleg byggemateriale. Idèen til CL har berre 38 prosent av karbonavtrykket til tradisjonell betong, altså har tradisjonell betong 2,6 gonger så høgt CO₂-utslepp som geopolymertbetong. Om geopolymertbetong kan fraktast til forbrukar som bindemiddel i staden for som ferdig betong, vil tradisjonell betong ha 3,6 gonger så høgt CO₂-utslepp.

Ein kostnadseffektiv gjennomføring av utsleppsreduksjon for å nå togradersmålet vil kunne nåast dersom verda prøver å ha same samfunnsøkonomiske marginkostnad ved alle utsleppskjelder. Ved å nytte CO₂-prisen for togradersmålet i år 2030, så vil bruk av kun geopolymertbetong gje ei reduksjon på 677 mill kr samanlikna med Portland sement betong. Om geopolymertbetong kan fraktast til forbrukar som bindemiddel, gjev det ei reduksjon på heile 790 mill kr.

For vanleg betong er det knytt utgifter både til klinker og tilslag. Totalpris for deponering av flygeoske er kr 5,25 milliardar for mengde tilsvarande norsk forbruk av betong. Dette er den samfunnsøkonomiske gevinsten ved å heller å bruke avfallet som input til geopolymertbetong. Miljødepartementet som har godkjent deponisøknaden til Nordic Mining ASA, har ikkje sett verdi på tapet av å legge avgangsmassane i Førdefjorden. Effekt som reduserte mogelegheiter for fiskeoppdrett og tradisjonelt fiske, reduserte bestandar av vill-laks og tap av rekreasjonsverdiar kan verdsetjast økonomisk. Det er utilstrekkeleg berre å slå fast at miljølempene vert vegne opp av inntektene utan å grunngje påstanden. At verdsetting av tenester er vanskelig å anslå, bidrar truleg til at verdien av for eksempel urørd natur og biologisk mangfald vert undervurdert.

Reduksjon av CO₂ utslepp er ei av dei viktigaste oppgåvene i vår tid.

Summary

This report analyses the cost-benefit of the use of geopolymer concrete, which is the idea of the company Carbo Lucra (CL). The analysis concludes that use of geopolymer concrete is economically and environmentally beneficial.

The application of geopolymer concrete is the same as portland cement concrete. However, geopolymer concrete material has not yet been popularly used for various applications. Geopolymer concrete is made from utilization of waste materials such as fly-ash and slag, and is therefore an innovative and eco-friendly construction material. The carbon footprint of the idea of CL is only 38 percent compared to portland cement concrete, meaning there is 2.6 times high CO₂-emissions in favour of geopolymer concrete. If it is possible to transport only binding material instead of concrete, the carbon footprint of Portland cement will be as much as 3.6 times as high.

A cost-effective implementation of reduction of carbon emissions to reach the two-degree goal will be within reach if the world tries to unite with the same marginal cost at all sources of CO₂ emissions. By using the CO₂-price for reaching the two-degree goal in the year 2030, the use of geopolymer concrete provides a reduction of NOK 677 millions compared to Portland cement concrete. If the geopolymer can be transported as binding material, it will provide a reduction of NOK 790 mill.

The expense of production of Portland concrete is due to clinker and aggregates. In geopolymer concrete however, both bindings and aggregates will be based on raw material that otherwise would be put in a landfill, and the cost of this will instead be transferred as income to CL. Total expenses for landfill of fly ash is NOK 5,25 billions for total amount of raw materials. This is economical- and environmentally gains for using the raw material rather than putting it in landfill.

Even though the Norwegian department of environment approved the application from Nordic Mining ASA, they have not set a price on the loss of the environment in the fjord due to using the fjord as dumping grounds. Effects such as reduced opportunities for fish-breeding and traditional fishing, reduced amounts of wild salmon and the loss of values of recreation is possible to treasure economically. It is not enough to conclude that the environmentally disadvantage will be outweighed by the income without any reasoning. It is difficult to put a price on nature, something that leads to untouched nature probably being underestimated economically.

Reduction of CO₂-emissions is among our worlds most important tasks.

Innhald

FØREORD	I
SAMANDRAG	II
SUMMARY	III
1 INNLEIING	1
1.1 ANALYSESPØRSMÅL	2
1.2 METODE	3
2 CASET – CARBO LUCRA AS	5
2.1 ULIKE BRUKSOMRÅDE	5
2.2 LOKALISERING AV PRODUKSJON	6
2.3 CL SITT NETTVERK	7
3 BAKGRUNNSINFORMASJON	9
3.1 BETONGINDUSTRIEN I NOREG OG VERDA	9
3.2 SKILNADER MELLOM GEOPOLYMERBETONG OG PORTLANDSEMENTBETONG	10
3.2.1 GEOPOLYMERBETONG ER MILJØVENLEG BETONG	11
3.2.2 GEOPOLYMERBETONG ER IKKJE I STORSKALA PRODUKSJON I DAG	13
3.2.3 INTERNASJONAL STANDARD	14
3.3 DEPONI OG DEPONIKOSTNADER	14
3.3.1 RÅSTOFF FRÅ ENGEØFJELLET	17
3.3.2 CO ₂ FRÅ DEPONI	19
3.4 TRANSPORT	20
3.5 PARISAVTALEN	20
3.6 CO₂-PRISAR	21
4 SAMFUNNSØKONOMISK ANALYSE	25
4.1 BESKRIVE PROBLEMET OG FORMULERE MÅL	27
4.2 NULLSCENARIOET	28
4.3 IDENTIFISERE OG BESKRIVE RELEVANTE ALTERNATIVTILTAK	28
4.4 IDENTIFISERE-, TALFESTE- OG VERDSETTE VERKNADER	31
4.4.1 CO ₂ -FORBRUK VED TRANSPORT TIL FABRIKK	32
4.4.2 CO ₂ -UTSLEPP VED FRAKT FRÅ FABRIKK	35
4.4.3 CO ₂ -UTSLEPP VED PRODUKSJON AV SEMENT	36
4.4.4 OPPSUMMERING TOTALE CO ₂ -UTSLEPP	37
4.4.5 DEPONIKOSTNADER	40
4.4.6 VERDIEN AV Å BRUKE AVFALL SOM RÅVARE	42
4.5 VURDERE SAMFUNNSØKONOMISK LØNSEMD	44
4.5.1 USIKKERHEIT	46
4.6 GJENNOMFØRE SENSITIVITETS- OG USIKKERHEITSANALYSE	46
4.7 BESKRIVE FORDELINGSVERKNADER	48
4.8 SAMLA VURDERING AV TILTAKET	48
4.8.1 INNHENTING AV DATA, KJELDER	50
4.8.2 VALIDITET OG RELABILITET	50
4.8.3 ANDRE VURDERINGAR	50
5 OPPSUMMERING OG KONKLUSJON	53
6 KJELDER	57

Liste over tabellar

TABELL 1: CO2-FORBRUK AV TRADISJONELL BETONG OG GEOPOLYMERBETONG	38
TABELL 2: ÅRLEGE CO2-UTSLEPP	39
TABELL 3: SPARDE ÅRLEGE DEPONIKOSTNADER	41
TABELL 4: ÅRLEGE KOSTNADER FOR TILSLAG	44
TABELL 5: KOSTNAD FOR ÅRLEGE CO2-UTSLIPP	45
TABELL 6: TOTALT CO2-UTSLEPP OVER TID VED PRODUKSJON AV BETONG	47

Liste over figurar

FIGUR 1: KART OVER STADAR	34
---------------------------	----

1 Innleiing

Carbo Lucra AS (heretter CL) er eit lite oppstartselskap frå Førde i Sogn og Fjordane med visjon om å anvende knust berg og støv frå industrielle satsingar til produksjon av Geopolymerbetong. Idèen til selskapet er fødd i samband med gruvedrifta ved Engebøfjellet i Førde der det er store førekomstar av mineralet Rutil og Granat. Det er stor internasjonal etterspurnad etter Rutil, og materialet vert nytta mellom anna til produkt innan pigment, medisin, helse, romfart, sport og miljøteknologi. Granat representerer stor hardheit og dermed stor slitestyrke (Nordic Mining).

Det vert avgangsmassar av gruvedrifta, og dersom avgangsmassane frå gruvedrifta vert dumpa i Førdefjorden kan fjorden verte forureina og miste verdien som biotop for flora og fauna. CL har såleis eit ynskje om å finne ein metode for å bruke avfallet frå drifta. Dei ser for seg å produsere geopolymerbetong av dette avfallet.

Føremålet med oppgåva er å studere dei samfunnsøkonomiske kostnadane og gevinstane av å nytte teknologien til CL. Denne oppgåva analyserer ulikskapar mellom dagens teknologi ved produksjon av betong, såkalla Portland Sement betong og Geopolymerbetong i høve CO₂ og samfunnsøkonomi. Nokre miljøeffektar er vanskelege å setje pris på, men vert likevel med i ei total vurdering.

Oppgåva er relevant og interessant nettopp fordi det i nyare tid er det brei politisk semje om å resirkulere store deler av avfall for å bevare knappe ressursar og for å redusere utslepp (Bruvoll og Hasane 2010). Med teknologiske nyvinningar har avfall gått frå å vere eit problem til å verte ein potensiell ressurs.

1.1 Analyse spørsmål

Oppgåva skisserer to scenario som er nullalternativet og alternativsenarioet.

Nullalternativet eller case 0 er dagens situasjon med produksjon av vanleg betong, og alternativsenariotet er bruken av teknologien til CL. Ulikskapane mellom Case 0 og Case 1 er:

- 1) Kva type råvarer som trengst for å produsere betong.
- 2) Kvar råvarene til produksjon kjem frå.
- 3) Kvar betongen vert produsert.
- 4) Kvar betongen vert nytta.
- 5) Miljøeffekt i form av CO₂ og avfall.

Denne oppgåva ser primært på miljøaspektet ved bruk av Geopolymerbetong som erstatning for tradisjonell Portland sement betong. Analysen tek ikkje høgde for eventuelle kvalitetsskilnader i geopolymerbetong i forhold til portlandsementbetong. Eventuelle skilnader i kvalitet vil normalt bety høgere pris for produsenten, og såleis vil eventuelle skilnader vere bedriftsøkonomiske. Eit samfunnsøkonomisk overskot inkluderer forøvrig eit eventuelt bedriftsøkonomisk overskot, men i denne oppgåva er ikkje det bedriftsøkonomiske i fokus. Denne oppgåva har fokus på å granske andre samfunnsøkonomiske skilnader som miljøeffektar. Dette inkluderer å sjå på produksjon og transport av Geopolymerbetong, samt frakt av innsatsvarer og avfall, og eventuell deponering av avfall, og samanlikne dette med data frå tradisjonell sement. Den teoretiske miljøgevinsten ved bruk av eitt tonn avfall til eit kommersielt produkt til erstatning for Portland sement vil verte den interessante eininga oppgåva ynskjer å belyse. Det er samstundes relevant å peike på skilnader i privatøkonomiske kostnader og gevinstar, sjølv om det ikkje er eit mål å talfeste desse.

Produksjon av geopolymerbetong kan i prinsippet enten i) erstatte Portland sement betong, eller ii) komme i tillegg til Portland sement betong (dvs totalt forbruk aukar) eller iii) ein kombinasjon. Alternativ iii) er mest truleg, men også avhengig av tilbod og etterspurnad i marknaden. I denne oppgåva er utgangspunktet at i) gjeld.

1.2 Metode

Metoden i oppgåva er å anvende nytte-kostnadsanalyse av eit konkret prosjekt.

Nytte-kostnadsanalysar er ein av hovudtypane av samfunnsøkonomiske analyser.

Oppgåva er basert på tilgjengeleg og oppdatert informasjon, og i liten eller inga grad innsamling av ny informasjon. Data er samla inn ved å nytte eit eksisterande kunnskapsgrunnlag, og setje funna saman på ein ny måte. Kunnskapen er henta frå ulike litteratur og vert presentert i kapittel 3: Bakgrunnsinformasjon. Denne informasjon er deretter nytta til å kalkulere om bruk av geopolymertbetong vil vere samfunnsøkonomisk lønnsamt.

2 Caset – Carbo Lucra AS

Årsaka til CL si interesse i geopolymertong er å kunne bruke problemavfall til noko verdig og varig. Fjorddeponi er sløsing med ein stor naturressurs. Sand og singel er mangelvare i store delar av verda. Nokre stader blir det til og med operert med ein "sandmafia" for å sikre seg denne råvara (Økokrim 2015).

Geopolymerbetong er generelt ein ukjent betong i Noreg og Europa.

Geopolymerbetong er interessant både ut i frå eit miljøperspektiv fordi det har sterkt reduserte CO₂-utslepp samanlikna med Portland Sement og ut i frå gode mekaniske eigenskapar som god brannmotstand. Denne nye betongen er grønare og vil ha eit heilt anna fotavtrykk enn tradisjonell betong, sjølv om den framleis tapar i konkurransen mot massiv tre.

2.1 Ulike bruksområde

Carbo Lucra har fleire idèar for bruk av Geopolymerbetong, eksempelvis 1) å erstatte Portland Sement betong med geopolymertong, og 2) dekke til forhistorisk industriforureining i fjorden, såkalla stabilisering og solidifisering av forureina hamnesediment og 3) å bygge kunstig rev.

Denne oppgåva går kun i djupna på punkt nr. 1 som er produksjon av geopolymertong uavhengig av type bruk av betongen. Dei to andre bruksområda vert kort omtala under.

Å dekke til forhistorisk industriforureining i fjorden, såkalla stabilisering og solidifisering av forureina hamnesediment kan gjerast ved større eller mindre forureiningar ved å bruke geopolymertong for å binde støvet med støyp, og legge eit lok på avfallet. Å rydde opp i tidlegare tiders sine synder er ofte ressurskrevjande med opprydding og reinsing av forureina hamne- og fjordområde. Først må forureiningskjelda stoppast og deretter må opprydding og reinsemotodane avgjerast. I hovudsak er det tre alternative metodar som kan nyttast:

- Dei forureina sedimenta vert fjerna frå sjøbotnen ved mudring og vert plassert i eit godkjent deponi.
- Dei forureina sedimenta vert dekkja til med reine massar slik at det vert danna ny og rein sjøbotn over dei.
- Dei forureina sedimenta vert reinsa eller stabilisert slik at dei kan nyttast på ny.

Ei totalvurdering for kvart einskild prosjekt vil bidra til å seie noko om kva teknikk som er mest hensiktsmessig økonomisk og trygt for miljøet. Det å stabilisere botnsediment med sement og så bruke desse massane på ny er ofte sett på som ei smart løysing som kan vere gunstig for mange prosjekt (Norsk Betongforenings miljøkomité 2010).

CL opplyser at dette ikkje er gjort tidlegare med geopolymerbetong, eit pilotprosjekt må difor til for å vise at det fungerer. Eit alternativ er å produsere vassfaste kultsteinaktive masser av geopolymer og nytte desse til å dekke til forureina havbotn.

Det tredje alternativet CL peikar på er å bygge kunstig rev. CL er i kontakt med eit selskap i Rogaland som vil levere kunstige rev bygde i vanleg betong. Bakgrunnen for at det vil bli eit behov for kunstige rev i åra framover er stigning av havnivå. Kunstige rev vil bidra til å stoppe dei største bølgaene. Grunnen til at geopolymerbetong kan nyttast er fordi mikroliv med plantar kan starte å gro på desse miljøvenlege bølgedemparane, og vil kunne verte slik som vanlege korallrev fungerer i dag.

2.2 Lokalisering av produksjon

CL syner til ein ny sement-fabrikk i Canada som ein prototype på kva fabrikk dei ser for seg å etablere i Noreg (McInnis Sement 2016). Denne fabrikk nyttar hydroelektrisk energi som er fornybar, forureinar ikkje, og har låge CO₂-utslepp. Kostnader ved etablering av produksjonslokale vert ikkje tatt med i analysen i

denne fasen, grunna som omtalt at fokuset i oppgåva ikkje er på det privatøkonomiske.

Kostnad og organisering knytt til inntransport av innsatsvarer er viktige kriterium for lokalisering av produksjonsbedrift, og naturleg stad vil vere ved hamner eller trafikk-knutepunkt. Eit anna viktig kriterium ved lokaliseringsval er haldbarheita til produktet og storleik på transportvolumet til kunde. Eksempelvis bør ferskvare og voluminøse produkt vere lokalisert i nærleiken av kunden for å ha kortast mogeleg reisetid og lengst mogleg salstid i butikk. Haldbare produkt bør vere lokalisert i nærleiken av råvarekjelda for å minimere inntransport. For mange produksjonsbedrifter er lokaliseringsvalet historisk bestemt og gjev ikkje effektiv distribusjon. Dette gjeld eksempelvis meierier, produksjon etablert av lokal gründer, og der produktet har utvikla seg til å nå ein nasjonalt eller internasjonalt marknad (TØI rapport 1193/2012:III).

2.3 CL sitt nettverk

Når CL starta med å granske mogelegeheiter for geopolymerbetong, så var det ukjent i fagkretsar i Noreg. No har dei eit større nettverk av fagfolk som arbeider med ulike tema og problemstillingar knytt til teknologien til CL. Eksempelvis syner dei til Høgskulen i Østfold og eit FoU-samarbeid med professor i nanoteknologi Anne-Lena Kjønksen, i tillegg til ein del lause og kollegiale nettverk i innland og utland.

3 Bakgrunnsinformasjon

Dette kapitlet presenterer relevant bakgrunnsinformasjon og problemstillinger som må greiast ut i høve caset.

3.1 Betongindustrien i Noreg og Verda

Norcem er Noregs einaste produsent av sement med fabrikkar i Brevik i Telemark og i Kjøpsvik i Nordland (Norcem 2017). Frå HeidelbergCement Northern Norway sin berekraftsrapport (2011) syner dei til ein produksjon på 1,55 mill tonn sement og 1,42 mill tonn klinker. Klinkene går til den omtala sementproduksjonen, men også andre føremål. Sementen blir distribuert frå fabrikkane til eit omfattande nettverk av silostasjonar. Sement vert tilsett sand og stein, kalla tilslag, og dette vert då betong. Største delen av sementen blir seld i Noreg, men noko vert også eksportert. Nesten all sementen vert frakta med båt.

Frå HeidelbergCement Northern Europe (HCNE) sin Berekraftsrapport 2010-11 står følgjande tal for produksjon i 2011:

- Norcem AS sementproduksjon: 1,55 mill tonn
- Norstone AS tilslagsproduksjon: 6,90 mill tonn
- HCNE ferdigbetongproduksjon: 1,91 mill kubikkmeter.

Ein kubikkmeter betong har ein masse på 2,4 tonn (SNL Betong 2017), som dermed gjev 4,58 mill tonn ferdigbetong. Rapporten viser at 39 prosent av dette vert produsert i Noreg, noko som svarar til at HCNE produserar 1,79 mill tonn ferdigbetong i tillegg til sement.

Tilslag svarar til omtrent 80-85 prosent av ferdig betong. Rein sement svarer derfor omtrent til 15 prosent av ferdig betong. Dersom all sement som Norcem produserte i 2011 vert nytta til betong, er det 10,3 mill tonn ferdig betong ($1,55 \text{ mill tonn} / 15\% * 100\%$)

Cemex Noreg stadfestar å vere Noregs leiande importør av sement i Noreg, og har ein samla importkapasitet på omlag 400 000 tonn (Cemex 2017).

Pris pr. m³ betong i Noreg varierer frå om lag 1100 kr til 1600 kr, alt etter kva kvalitet det er behov for (Betong Øst 2017) (Sola Betong 2017). Med ein densitet på 2,4 tonn pr. m³ (SNL Betong 2017) tilsvarar dette 458 kr til 667 kr pr tonn ferdig betong.

På verdsbasis vert det produsert 20 milliardar tonn sement årleg (Norges Geologiske undersøking 2017).

I ein global industri med til dels like produkt er det nærliggande å tru at Geopolymerbetong først vil ta marknadsdelar i dei nærliggande marknadane. Økt tilbod frå CL vil føre til lågare prisar i marknaden, som fører til lågare tilbod frå andre produsentar, men også eit høgare forbruk. Samstundes er det ikkje grunn til å tru at etterspurnaden etter betongkonstruksjonar skal skyte i været grunna lågare prisar, og slik sett er betongindustrien relativt lite priselastisk. CL sin produksjon vil dermed først og fremst kome i staden for anna betongproduksjon, og er noko som vert til grunn i oppgåva i det vidare. Transport er også kostnadskrevjande, og eventuell internasjonal handel først og fremst skje med nærliggande land.

3.2 Skilnader mellom Geopolymerbetong og PortlandSementbetong

Det er fleire ulikskapar i material- og miljøeigenskapane til Geopolymerbetong kontra tradisjonell betong.

Geopolymerbetong er betong utan sement. Hovudingrediens er avfallsprodukt som oske, slagg og steinstøv. Dagens betong består av om lag 15 prosent portlandsement og resten lokale råstoff som singel og støypesand (tilslag), vatn og av og til kjemiske tilsetningsstoff som silika o.l. Dette er definisjonen som er kjent som Portland Sement betong. Betong er eit byggemateriale som vert laga ved å blande sement og vatn med sand, stein og tilsetjingsstoff. Sementen reagerer kjemisk med vatnet, prosessen vert kalla hydratisering, og resultatet vert betong.

Geopolymerbetong består av om lag 30 prosent bindemiddel, altså dobbelt så mykje bindemiddel som i Portland Sement Betong. Dette bindemiddelet er

forskjellig frå tradisjonell sement fordi det nesten er utan kalsium. Dette bindemiddelet består av ei blanding frå slagg og flygeoske som i dag er biprodukt til kol- og jernverkindustri og som vert sett på som avfall og vert lagt i deponi, samt metakalin, kaustisk soda, pottoske eller produkt som fungerer som katalysatorar i prosessen. Dei resterande 70 prosent er steinstøv, sand eller grus, og litt vatn (Normet 2015). Skilnaden på sement og betong er ofte lett å forveksle i daglegtale. Sement er pulveret som vert blanda med vatn, sand og stein, medan betong er byggematerialet som er resultatet av denne blandinga.

Betong er eit allsidig materiale og er eit av dei mest brukte byggemateriala i verda i vår tid. Berre fantasien set grenser for kva vi kan forme av betong. Betong kan støypast i faste former eller den kan støypast med glidande forskaling som ved støyping av bruer og tårn. Rett produsert og ved normal bruk har betong lang levetid og stor styrke. Eit moderne samfunn er avhengig av betong som byggemateriale til bygging av for eksempel bygningar, industrianlegg, bruer, tunnelar, kaiar, flyplassar, dammar og oljeplattformer.

Geopolymerbetong er meir motstandsdyktig enn vanleg betong mot brann. Tradisjonell betong tåler om lag 300 grader celsius, medan geopolymerbetong har brannmotstand på mellom 1200 og 1400 grader celsius. Geopolymerbetong er også spesielt motstandsdyktig mot syreinntrenging (Høgskulen i Østfold 2015).

Begge betongtypane vert vanlegvis rekna til å ha ei levetid frå 30 – 100 år.

3.2.1 Geopolymerbetong er miljøvenleg betong

Det er først og fremst dei store utsleppa av CO₂ under framstilling av sement som gjer at Portland Sement betong har betydelege negative miljøkonsekvensar. Norsk Betongforeinings Miljøkomitè (2008) si utgreiing syner at nesten all CO₂-utslepp frå betongproduksjon kjem frå sementproduksjon. Dei stadfestar vidare at tal frå 1990 åra syner at sementproduksjon slepp ut eitt tonn CO₂ pr tonn sement, men at dette talet er redusert i seinare tider. Årsaka er til dels satsing på miljøtiltak i ulike land og variasjon i teknologiutnyttinga.

Det at omtale om CO₂ utslepp frå produksjon av betong ofte vert synt til tal for sement har naturlege årsaker:

- Sement er den tyngste delen av utsleppet med om lag 90 prosent av utsleppa frå betongproduksjon
- Tal frå sementproduksjon er lettast tilgjengeleg
- Sementindustrien har arbeida lengst med utfordringar knytt til utslepp

Samtidig er det viktig at heile verdikjeda vert belyst og bearbeida i eit livsløpsperspektiv som er eit berande prinsipp i miljøvurderingar.

I 2015 vart det i Noreg sloppe ut klimagassar tilsvarande 53,9 mill tonn CO₂-ekvivalentar. Rein CO₂ stod for 44,7 mill tonn av dette (Klimagasser 2016).

Det er to kjelder til CO₂-utslepp ved produksjon av sement. Det første er at kalkstein inneheld tilnærma 60 prosent CO₂ som vert frigjort når kalkstein vert knust og brunne. Denne prosessen utgjer om lag to tredjedelar av utsleppet. Den andre og siste tredjedelen er at brenning krev høge temperaturar, og det har vore vanleg å fyre omnane med kol. Ved å fyre med meir CO₂-nøytralt brennstoff som eksempelvis pellets og avfall kan dette utsleppet reduserast. Slik produksjonen er i dag blir det sloppe ut 900 kg CO₂ pr tonn ferdig sement (Climit 2016).

Om all sement produsert i Noreg blir brukt til betong, tilsvarar det eit totalforbruk på om lag 10,3 mill tonn betong i året, noko som igjen vil gje eit totalt CO₂-utslepp på 1,395 mill tonn CO₂ (900 kg CO₂ utslepp pr tonn ferdig sement * med Noregs totale produksjon av sement på 1,55 mill tonn). Dette tilsvarar 3,1 prosent av Noregs totale utslepp av CO₂ (1,395/44,7), eller tilsvarande 2,6 prosent av Noregs klimagasser rekna om til CO₂-ekvivalenter. Produksjon av eitt tonn betong basert på portland sement slepp dermed ut om lag 135 kg CO₂ (900 kg*0,15) dersom ikkje blandinga med 85 prosent sand og stein gjev ekstra CO₂.

På global basis vert det sloppe ut om lag eitt tonn CO₂ for kvart tonn sement som vert produsert. 60 prosent av dette kjem frå spalting av kalkstein under oppvarming, såkalla prosessutslepp. Den andre halvparten kjem frå bruk av fossil

brensel, såkalla forbrenningsutslepp. Store delar av energien som vert nytta til sementproduksjon vert i dag henta frå kol.

Geopolymerbetong slepp ikkje ut CO₂ under sjølve produksjonen på same måten som brenning av kalkstein gjer, og dermed er det ein reduksjon i CO₂-utslepp i forhold til tradisjonell sement. Såleis er dei 600 kg med CO₂ som kalkstein slepp ut pr tonn allereie eliminert. Geopolymerbetong krev oppvarming for herding, men ikkje på langt nær same temperatur som for brenning av kalkstein. Såleis kan også mykje av CO₂-utsleppet til brenselet eliminerast. Abeer Humad ved Universitetet i Luleå stadfestar at produksjon av geopolymerbetong kan gje 80 prosent lågare CO₂-utslipp (LTU 2016). Dette vil seie ein reduksjon på 108 kg CO₂ pr. tonn ferdig betong, frå 135 kg CO₂ pr. tonn ferdig tradisjonell betong til 27 kg CO₂ pr. tonn ferdig geopolymerbetong.

Den store utsleppsreduksjonen ved bruk av geopolymerbetong er årsaka til at den er spesielt interessant i eit klimaperspektiv.

3.2.2 Geopolymerbetong er ikkje i storskala produksjon i dag

Det er store mengder nasjonal og internasjonal forskning som fokuserer på geopolymerbetong. Forsking stadfestar og syner at geopolymerbetong er betre enn vanleg betong både i høve klima, men også eigenskapane til sjølve betongen. Australia, Asia, USA og Canada er kome lengst i å kommersialisere geopolymerbetong, men har framleis ein veg å gå. I Europa er det ei startande interesse for denne betongen (VRI Østfold).

Det som er vanskeleg å finne ut er kva som faktisk er årsaka til at geopolymer ikkje vert produsert og brukt i stor skala i dag, gitt alle dei positive omtalane. Ulike kjelder peiker på utfordringar knytt til å få ønskja konsistens utan å øydelegge styrken til betongen og at overflata vert tett utan sprekker og riss. Spesielt vert det også vist til at det er ei utfordring å støype i kjølige temperaturar som Scandinavia og store deler av Europa representerer.

Denne usikkerheita nytt til eigenskapane til geopolymertbetong er vurdert som ein av dei største barrierane til kvifor ikkje geopolymertbetong har erstatta vanleg portlandsementbasert betong. Ei av moglegheitene og som er argument for å vere heilt sentral til å overgå barrieria for å kommersialisering er å etablere standardar for geopolymertbetong (Craig Heidrich et al 2015).

3.2.3 Internasjonal standard

Noreg er forplikta til å følgje gjeldane standard i EU for kor mykje Portland sement det skal vere i betong. Dette er ein standard som gjeld for betong til plass-støypte konstruksjonar, prefabrikkerte konstruksjonar og berande produkt for bygg- og anleggskonstruksjonar. Det nasjonale tillegget gjev eigne nasjonale standardar som gjeld for konstruksjonar i Noreg (www.standard.no). Det er enno ikkje utvikla ein eigen standard for geopolymertbetong.

Problemstillingar kring kva som er rette samansetjinga av geopolymertbetong og når den eventuelt er klar til storskalaproduksjon er utanfor kva denne oppgåva fokuserer på, men CL har også simultane prosjekt med å finne ein eigna type betong gitt europeiske forhold og tilgang til råvarer.

3.3 Deponi og deponikostnader

Når det er slik at geopolymertbetong kun har 20 prosent av CO₂-avtrykket til portlandsementbetong, skuldast det i all vesentleg grad at råstoffet til geopolymertbetongen er biprodukt eller avfall frå metallindustrien. Avfall vert i dag deponert på land eller i vatn nær fabrikk eller også transportert over lange avstandar til eigna langtidsdeponi. Eksempelvis vert slagg og sveveaske frå Hydro sitt anlegg i Årdal frakta til Langøya i Holmestrand kommune. Miljødirektoratet (2015) presiserer at det generelt er ønskjeleg å redusere avfallsmengda som oppstår i samfunnet, både ut frå miljømessige og samfunnsøkonomiske årsakar. Samfunnsøkonomisk er det ein gevinst også dersom avfallet skifter karakter frå å vere søppel som vert deponert, til å verte del av eit produkt.

Deponering av avfall vert regulert av avfallsforskrifta. I 2002 vart EUs deponidirektiv (1999/31/EF) tatt inn i norsk regelverk, og er gjennomført i

avfallsforskrifta kapittel 9 om deponering av avfall. Deponi som ikkje oppfylte dei nye krava som kom i år 2002 måtte leggest ned. Desse deponia har fått krav til avslutning og etterdrift, då det framleis vil vere utslepp frå dei i mange år framover. Frå å vere rundt 330 deponi i 1992, er det no om lag 60 avfallsdeponi igjen i Norge (miljøstatus 2016).

Frå 1. juli 2009 vart det forbode å deponere biologisk nedbrytbart avfall som restavfall, papir/papp, trevirke og tekstiler av naturstoff som ull og bomull. Føremålet med avfallsforskrifta er at deponia skal drive på ein kontrollert og forsvarlig måte, slik at skade på menneskje og miljø vert unngått i størst mogeleg grad. Avfallsforskrifta stiller krav til mellom anna dobbel botn og sidetetting, sigevatn- og metangasshandtering, samt krav til overvaking av utslepp ved deponia. Forskrifta stiller og krav om at dei som driv avfallsdeponia skal ha kunnskap om potensielle miljøskadelege eigenskapar ved avfalla. Miljøkrava skal på sikt redusere utsleppa frå deponia (miljøstatus 2016). I dag utgjør utslepp frå avfallsdeponi om lag 2 prosent av dei samla norske klimagassutsleppa. Det er venta at desse utsleppa kan verte redusert med om lag to tredjedelar innan 2040 (Bygg uten grenser 2016).

Noreg har i dag ikkje løysningar for alle typar avfall, men er i praksis ein del av ein nordisk marknad for handsaming av farleg avfall. Dette er politisk forankra gjennom ein nordisk ministererklæring frå 1994, og er etablert praksis i alle dei nordiske landa. NOAH Langøya tek hand om ein vesentleg del av uorganisk farleg avfall frå Noreg, og handsamar store mengder flygeoske frå andre nordiske land, vesentleg frå Sverige og Danmark. Oskå vert i dag nytta til å nøytralisere syrehaldig avfall frå Kronos Titan. Noreg på si side eksporterar betydelege mengder organisk farleg avfall til slutthandtering i Sverige og Finland. NOAH Langøya har lov til å ta i mot farleg avfall til og med år 2026. NOAH har sjølv rekna ut at deponikapasiteten for farleg avfall vil verte oppbrukt i løpet av år 2020 med dagens mottaksvolum. Det er i dag ikkje andre norske anlegg som har kapasitet til å ta hand om den avfallsmengda som NOAH i dag handsamar (Miljødirektoratet 2016).

Deklarert mengde uorganisk avfall av typen "slag, støv, flygeaske, katalysatorer, blåsesand med meir" i Noreg i år 2014 var 185 437 tonn. Av dette vart 119 664 tonn levert til NOHA Langøya. Differansen på 65 773 tonn som ikkje vert levert til NOHA Langøya består i hovudsak av forureina jord og stein, reiserestar og annan forbrenning. Dette avfallet går til Miljøteknikk Terrateam AS i Mo industripark i Mo i Rana (Miljødirektoratet 2016). Fordelinga mellom anlegg er hovudsakeleg bestemt av pris og kapasitet.

Mengda farleg avfall som vert eksportert og importert varierer år for år, men eksporten har vore høgare enn importen dei siste to åra. I år 2014 vart det eksportert 421 000 tonn, i hovudsak organisk farleg avfall til andre nordiske land, medan det ifølge NOAHs eigenrapportering vart importert 213 829 tonn oske til Langøya (Miljødirektoratet 2015). Dette betyr at Noreg, i tillegg til den deklarererte oska på 185 437 tonn, også hadde tilgang på inntil 213 829 tonn importert oske, til saman 399 266 tonn slag, støv, flygeoske, katalysatorer og blåsesand i år 2014.

NOAH Brevik (2016) stadfestar at flygeoske er eit sluttprodukt frå forbrenningsanlegg for avfall frå hushaldning og industri. Osken har forskjellig innhald avhengig av avfallssamansetjinga og må dermed handsamast ulikt. Flyveaske frå kolfyrte kraftverk er ok å nytte, medan flyveoske frå forbrenning av avfall ikkje kan nyttast i betong. Asken kan delvis reinsast for tungmetall, med dagens teknologi er dette likevel kostbart. Såleis er det grunn til å tru at heller ikkje all flyveoske er mogeleg å nytte i geopolymerbetong, men at store deler vil vere mogeleg å nytte ved eksempelvis å reinske flyveoska.

Frå 01.01.2015 er sluttbehandlingsavgifta på avfall historie. Regjeringa vedtok at avgifta skulle fjernast fordi denne ikkje lengre hadde ein funksjon. Årsaka var at forbodet mot å deponere biologisk nedbrytbart avfall vart sett i kraft.

Bedrifter og næringsliv har sjølv ansvar for at avfallet blir forsvarleg handsama.

Verdsetjing av effektar av deponi er vanskeleg å finne gode døme på. Unntaka er studiar som ser på CO₂-utslepp frå deponi. Eksempelvis syner NOU: Sett pris på miljøet (2015) til at utslepp fra nedbryting av organisk avfall i avfallsdeponi, avløp og avløpsrensing står for om lag 22 prosent (1,2 mill. tonn CO₂-ekvivalenter) av

metanutsleppa i Noreg. Av dette står avfallsdeponia for om lag 1 mill. tonn CO₂-ekvivalenter (Lindegaard mfl. 2014). Eit viktig poeng i vidare utrekningar er at det er liten samanheng mellom det avfallet som blir deponert i dag og utslepp frå fyllingane. Såleis vil ei avgift som vert lagt på deponi ikkje vere eit godt verkemiddel for å redusere metanutsleppa (NOU: Sett pris på miljøet 2015).

Miljøeffekten er effekta av å unngå å gjere denne type inngrep i naturen. Ei analyse må sjå på eksempelvis nytteverdien for rekreasjons- og andre tenester, grad av påverkand av ulike inngrep og storleiken på inngrepet.

Privatøkonomisk for bedrifter blir det ein kostnad å legge avfall i deponi. I dag varierer prisen med tilbod og etterspurnad, og seinare i oppgåva vert nokre gjennomsnittstal for deponering nytta i nokre utregningar for å sjå meir på innsparinga i kroner for å ikkje nytte deponi. Samfunnsøkonomisk blir spørsmålet om deponiavgifta er høg nok til å dekke skadane deponiet medfører. Dette er vanskeleg å talfeste, og i denne oppgåva vert spørsmålet avgrensa til denne teoretiske diskusjonen.

3.3.1 Råstoff frå Engebøfjellet

Denne oppgåva ynskjer spesielt å belyse det å bruke råstoff frå avgangsmassane som elles er bestemt skal gå i Førdefjorden.

Dei to mest nytta alternativa for deponering av mudra sediment i Noreg er strandkantdeponi og sjødeponi. Etter vurdering frå Klima og forureiningsdepartementet (2010) vil sjødeponi også framover vere ei god, aktuell og i nokre høve einaste praktiske deponeringsløysing ved opprydding av forureina sediment. Strandkantdeponi vert særleg nytta når dei mudra massane kan bygge opp nye landområde i lokale utbyggingsprosjekt.

Næringa sjølv har uttalt at bruk av sjødeponi er historisk sett den mest normale deponiforma i norsk bergindustri (Rushfeldt 2016). I Noreg er det sjødeponi i seks fjordar med deponering av avgangsmassar frå gruveindustrien: Bøkfjorden (Sydvaranger Gruve), Altafjorden (Sibelco), Tysfjorden (The QUARTZ Corp),

Bergsfjorden, (Skaland Graphite), Ranfjorden (Rana Gruber) og Frænfjorden (Hustadmarmor) (Geoforsking 2017).

Internasjonalt er det sterk motstand mot denne forma for deponi, og dei fleste landa i verda har slutta med å sleppe gruveslam ut i havet. I tillegg til Noreg er det no berre ei gruve i Tyrkia, ei i Indonesia og nokre få i Papua New Guinea som alle er på over 800 meters djup. I Noreg skjer dagens utslepp og planlagde utslepp på vesentleg grunnare vatn, dei fleste på 40 – 80 meter og i Førdefjorden på 150-300 meters djup. Det vil sei i dei biologisk mest aktive og viktige områda for livet langs kysten (Naturvernforbundet 2017).

Forskningsrådet gav i 2014 28 mill kr til SINTEF om å forske på sjødeponi knytt til mineralnæringa. Bakgrunnen for prosjektet og løyvinga er motstanden og debatten dei seinare åra som i følge SINTEF har vore prega av synsing og påstandar utan hald framfor kunnskap. Forskningsprosjektet skal sjå på gamle deponiområde, og kva miljøeffektane faktisk og konkret er. Hovudfokuset er å skaffe kunnskap om korleis det er mogleg å legge til rette for at ulike typar næringsverksemd kan eksistere side om side. Dette forskningsprosjektet vil styrke kompetansen om miljøkonsekvensane av deponering av overskotsmassar frå gruver i sjø (Geoforsking 2017).

Deponering på land, som er alternativet, kan mange stader vere krevjande i høve landskapet. Landdeponi kan ha utfordringar med avrenning og partikkelspreiing til luft. Naturgjevne forhold avgjer kva deponiløysing som er best for kvart einskild prosjekt. Det som blir vurdert er sårbarheit i naturen, mineralane sine eigenskapar, vassforhold eller hydrologi, topografi, kjemikaliar og driftsmessige forhold som transportavstandar før ei slutning om deponiløysing vert teke (Norsk Bergindustri 2015).

Dei samfunnsøkonomiske kostnadane ved tap av naturområde og biologisk mangfald er vanskelege å talfeste, og det er stort sett den kortsiktige gevinsten ved forbruk av natur og naturressursar som veg tyngst i samfunnsøkonomien. Produkt frå kommersielt viktige artar som fisk, tømmer osv er forholdsvis enkelt å

prissette. Artar som ikkje kan utnyttast økonomisk er identifisert som vanskelegare å talfeste (Naturvernforbundet 2017). Verdien av desse økosystemtenestene er ikkje med i vanlege økonomiske modellar, og skade på økosystema vert ikkje registrert som tap. Dei Forente Nasjonar (FN) har sett i gong eit omfattande prosjekt, kalla TEEB, for å prissette desse naturverdiane (The Economics of ecosystem and biodiversity 2017). At verdsetting av tenestene er vanskelig å anslå, bidrar truleg til at verdien av for eksempel urørd natur og biologisk mangfald vert undervurdert (NOU: 15 Sett pris på miljøet).

Ved gruvedrift i Engebøfjellet er det ikkje konsekvensutgreia alternative løysingar for deponering på land (jf. konsekvensutgreiinga). Samstundes har konsekvensutgreiinga på oppdrag frå Miljødirektoratet gitt vurderingar av tre ulike alternative deponiløysingar som ikkje er i marint miljø. Desse alternativa medfører også betydelige, negative miljøeffektar og er betydelig meir kostnadskrevjande. Miljødirektoratet har konkludert med at ingen av disse alternativa er miljømessig vesentleg betre enn den omsøkte deponiløysinga (Miljødirektoratet 2016). Greaker og Hoel (2015) har sett søkelys på at Miljødirektoratet ikkje har forsøkt å talfeste miljøkostnaden ved deponering i Førdefjorden. Effekt som reduserte mogelegheiter for fiskeoppdrett og tradisjonelt fiske, reduserte bestandar av villaks og tap av rekreasjonsverdiar kan verdsettas økonomisk. Dei seier at det er utilstrekkeleg berre å slå fast at miljøulempene vert vegne opp av inntektene utan å grunngje påstanden.

3.3.2 CO2 frå deponi

Det er i hovudsak deponering av våtorganisk avfall som gjev opphav til danning av metan i fyllingane på deponi. Sidan det har vore forbode å deponere våtorganisk avfall sidan år 2009, stammar dagens utslepp av CO₂ frå deponi i hovudsak frå avfall som vart deponert før forbodet trådde i kraft. Det er derfor liten samanheng mellom det avfallet som i dag vert deponert og utslepp frå fyllingane (NOU 2015: Sett pris på miljøet). CO₂-utslepp frå deponi vert såleis ikkje kalkulert inn i den samfunnsøkonomiske analysen i det vidare.

3.4 Transport

Person- og godstransport gjev betydelege lokale miljøbelastningar og står for om lag ein tredjedel av Norske utslepp av klimagassar (TOI 2017). Næringslivet i Noreg er avhengig av god infrastruktur og effektiv godstransport.

I transportsektoren er det mogeleg å oppnå svært låge klimagassutslepp i år 2050, til og med tilnærma nullutslepp vert vurdert som mogeleg. Eit viktig premiss for ei slik utvikling er at det må skje teknologiske nyvinningar innan batterielektrisk, hydrogen og avansert biodrivstoff. Utan teknologiutvikling vil transportsektoren kunne ha store utslepp også i år 2050. Denne utviklinga er i stor grad styrt av forhold utanfor Noreg. Transportvolumet, derimot, kan styrast (Miljødirektoratet 2017).

Eit vogntog slepp ut om lag 41 gram CO₂ pr. tonn last pr. km. Dette talet er henta frå Samferdsel (2007) som synte til eit vogntog som køyrde 688 km slepp ut 27,9 kg CO₂ pr. tonn last. Tilsvarende utrekning frå same kjelde svarar til at eit kystgodsskip slepp ut 28 gram CO₂ pr. tonn last pr. km.

Eit lasteskip kan frakta opptil 35 000 tonn masse på ein gong (Larvikhavn 2014), i motsetnad til eit vogntog som berre tek om lag 25 tonn (Royaltransport 2017). Eitt skip kan såleis frakte like mykje masse som opptil 1400 lastebilar.

3.5 Parisavtalen

Reduksjon av utslepp av CO₂ er truleg vår viktigaste miljøoppgåve. Utsleppa av klimagassar har aldri vore høgre enn dei er i dag. Økonomisk vekst, befolkningsvekst og framleis bruk av kolkraft for å dekke energibehovet aukar dei globale klimagassutsleppa (Miljøstatus 2017).

Parisavtala trådde i kraft 4. november 2016. Avtala starta å gjelde 30 dagar etter at minst 55 land, som står for meir enn 55 prosent av dei globale klimagassutsleppa hadde ratifisert avtalen. Klimatoppmøtet i Marrakech (7.-18. november 2016) vart det første årsmøtet for partane til Parisavtalen. Få trudde at avtalen ville tre i kraft

før i 2020. Aldri før har verdens land vore så raske til å slutte seg til ein internasjonal avtale.

I Kyoto-avtalen som vart underskriven i år 1997 med første periode i år 2008 – 2012, og andre periode 2013-2020 var det berre dei rike landa som forplikta seg til å kutte i klimagassutsleppa. Parisavtalen derimot, er like forpliktande for alle land, men det er forventat at dei rike landa skal bidra mest. Alle land skal lage ein nasjonal plan for korleis og kor mykje dei skal kutte klimagassutsleppa. Dette målet skal fornyast kvart femte år frå og med år 2020. Kvar gong det vert fornya skal det verte meir ambisiøst enn det var førre gong. Alle land skal også rapportere korleis det går med utsleppskutta kvart femte år frå og med år 2023 (www.fn.no).

Målet til den historiske Parisavtalen er at global oppvarming skal avgrensast til to grader, men helst ned mot 1,5 grader. Noreg har stadfesta minst 40 prosent utsleppsreduksjon i år 2030 samanlikna med år 1990.

3.6 CO2-prisar

Effektive økonomiske verkemiddel i klimapolitikken for å nå målet om 40 prosent utsleppsreduksjon er kvotesystemet og CO2-avgiftssystemet. Noreg nyttar seg av begge verkemidla.

Handelen med utslippskvotar (European Union Emission Trading Scheme, EU ETS) skal framleis vere det viktigaste verktøyet for Norge og EU i nå måla i Parisavtalen. I kvotesystemet vert den totale mengda klimagassar dei kvotepliktige verksemdene kan sleppe ut over ei gitt periode fastsett. Dette betyr at kvotemengde utgjer eit tak for utslepp, og prisane på kvotene vert bestemt i marknaden. Prisen vil variere over tid, og vil verte høg dersom det er få kvotar samanlikna med utsleppsnivå utan kvotesystem, og den er låg dersom det er mange kvotar. EU ETS dekkjer utslepp frå alle anlegg av ein viss storleik i sektorane elektrisk kraft, stål, sement, glas, papir, flytrafikk innad i EU og fleire andre.

Utsleppstaket er på om lag to milliardar tonn CO2-ekvivalenter per år, eit tal som minskar med 1,74 prosent kvart år. For å nå målet om utsleppsreduksjon på 40

prosent i år 2030, har EU kommisjonen foreslått ei reform og styrking av kvotesystemet. Reforma går ut på å redusere tal kvotar med 2,2 prosent årleg. Denne innstramma vil gje utsleppsreduksjonar i tråd med EU sine 2030-mål for kvotepliktig sektor. Det er også foreslått ei reform for å fjerne nokre av dagens overskotskvotar. Sektorar som står utanfor kvotesystemet er vegtrafikk, oppvarming av bygg, landbruk og avfall.

CO₂-avgifta gjev på den andre sida føreseieleg pris på utslepp, men det er ikkje eit øvre tak på utslepp. Avgifta på CO₂ varierer frå om lag 29 kr per tonn CO₂-ekvivalentar som er til naturgass som vert nytta av kvotepliktig industri, til over 430 kr per tonn CO₂-ekvivalentar på naturgass som vert nytta på sokkelen (Miljødirektoratet 2017). Eksempelvis så er CO₂-avgifta på transport prisa inn i pr. liter mineralolje, bensin, naturgass osv.

Med avgiftsregulering vil storleiken på utsleppa vere bestemt av øvrig økonomisk utvikling. Eit kvotesystem er dermed meir styringseffektivt.

Om lag 80 prosent av norske klimagassutslepp har ein karbonpris i dag, enten gjennom avgift, gjennom plikt til å kjøpe klimakvotar, eller begge deler. Norske utslepp har stabilisert seg, men viser ingen betydelig nedgang. I nokre sektorar aukar dei framleis. Veksten er størst i sektorar med høge karbonavgifter, som oljeindustri og transport, medan utsleppene i andre sektorar – som landbasert industri – er redusert på tross av for låge eller ingen prisar. Samla gjev dagens CO₂-avgift eit tilskot på 10-12 milliardar kroner til statsbudsjettet.

Det er ulike prisar rundt om i verda på CO₂-kvotar. I følgje Verdensbanken tilsvarar klimakvotane meir enn 50 milliardar USD. Ei oversikt frå 2016 syner at effektive prisar på klimakvotar varierer veldig mellom ulike land frå 0 Euro pr tonn CO₂ i Russland til 55 euro pr tonn CO₂ i Nederland (CarbonBriefe 2016).

Noreg vart fullverdig medlem i EU ETS i 2008. Sement er kun regulert av kvotesystemet, altså det er ingen CO₂-avgift på sementproduksjon (regelhjelp 2017).

Bedriftene i kvotesystemet får tildelt kvotar årleg. I dag er ei viss mengde kvotar gratis, medan resten kan kjøpast i marknaden. Alle bedrifter har fått ei gitt mengde kvotar for år 2013-2020, den tredje perioden i kvotesystemet. Bedriftene som klarar å redusere utsleppa nok til at dei ikkje treng alle kvotane, kan selje kvotar dei har til overs. Prisen pr kvote er avhengig av kor mange kvotar som er tilgjengeleg i marknaden og kan dermed svinge (Miljødirektoratet 2016).

Ein klimakvote tilsvarar utslepp av eit tonn karbondioksid/ CO₂.

Fastsetting av nivå på norsk klimaavgift er mykje debattert. Etersom klimaproblemet er globalt, og verknader av klimagassar på global oppvarming er uavhengig av kvar utsleppa skjer, er det klart at ein globalt effektiv klimapolitikk tilseier at alle utsleppskjelder vert stilt ovanfor same pris på utslepp, uansett kvar utsleppa skjer. I prinsippet bør prisen tilsvara den globale, samfunnsøkonomiske kostnaden ved utslepp (den marginale globale skadekostnaden).

Både kvotehandelssystem og avgifter på klimagassar set ein pris på utslepp. I dag er kun om lag 10 til 15 prosent av verdas klimagassutslepp direkte prisa gjennom avgift eller via kvotemarknader. Prisane er låge samanlikna med dei fleste anslag for marginal skadekostnad. Samstundes er bruk av kol og petroleumsprodukt, som er hovudkjelda til klimagassutsleppa, sterkt subsidiert i mange land, noko som fører til at prisen på utslepp i praksis er negativ.

I denne situasjonen står Noreg ovanfor fleire ulike avvegingar når det gjeld nivå og omfang av prising av eigne utslepp av klimagassar.

På kort sikt påverkar CO₂-prisane kva kjelder som vert nytta til å produsere energi. På lang sikt påverkar prisane investeringsbeslutningar, då er ikkje dagens pris viktig, men det handlar om forventingane til framtidig pris. Dersom vi trur at prisane skal opp, så blir investeringane ein vridning mot fornybar energi.

Manglande global pris på klimagassutslepp har og betydning for vurderingen av andre supplerande verkemiddel, som støtte til teknologiutvikling.

Ettersom CL er på idèstadiet enno og selskapet kjem til å lansere eit nytt produkt, vert det mest nærliggande å bruke pris på lang sikt, og dermed pris forenleg med togradersmålet.

Det er gjennomført ei rekke studier av kva prisar på klimagassutslepp som må til for å nå togradersmålet. Klima-panelet (IPPCs) har oppsumert desse, og kome fram til at kr 766 er gjennomsnittsprisen for eitt tonn CO₂ for år 2030 i 2010-kroner. Denne prisen er gjengitt i NOU: Sett pris på miljøet (2015), og poengtert at tabellen med dei ulike prisane er eit samandrag frå rapporten International Climate Policy and Carbon Markets, men er no fjerna frå nettsidene grunna omorganisering, men kan likevel nyttast.

Til grunn for analysene om prisnivå ligg det ei forutsetning om at det vert innført ein global pris på utslipp av klimagassar som dekker alle sektorar i alle land og som stig over tid slik at dei neddiskonterte kostnadene vert lågast mogeleg. Ein pris som stig over tid bidreg til at dei billigste tiltaka vert gjennomført først. Anslaga varierer derimot veldig, noko som har samanheng med ulike føresetnader med hensyn til teknologisk utvikling som eksempelvis fornybar energi og fangst og lagring av CO₂ (Borge 2016).

I den samfunnsøkonomiske analysen vert gjennomsnittsprisen for å nå togradersmålet i år 2030 nytta.

4 Samfunnsøkonomisk analyse

Metodisk tilnærming i denne oppgåva er utarbeida med utgangspunkt i DFØs (2014) rettleiar for samfunnsøkonomiske analyser, eit utval av Noregs offentlege utgreiingar, samt rapportar der samfunnsøkonomiske analysar er gjennomført i liknande prosjekt.

DFØs (2014) nasjonale tverrsektorielle rettleiar for samfunnsøkonomiske analyser er bygd på økonomisk teori, Finansdepartementets retningslinjer og ei rekke offentlege utgreiingar. Rettleiaren er laga for å sikre at politikarar og andre slutningstakarar får eit solid grunnlag å basere slutningar på når ulike tiltak skal vurderast. Målgruppa er i hovudsak departement og statlege verksemder. Rettleiaren kan nyttast ved vurdering av alle offentlege tiltak.

Hovudføremålet med ei samfunnsøkonomisk analyse er å klarlegge og synleggjere konsekvensane av alternative tiltak før slutning om iverksetting av tiltak. Samfunnsøkonomiske analyser er dermed ein metode for å systematisere informasjon (NOU 1998). Analysane skal utgjere del av eit slutningsgrunnlag, utan å representere ein slutningsregel (NOU 2012).

I denne analysen er det eitt alternativ tiltak som vert kartlagt opp mot 0-alternativet. Analysen skal synleggjere konsekvensar av det alternative tiltaket og dermed må alle kostnads- og nytteverknader kartleggast. På den måten kjem det fram om tiltaket er hensiktsmessig å gjennomføre ut i frå eit samfunnsøkonomisk perspektiv. Samstundes vil ikkje analysen danne ein slutningsregel, men eit slutningsgrunnlag. Det er såleis ikkje automatikk i at eit tiltak bør setjast i gong sjølv om det er samfunnsøkonomisk lønsamt. Det vil alltid vere fleire vurderingar i eit prosjekt.

Eit tiltak er samfunnsøkonomisk lønsamt dersom den samla betalingsviljen for alle nytteverknader overstig kostnadene (Finansdepartementet, 2014b). Dette legg til grunn at tiltaka vert samanlikna med eit nullalternativ. I praksis er analysen ein iterativ prosess, samstundes som det er ryddig å framstille metoden som ei stegvis tilnærming.

Det er primært miljøeffektane og verdien av miljøet som vert vurdert i analysen.

Miljøøkonomisk-analyse i vid forstand ser på natur, miljø og ressursar som gode som bidreg til menneskeleg velferd på lik linje med andre varer og tenester menneskje har nytte av i samfunnet. Miljøet har ein økonomisk verdi dersom det i tillegg eksisterer berre i avgrensa mengder, altså eit knapt gode. I prinsippet kan alle naturtypar og eigenskapar og funksjonar av naturen ha økonomisk verdi, Dersom ressursane på jorda var tilgjengeleg i uavgrensa mengder og var gratis å bruke samt utvinne, ville alle få det dei ønska utan å inngå ulike kompromiss med kvarandre eller framtidige generasjonar sine ønskje og behov (Boardman et al 1996).

I det augneblikket eit gode er knapt, så blir eit val mellom ulike gode tvinga fram. Ein kan ikkje få alt, og valalternativa må vegast mellom nytte og kostnader.

I dette caset skal det gjennomførast ei nytte-kostnadsanalyse. Den samfunnsøkonomisk analysen vert gjennomført med åtte arbeidsfasar:



I dei neste delkapitla vert kvart av dei åtte trinna gjennomgått. Dei åtte fasane gjev ei stilisert og rettlinja framstilling av analyseprosessen. Framgangsmåten og metoden til kvart trinn vert først beskrive, og deretter vert sjølve analysen av caset gjennomført.

4.1 Beskrive problemet og formulere mål

Det første som skal gjerast er å definere problemet, og formulere mål. Dei definerte problema skal vere av ein slik art at det er ei samfunnsoppgåve å løyse dei. Denne type problemstillingar er kjenneteikna ved at dei gjerne bryt vilkår for perfekt marknad. Dette betyr i praksis at det eksisterer ein marknad for alle type gode med veldefinerte eigarrettar, ingen eksternalitetar, fri konkurranse, full informasjon og ingen kollektive gode (Bruvoll og Hasane 2010). Eit samfunnsproblem er eksempelvis i form av eksternalitetar i form av klimagassutslepp ved produksjon av gode. Dersom det ikkje er knytt sanksjonar til eit utslepp vil ikkje selskapet inkludera kostnaden for samfunnet i vurderinga si. I følgje grunnleggande økonomisk teori vil det dermed oppstå overproduksjon, og motsett dersom det er ein positiv eksternalitet i samband med produksjonen (NOU 2012). Det offentlege må dermed inn for å løyse denne type problemstillingar. Når problem og mål er definerte er neste skritt å kartlegge nullscenarioet.

Som beskrive i kapittel 1 og 2 så er problemet, eller utgangspunktet for caset, at svært mykje råmateriale som kan nyttast til noko verdig og varig vert i dag lagt på deponi med dei miljøkonsekvensane dette gjev. Spesielt er avgangsmassane frå gruvedrifta i Engebøfjellet som skal dumpast i Førdefjorden eit problem, då fjorden kan verte forureina og miste verdien som biotop for flora og fauna. CL har såleis eit ynskje om å finne ein metode for å bruke avfallet frå drifta. Dei ser for seg å produsere geopolymertbetong av dette avfallet. Geopolymertbetong er såkalla miljøvenleg betong, og slepp ikkje ut CO₂ under sjølve produksjonen på same måten som brenning av kalkstein til tradisjonell sement gjer, og dermed gjev geopolymertbetong ein reduksjon i CO₂-utslepp i forhold til tradisjonell sement. Differanse i CO₂-kostnader er dei viktige berekningane i analysen.

4.2 Nullscenarioet

Nullalternativet beskriv situasjonen i dag, og forventet videre utvikling dersom andre tiltak ikke vert sett i verk, og blir nytta som samanlikningsgrunnlag for ulike tiltak. Nullscenarioet i dette caset er at det eksisterer ein situasjon der råvarer som kan gå til noko varig og verdig i staden vert lagt i deponi. Parallelt til denne situasjonen vert det også produsert tradisjonell Portland Sement betong og dei utsleppa denne betongen gjev.

Såleis er nullscenarioet dagens teknologi ved produksjon og bruk av Portland Sement Betong, medan alternativscenarioet vert den nye situasjonen med produksjon og bruk av geopolymerbetong med avgangsmassar frå gruvedrifta i Engebøfjellet.

4.3 Identifisere og beskrive relevante alternativtiltak

I ei samfunnsøkonomisk analyse skal alle relevante tiltak beskrivast så langt det let seg gjere. Eit tiltak er relevant dersom det kan løyse problemet fastsett i fase 1. Tiltak med openberre avgrensingar bør fort ekskluderast (NOU 2012). Relevante tiltak vert beskrive ut frå dagens situasjon med bruk av tradisjonell betong.

Alternative tiltak er ofte interessante å vurdere i offentlege prosjekt, og såleis ikkje like relevante i høve denne oppgåva. Samtidig er det det offentlege som har sett klimamål, og i denne oppgåva vert det dermed naturleg å også skissere alternative måtar å redusere utslepp frå sement fordi det kan vere eit alternativ til å produsere den nye geopolymerbetongen. Norcem sine reduksjonar i CO₂ kan for øvrig også sjåast på som uavhengige tiltak, då Norcem sine reduksjonar kan skje uavhengig av kva CL gjer.

Dei mest diskuterte metodane for å redusere utslepp knytt til sementproduksjon i tillegg til "nye sementtypar" som geopolymerbetong er definert å vera:

- 1) Energieffektivisering, der overskotsvarme frå sementomnane vert nytta til fjernvarme og elproduksjon.
- 2) Auka CO₂-opptak i betong.
- 3) Fangst, lagring eller gjenbruk (CCS).
- 4) Redusere mengda sement i betong.

Punkt 1) er sjølvforklarande, men dei tre andre punkta er interessant å udjupe nærare. Auka CO₂-opptak i betongen er prosessen der CO₂ blir teke opp i betongen og heiter karbonatisering. Det er ein naturleg prosess som skjer når luft trengjer inn i betongen. Karbondioksidet i luft og vatn reagerer med kalsiumhydroksid i betongen, og det vert danna kalsiumkarbonat (Seehusen 2013). Karbonatisering er ein kjemisk reaksjon mellom herda betong og karbondioksid. Prosessen skjer i all betong som er eksponert for luft. Jo større overflate, jo meir CO₂ blir teke opp og bunde i betongen. Avhengig av korleis betongen er eksponert for luft vert ein stor del av karbondioksida som vart frigjort ved kalsinering ved oppvarming av kalkstein i sementproduksjonen teke opp att i betongen. Belegg som for eksempel maling, flis, plast og parkett vil forsinka eller hindre karbonatiseringa. Også utandørs vil opptaket variere, bl.a. med kor vêrutsatt flata er, om den er dekkja av jord osb.

Miljøkomiteen i Norsk Betongforening tok i 2012 initiativet til eit større prosjekt for å finne ut om det kan vere grunnlag for at opptaket av CO₂ kan inkluderast i miljødokumentasjon av betongkonstruksjonar og betongprodukt (Byggindustrien 2014). Rapporten konkluderer med at betongen tek opp att 15 prosent av den CO₂ som vert sleppt ut ved sementproduksjon i løpet av levetida som er anslått til 100 år (Norsk Betongforening 2014). Akkurat som tre bind CO₂ når dei veks, blir altså CO₂ i betong bunde etterkvart som betongen vert eldre. Betong som er godt knust ved riving vil kunne ta opp større mengder CO₂.

Karbondioksidet i luft og vatn reagerer med kalsiumhydroksid i betongen, og det vert danna kalsiumkarbonat som er essensen i prosessen for karbonatisering. Geopolymerbetong består av sement nesten utan kalsium og dermed er det grunn til å konkludere med at denne prosessen vil førekome i mindre grad i geopolymerbetong. Likevel har Geopolymerbetong ein samansetnad som også gjev karbonatisering, men denne prosessen er ulik frå karbonatisering i portland sement betong. Det som skjer med portland sement under karbonatisering er at sementen vert degradert, mindre sterk, krympar osb. Geopolymerbetong reagerer ikkje på same måten og beheld styrken og krympar mindre, men desse skilnadane er avhengig av type og mengde bindemiddel (Nasvi et al 2010). Nokre studiar har sett på hastigheita til karbonatiseringsprosessen og funne ut at den er om lag lik for portland sement betong og geopolymerbetong (Glasby et al 2013). Det er ingen kjelder som seier at karbonatisering av geopolymerbetong tek opp CO₂ slik som portland sement betong gjer, det er dermed uklart om dette er forska på eller om geopolymerbetong ikkje har denne eigenskapen.

Fangst, lagring og gjenbruk av CO₂ er eit satsingsområde i Noreg. Olje- og energidepartementet la i juli 2016 fram ei mogelegheitsstudie for fullskala CO₂-handtering i Norge. Norcem i Brevik er eit av tre fangst-prosjekt som er inkludert i studiet (www.regjeringen.no). Føremålet med mogelegheitsstudiet er å vise minst ein teknisk gjennomførbar fullskala CO₂-handteringskjede med estimat for kostnader. Ei slik kjede omfattar fangst, transport og lagring av CO₂. Norcem sin visjon er null utslepp av CO₂ frå betongprodukt sett over livsløpsperspektivet, i år 2030. Norcem må klare å fange CO₂ frå sementproduksjonen for å oppnå denne visjonen.

For eksempel har sementproduksjonen til Norcem i Brevik eit utslipp på 763 000 tonn CO₂ (Cement Nå 2014), men bedrifta står klar til å realisere fangst og lagring (Carbon Capture and Storage, CCS) av CO₂ dersom rammevilkåra er tilstades. Dersom dette kan sette ein ny standard for framtidens sementproduksjon i verda, vil reduksjonspotensialet utgjere over 1 milliard tonn – altså 20 gonger samla utslepp i Noreg. Dei to andre prosjekta er Yara Porsgrunn og Klemetsrud forbrenningsomn. Dei aktuelle fangstprosjekta er planlagt med felles infrastruktur

og med permanent lagringsstad som er stort nok til også å ta imot CO₂ frå framtidige fangstprosjekt i Europa.

Det siste punktet handlar om å finne metodar for mindre sementmengde i betongblandinga. Det vert arbeidd både med å utvikle tilsetningsstoff som kan blandast i betongen, og med å finne metodar for å male sementen finare slik at hydratiseringen vert meir effektiv. Begge deler vil føre til at sementforbruket per kubikkmeter betong kan reduserast. Norcem har gjort ulike forsøk på nye innovative sementtypar, og ved eksempelvis å erstatte karbonintensive klinker med flyveoske, slagg, kalkholdig leire eller brent skifer reduserer dei karbonavtrykket betydeleg i det endelege produktet (HeidelbergCement Northern 2012/13). Såleis er denne prosessen nær produksjon av geopolymerbetong, men vert avgrensa av dagens standard for bruk av betong.

Caset om å produsere geopolymerbetong i er i hovudsak det alternativtiltaket som vert utdjupa i det vidare.

4.4 Identifisere-, talfeste- og verdsette verknader

Verdsettingsbegrepet er at noko har ein verdi og er uttrykk for at einskildmenneskje, grupper, eller samfunn etterspør dette "noko" innanfor eit aktuelt tidsrom. Verdsetting vert påverka av strøymingar i tida, og kan ikkje verte angitt som ein objektiv storleik (Miljødirektoratet 2014). Det er viktig at verdsetting er etterprøvbart, og såles bør det gjerast greie for kva vurderingar og kriterium som er lagt til grunn.

I denne arbeidsfasa skal alle vesentlege verknader av nullalternativet og relevante tiltak beskrivast. Når verknader er kartlagt vert neste steg å talfeste og verdsette desse verknadene.

Dei verknadene som kjem uansett kva tiltak som vert sett i verk er ikkje naudsynte å talfeste. Verknadane skal verdsetjast i kroner så langt det er mogeleg. Der dette ikkje er mogeleg eller hensiktsmessig vert ein kvalitativ diskusjon av verknadene gjennomført (Finansdepartementet, 2014b). Eksempelvis når det gjeld klima- og

miljøverknader så nytter vi fysiske storleikar som å måle CO₂- ekvivalentar i staden for å setje ein pris på effekt. Dette vert gjort gjennomgåande i dette caset.

Det som må verdsetjast i dette caset er 1) redusert CO₂ frå geopolymertong samanlikna med tradisjonell betong og 2) verdien av å bruke avfall som råvare i staden for at avfall vert lagt på eksisterande deponi eller i det nye deponiet i Førdefjorden.

Inngrep og bruk av naturen har som regel ikkje ein pris for brukaren. Når ein innsatsfaktor eller eit konsumgode/teneste er gratis, kan det føra til overforbruk, negative eksterne kostnader og eit samfunnsøkonomisk tap. Dei samfunnsøkonomiske kostnadene ved tap av naturområde og biologisk mangfald er vanskelige å talfeste, og det er berre nokre få kostnadsanslag for Noreg (NOU 2015). At verdsetting av tenestene er vanskelig å anslå, bidrar truleg til at verdien av for eksempel urørt natur og biologisk mangfald vert undervurdert .

Bruk av naturen vert i hovudsak regulert gjennom plan- og bygningslova, naturmangfaldlova og sektorlovgjevnad som energilova, vassdragsreguleringslova, minerallova, akvakulturlova mv. Naturmangfaldlova gjeld for alle sektorar som forvaltar naturmangfaldet eller slutningar som påverkar eller regulerer norsk natur.

Dei neste delavsnitta skal sjå på CO₂-utslepp ved produksjon og frakt av betong, samt deponi.

4.4.1 CO₂-forbruk ved transport til fabrikk

Et vogntog slepp ut om lag 41 gram CO₂ pr tonn last pr km. Dette talet er henta ut som eit gjennomsnitt frå at eit vogntog som køyrde 688 km slepp ut 27,9 kg CO₂ pr tonn last (Samferdsel 2007). Tilsvarande utrekning frå same kjelde svarar til at eit kystgodsskip slepp ut 28 gram CO₂ pr tonn last pr km.

Eit lasteskip kan frakte opptil 35 000 tonn masse samstundes (Larvikhavn 2014), i motsetning til eit vogntog som kan ta om lag 25 tonn (Royaltransport 2017). Eitt skip kan difor frakte like mykje masse som inntil 1400 lastebilar.

Geopolymerbetong består av om lag 70 prosent sand og stein, og om lag 30 prosent slagg og flygeoske (Myrdal 2015). For å lage eitt tonn geopolymerbetong så må det vere tilgong til om lag 300 kg slagg og flygeoske. Med utgangspunkt i at ein fabrikk for geopolymerbetong vert lagt ved Engebøfjellet i Førde, så vil transportkostnader og ekstra CO₂-utslepp for sand og stein verte minimale. Slagg og flygeoske må derimot transporterast dit for produksjon.

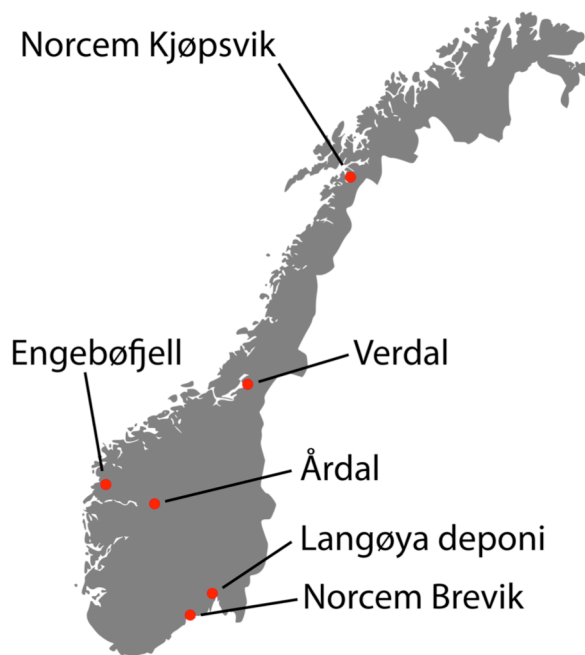
Total mengde slagg og flygeoske o.l. i Noreg var i år 2014 om lag 185 000 tonn (M-551 2016). I tillegg kom 213 000 tonn frå utlandet, hovudsakeleg Sverige og Danmark (Miljødirektoratet 2016). Store deler av dette går til Langøya i Oslofjorden. Frå Langøya til Engebø ved Førde er det om lag 775 km sjøvegen. Frakt av eitt tonn flygeoske frå Langøya til Engebø vil dermed sleppe ut om lag 21,7 kg CO₂ (775 km*28gr).

Norcem i Brevik har fram til no henta ut kalkstein til bruk i sementproduksjon frå eigne gruver i nærleiken av fabrikk. Desse gruvane går mot slutten, og større volum med kalkstein vil framover verte levert med båt frå andre stader i Noreg, eksempelvis frå Verdal i Nord-Trøndelag (Norcem 2015). Frå rundt år 2020 skal Norcem hente ut om lag to mill. tonn kalkstein pr. år frå Verdal (Verdalskalk 2017). Dette er ein distanse på om lag 1150 km sjøvegen, og vil gje eit CO₂-utslepp på 32,2 kg pr. tonn (1150 km*28 gr), eller tilsvarande 64 400 tonn CO₂ pr. år.

Vanleg betong består av om lag 15 prosent sement, medan geopolymerbetong består av om lag 30 prosent bindemiddel. Ergo må det transporterast om lag dobbelt så mykje flygeoske som det vert transportert kalkstein for å produsera eitt tonn ferdig betong. I CO₂-utslepp vert det frå Langøya til Førde 6,51 kg CO₂ (21,7kg*0,3) for å frakte nok flygeoske til å produsere eitt tonn ferdig geopolymerbetong. Tilsvarande for kalkstein frå Verdal til Brevik vert det sleppt ut 4,83 kg CO₂ pr. tonn ferdig tradisjonell betong (32,2 kg*0,15). CO₂-utslepp for

transport av råvarer til fabrikk vil dermed verte høgare pr. tonn ferdig betong for ein fabrikk ved Førde, om flygeoske må transporterast distansen tilsvarande frå Langøya. Om flygeoske kan hentast direkte frå andre meir nærliggande stader, som eksempelvis Hydro sitt anlegg i Årdal, vil CO₂-utsleppet for transport av råvarer til Førde verte tilsvarande likt eller lågare. Frå Årdal til Førde er det 230 km til sjøs, medan distansen frå Langøya til Førde er på 775 km. CO₂-utsleppet for frakt frå Årdal vil dermed verte 6,4 kg pr. tonn flygeoske. Sidan det kun er 30 prosent flygeoske i geopolymertbetong så vil utsleppet ved frakt tilsvara $(6,4 \cdot 30)$ 1,92 kg CO₂ pr. tonn ferdig geopolymertbetong.

Altså vert det lågare CO₂-utslepp ved å frakte flygeoske frå Årdal til Førde, enn å frakte Kalkstein frå Verdalen til Breivik.



Figur 1: Kart over stadar

CL har også poengtert at det finaste støvet på mindre enn 150 mikron frå gruvedrift i Engebøfjellet vil kunne fungere som bindemiddel, og at dette vil kunne utgjere 15-25 prosent av ferdig geopolymertbetong. CL slår fast at påstanden ikkje er testa vitskapeleg enno, men at det er ei hypotese i fagmiljøet. Dersom dette er mogleg vil produksjon av geopolymertbetong med gruveslagg frå Engebøfjellet kunne produserast med lik eller lågare mengd bindemiddel enn tradisjonell betong. I så fall vil også kostnader for transport av flygeoske minst halverast

pr. tonn ferdig geopolymertbetong. Igjen fører dette til at trongen for flygeoske vert redusert. Ettersom dette er kun ein påstand, så er dei vidare utrekningane gjort med utgangspunkt i at det må vere 30 prosent bindemiddel i geopolymertbetong

som må fraktast til fabrikk, og ikkje kunne hentast ut frå avfallsmassane i Engebøfjellet.

4.4.2 CO2-utslepp ved frakt frå fabrikk

Utgangspunktet er at frakt av ferdig betong frå respektive fabrikkar og ut til staden den skal nyttast vil vere tilsvarande likt pr. tonn uavhengig av betongtype. Dersom forbruket av ferdigbetong på Vestlandet kan verte erstatta med ferdig geopolymerbetong frå ein geopolymfabrikk i Førde, kan deler av CO2-utsleppet nasjonalt verte redusert grunna reduserte frakteavstandar.

Mykje av dagens forbruk av betong er basert på sement som vert blanda til betong på staden den skal nyttast. Sidan sement kun er 15 prosent av bestanddelen i ferdig Portland Sement betong, kan transportkostnadane for transport til forbrukar reduserast med inntil 85 prosent om tilslag er tilgjengeleg på lokasjon. I geopolymerbetong er bindemiddelet om lag 30 prosent, og det må dermed fraktast meir av geopolymmer til staden det skal nyttast, og dermed vil geopolymerbetong krevje meir CO2 i frakt enn tradisjonell betong. Dette føreset og at det er mogeleg å blande ferdig geopolymerbetong med tilslag på gitt stad der betongen skal nyttast, på lik linje slik det fungerer med tradisjonell betong med blanding av sement og tilslag. Om geopolymerbetong kun kan produserast ferdig på fabrikk, vil CO2-utslipp ved transport frå fabrikk verte langt høgare. Det er dermed viktig at geopolymmer også vert produsert med tanke på at blanding skal skje der den skal nyttast.

Det må også reknast på at all ferdig betong må fraktast, enten som ferdigbetong eller som sement/bindemiddel. Ved frakt av bindemiddel for geopolymerbetong må det fraktast dobbelt så mykje bindemiddel som sement for 1 tonn ferdig betong. Skal geopolymerbetong produsert i Førde bruke tilslag frå Engebøfjellet, vil all frakt derifrå omfatte kun ferdig betong. Såleis vert begge desse utgangspunkta vurdert i det vidare, medan vanleg betong vert frakta som sement. Snittavstanden er ein avstand som tilsvarar litt under avstanden Førde-Oslo med båt.

Eit anna reknestykke som også er interessant å vurdere er om CL skal ha like stor produksjon som Norcem og dermed produsere 10 mill tonn i Førdeområdet, eller om dei først og fremst skal forsyne Vestlandet og produsere inntil halvparten av det Norcem produserer, som dermed er om lag like mykje som Norcem produserer pr. fabrikk.

Dei eksterne marginale kostnadane knytt til ulukker, kø, støy og vegslitasje er først og fremst avhengig av køyrelengde og ikkje forbruk av drivstoff. Drivstoffavgifta skal ideelt sett ta høgde for denne kostnaden, men klarer ikkje å internalisere dei eksterne kostnadane til dette i praksis (TOI 2010). Kostnader knytt til ulukker, kø, støy og vegslitasje vert ikkje tatt omsyn til i det vidare. Dette fordi Portland Sement nyttar mykje skipsfart, noko som også ein eventuell geopolymerbetongfabrikk skal gjere. I høve frakt til forbrukar kan det i større grad verte bruk av vegtrafikk, men ettersom geopolymerbetong vert ein erstatning for portland sement betong, vil trafikkmengda verte relativt uendra.

4.4.3 CO₂-utslepp ved produksjon av sement

Det er to kjelder til CO₂-utslepp ved produksjon av sement. Det første er at kalkstein inneheld tilnærma 60 prosent CO₂ som vert frigjort når kalkstein vert knust og brunne. Denne prosessen utgjer om lag to tredjedelar av utsleppet. Den andre og siste tredjedelen er at brenning krev høge temperaturar, og det har vore vanleg å fyre omnane med kol. Ved å fyre med meir CO₂-nøytralt brennstoff som eksempelvis pellets og avfall kan dette utsleppet reduserast (Climit 2016).

CO₂-frigjering ved brenning av kalkstein er dermed tilnærma 600 kg CO₂ pr. tonn kalkstein. Om Norcem i år 2020 skal bruke 2 mill. tonn kalkstein frå Verdal, vil det tilsvare eit utslepp på 1,2 mill. tonn CO₂ pr. år. I tillegg kjem 0,6 mill. tonn CO₂ frå brennstoffet i omnane, men dette kan reduserast ved å nytte meir CO₂-nøytralt brennstoff. Slik produksjonen er i dag blir det sleppt ut 900 kg CO₂ pr tonn ferdig sement.

Sidan det er 15 prosent sement i eitt tonn ferdig betong, og dersom ikkje blandinga med 85 prosent sand og stein gjev ekstra CO₂-utslepp, så vil eitt tonn ferdig betong

totalt gje eit utslepp på 15 prosent av 900 kg som er 135 kg CO₂. Det som eventuelt kan gje ekstra CO₂ kostnader er sprenginga og knusinga av stein der dette blir henta ut, men CO₂ frå denne aktiviteten er ikkje med i det vidare rekneskapet.

Geopolymerbetong slepp ikkje ut CO₂ under sjølve produksjonen slik som brenning av kalkstein gjer, og dermed er det ein reduksjon i CO₂-utslepp i forhold til tradisjonell sement. Såleis er dei 600 kg med CO₂ som kalkstein slepp ut pr tonn allereie eliminert. Geopolymerbetong krev også oppvarming for herding, men ikkje på langt nær same temperatur som for brenning av kalkstein. Såleis kan også mykje av CO₂-utsleppet til brenselet eliminerast. Abeer Humad ved Universitetet i Luleå stadfestar at produksjon av geopolymerbetong kan gje 80 prosent lågare CO₂-utslipp (LTU 2016). Dette vil seie ein reduksjon på 108 kg CO₂ pr. tonn ferdig betong, frå 135 kg CO₂ pr. tonn ferdig tradisjonell betong til 27 kg CO₂ pr. tonn ferdig geopolymerbetong.

Den totale produksjonen av betong i Noreg er på om lag 10 mill tonn. Om all denne produksjonen kan erstattast med geopolymerbetong, vil det kunne gje ein årleg CO₂-reduksjon på 1,08 mill tonn CO₂ (108 kg * 10 mill tonn)

4.4.4 Oppsummering totale CO₂-utslepp

I oppsummeringa av totale CO₂ utslepp vert det tatt nokre føresetnader som er merka av i tabell 2. Desse er:

- 1) Om lag all betong ved Norcem Brevik vil bli produsert av kalkstein frå Verdal (1150km * 28g * 0,15)
- 2) Flygeoske kan hentast fleire plassar. I oppsummeringa er Langøya nytta som ein snittverdi for frakteavstand i Noreg og Europa (775km * 28g * 0,3).
- 3) Tabellen tek utgangspunkt i at all ferdig betong må fraktast som ferdigbetong eller som sement/bindemiddel. Ved frakt av bindemiddel for geopolymerbetong må det fraktast dobbelt så mykje bindemiddel som sement for 1 tonn ferdig betong. Skal geopolymerbetong produsert i Førde bruke tilslag frå Engebøfjellet, vil all frakt derifrå omfatte kun ferdig betong. Tek difor utgangspunkt i denne tabellen at geopolymerbetong fraktast frå Førde enten som ferdig betong eller kun som bindemiddel, medan vanleg betong vert frakta til forbrukar som sement.

Snittavstand er ein avstand som tilsvarar litt under avstanden Førde-Oslo med båt. Om fabrikk i Førde ser i hovudsak føre seg å berre forsyne Vestlandet med betong, kan tala for transport frå Førde bortimot halverast. Dette vil då medføre at tala for transport av vanleg betong også vil bli noko redusert, sidan dei ikkje treng å levere til vestlandet lenger.

4) Kalkstein slepp ut CO₂ ved brenningen. Flygeoske har ikkje CO₂-utslepp under sjølve produksjonen (600kg * 0,15).

5) Geopolymerbetong har totalt om lag 80 prosent lågare CO₂ utslepp under produksjonen (LTU 2016). Såleis er det lagt inn ein verdi på 20 prosent av totalutslepp under produksjon av sement (300kg * 0,15) og (20% av 90+45).

Tabell 1: CO₂-forbruk av tradisjonell betong og geopolymerbetong

Tal i kg CO₂ pr tonn ferdig produsert betong, geopolymerbetong frakta til forbrukar som ferdig betong, og geopolymerbetong frakta til forbruker som kun bindemiddel (slik som sement).

	Betong	GP betong	GP bindemiddel
Transport			
Frakt kalkstein frå Verdal til Brevik *1	4,83	-	-
Frakt flygeoske Langøya til Førde *2	-	6,51	6,51
Frakt til forbrukar (snittavstand 750km) *3	3,15	21	6,3
Produksjon			
Utslepp frå råvarer *4	90	0	0
Utslepp frå brensele *5	45	27	27
TOTALT	142,98	54,51	39,81

Tabellen syner at idèen til CL berre har 38 prosent av karbonavtrykket til tradisjonell betong, altså har tradisjonell betong 2,6 gonger så høgt CO₂-utslepp som geopolymerbetong. Om geopolymerbetong kan fraktast til forbrukar som bindemiddel i staden for som ferdig betong, vil tradisjonell betong ha 3,6 gonger så høgt CO₂-utslepp.

I 2015 ble det i Noreg sleppt ut klimagassar tilsvarande 53,9 mill tonn CO₂-ekvivalenter. Rein CO₂ stod for 44,7 mill tonn av dette (Klimagasser 2016). Frå utrekning i tabell 1 med produksjonen av 1 tonn tradisjonell betong så er det eit

utslepp på om lag 135 kg CO₂. Om all sement produsert i Noreg blir brukt til betong, svarar det til eit totalforbruk på om lag 10 mill tonn betong i året, noko som igjen vil gje eit totalt CO₂-utslepp på 1,35 mill tonn CO₂. Dette er 3 prosent av all CO₂ som vert sleppt ut i Noreg årleg, eller tilsvarande 2,5 prosent av Noregs klimagassar rekna om til CO₂-ekvivalenter.

Når det gjeld geopolymertbetong så syner tabell 1 at produksjon av 1 tonn geopolymertbetong slepp ut om lag 27 kg CO₂. Med eit totalforbruk på 10 mill tonn geopolymertbetong vil dette verte 0,27 mill tonn CO₂ i året, som er 20 prosent av utsleppa frå produksjonen av tradisjonell betong.

Ved også å legge til utslepp frå transport i den totale utrekninga, altså mengder CO₂ både frå transport og produksjon, som vist i tabell 2, blir utsleppet totalt 143 kg CO₂ for 1 tonn tradisjonell betong. Dette vil gje eit totalt CO₂-utslepp på 1,43 mill tonn CO₂ som igjen er 3,2 prosent av all CO₂ som vert sleppt ut i Noreg årleg, eller tilsvarande 2,7 prosent av Noregs klimagassar omregna til CO₂-ekvivalenter

Tabell 2: Årlege CO₂-utslepp

Tal i mill tonn CO₂ ved produksjon og transport av 10 mill tonn betong, geopolymertbetong, og geopolymert bindemiddel. Tala er rekna ut frå tabell 1, som er tal pr. tonn betong.

	Betong	GP betong	GP bindemiddel
Transport			
Frakt kalkstein frå Verdal til Brevik	0,0483	-	-
Frakt flygeoske Langøya til Førde	-	0,0651	0,0651
Frakt til forbrukar	0,0315	0,21	0,0630
Produksjon			
Utslepp frå råvarer	0,9	0	0
Utslepp frå brensele	0,45	0,27	0,27
TOTALT	1,43	0,55	0,40

4.4.5 Deponikostnader

Det er skilnad på kva ulike deponi tek betalt for å ta imot oske, sot og slag. I Steinkjer tek dei 1990 kr pr tonn (Steinkjer 2017), på Heggvin ved Hamar kostar det 1630 kr pr tonn (Heggvin 2016). Prisane som er oppgitt er pris som eksempel på kva deponi tek for å ta i mot avfall. I vidare avrekningar vert kr 1750 nytta som eksempelpris basert på dei to anslaga nemnt ovanfor. Det er vanskeleg å vite om deponiavgifta er lik den samfunnsøkonomiske kostnaden ved deponering, men dette vert antatt i vidare berekningar.

Frå 01.01.2015 vart sluttbehandlingsavgift for avfall historie. Denne er fjerna fordi den ikkje lengre hadde ein funksjon, grunna forbodet av 2002 mot å deponere biologisk nedbrytbart avfall. Det er ynskjeleg med ei deponiavgift som reflekterer dei faktiske miljøkostnadene ved deponering, og som dermed stimulerer til gjenvinning. Om avgifta vert for låg blir ikkje avgifta eit ynskja verkemiddel for å stimulere til gjenvinning, men dersom den vert for høg vil den fremja ineffektive løysingar. Deponering av avfall som ikkje kan handerast på annan måte må sjåast på som ein del av ei løysing og ikkje som eit problem. Motaksavgifta bør ha prisa inn både miljø- og behandlingkostnader, men dette er vanskeleg å finne eksakt informasjon om.

Ein geopolymerfabrikk vil kunne ta i mot flygeoske til ein lågare pris enn eit deponi. Dersom deponiavgifta er lik den samfunnsøkonomiske kostnaden ved deponering, er den samfunnsøkonomiske gevinsten av å ikkje deponere, men heller bruke avgangsmassane og avfallet som input hos CL lik deponiavgifta. Den samfunnsøkonomiske gevinsten er såleis ikkje avhengig av kva CL faktisk kjem til å betale.

Prisen bør vere låg nok til at dei næringar som skal kvitte seg med flygeoske, heller vil levere avfall til geopolymerfabrikken enn å levere til deponi.

Kostnaden ved frakt av avfallet vert sentralt då ein kortare avstand vil gje ein lågare kostnad for frakt, medan ein lengre avstand vil gje høgare kostnad. Det er grunn til tru at nokre næringar får kortare leveringavstand, medan andre får lengre, og at dette til ei viss grad vert utjamna.

I 2014 vart det deklarerert ei mengd på 185 000 tonn flygeoske i Noreg (M-551 2016). Det kostar om lag kr 1750 kr pr tonn som vert levert til deponi. Om dette kan leverast til fabrikk i staden for til deponi, og fabrikkjen tek same pris som deponiet vil dette utgjere 324 millionar kroner. Ein pris på 50 prosent av deponipris for levering tilsvarande 875 kr pr tonn vil vere ei innsparing på 162 millionar kroner for dei næringane som skal kvitte seg med flygeoske. I dette reknestykket vil fabrikkjen kunne tene inn 162 millionar kroner på å ta imot dette avfallet.

Langøya tek også i mot flygeoske frå andre land som Danmark og Sverige, samt at det kan vere mengder med flygeoske i Noreg som ikkje er deklarerert. Potensialet for større mengder flygeoske for større produksjon av geopolymerebetong er difor til stades.

Tabell 3: Sparde årlege deponikostnader

Kostnader ved deponering ved produksjon av 10 mill tonn ferdig betong. Verdien 10 mill tonn vert nytta fordi dette er den mengda som totalt vert produsert av ferdig betong i Noreg i dag, jf. Kap 3.1 Betongindustrien i Noreg og Verda.

	Mill tonn	Pris pr tonn for deponi	Totalpris for deponering
Flygeoske	3	1 750	5 250
Tilslag	7	0	0
TOTALT	10	1 750	5 250

Totalpris for deponering er altså kr 5,25 milliardar for total mengde råvarer som elles vert deponert. Dette er den samfunnsøkonomiske gevinsten ved heller å bruke avfallet til input til geopolymerebetong.

Det er også kostbart å deponere tilslag i Førdefjorden i form av utstyr, administrasjonskostnader og overvaking. Det skal likevel ikkje betalast ein gitt pris pr tonn for å dumpe tilslaget i fjorden, og difor vert dette ståande som kr 0 i tabellen.

I alle utrekningar er utgangspunktet at all flygeoske i Noreg kan nyttast til produksjon av geopolymerbetong, altså 185 000 tonn. Dersom dette ikkje er realistisk grunna kvalitet eller giftinnhald, kan det verte reduserte mengder ferdig geopolymerbetong. Det kan til dømes bli naudsynt å reinse mottatt flygeoske for giftstoff.

Massen som skal hentast ut fra Engebøfjellet og dumpast i Førdefjorden er berekna til 250 millionar tonn på 50 år (Fjordaksjonen 2016). Dette svarar til fem millionar tonn sand og stein pr år. Med 185 000 tonn flygeoske tilgjengelig for produksjon av geopolymerbetong (M-551 2016), og at geopolymerbetong består av 70 prosent sand og stein, vil det vere mogeleg å bruke 430.000 tonn sand og stein frå Engebøfjellet pr. år. Dette er under 10 prosent av all sand og stein som skal takast ut av fjellet årleg, og det vil derfor være nødvendig å framleis kunne nytte seg av eller deponere dei resterende 90 prosent med masse frå fjellet.

Med tilgang til meir flygeoske frå til dømes Danmark, Sverige eller andre land kan denne produksjonen aukast. I ein situasjon der all masse frå Engabøfjellet skal nyttast til geopolymerbetong vil det med 5 millionar tonn masse pr. år vere naudsynt med 2,14 mill tonn flygeoske. Dette er om lag 11,5 gonger meir flygeoske enn det som vert deklart pr. år i Noreg i dag. Dersom denne mengda flygeoske er muleg å finne i Noreg eller importere frå utlandet, kan det totalt verte produsert 7,14 mill tonn ferdig geopolymerbetong pr år.

4.4.6 Verdien av å bruke avfall som råvare

Gruvedrift i Engebøfjellet og deponi i Førdefjorden vart vurdert til å vere så stort at det utløyser krav om utarbeiding av planprogram og konsekvensutgreiing, i samsvar med §2 i forskrift om konsekvensutgreiingar etter Plan og bygningslov av 1985. Kjelstad (2015) som var tilsett som rådgjevar under prosessen skisserer at programmet og dermed krava til konsekvensutgreiingane fekk mykje av si form gjennom eit seminar i høyringsperioden, der berørde offentleg styresmakter, allmenne interesser og andre deltok. Innhaldet i planprogrammet er svært viktig for kvaliteten på konsekvensutgreiinga i denne saka.

I denne saka og denne prosessen var mange av utfordringane for kommunane knytt til utgreiinga om sjødeponiet og fagleg usemje om konsekvensane av deponering av avgangsmasse i ein nokolunde urørd fjord.

Artikkelen tek ikkje for seg alle vurderingane som kommunen har gjort, men hovudkonklusjonen er at dei samfunnsmessige positive konsekvensane samla sett overstig dei negative konsekvensane på miljø, natur og samfunn. Kommunane tydeleggjer i saksutgreiinga at dei i vurderingane har lagt vekt på at det er viktig og positivt å legge til rette for utvikling av nye arbeidsplassar som kan gje grunnlag for folketalsauke, auka skatteinngang, vekst og dermed auka velferd i lokalsamfunna og regionen. Det har også vore viktig å forhandle fram ein utbyggingsavtale for vegstrekningen frå Sæla til Engebø og elles stille nødvendige krav i reguleringsføresegner for blant anna sikring på land, både med overvaking av sprenginga sin effekt på bygningar og viltgjerde rundt industriområdet (Naustdal kommune, 2011c).

Det er ikkje sett verdi på tapet av å legge avgangsmassane i fjorden. Greaker og Hoel (2015) har sett søkelys på at Miljødirektoratet ikkje har gjort forsøk på å talfeste miljøkostnaden ved deponering i Førdefjorden. Effekt som reduserte mogelegheiter for fiskeoppdrett og tradisjonelt fiske, reduserte bestandar av villaks og tap av rekreasjonsverdiar kan verdsetjast økonomisk. Dei seier at det er utilstrekkeleg berre å slå fast at miljøulempene vert vegne opp av inntektene utan å grunnje påstanden.

For å rekne verdien av å bruke avfall som råvare bør talfesta miljøkostnader leggstil kostnadene av å hente ut tilslag som vert nytta i betong.

Eksempelvis så vert sand ved Norstones anlegg som er del av det internasjonale selskapet Heidelberg Cement Group pris til grunneigar på til kr 14,5 per tonn (NRK 2017). Etter at den er sikta ut i støypesand, som er den sanden som vert nytta i betongproduksjonen, er utsalsprisen på 112 kroner tonnet. For firma som hentar ut store mengdar sand er denne prisen noko lågare og ligg normalt på mellom 70 og 80 kroner (NRK 2017). Ved å bruke den lågaste prisen på 70 kr pr tonn sand, og

det skal vere 85 prosent tilslag i betong, så skal betong basert på portland sement ha 8,5 millionar tonn sand for å lage 10 millionar tonn betong. Dette vil dermed utgjere ein pris på 595 mill kr.

Om CL kan få sand og stein gratis frå Engebøfjellet, vil det likevel være nødvendig å reinske dette. Med ein salspris på 70 kr pr. tonn for støypesand, og at grunneigar normalt får 14,5 kr pr. tonn, kan ein rekne med at prisen for reinsking er om lag 55 kr pr. tonn etter et lite påslag før sal. Reknar derfor med at CL kan klare å reinske sanden for 50 kr pr. tonn.

Tabell 4: Årlege kostnader for tilslag

Tal i mill kr ved totalproduksjon av 10 mill tonn ferdig betong

	Betong	GP betong	GP bindemiddel
Kjøp av sand til 70 kr pr. tonn	595	0	0
Kostnad for reinsking av sand 50 kr pr. tonn	0	350	0
TOTALT	595	350	0

4.5 Vurdere samfunnsøkonomisk lønsemd

Når alle verknader er verdsette skal alle prissette kostnader og nytteeffekt av dei ulike alternativa samanliknast for å finne kva alternativ som er samfunnsøkonomiske lønsame. Dei ikkje-prissette verkandene som kan påverke lønsemd skal også vurderast i denne fasen (DFØ 2014).

I denne oppgåva skal ulike tiltak vurderast mot nullalternativet som er vanleg produksjon og bruk av betong. Såleis vil produksjon og bruk av geopolymer betong vere samfunnsøkonomisk lønsamt dersom meirnyttan ved produksjon og bruk er høgare enn meirkostnaden. Meirkostnad i dette tilfellet er kostnaden ved produksjon og bruk utover bruk av tradisjonell betong.

Sjølv om klimanytten ikkje er ein prissett nytteverknad vil den verte presentert saman med det samfunnsøkonomiske resultatet av kost-nytteanalysen. Sjølv om klimanytten ikkje er prissett er den likevel heilt sentralt i vurderinga av den samfunnsøkonomiske nytten i denne oppgåva. Andre ikkje-prissette verknader vil

verte gjennomgått separert, men også vurdert korleis dei påverkar det samfunnsøkonomiske resultatet. Dersom det er øvrige ikkje-prisessette verknader i oppgåva som ikkje er kvantifiserte vil dei verte omtala som nettopp ikkje-kvantifiserte verknader.

Tabell 5: Kostnad for årlege CO2-utslipp

Tal i mill kr ved CO2-pris på 766 kr pr tonn (jf utgreing i kap 3 om tograderspris) ved totalproduksjon av 10 mill tonn ferdig betong.

Talene er rekna ut frå verdier i Tabell 2

	Betong	GP betong	GP bindemiddel
Transport			
Frakt kalkstein frå Verdal til Brevik	37	-	-
Frakt flygeoske Langøya til Førde	-	50	50
Frakt til forbrukar	24	161	48
Produksjon			
Utslepp frå råvarer	689	0	0
Utslepp frå brensel	345	207	207
TOTALT	1 095	418	305

Transport er som beskrive tidlegare ikkje i kvotesektoren. Ein kostnadseffektiv gjennomføring av utsleppsreduksjon for å nå togradersmålet vil kunne oppnåast dersom ein prøver å ha same samfunnsøkonomiske marginalkostnad ved alle utsleppskjelder, jf diskusjon i kap. 3.6 CO2-prisar, og ikkje berre på utslepp i kvotepliktig sektor. I prinsippet vil dette langt på veg kunne oppnåast dersom den same banen for karbonpris blir lagt til grunn for alle beslutningar som påverkar verdas utslepp. Såles vert transport inkludert i CO2-prisen for å nå togradersmålet.

Ved å nytte CO2-prisen for togradersmålet i 2030, så vil bruk av kun Geopolymerbetong gje ei reduksjon på 677 mill kr samanlikna med Portland sement betong. Om geopolymerbetong kan fraktast til forbrukar kun som bindemiddel, gjev det ei reduksjon på heile 790 mill kr.

Klimanytten vil i hovudsak kome i Noreg. Dvs den nye geopolymerproduksjonen vil skje i Førde, og dei vil ta nærtliggende marknader først.

4.5.1 Usikkerheit

Den viktigaste årsaken til usikkerheit er kunnskapsmanglar om verdiane, måten tiltaket påverker delområda på (omfanget) og utforming/lokalisering av tiltaket. Usikkerheit i verdi og/eller omfangsvurdering følgjer med til konsekvensvurderingar. Eventuelle beslutningsrelevante kunnskapshol knytt til eit alternativ skal omtalast.

Ved gjennomføring av samfunnsøkonomiske analysar vil det alltid vere behov for å foreinkle. Informasjon som vert henta inn kan og vere bygd på grove vurderingar og estimat. Det er gjerne også naudsynt å legge til grunn informasjon frå aktørar som har insentiv til å svare strategisk. Denne analysen er ikkje eit unntak. Grove estimat og informasjon frå sendarar med ulike interesser gjev ulik vinkling på data, eksempelvis data frå Naturvernforbundet og Norsk Bergindustri konkluderer heilt forskjellig i høve klimakonsekvensar av fjorddeponi. For å ta best mogeleg omsyn til dette er informasjon i denne oppgåva henta frå fleire ulike aktørar med ulike interesser knytt til caset.

4.6 Gjennomføre sensitivitets- og usikkerheitsanalyse

Føremålet med denne fasen er å utføre ei analyse av korleis kritiske usikkerheitsfaktorar kan påverke tiltakets lønsemd (DFØ, 2014). Analysen er todelt; først vert ei sensitivitetsanalyse gjennomført for å kartlegge faktorar som har størst påverknad på det totale samfunnsøkonomiske rekneskapet. Deretter skal det gjennomførast ei usikkerheitsanalyse med fokus på storleiken på usikkerheita knytt til dei utslagsgjevande faktorane. Tyngda i analysen vert på dei faktorane som påverkar lønsemda i negativ retning. Usikkerheit knytt til ikkje-prisette verknader av vesentleg storleik skal og inngå i analysen.

Dersom Norcem lukkast med alternativa for reduksjon av CO₂-utslepp som ved reinseanlegg for CO₂, så vil CO₂ differansen mellom dei to betongsortane endre seg. Norcem har eksempelvis hittil klart å fange 40 prosent av fabrikkens sine CO₂-utslepp (Varden 2015). Om dette blir sett ut i fullskala vil det bety at utsleppet pr. tonn ferdig betong vil verte redusert med 54 kg CO₂, frå 135 kg CO₂ til 81 kg CO₂ pr. tonn ferdig betong. Dersom denne teknologien også fungerer på

geopolymerbetong vil utsleppet gå ned tilsvarende 40 prosent, altså 10,8 kg CO₂, frå 27 kg CO₂ til 16,2 kg CO₂ pr. tonn ferdig geopolymerbetong. CO₂-reinsing er kostnadskrevjande, og prisen er avhengig av kor mykje CO₂ som skal fangast, kvar den skal fangast frå og kor mange transportskip som vert naudsynt (Offshore 2016). Såleis vil det kunne vere dyrare å reinse CO₂ der det allereie er låge CO₂-verdiar. Sparte CO₂-utslepp kan dermed bety høgre reinsekostnader.

Karbonatisering av betong gjer at ferdig herda betong trekk til seg CO₂ over tid. Det er anslått at betongen trekker til seg minst 15 prosent av CO₂ som kalksteinen gav frå seg under brenning (Forskning 2016). Dette tilsvorar 13,5 kg CO₂ pr. tonn betong. Det er usikkert om geopolymerbetong også trekker til seg CO₂. Dette er det ikkje funne bevis på, men som tidlegare beskrive er det kjelder som syner til at sjølve karbonatiseringa også finn stad i geopolymerbetong. Vi ser dermed vekk frå at karbonatisering av geopolymerbetong tek opp i seg CO₂.

Det totale CO₂-rekneskapet for betongproduksjon vil då få reduserte utsleppsverdiar som vist i tabellen under.

Tabell 6: Totalt CO₂-utslepp over tid ved produksjon av betong

Tal i kg CO₂ pr. tonn ferdig betong

	Betong	Geopolymerbetong
Utslepp frå råvarer	90	0
Utslepp frå brensel	45	27
Rensing og fanging av CO ₂	-54	-10,8
Karbonatisering	-13,5	
TOTALT	67,5	16,2

For 10 mill tonn betong vert det 675 000 tonn CO₂ for vanleg betong, og 162 000 kg for geopolymerbetong.

For vanleg betong tilsvorar dette ein utsleppspris på (675 000*766) 517 mill kroner og for geopolymerbetong vert det (162 000*766) 124 mill kroner.

Vi har dermed ein samfunnsøkonomisk besparelse på 393 mill kroner ved bruk av geopolymerbetong framfor betong av portland sement.

4.7 Beskrive fordelingsverknader

Sjølv om eit tiltak er samfunnsøkonomisk lønsamt er det ikkje nødvendigvis slik at alle aktørar kjem betre ut. Kompenserande aktivitetar må vurderast dersom fordelingsverknaden går i ein negativ retning for utsette samfunnsgrupper. Såleis er det viktig å kartlegge dei aktørane som tener og tapar på tiltaka. Ei kartlegging av fordelingsverknadene skal ikkje inngå i kost-nytte-analysen, men vurderast som eit tillegg til analysen (Finansdepartementet, 2014b).

I Finansdepartementets rundskriv R-109-204 (2014b) vert det diskutert at fordelingsverknader berre skal utgreiast dersom det er relevant. Vidare skal fordelingsverknadene beskrivast og kartleggast for særleg påverka grupper (DFØ, 2014). Aktørar som vil tape pengar på dette tiltaket er Norcem med leverandørar som produserer portland sement i dag, og som vil få redusert etterspørsel av sine produkt ved oppstart av ny betongfabrikk. CL med investorar og samarbeidspartnarar vil kunne ha ein økonomisk fordel av å realisere idèen. Ein geopolymerfabrikk som bidreg til at avgangsmassane til gruvedrifta i Engebøfjellet ikkje hamnar i fjorden vil også bidra til positive gevinstar for lokalbefolkninga i høve støv og forureining, men også eventuelle næringar innan havbruk og fiskeri som er avhengig av ein frisk fjord vil ha ein positiv fordel av at avfallet frå Engebøfjellet kan brukast i ein fabrikk framfor å verte dumpa i fjorden.

Vurderinga er at prosjektet ikkje medfører store fordelingsverknader, og ingen einskilde grupper vert påverka i særleg negativ grad. Jamfør Finansdepartementets rundskriv (2014b) vert såleis ikkje fordelingsverknader inkludert i oppgåva utover denne omtalen.

Dette tiltaket er også mest relevante i høve offentlege prosjekt, og er såleis ikkje like relevant i denne studien.

4.8 Samla vurdering av tiltaket

Den samla vurderinga av tiltaket skal baserast på resultatet frå kost-nytte analysen, ikkje-prissette verknader (ikkje-kvantiserte verknader), samt usikkerhet knytt til

resultata. Der det er relevant skal det som eit tillegg inkluderast ei vurdering av fordelingsverknadene (Finansdepartementet, 2014b).

Geopolymerbetong samanlikna med tradisjonell betong gjev mindre CO₂-utslepp. Idèen til CL har kun 38 prosent av karbonavtrykket til tradisjonell betong, altså har tradisjonell betong 2,6 gonger så høgt CO₂-utslepp som geopolymerbetong. Dersom geopolymerbetong kan fraktast til forbrukar som bindemiddel i staden for som ferdig betong, vil tradisjonell betong ha 3,6 gonger så høgt CO₂-utslepp som geopolymerbetong (tabell 2).

Ut frå at det totale forbruket av betong er 10 millionar tonn årleg i Noreg, tilsvarar bruk av kun geopolymerbetong ein CO₂ reduksjon på 677 mill kr samanlikna med portland sement betong (tabell 4). Om geopolymerbetong kan fraktast til forbrukar som bindemiddel, gjev det ei reduksjon på heile 790 mill kr i CO₂-kostnader.

Geopolymer får bindemiddel til betongen frå flygeoske som kan hentast frå deponi. Bindemiddelet er 30 prosent av den totale mengde geopolymerbetong, og prisen for å legge dette på deponi er 5,25 milliardar kr. Dette kan CL ta i mot til same prisen, eller redusert pris. Vanleg betong laga frå sement hentar ut bindemiddel frå kalksteinsgruver, og kostnaden knytta til dette er ikkje diskutert i oppgåva. Det er vanskeleg å finne gode eksempel på pris på kalk, men eksempelvis har grunneigar ved Brønnøy Kalk fått kr 2 pr tonn kalk henta ut frå gruva (Banett 2014). Denne kostnaden er ikkje tatt med i dei ulike beregningane, men konklusjonen er at for betong av portland sement så er det kostnad ved å hente ut råvarer både i å gjere jobben samt også ein betaling til grunneigar. Geopolymerbetong derimot, vil få råvarene sine gratis, kanskje også betalt for å ta i mot desse, men vil få ein kostnad til reins av flygeoske og avfallsmassar.

I tillegg kjem også gevinsten ved å bruke avfallsmassar frå Engebøfjellet som CL kan få levert gratis, eller til og med få betalt for å ta i mot. Utrekningane syner at vanleg betong må betale 595 millionar kroner for kjøp av sand, medan geopolymerbetong kan klare seg med ein reinsekostnad på 350 millionar kr. Kostnaden av skaden frå deponering i fjord er ikkje sett pris på, men det er utan tvil uheldige konsekvensar

knytt til deponering i fjord i høve effektar som reduserte mogelegheiter for fiskeoppdrett og tradisjonelt fiske, reduserte bestandar av vill-laks og tap av rekreasjonsverdiar som også kan verdsettas økonomisk.

4.8.1 Innhenting av data, kjelder

Ved gjennomføring av samfunnsøkonomiske analysar vil det alltid vere behov for å foreinkle. Informasjon som vert henta inn kan og vere bygd på grove vurderingar og estimat. Det er gjerne også naudsynt å legge til grunn informasjon frå aktørar som har insentiv til å svare strategisk. Denne analysen er ikkje eit unntak. For å ta best mogeleg omsyn til dette er informasjon i denne oppgåva henta frå fleire ulike aktørar med ulike interesser knytt til eventuell produksjon av geopolymerbetong.

4.8.2 Validitet og reliabilitet

Validitet avgjer i kva grad slutningane frå oppgåva er gyldige. Reliabilitet er knytt til konsistens eller stabilitet i målingar. Reliabiliteten til oppgåva er god, og det er ikkje funne kjelder som går i mot utrekningar i denne oppgåva. Dette gjer også validiteten god.

4.8.3 Andre vurderingar

I høve kostnadstal så er det fornuftig å prisjustere dei til 2016-tal. Til dette vert det nytta KPI indeksen som slår fast gjennomsnittleg inflasjonsrate på 2 prosent siste 10 åra (SSB, 2016b). Å bruke KPI som mål på prisstigning er i tråd med vurderingar frå Finansdepartementet (2014b). Denne analysen opererer kun med kostnadstal frå 2016 der ikkje noko anna er oppgitt.

Finansdepartementet (2014b) har vedtatt at det skal nyttast ei kalkulasjonsrente på 4 prosent ved samfunnsøkonomiske vurderingar av ulike investeringstiltak med levetid på 0-40 år. Det har vore forslag om å nytte ei lågare kalkulasjonsrente for investering i miljøtiltak (NOU 2012:68), men det er ingen konsensus på området. Såleis vil ei kalkulasjonsrente på 4 prosent vere fornuftig å bruke på investeringar.

I denne analysen vert kun effektar for eitt år granska, og såleis er det ikkje relevant å inkludere kalkulasjonsrenter.

5 Oppsummering og konklusjon

Oppgåva vurderer om produksjon og bruk av geopolymertbetong er samfunnsøkonomisk lønsamt. I analysen er vesentlege kostnad- og nytteverknader for betong av portland sement og alternativscenarioet som er geopolymertbetong kartlagt og samanlikna. Resultatet viser at geopolymertbetong er samfunnsøkonomisk lønsamt.

Analysen vurderer prissatt og ikkje-prissatt nytte (fordeler) og kostnader (ulemper) ved bruk av geopolymertbetong. Geopolymertbetong er samfunnsøkonomisk lønsamt når summen av prissette og ikkje-prissette fordeler er større enn summen av prissette og ikkje-prissette kostnader (ulemper).

Dei store skilnadane til CO₂-utslepp skyldast i hovudsak at produksjonen av portland sement gjev mykje CO₂-utslepp. Det er to kjelder til CO₂-utslepp ved produksjon av sement. Det første er at kalkstein inneheld tilnærma 60 prosent CO₂ som vert frigjort når kalkstein vert knust og brunne. Denne prosessen utgjer om lag to tredjedelar av utsleppet. Den andre og siste tredjedelen er at brenning krev høge temperaturar, og det har vore vanleg å fyre omnane med kol. Geopolymertbetong slepp ikkje ut CO₂ under sjølve produksjonen på same måten som brenning av kalkstein gjer, og dermed er det ein reduksjon i CO₂-utslepp i forhold til tradisjonell sement.

Identifiserte og relevante alternativtiltak for å redusere CO₂ i betong er mange. Energieffektivisering, auka CO₂-opptak, fangst, lagring og gjenbruk samt reduksjon av mengde sement i betong er på forsøksstadia. Dersom alle metodane lukkast kan tradisjonell betong få låge utslepp. Dette er likevel fram i tid i høve teknologi for storskalatesting, men prøveforsøka er positive.

I alternativscenarioet er det diskutert spesielt det å produsere geopolymertbetong med råstoff frå avgangsmassane som elles er bestemt skal gå i Førdefjorden, og caset vurderer CO₂ knytt til frakt av råstoff og ferdig betong ved ein fabrikk i Førde-området.

Det er vanskeleg å anslå kor store mengder geopolymertong CL kan produsere. I denne oppgåva vert det teke høgde for at det er mogeleg å produsere geopolymertong til å overta den norske marknaden sitt behov for betong, altså 10 mill. tonn. Frå Årdal til Førde er det 230 km til sjøs, medan distansen frå Langøya til Førde er på 775 km. CO₂-utsleppet for frakt frå Årdal vil dermed verte 6,4 kg CO₂ pr. tonn flygeoske. Sidan det er 30 prosent flygeoske i geopolymertong så vil utsleppet ved frakt tilsvare $(6,4 \cdot 0,30)$ 1,92 kg CO₂ pr. tonn ferdig geopolymertong. Altså vert det lågare CO₂-utslepp ved å frakte flygeoske frå Årdal til Førde, enn å frakte Kalkstein frå Verdal til Breivik, som er Norcem sin situasjon.

Oppgåva tek utgangspunkt i at betong må fraktast som ferdigbetong eller som sement/bindemiddel ut frå fabrikk. Ved frakt av bindemiddel for geopolymertong må det fraktast dobbelt så mykje bindemiddel samanlikna med sement pr. tonn ferdig betong. Skal geopolymertong produsert i Førde bruke tilslag frå Engebøfjellet, vil all frakt derifrå omfatte kun ferdig betong. Om fabrikk i Førde i hovudsak ser føre seg å berre forsyne Vestlandet med betong, eller om dei skal satse på å overta alle marknadsdeler for ferdig produsert betong vil det bety ulike mengder CO₂ knytt til transport.

CO₂-utslepp frå transport og produksjon gjev utslepp på totalt 143 kg CO₂ for 1 tonn tradisjonell betong. Dette vil gje eit totalt CO₂-utslepp på 1,43 mill tonn CO₂ som igjen er 3,2 prosent av all CO₂ som vert sleppt ut i Noreg årleg, eller tilsvarende 2,7 prosent av Noregs klimagassar omrekna til CO₂-ekvivalenter.

Transport er ikkje i kvotesektoren. Ein kostnadseffektiv gjennomføring av utsleppsreduksjon for å nå togradersmålet vil kunne oppnåast dersom verda prøver å ha same samfunnsøkonomiske marginalkostnad ved alle utsleppskjelder. Ved å nytte CO₂-prisen for togradersmålet i 2030, så vil bruk av kun geopolymertong gje ei reduksjon på 677 mill kr samanlikna med Portland sement betong. Om geopolymertong kan fraktast til forbrukar som bindemiddel, gjev det ei reduksjon på heile 790 mill kr.

For vanleg betong er det knytt utgifter både til klinker og tilslag. For geopolymertbetong vil både bindemiddelet og tilslaget vere basert på råstoff som elles går til deponi, og dei vil dermed motta dette til same prisen som deponi elles får dette for. Totalpris for deponering av flygeoske er kr 5,25 milliardar for total mengde råvarer som elles vert deponert. Dette er den samfunnsøkonomiske gevinsten ved å heller bruke avfallet til input til geopolymertbetong.

Miljødepartementet som har godkjent deponisøknaden til Nordic Mining har ikkje sett verdi på tapet av å legge avgangsmassane i Førdefjorden. Det er mykje kritikk kring sjødeponi i Noreg, og Miljødepartementet burde ha forsøkt å talfeste denne miljøkostnaden. Effekt som reduserte mogelegheiter for fiskeoppdrett og tradisjonelt fiske, reduserte bestandar av vill-laks og tap av rekreasjonsverdiar kan verdsetjast økonomisk. Det er utilstrekkeleg å berre slå fast at miljøulempene vert vegne opp av inntektene utan å grunngje påstanden.

Privatøkonomisk er det ein gevinst for CL å motta avfall til same pris som elles ville vorte brukt på å legge avgangsmassane i deponi. Andre privatøkonomiske vurderingar er om geopolymertbetong påverkar utsleppet i Noreg eller utlandet. Kvotesystemet eksisterer i EU, men ikkje i Kina, og dermed er ikkje utslepp i Kina regulert, og dei har dermed ikkje kostnad for CO₂-utslepp. Analysen går ikkje inn på denne problemstillinga, men går ut frå at geopolymertfabrikken først dekkjer dei nære marknader, og kan bidra til å sette den nye betongen og ny teknologi på verdskartet.

Den viktigaste årsaken til usikkerheit i analysen er kunnskapsmanglar om verdiane, måten tiltaket påverkar delområda på (omfanget) og utforming/lokalisering av tiltaket. Usikkerheit i verdi og/eller omfangsvurdering følgjer med til konsekvensvurderingar. Eventuelle beslutningsrelevante kunnskapshol knytt til eit alternativ bør omtalast. Eit viktig kunnskapshol er om geopolymertbetong tek opp att CO₂ ved karbonatisering slik som betong av portland sement gjer. Oppgåva har teke utgangspunkt i at geopolymertbetong ikkje har denne eigenskapen, men dersom den gjer det, så vil konklusjonane vere enno meir i favør av å produsere geopolymertbetong.

Ei grundigare utredning av geopolymertong er eit interessant tema for vidare forskning, og det vil vere interessant å følgje utviklinga i geopolymertong i Noreg og gjennomføra tilsvarande analysar når produktet er kommersielt.

6 Kjelder

Banett (2014): Uenige om prisgrunnlag [Internett]. Tilgjengelig frå:
<http://www.banett.no/nyheter/article10057782.ece> Lasta ned: 23.11.2016

Betong Øst (2017): Prisliste Betong Øst [Internett]. Tilgjengelig frå:
<https://betongost.no/wp-content/uploads/2017/02/2017-Prisliste-Betong.pdf>
Lasta ned: 03.03.2017

Boardman, A.E. et al. (1996): Conceptual Foundations of Cost-Benefit Analysis. In, Cost-Benefit Analysis, Concepts and Practice. Prentice Hall. ISBN 0-13-519968-9

Borge, Lars-Erik (2016): Karbonprising i eu-bobla: før og etter Paris [Internett].
Tilgjengelig frå:
<http://www.svt.ntnu.no/iso/Lars.Borge/Karbonprising%20Samfunnsokonomien.pdf>
Lasta ned: 15.02.2017

Byggutengrenser.no (2016): Miljø mur og betong [Internett]. Tilgjengelig frå:
<http://www.byggutengrenser.no/filer/nedlasting/Miljobrosjyre.pdf> Lasta ned
12.12.2016

CarbonBrief (2016): Mapped: The countries with the highest carbon price [Internett]. Tilgjengelig frå: <https://www.carbonbrief.org/mapped-countries-with-highest-carbon-price> Lasta ned 12.11.2016

Cement Nå (2014): Norcem - Cement Nå [Internett]. Tilgjengelig frå:
http://www.norcem.no/system/files_force/assets/document/cement_naa-2014-web.pdf?download=1 Lasta ned: 24.01.2017

Cemex (2017): Cemex i Norge [Internett]. Tilgjengelig frå:
<http://www.cemex.no/cemex-profil.aspx> Lasta ned 12.11.2016

Climit 2016: Climit: Vil bli verdens reneste sementfabrikk [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.climit.no/no/infosenter/artikler/vil-bli-verdens-reneste-sementfabrikk> Lasta ned: 29.01.2017

Direktoratet for økonomistyring (DFØ) (2014): Veileder i samfunnsøkonomiske analyser [Internett]. Tilgjengelig frå: http://www.dfo.no/Documents/FOA/publikasjoner/veiledere/Veileder_i_samfunns%C3%B8konomiske_analyser_1409.pdf Lasta ned 12.12.2016

Fjordaksjonen (2016): Fjordaksjonen [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://fjordaksjonen.org/> Lasta ned: 11.11.2016

FN (2017): Dette er Parisavtalen [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.fn.no/Tema/Klima/Klimaforhandlinger/Dette-er-Paris-avtalen> Lasta ned 15.12.2016

Geoforskning (2017): 28 millioner kroner til forskning [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.geoforskning.no/nyheter/bergverk/747-28-millioner-kroner-til-forskning> Lasta ned 20.01.2016

Glasby, Tom, Day, John, Kemp, Michael og James Aldred (2013): Earth Friendly Concrete –A sustainable option for tunnels requiring high durability [Internett]. Tilgjengelig frå: http://www.wagner.com.au/media/36767/EFC_Paper_ATC2013_Print-Version.pdf Lasta ned 20.01.2017

Heggvin (2016): Heggvin Avfallsanlegg [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.hias.no/Handlers/fh.ashx?Mid1=65&FilId=1081> Lasta ned: 16.02.2017

HeidelbergCement Northern (2012/13): Bærekraftsrapport 2012/2013 [Internett]. Tilgjengelig frå:

<http://www.norcem.no/no/search?keywords=B%C3%A6rekriftsrapport+2012%2F2013> Lasta ned 20.12.2016

Heidrich, Craig, Sanjayan Jay, Berndt, Marita L. Foster, Stephen og Sagoe-Crentsil, Kwesi (2015): Pathways and barriers for acceptance and usage of geopolymers in mainstream construction [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.flyash.info/2015/189-heidrich-2015.pdf> Lasta ned 15.12.2016

Hoel, Michael og Mats Greker (2015): Ved Førdefjorden har Miljødirektoratet godtatt den billigste deponiløsningen [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.aftenposten.no/meninger/debatt/Ved-Fordefjorden-har-Miljodirektoratet-godtatt-den-billigste-deponilosningen-37472b.html> Lasta ned 22.12.2016

Høgskulen i Østfold (2015): Betong utan sement [Internett]. Tilgjengelig frå: <https://blogg.hiof.no/b15b05/files/2015/06/Pressemelding.pdf> Lasta ned 22.10.2016

Innherred (2014): Næringsavfall på gjenbrukstorg [Internett]. Tilgjengelig frå: <https://ir.nt.no/bedrift/priser-for-bedrift-ved-levering-pa-gjenbrukstorg/> Lasta ned: 16.02.2017

Kjellstad, Annlaug Helene (2015): Ny gruveverksemd? Reguleringsplan for utvinning av rutil i Engebøfjellet i Naustdal [Internett]. Tilgjengelig frå: <https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=cm#search/Annlaug.Helene.Kjelstad%40sfj.no/15a282aabfec1b0?projector=1> Lasta ned 12.10.2016

Klima- og forurensningsdirektoratet, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oljedirektoratet, Statistisk sentralbyrå og Statens vegvesen (2010): Klimakur 2020 - Tiltak og virkemidler for å nå norske klimamål mot 2020 [Internett]. Tilgjengelig fra: <http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2590/ta2590.pdf> Lasta ned 12.10.2016

Klima- og forurensningsdirektoratet (2011): Kostnader og reduksjon av klimagassutslipp gjennom verdikjeden [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2704/ta2704.pdf> Lasta ned 12.10.2016

Klima- og forurensningsdirektoratet (2010): Retningslinjer for sjødeponier [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2624/ta2624.pdf> Lasta ned 17.01.2016

Larvikhavn (2014): 35 000 tonn med stein på samme skip [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.larvik.havn.no/nyheter/35-000-tonn-med-stein-pa-samme-skip-article418-114.html> Lasta ned: 24.01.2017

Lindegaard, A., Aasrud, A., Andersen, Andresen, S. R., Asphjell, T., Backer, E. B., Birkeli, K., Ekroll, K., Frigstad, H., Gade, H., Gjerald, H., Haugland, H., Hoem, B. M., Holmengen, N., Kasin, I., Kolshus, H., Kvalevåg, M. M., Laird, H. B., Maass, C., Møyland, E., Olbergsveen, H. R., Pettersen, T. S., Ramberg, S. H., Rikheim, B., Rosland, A.; Sandgrind, S., Selboe, O. K., Skogen, S. G., Weidemann, F. & Økstad E. (2014): Kunnskapsgrunnlag for lavutslippsut-vikling: (M229/2014). Oslo: Miljødirektoratet. [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M229/M229.pdf> Lasta ned: 24.01.2017

LTU (2016): Concrete from industry waste material [Internett]. Tilgjengelig frå: <https://www.ltu.se/research/subjects/Konstruktionsteknik/Nyheter/Betong-med-industriavfall-1.159063?l=en> Lasta ned: 29.01.2017

M-551 (2016): Vurdering av egnethet for mottak, behandling og deponering av uorganisk farlig avfall – lokalitet Brevik [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M551/M551.pdf> Lasta ned: 29.01.2017

McInnis Sement (2016): The new cement company. High Standards, Customer Conscious, Ecologically Sound [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://mcinniscement.com/> Lasta ned 17.12.2016

Miljødirektoratet (2017): CO2-avgift [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.miljostatus.no/tema/klima/tiltak-klimagassutslipp/co2-avgift/> Lasta ned 19.01.2016

Miljødirektoratet (2017): Klimagassutslipp fra transport [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.miljostatus.no/tema/klima/norske-klimagassutslipp/utslipp-av-klimagasser-fra-transport/> Lasta ned 17.01.2017

Miljødirektoratet (2016): Miljøteknikk Terrateam AS søker om ny tillatelse [Internett] Tilgjengelig frå: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Horinger/Landbasert-industri/Miljoteknikk-Terrateam-AS-soker-om-ny-tillatelse-til-virksomhet-etter-forurensningsloven-2013543/> Lasta ned 12.01.2016

Miljødirektoratet (2016): Svar på oppdrag – utredning deponi for farleg avfall [Internett] Tilgjengelig frå: <http://www.miljodirektoratet.no/Global/Nyhetsbilder/Svar%20p%c3%a5%20oppdrag%20-%20utredning%20lokaliteter%20for%20deponi%20for%20farlig%20avfall.pdf> Lasta ned 12.11.2016

Miljødirektoratet (2016): Kvotesystemet [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.miljostatus.no/tema/klima/tiltak-klimagassutslipp/klimakvoter/> Lasta ned 17.10.2016

Miljødirektoratet (2016): Vurdering av egnethet for mottak, behandling og deponering av uorganisk farlig avfall – lokalitet Breivik [Internett] Tilgjengelig frå: <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M551/M551.pdf>

Lasta ned 12.01.2016

Miljødirektoratet (2015): Miljødirektoratets anbefaling om gruvedrift i Engebøfjellet [Internett]. Tilgjengeleg frå:
<http://www.miljodirektoratet.no/no/Nyheter/Nyheter/2015/April-2015/Miljodirektoratets-anbefaling-om-gruvedrift-i-Engebofjellet/> Lasta ned 12.10.2016

Miljødirektoratet (2014): Materialgjenvinning ikke påvirket av redusert forbrenningsavgift [Internett]. Tilgjengelig frå:
<http://www.miljodirektoratet.no/no/Nyheter/Nyheter/2014/Juli-2014/Materialgjenvinning-ikke-pavirket-av-reduisert-forbrenningsavgift/> Lasta ned 12.10.2016

Miljøstatus (2017): CO2-priser [Internett]. Tilgjengelig frå:
<http://www.miljostatus.no/tema/klima/tiltak-klimagassutslipp/co2-avgift/> Lasta ned 01.03.2017

Miljøstatus (2016): -Miljøinformasjon fra offentlige myndigheter [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.miljostatus.no/tema/klima/internasjonalklimapolitikk/kyotoprotokollen/> Lasta ned 12.08.2016

Miljøstatus (2014): Avfallsdeponering [Internett]. Tilgjengelig frå:
<http://www.miljostatus.no/tema/avfall/avfall-og-gjenvinning/avfallsdeponering/> Lasta ned 10.08.2016

Miljøverndepartementet (2008): Forbud mot deponering av nedbrytbart avfall (pressemelding) [Internett] Tilgjengelig frå:
<https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/forbud-mot-deponering-av-nedbrytbart-avf/id520348/> Lasta ned 12.10.2016

Myrdal, Roar (2015): Betongkjemi Bindemidler og tilsetningsstoffer til betong [Internett] Tilgjengelig frå: <http://butikk.betong.net/wp->

content/uploads/R_Myrdal__BETONGKJEMI__Stavanger_08.09.2015.pdf Lasta ned 12.10.2016

Nasvi MCM, Ranjith PG og J. Sanjayan (2010): Geopolymer as well cement and variation of its mechanical properties under different curing temperature and curing mediums [Internett]. Tilgjengelig frå: http://www.civil.mrt.ac.lk/conference/ICSECM_2011/SEC-11-61.pdf Lasta ned 01.02.2017

Naturvernforbundet (2017): Verdien av biologisk mangfold [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.teebweb.org/> Lasta ned 17.02.2016

Naturvernforbundet (2017): Sjødeponi gir stor miljøskade [Internett]. Tilgjengelig frå: <https://naturvernforbundet.no/finnmark/gruvedrift/sjodeponi-gir-stor-miljoskade-article27872-2023.html> Lasta ned 17.02.2016

Noha Brevik (2016): Flyveaske [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://brevik.noah.no/om-deponiet/flyveaske/> Lasta ned 12.01.2016

Norcem (2017): Norcem = Norsk sement [Internett]. Tilgjengelig frå <http://www.norcem.no/no> Lasta ned: 29.01.2017

Norcem (2016): Norcem klare for neste steg mot CO₂-fangst. [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.norcem.no/no/Norcem-klare-for-neste-steg-mot-co2-fangst>

Norcem (2015): Norcem: Områdeplan og konsekvensutredning [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.norcem.no/no/konsekvensutredning> Lasta ned: 29.01.2017

Norges geologiske undersøkelse (2015): Betong-bok: Gråere blir det ikke... [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.ngu.no/nyheter/betong-bok-gr%C3%A5ere-blir-det-ikke> Lasta ned 12.08.2016

Norges offentlige utredninger (NOU), Finansdepartementet (2012):
Samfunnsøkonomiske analyser [Internett]. Tilgjengelig frå:
<https://www.regjeringen.no/contentassets/5fce956d51364811b8547eebdbcde52c/no/pdfs/nou201220120016000dddpdfs.pdf>

Norges offentlige utredninger (NOU) (2015): Sett pris på miljøet, rapport fra grønn skattekommisjon [Internett]. Tilgjengelig frå:
<https://www.regjeringen.no/contentassets/38978c0304534ce6bd703c7c4cf32fc1/no/pdfs/nou201520150015000dddpdfs.pdf> Lasta ned 10.10.2016

Normet International Ltd (2015): Betongkjemi: Bindemidler og tilsetningsstoffer til betong [Internett]. Tilgjengelig frå: http://butikk.betong.net/wp-content/uploads/R_Myrdal__BETONGKJEMI__Stavanger_08.09.2015.pdf Lasta ned 01.11.2016

Norsk Betongforenings Miljøkomité (2009): CO₂-utslipp – sement og betong utfordringer og perspektiver [Internett]. Tilgjengelig frå:
http://fabeko.no/assets/CO2_rapport-2009-02.pdf. Lasta ned 10.08.2016

Norsk betongforening (2014): Rapport nr. 4: Karbonopptak i betong – En studie i CO₂ opptak i norske betongkonstruksjoner og inkludering av CO₂ opptak i miljøregnskap [Internett]. Tilgjengelig frå:
<http://www.unicon.no/media/17311-Rapport-nr-4.pdf> Lasta ned 10.08.2016

Norsk Bergindustri (2015): Fakta om sjødeponi [Internett]. Tilgjengelig frå:
<http://www.norskbergindustri.no/Baerekraft-og-HMS/Fakta-om-sjoedeponi>
Lasta ned 10.08.2016

NRK (2017): Kommunale millioner ut i sand [Internett]. Tilgjengelig frå:
<https://www.nrk.no/telemark/xl/kommunale-millioner-ut-i-sand-1.13387811>
Lasta ned 24.02.2016

Offshore (2016): Anslått pris for CO₂-rensing: 7,2-12,6 milliarder [Internett].
Tilgjengelig frå: http://offshore.no/sak/272555_anslatt-pris-for-co2-rensing-72-126-milliarder Lasta ned 01.02.2017

Regelhjelp (2017): Produksjon av glass, sement, gips, betong med mer [Internett].
Tilgjengelig frå: <http://www.regelhjelp.no/no/Etatenes-sider/miljodirektoratet/Kravlister/Produksjon-av-glass-sement-gips-betong-og-andre-ikke-metallholdige-mineralprodukter---forurensning/Kvotepliktige-CO1-utslipp-produksjon-av-glass-sement-gips-betong/?bransjeid=7971> Lasta ned 01.02.2017

Regjeringen (2016): Gode muligheter for å lykkes med CO₂-håndtering i Norge [Internett]. Tilgjengelig frå: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/gode-muligheter-for-a-lykkes-med-co2-handtering-i-norge/id2506973/> Lasta ned 01.02.2017

Royaltransport (2017): Biler og utstyr->Semier [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.royaltransport.no/?mapping=36> Lasta ned: 24.01.2017

Samferdsel (2007): Sjøtransport: Høyere fart gir betydelig utslippsøkning [Internett]. Tilgjengelig frå: <https://samferdsel.toi.no/gods/sjotransport-hoyere-fart-gir-betydelig-utslippsokning-article19391-154.html> Lasta ned: 24.01.2017

Sandmo, T. (2008): Norske utslipp av klimagasser – lite i verden, mye på hver av oss, Samfunnsspeilet [Internett]. Tilgjengelig frå: <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/179539/Kap3-Sandmo.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Lasta ned 10.08.2016

Seehusen, Joachim (2013): BETONG OG CO₂ - Betong spiser CO₂ [Internett]. Tilgjengelig frå: <https://www.tu.no/artikler/betong-spiser-co2/234261> Lasta ned 10.08.2016

Standard.no (2013): NS-EN 206:2013 om betong - med nasjonalt tillegg (NA) [Internett]. Tilgjengelig frå: <https://www.standard.no/nyheter/nyhetsarkiv/bygg-anlegg-og-eiendom/2014/ns-en-2062013-betong---na-med-nasjonalt-tillegg-na/> Lasta ned 10.08.2016

Sola Betong (2017): Prisliste Sola Betong [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.sola-betong.no/wp-content/uploads/2014/02/Prisliste-2017-Sola-Betong-AS.pdf> Lasta ned: 03.03.2017.

SNL Betong (2017): Store Norske Leksikon - Betong [Internett]. Tilgjengelig frå: <https://snl.no/betong> Lasta ned: 03.03.2017

Steinkjer (2017): Prisliste næringsavfall 2017 [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.steinkjer.kommune.no/naeringsavfall-farlig-avfall-betalingsatser-2016.5381179-74191.html> Lasta ned: 16.02.2017.

The Economics of ecosystems and biodiversity (2017): Making Nature's Values Visible [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.teebweb.org/> Lasta ned: 16.02.2017

THEMA Consulting Group (2014a): Status for energiutnyttelse av avfall i Norge [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.nærhetsprinsippet.no/wp-content/uploads/2015/05/status.pdf> Lasta ned 10.01.2017

Transportøkonomisk Institutt (2010): Ulykker – Verdien av statistiske liv og beregning av ulykkenes samfunnskostnader [Internett]. Tilgjengelig frå: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=16062>

Transportøkonomisk Institutt (2012); Logistikkorganisering i endring Casestudier fra norske bedrifter [Internett]. Tilgjengelig fra: <https://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%C3%98I%20rapporter/2012/1193-2012/1193-2012-Sam.pdf> Lasta ned 10.01.2017

Verdalskalk (2017): Kalkindustrien i Verdal [Internett]. Tilgjengelig frå:
http://www.kalk.no/files/Nyheter/Selskapsnytt_VER/Informasjon%20om%20utviklingsplaner.pdf Lasta ned: 29.01.2017

VRI Østfold (2017) [Internett]. Tilgjengelig frå: <http://www.vri-ostfold.no/2015/03/09/prosjektmote-om-geopolymerbetong/> Lasta ned 25.02.2017

Xrgia (2011): Rammebetingelser for energiutnyttelse fra avfall [Internett]. Tilgjengelig frå:
http://avfallnorge.web123.no/article_docs/Rapport%20Avfall%20Norge%20nr%203_2011.pdf Lasta ned 25.01.2017

Økokrim (2015) [Internett]. Sand til begjær og besvær. Tilgjengelig frå:
http://www.okokrim.no/miljokrim/nor/tidligere-utgaver/1_mai_2015/artikler/sand?target=print Lasta ned 25.01.2017



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway