norsk betongforening

Rapport nr 1

CO_2-utslipp – sement og betong
UTFORDRINGER OG PERSPEKTIVER

Utarbeidet av Norsk Betongforenings miljøkomité

2009

Norsk Betongforenings rapporter er utarbeidet av fagpersoner utnevnt av Norsk Betongforenings styre. Det er gjort det ytterste for å sikre at innholdet er i samsvar med kjent viten på det tidspunkt redaksjonen ble avsluttet.
Feil eller mangler kan likevel forekomme.

Norsk Betongforening, forfattere eller fagkomiteen har intet ansvar for feil eller mangler i rapporten og mulige konsekvenser av disse.

Det forutsettes at rapporten benyttes av kompetente, fagkyndige ingeniører med forståelse for begrensningene og forutsetningene som legges til grunn.

Norsk Betongforenings Miljøkomité

CO2-utslipp – sement og betong
UTFORDRINGER OG PERSPEKTIVER

CO_2-utslipp – sement og betong

UTFORDRINGER OG PERSPEKTIVER

Forord

Utslipp av CO_2 fra produksjon av sement og betong er et komplekst saksområde. Industrien har gjort store anstrengelser og investeringer for å redusere sine utslipp de siste tiår. Dette arbeidet vil fortsette. Hvilke løsninger som finnes for fortsatte reduksjoner er avhengige av mange faktorer.

Med denne rapporten har Norsk Betongforenings Miljøkomité forsøkt å skissere en del av utfordringene og mulighetene for løsninger, både nasjonalt og globalt. Rapporten er ment å danne basis for videre detaljert målarbeid i de enkelte delene av sement- og betongindustrien.

Oslo 26.11.08
Norsk Betongforenings Miljøkomité

Knut O. Kjellsen | Per Jahren *(formann /redaktør)* | Stefan Jacobsen

Hallvard Magerøy | Gordana Petkovic/ Synnøve Adelheid Myren | John-Erik Reiersen

Innholdsfortegnelse

1 MANDAT / HENSIKT ... 3

2 GENERELT ... 4

3 UTSLIPPSSIDEN I DAG ... 6

3.1 NASJONALT ... 6
3.2 GLOBALT ... 7

4 TRIPPEL FOKUS ... 11

4.1 HVORFOR ... 11
4.2 LIVSLØPSPERSPEKTIV ... 11
4.3 FOKUS 2020 ... 11
4.4 FOKUS 2050 ... 12

5 LIVSLØPSPERSPEKTIV ... 14

5.1 GENERELT ... 14
5.2 BETONG – ET AV DE VIKTIGSTE FUNDAMENTENE I EN BÆREKRAFTIG UTVIKLING ... 14
5.3 VARMEMAGASINERINGSEFFEKTEN ... 15
5.4 LITEN ANDEL AV EN KONSTRUKSJONS ENERGIBRUK OG KLIMAGASSUTSLIPP ... 16
5.5 CO_2- ABSORPSJON ... 16
5.6 ANDRE FORHOLD ... 18

6 FOKUS 2020 ... 20

6.1 NASJONAL MÅLSETTING ... 20
6.2 GLOBAL MÅLSETTING ... 20

7 FOKUS 2050 – MÅLSETTINGER ... 22

8 VIRKEMIDLENE ... 23

8.1 BRUK AV SUBSTITUTTMATERIALER ... 23
8.2 MER EFFEKTIV SEMENTPRODUKSJON ... 25
8.3 ”NYE” SEMENTTYPER ... 27
8.4 ENDRET KONSTRUKSJONSPRAKSIS ... 29
8.5 ANDRE FORHOLD ... 29

9 ENDRING I VIKTIGE SAMMENLIGNINGSPARAMETERE? ... 30

10 FOU – BEHOV OG MULIGHETER ... 32

11 HVA VIL MILJØKOMITEEN GJØRE? ... 33

12 SLUTTORD ... 33

13 REFERANSER ... 34

BILAG 1: SCENARIOER I GLOBAL SAMMENHENG OVER MULIG ØKT NYTTE AV SUBSTITUTTHJELPEMIDDLET

1 Mandat / hensikt

Mandat
Som del av Norsk Betongforenings plandokument *Betong 2010 – Strategisk plan for Norsk Betongforening 2008- 2010,* har miljøkomiteen fått i oppdrag i lage en sammenstilling av Norsk Betongindustris betydning for (1) utslipp av klimagasser under produksjon, (2) miljøpåvirkning i drifts og avhendingsfase, (3) potensial som del av samfunnets fremtidsvisjon om det klimagassnøytrale samfunn og (4) potensial for utvikling/evolusjon av betongens materialteknologiske sammensetning/egenskaper og av betongens bygningsfysiske potensial i det moderne byggeriet.

Denne sammenstillende rapporten kan tjene som en introduksjon til utviklingspotensialet for norsk sement og betongindustri, og være utgangspunkt for en nærmere studie av konkrete tiltak for fremtidens sement- og betongindustri. Rapporten vil også kunne tjene som underlag for å etablere/søke om ressurser til konkret forskning (over offentlige FoU-budsjetter og som del av bransjens egne institusjoners satsing, slik som f eks industriens bransjeforeninger).

Metode
Miljøkomiteen vil lage en sammenstillende rapport som beskriver den globale betong- og sementindustriens betydning i forhold til utslipp i dag, videre en beskrivelse av mulige fremtidsscenarier i forhold til utslipp. Situasjonen som tegnes opp vil også trekke noen paralleller til global bærekrafttenkning, der dimensjonene sosial og økonomisk utvikling sett inn i den globale konteksten

Ved diskusjon om utslipp av CO_2 fra produksjon av betong refereres ofte til tall fra sementproduksjon. Det er naturlige årsaker til dette;
- Fordi dette er den tyngste delen av utslippene,
- fordi tall er lettest tilgjengelige,
- og fordi sementindustrien er den som har arbeidet lengst med utfordringene.

Komiteen ønsker imidlertid i det videre arbeid at hele verdikjeden belyses og bearbeides. Spesielt i et livsløpsperspektiv, som normalt bør være et bærende prinsipp i miljøvurderinger, øker viktigheten av andre tiltak enn utslipp fra produksjon av sement.

Avslutningsvis vil rapporten drøfte en mulig framtidig bransjehandlingsplan, med utgangspunkt i hele verdikjeden (produksjon) via drift/funksjon til avhending/gjenbruk – altså livsløpsperspektivet.

Kildebruk
Rapporten er en sammenstilling av tidligere oppdragsforskning/grunnforskning, komparative analyser, relevant faglitteratur, foredrag og intervjuer av sentrale personer i sement og betongindustri. Rapporten støtter seg videre på prinsippene for bærekrafttenkning og tar utgangspunkt i pan/transnasjonale institusjoners visjon for fremtidens klimagasslaster fra menneskelig aktivitet.

2 Generelt

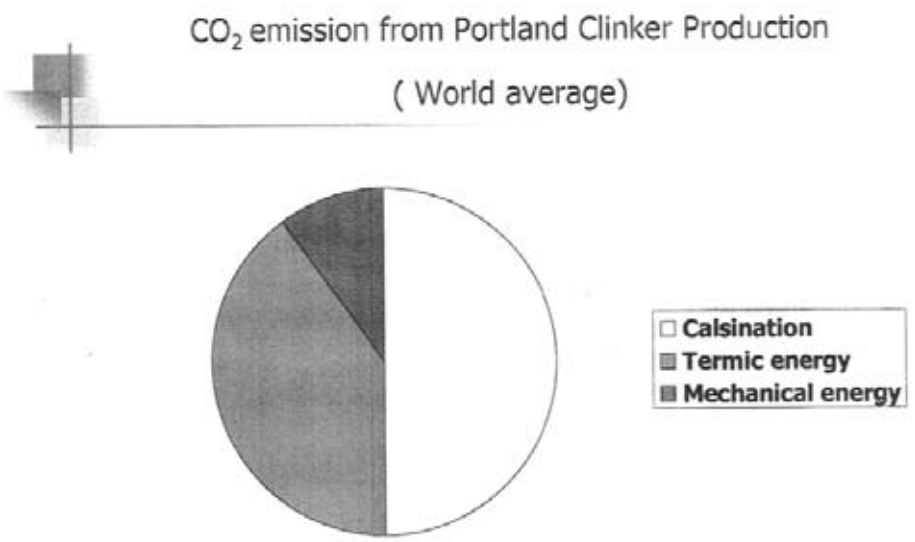
Vi har mange miljøutfordringer, men reduksjon av utslipp av CO_2 er antagelig vår viktigste miljøoppgave i god tid framover. I september 2007 arrangerte Norsk Betongforening en større internasjonal konferanse om bærekraftig utvikling i sement- og betongindustrien på Lillehammer. Det var deltakere fra over 20 nasjoner som bidro til en meget solid og bred belysning av dagens situasjon og innsats. CO_2-oppgaven ble, som i samfunnet for øvrig, gitt høyeste miljøprioritet.

Utslipp av CO_2 fra sement og betong er et omfattende sakskompleks, med sterkt varierende virkningsgrader og handlingsalternativer avhengig av ståsted og regionale muligheter.
Med denne rapporten har Norsk Betongforenings Miljøkomité forsøkt å gi gjennomgang av utfordringene og løsningsmulighetene både nasjonalt og globalt. Komiteen håper at rapportens konklusjoner også kan bidra til en handlingsplan for bransjen i Norge.

I litt populistiske framstillinger blir det ofte sagt at *nesten all CO_2-utslipp fra betongproduksjon kommer fra sementproduksjonen, og sementproduksjon slipper ut 1 tonn CO_2 pr tonn sement.* Denne framstillingen var ikke helt gal, basert på globale tall på midten av 1990-tallet. Senere har det skjedd en positiv utvikling. Samtidig har variasjonene i utslippstallene økt i betydelige grad både globalt og regionalt. Årsakene til dette kan delvis tilskrives varierende satsing på miljøtiltak i forskjellige land, og delvis økende variasjon i teknologiutnyttelse.

Omkring 90 % av utslippene fra betongproduksjon kommer fra sement / bindemiddelbruken [1, 2, 3]. Ser man på den totale påvirkning fra betongproduksjon på klimaregnskapet, må man også ta hensyn til at betong gjennom sin karbonatisering absorberer betydelige mengder CO_2. Dette er behandlet senere i rapporten.

Utslippene fra sementproduksjon stammer fra 3 forskjellige kilder, se Figur 1



Figur 1: CO_2-utslipp fra produksjon av Portland klinker (Globalt gjennomsnitt) [3]

Globalt sett er stort sett regnestykket:

- 50 % fra kalsinering av kalksten (varierende kilder angir 0,48 til 0,54 kg/kg [3])
- 40 % fra termisk energi
- 10 % fra mekanisk energi.

De enkelte utslippstallene fra produksjon av sement vil variere sterkt, - spesielt avhengig av:

- klinkerandel i sement
- utslipp fra elektrisitetsforbruk til mekanisk energi
- effektivitet i produksjon (bruk av termisk energi)
- bruk av alternative energiformer til termisk energi (for eksempel bruk av avfallsbasert /biologisk brennstoff)

Figur 2: Fra Aftenposten 09.06.08

3 Utslippssiden i dag

3.1 Nasjonalt

Norske spesifikke utslipp pr. tonn sement er betydelig lavere enn globale tall. Det er vel farlig å påstå at vi er best i klassen, blant annet fordi vi er et lite land. Det er også betydelige forskjeller mellom fabrikkene, selv i de landene som kommer best ut i statistikkene. Det er imidlertid ikke urimelig å fastslå at Norge er blant de land som kommer best ut i en global sammenlikning.

Det er flere årsaker til dette:

- Bruk av primært hydroelektrisk energi, gir et godt hopp nedover i forhold til andre land med hensyn til utslipp fra mekanisk energi
- Betydelig andel av avfallsbasert biologisk brennstoff bidrar til lave tall for utslipp fra termisk energi
- En økende andel av substituttmaterialer (blandingssementer) har brakt utslippstallene fra kalsineringsandelen nedover de senere år. Norge har for øvrig vært et foregangsland på dette området, med 30 års erfaring med innblanding av flygeaske
- En rasjonell produksjon

Dersom vi ønsker å vurdere livsløpseffekten av betongproduksjon, må vi se på betong-/sementforbrukt i Norge. Skal vi vurdere utslipp og reduksjon av disse, må vi se på produksjon av sement i Norge. Det er liten forskjell i disse tallene. Vi har likevel valgt å kontrollere begge tallsettene.

Fra Norcem's *Rapport om bærekraftig utvikling* for 2007 [4] finner vi med litt egenregning: (vi har tatt med tallene for 2005 og 2007.)

	2005	2007
Sementproduksjon totalt (mill. tonn)	1,534	1,863
Andel Brevik	67,1 %	73,6 %
CO_2-utslipp pr. tinn sement – totalt	0,745	0,692
CO_2-utslipp pr. tinn sement – Brevik	0,945	0,626

(Den viktigste årsaken til forbedringen totalt fra 2005 til 2007, er at Brevik-fabrikken utgjør en større andel av totalen.)

Ved telefonhenvendelse til importselskapet Embra Cement 12.02.08 får vi oppgitt at deres sementimport til Norge er:

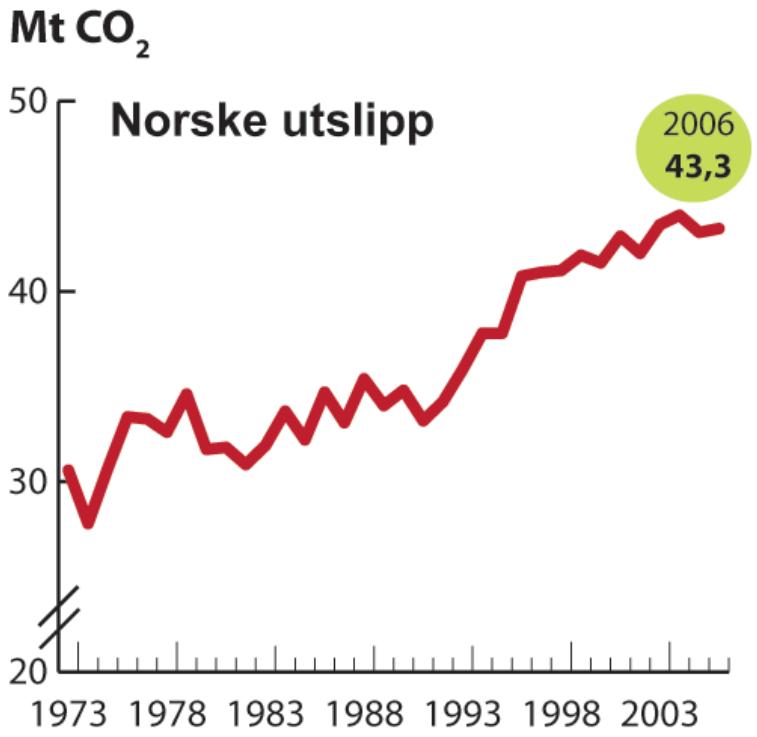
2005	2006
0,230 mill tonn	0,235 mill tonn

Pr. e-post 20.02.08 fikk vi opplyst følgende tall for produksjonen i Rüdersdorf i 2005:

Total sementproduksjon	1,95 mill tonn
totale CO_2-utslipp	1,295 mill tonn.
D.v.s. CO_2-utslipp pr tonn sement	0,664 tonn.

(Det opplyses at 0,459 tonn kommer fra råmaterialproduksjonen, og 0,205 tonn fra brensel.)

Så vidt vi har erfart har sementen innblanding av granulert slagg. Det er ikke opplyst om man har tatt inn i regnestykket den CO_2 som går med til å male slagget. Dette utgjør normalt ca. 20 % av den utslippsbesparelse som kommer fra bruk av substituttmaterialet. Skal man vurdere hvilke fotavtrykk betongproduksjonen har totalt, bør både dette og transport tas med. Vi vet heller ikke om ovennevnte tall er representative for den andel av sementproduksjonen som eksporteres til Norge. Som vi ser av tallene ovenfor, er det ikke stor forskjell i tallene for utslipp mellom norsk produsert sement og import, enten vi skal vurdere norske "utslipp" eller norske "forbedringspotensialer". Som nevnt innledningsvis, har vi relativt positive tall sett i global sammenheng.



Figur 3: Norske CO_2 utslipp Kilde: Statistisk sentralbyrå [5]

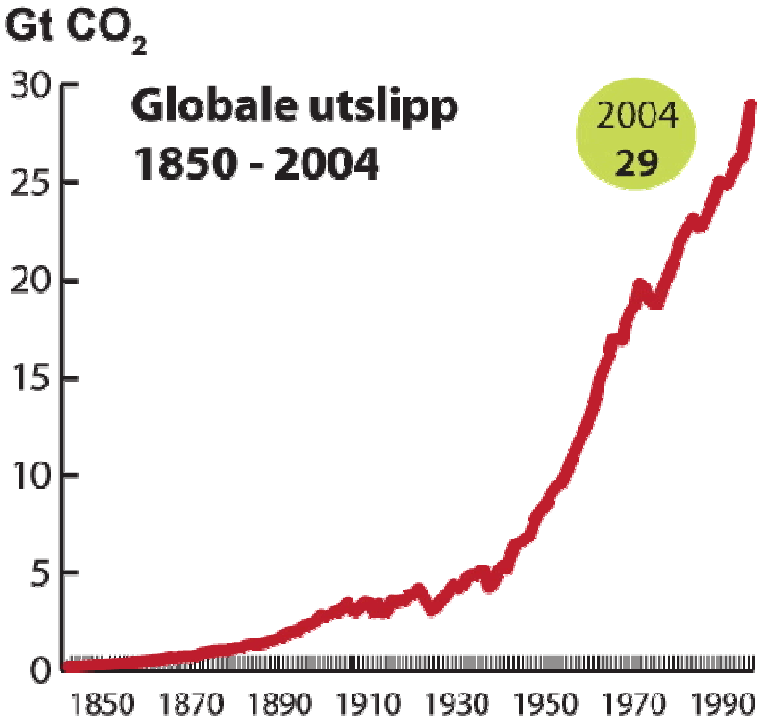
Ser vi på hva norsk betongproduksjon slipper ut av CO_2 (2006), må man benytte litt forskjellige tall avhengig av vurderingsgrunnlaget:
(Tallene i parentes er prosentvis andel av totale norske utslipp.)

- Norsk sementproduksjon slipper ut ca 1,19 mill tonn (2,7 %) (inkluderer også eksportert sement)
- Norsk betongproduksjon slipper ut ca 1,40-1,45 mill tonn (3,3 %), inkludert utslipp fra sement produsert utenfor Norge og anslått utslipp fra transport, betongblanding etc.
- Tilsvarende netto utslipp også tatt hensyn til den CO_2 som absorberes hvert år i form av karbonatisering (konservative tall) vil tilsvarende bli: (kfr. avsnitt 5.5 i rapporten)
  - 1, 06 mill tonn for norsk sementproduksjon (2,4 %)
  - 1, 27 mill tonn for norsk betongproduksjon (2,9 %)

3.2 Globalt

Det eksisterer en rekke avvikende beregninger på hvor store utslippene er fra verdens sement- og betongproduksjon, og hvor stor andel dette er av de totale utslippene globalt. Årsaken er at man til dels opererer med varierende sammenlikningsgrunnlag, til dels med vanskelig

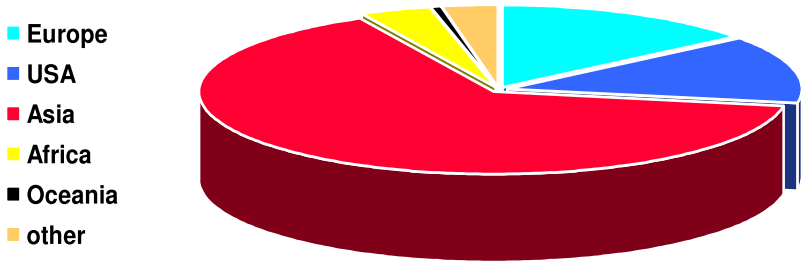
statistisk materiale med hensyn til bruk av substituttmaterialer etc. Under et foredrag av Frederic Hauge på FABEKO-konfereransen i mars 2008 [6], refererte han til tall fra World Resource Institute, og fortalte at verdens sementindustri stod for 3,8 % av de totale globale utslippene. I denne oversikten var også land- og skogbruk tatt inn i tallene. Vi skal senere se at dette kan være et rimelig utsagn.



Figur 4: Globale utslipp. Kilde: US Departement of Energy [5]

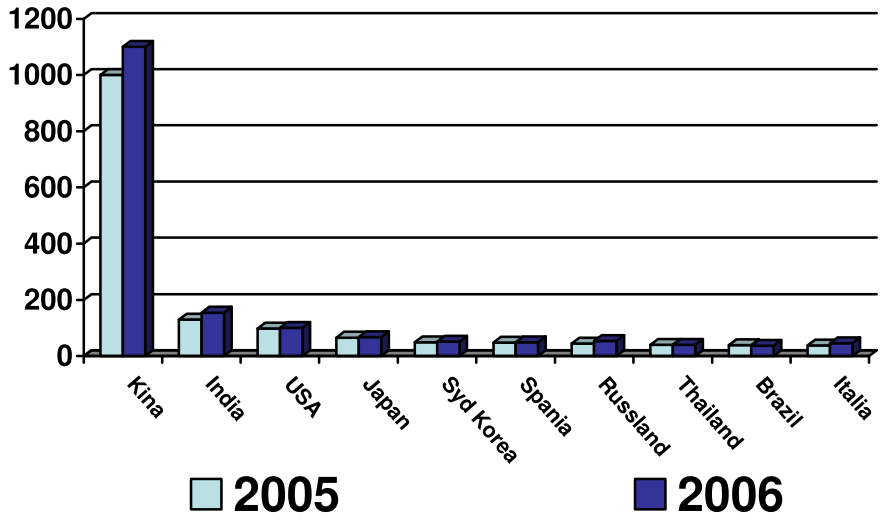
Det finnes flere oversikter over globale utslipp, litt avhengig av hva man legger til grunnlag for beregningene. Figuren ovenfor er den som oftest refereres til i Norge og som CICERO, Senter for klimaforskning ved UiO, benytter. Den representerer de menneskeskapte CO_2-utslippene. Legger vi til utslipp fra landbruk, avskoging, søppelfyllinger, andre drivhusgasser etc, vil totaltallet bli omtrent 49Gt.

Verdens sementproduksjon har i 2006 steget til 2,54 Mrd. Tonn, se Figur 5 [7]

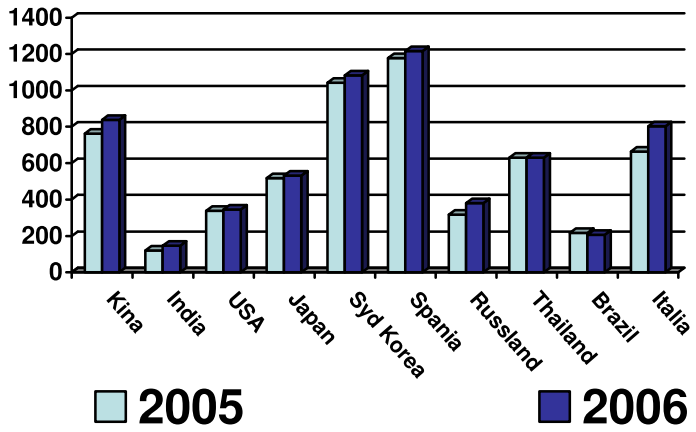


Figur 5: Verdens sementproduksjon 2006 [7]

Asia representerer i 2006 69,4 % av sementforbruket i verden, og Kina alene 47,3 % av forbruket. Veksten i Kina fra 2005 til 2006 var 14,7 %, mens veksten i India, som nå er verdens nest største forbruker, var 11 %. Over tid forventes i veksten i Kina å avta, mens India fortsatt har store vekstpotensialer.



Figur 6: Verdens 10 største sementprodusenter i Mill. tonn. [8, 9]



Figur 7: Produksjon i kg pr.innb. i verdens 10 største sementproduserende land i 2006 [9]
(Norges produksjon pr. innbygger var i 2006 ca. 430 kg.)

Ser vi på produksjon pr innbygger, er tallene for Kina også her bemerkelsesverdige. Land som Sør-Korea, Spania og Italia er store sementeksportører, og mindre interessant å sammenlikne med fordi sammenlikningen gir et skjevt bilde av forbruksverdier. Sammenlikner man Kina med USA og typiske andre land i Europa, er det bemerkelsesverdig å registrere at forbruket nå har kommet opp i over omtrent det doble pr. kapita i forhold til de viktigste sammenlikningslandene. Det er derfor ikke rimelig å regne med at denne veksten vil fortsette i mange år framover. Forbruket i verdens nest største sementland, India, vil sannsynligvis bli en vesentlig større del av verdensforbruket enn tidligere. Det er forventet at India vil passere Kina i folketall mellom 2024 og 2032. Forbruksveksten i India er allerede stor. Dersom

veksten forsetter som i de siste 2 år, vil også India passere 1 Mrd. tonn i sementforbruk i 2017. Det forventes også sterk vekst i andre land i Asia. Et eksempel er Vietnam, med over 80 mill. innbyggere. Landet hadde en av verdens høyeste økonomisk veksttall (GDP) med 7,3 % pr. år i årene 1994-2004 [10], og vi må forvente at det i løpet av få år erobrer en plass høyt oppe på sementstatistikkene.

Utslippene fra sementproduksjon/-forbruk varierer betydelig fra land til land, og vi har sett rapportert tall fra 0,6 til 1,2 tonn CO_2 pr tonn sement [3]
Eksempel på beregnede globale gjennomsnittstall er:
0,84: Jahren 2003 og 2007 [9, 11]
0,87: WBCSD (World Business Council Sustainable Development) 2002 [12]
0,87: Sakai 2007 [13]
0,8-0,9: Damtoft 2007 [14]
De fleste enkeltrapporter forteller om tall fra 0,75 til 0,9, med minimums enkelttall på 0,71 for Portland sement klinker og 0,45 for blandingssementer for generell bruk [11].

Sammendragsmessig vil altså det totale forbruket av sement i verden på 2,54 Mrd. tonn slippe ut ca 0, 85 x 2,54 = 2,16 Mrd tonn CO_2. Tar vi med at betong også absorberer CO_2 gjennom karbonatisering (kfr. Rapportens avsnitt 5.5), vil nettotallet være omtrent 1,9 Mrd tonn CO_2. Dette utgjør til sammen litt over 6 % av de menneskeskapte CO_2-utslippene. Tallet er også i en annen størrelsesorden enn tilsvarende tall for Norge (2,4 % - avsnitt 3.1). Sett i forhold til de totale klimagassutslippene, inklusive landbruk og skogbruk, blir tallene som nevnt først i dette avsnittet (Frederic Hauges foredrag) [6]. I en perspektivsammenheng er det viktig å nevne betongs betydning for en bærekraftig utvikling, og at betong er verdens desidert viktigste byggemateriale (kfr. avsnitt 4.2)

4 Trippel fokus

4.1 Hvorfor

Vi har gjennom de siste årene sett mange, og til dels motstridende oppslag, vurderinger og artikler om utslippsforholdene for bruk av betong. En av årsakene til variasjonene er at motivet for den som har servert opplysningene har variert. Et annet viktig element når vi skal vurdere positive utslippstiltak for sement- og betongindustrien, er hvorvidt vi legger vekt på sammenlikning med andre materialer, hva som til enhver tid vil bli stilt som politiske krav til forbedringstiltak ovenfor industrien, eller hvilke framtidige generelle krav vi må forholde oss til, basert på vurderingen fra FNs klimapanel (IPCC) på lengre sikt.

Normalt vil et livsløpsperspektiv være et bærende prinsipp i miljøvurderinger. I utslippssammenheng må vi imidlertid også ha andre fokus:

- vi må foreta utslippsreduksjoner i takt med samfunnsaksepterte krav
- det er ikke nok at materialer er gode nok i et livsløpsperspektiv.

For å få en mest mulig solid dokumentasjon av status, behov og muligheter, er det derfor nødvendig med et ”trippel fokus”:

- livsløpsperspektivet
- samfunnsmessig/politisk akseptert utslippsreduksjonsstrategi
- FNs miljøpanel/IPCCs anbefalinger

4.2 Livsløpsperspektiv

Betong er en av de viktigste pilarene for en bærekraftig utvikling. Utvikling av infrastruktur og boliger i den tidligere ikke-industrialiserte verden er den vesentligste årsaken til den store økningen vi ser i verdens sement- og betongproduksjon. Dette er over det doble av alle andre byggematerialer til sammen. Den store betydningen materialet har øker selvsagt betongbransjens ansvar for å ta utslippsspørsmålet alvorlig

Miljøbelastningsanalyser sett på hele byggverkets levetid (fra vugge til grav), livsløpsperspektivet, viser at betong er et gunstig byggemateriale. Vi forklarer de viktigste årsakene til dette i det neste avsnittet i rapporten. Vi er imidlertid langt fra perfekte i måten vi benytter materialet på i et utslippsperspektiv. Det er interessante forbedringsmuligheter som bør kunne utnyttes ved bedret informasjon og noe mer intensivert og fokusert FoU-satsing.

4.3 Fokus 2020

I januar 2007 la EU-kommisjonen fram en klima- og energipakke som innebærer at EU skal redusere klimagassutslippet med 20 % innen 2020 i forhold til 1990 [15]. Videre ligger det i forslaget at EU, dersom man kommer fram til en global avtale om utslippsreduksjoner, forplikter seg til å øke målsettingen til 30 % reduksjon. De mange tiltakene i ”pakken” diskuteres nå i EU, men det synes å være stor forståelse og enighet om reduksjonsmålet. Endelig beslutning forventes å komme i 2009. I Norge, som naturlig nok ikke er del av dette arbeidet i EU, har ulike utslippsreduksjonsmål vært kastet inn i debatten. Regjeringens endelige målsettinger er ikke fastlagt, men vi mener at som utgangspunkt bør legges til grunn at Norge legger seg på samme ambisjonsnivå som EU.

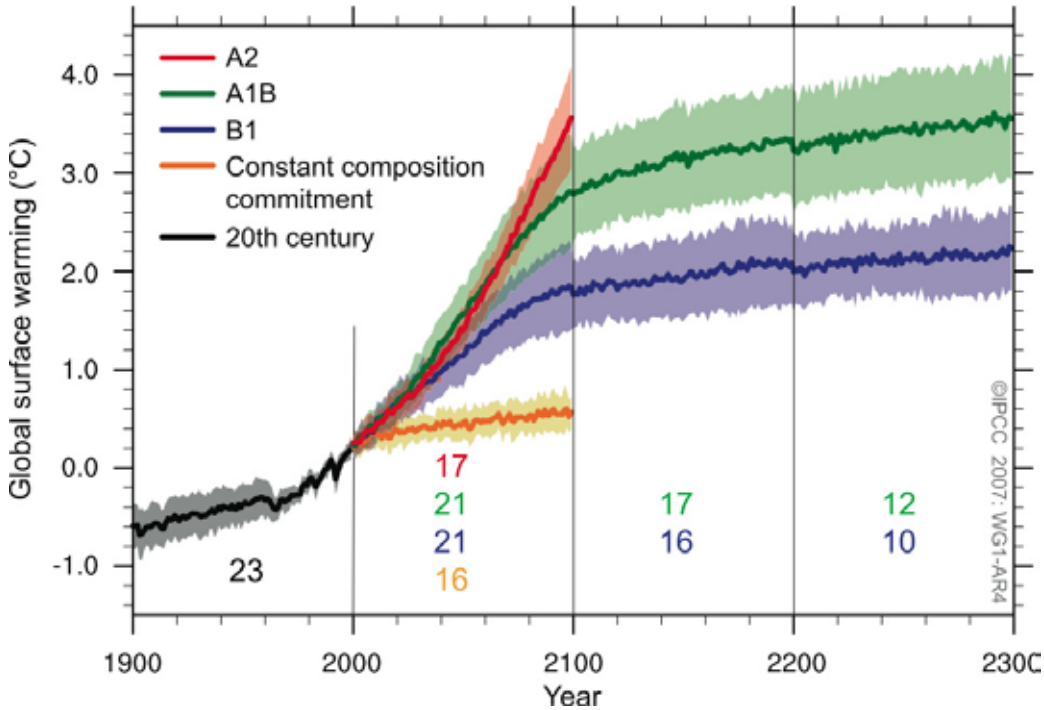
Både i EU og i Norge er handelssystemet for utslippskvoter for CO_2 ansett som det viktigste virkemidlet i forhold til industrien. Norge har besluttet å slutte seg til, og delta i, EUs handelssystem (EU Emission Trading Scheme, EU ETS) fra 01.01.08, men har fortsatt ikke avklart alle detaljer rundt implementeringen (forventes avklart til utgangen av 2008). For innværende periode (2008-2012) er rammebetingelsene fastlagt. Innenfor EU ETS vil det bli tildelt gratis kvoter i henhold til de nasjonale allokeringsplanene (hvor landenes samlede utslippsforpliktelser er nedfelt).

Den diskusjonen som nå pågår i EU er knyttet til utformingen for perioden 2013-2020. I kommisjonens forslag fra 2007 ligger en generell målsetting om at de sektorer som omfattes av kvotesystemet skal redusere sine utslipp med 21 % i 2020 sammenliknet med utslippene i 2005. Innenfor denne rammen er det fremmet en rekke forslag. Det mest ytterliggående er at ingen kvotehandelsbedrifter vil få tildelt gratiskvoter etter 2013, og at all tildeling skjer gjennom auksjonering. En rekke aktører jobber hektisk for å påvirke utformingen av systemet, og det virker pr. i dag sannsynlig at det blir gitt visse åpninger for at sektorer som er utsatt for stor internasjonal konkurranse, vil få en viss tildeling av gratiskvoter. Utfallet av drøftingene vil, sammen med bedriftenes interne miljømål/mål for bærekraftig utvikling, sette rammebetingelsene for norske sement- og betongbedrifter. På denne måten vil bedriftene ta sitt ansvar for å redusere utslippene fra sin produksjon.

4.4 Fokus 2050

I sin tale til FNs generalforsamling 24. september 2007 sa formannen i FNs Klimapanel, IPCC blant annet *"…Vi har fram til 2015, hvis vi skal stabilisere utslippene, deretter må utslippene reduseres betydelig."* Han avsluttet med å sitere Mahatma Gandhi: *" A technological society has two choices; first we can wait until catastrophic failures expose systematic deficiencies, distortion and self-deception. Secondly, a culture can provide social checks and balances to correct the distortion prior to catastrophic failures". May I submit, - it is time for us to move away from self-deception and go to the second of the two Choices"* [16].

IPCC framla i 2007 fire klimarapporter, hvorav den siste konsekvensrapporten, The AR4 Synthesis Report, ble framlagt 17. november 2007 i Valencia i Spania. En av disse rapportenes viktigste konklusjoner, i tillegg til at vi må ha kontroll over utslippene innen 2015 - noe som dekkes av de politiske tiltakene nevnt under "Fokus 2020" i forrige avsnitt -, er at vi må redusere våre menneskeskapte utslipp med 50- 80 % innen 2050.



Figur 8: Forventet global oppvarming for varierende scenarioer dersom vi klarer å begrense CO_2 utslippene [17]

Basisproduktet for betong er sement, og sementproduksjon representerer tunge investeringer, hvor selv lokale endringer tar mange år. Globale endringer i teknologi tar flere tiår, fra teknologisk gjennombrudd, til beslutning, enkeltinvesteringer, globale produksjonsomlegginger og generell brukeraksept. Det er rimelig å anta de første investeringsmessige tilpasninger til en akseptabel 2050-teknologi må foretaes allerede tidlig på 2020-tallet, og at hovedomleggingen må starte på slutten av 2030-tallet, for at vi skal få de ønskete totale virkningene i 2050. Det betyr igjen at denne teknologien bør være i bruk i pilotskala allerede om 5-10 år, og være sentral i vårt FoU-arbeid allerede om få år. Tidsanslag som dette vil være avhengig av teknologisk utvikling og rammebetingelser.

5 Livsløpsperspektiv

5.1 Generelt

Det blir mer og mer vanlig, ikke bare i Norge, men i flere og flere land i verden, å foreta en vurdering av byggverkets miljøpåvirkning gjennom hele dets levetid. Det er utviklet en rekke metoder for dette bruket, hvorav de fleste kan gå inn under betegnelse LCA (Life Cycle Analysis). Utslipp av klimagasser er et av de mange forholdene som da vurderes. Det er flere forhold å ta i betraktning, når man vurderer resultatet av CO_2- utslipps- tallene fra en slik analyse, b.la:

- Riktig miljødesign kan være et ”trade-off” mellom forskjellige hensyn. For eksempel kan hensyn til gode lydforhold bidra til økt materialbruk og økt CO_2-utslipp.
- Lave utslipp i en livsløpssituasjon har ofte ingen eller liten betydning for behovet av å redusere utslipp på kort sikt. (derfor også nødvendigheten av det vi i har kalt trippel fokus)

I mange LCA-analyser for bygninger benytter man 60 år eller liknende som et beregningsalternativ for betongens levetid. Selv om betongens levetid er lenger, er ikke dette urealistisk, blant annet tatt i betraktning av at en rekke konstruksjoner rives lenge før funksjonsdyktigheten krever det. Ser man imidlertid på typiske infrastrukturprosjekter, som jo representerer nærmere halvparten av betongproduksjonen, er nok levetiden vesentlig lenger. Det har etter hvert ikke blitt uvanlig for spesielle konstruksjoner å stille krav om 300 års levetid i designforutsetningene. Et eksempel på dette er deler av Tjuvholmen- prosjektet som er under bygging i Oslo [18].

For å oppnå en korrekt sammenlikning mellom ulike teknikker, materialer og konstruksjonsløsninger benyttes LCA. Det er den totale miljøbelastningen som er relevant, både miljøbelastningen fra byggefasen og fra bruksfasen. Som et apropos kan nevnes at temaet MILJØREGNSKAP er et av de store temaene i www.miljobasen.no som pr. mars 2008 hadde 167 publikasjoner registrert under temaet.

5.2 Betong – et av de viktigste fundamentene i en bærekraftig utvikling

Som nevnt tidligere i dette dokumentet, er betong en av de viktigste pilarene i den eksplosjon i sosial utvikling vi opplever i det som tidligere ble betegnet som den tredje verden, eller landene i sør. Omtrent halvparten av sementforbruket i verden går til infrastruktur, og halvparten til bygninger. Betong er også hovedmaterialet når det bygges anlegg for fornybar energi for å avhjelpe verdens økende energibehov. Eksempler på utviklingene er mange. Vi har bl.a valgt en illustrasjon fra Kina, som i dag nesten står for halvparten av verdens sementforbruk. Kina bygger også noen av verdens høyeste buedammer og de lengste broene og tunellene i verden for øyeblikket.

Figur 9: The Three Gorges Dam Project (TGP). Bygging 1993-2009. Skal produsere 84,68 BkWt. bruker 28 mill. m^3 betong, hvorav 16 i selve damkonstruksjonen [19]

Figur 10: Ny bro over Svinesund, åpnet juni 2007

5.3 Varmemagasineringseffekten

Betong har god varmemagasineringskapasitet og moderat ledningsevne. Forutsatt riktig benyttet er bygningskonstruksjoner i betong en betydelig kilde til redusert energiforbruk, og derved også redusert utslipp av CO_2. Årsaken til dette er at det er mindre temperatursvingninger over døgnet i et bygg med høy termisk masse, og det vil derfor være mindre energikrevende å opprettholde en jevn temperatur.
God utnyttelse av dette fortrinnet krever at

- den termiske massen er eksponert mot romlufta
- den termiske massen ligger innenfor isolasjonssjiktet
- den termiske massen kan eksponeres for nattkjøling gjennom naturlig eller mekanisk ventilasjon eller kjøles med sirkulerende kaldt vann, såkalt frikjøling

Det er mye mer å hente av dette viktige fortrinnet enn det vi har gjort til nå. I sin publikasjon ”Termisk masse og klimatisering av bygninger”(utarbeidet av SINTEF Byggforsk) sier byggutengrenser.no [20] blant annet dette om årsakene til bedre utnyttelse av den termiske massen:

- For å redusere bygningers energiforbruk til oppvarming, kjøling og ventilasjon, og derigjennom redusere klimagassutslipp og spare miljøet

- Nye forskriftskrav forutsetter at det gjøres tiltak for å unngå mekanisk kjøling
- Bygningsnettverkets energistatistikk viser at kontorbygninger med mekanisk kjøling bruker om lag 20 % mer energi enn kontorbygninger uten mekanisk kjøling
- Forskning viser at det er høyere forekomst av syke bygg (SBS) i bygninger med mekanisk kjøling enn i bygninger som klimatiseres passivt (termisk masse i kombinasjon med nattkjøling)
- Kontorbygg oppført etter 1997 bruker statistisk mer energi enn eldre kontorbygg, blant annet på grunn av økt kjølebehov grunnet høyere internlast fra lys og teknisk utstyr samt større solbelastning grunnet økt vindusareal

5.4 Liten andel av en konstruksjons energibruk og klimagassutslipp

Det er foretatt en rekke analyser som viser at den mest betydelige andelen av energibruk og klimagassutslipp gjennom en konstruksjons levetid er selve bruksfasen, og ikke resursbruken til produksjonsfasen. Hvordan man konstruerer og utnytter en betongkonstruksjon er vesentlig viktigere enn materialressursene i bygging av betongproduksjonen. Flere forfattere har benyttet standarduttrykk som at "produksjonen utgjør mindre enn 10 % av klimagassutslippene over en konstruksjons levetid" [21, 22]. Jahren [3] refererer blant til utkast til en fib-rapport og gir følgende eksempler:

- betongblokker til et enfamiliehus (regnet 50 års levetid): Utslipp fra bruk er 200 ganger større enn fra materialproduksjon
- 3 km 400 mm betongrør for 5000 innbyggere (regnet 50 års levetid): Utslipp fra bruk er 4000 ganger høyere enn fra produksjon
- 5 etasjes boligblokk med 20 boenheter bygget i plasstøpt betong (regnet 50 års levetid): Utslipp fra bruk er 30 ganger større enn produksjonen

5.5 CO_2- absorpsjon

En viktig faktor i CO_2-regnskapet for betong er materialets evne til å oppta CO_2 gjennom karbonatisering. Det eksisterer mange beregninger over hvor stort dette CO_2-opptaket er, og det er til dels betydelig variasjon i beregningene. Jahren refererte i 1998 [23] til diverse undersøkelser som oppgir tall fra 5 til 25 % CO_2-opptak i forhold til utslipp fra produksjon. Jacobsen/Jahren (2001) [24] konkluderer etter beregninger med et gjennomsnittlig opptak av 0,08-0,11 kg CO_2 pr kg sement for all betong i Norge. Med dagens utslipp fra norske sementer, tilsvarer dette opptak i størrelsesorden 11 til 15 % av utslippene. Forfatterne sier selv at dette er en konservativ beregning, men tror framdeles at størrelsesorden er riktig.

I årene 2004-2006 ble det gjennomført et viktig og omfattende Nordisk prosjekt for å fastslå hvor stor andel av CO_2-utslippet som ble absorbert igjen [25]. Her konkluderes det blant annet med at opptaket av CO_2 i et 100 års perspektiv i forhold til det som blir sluppet fra kalsinering i sementovnene er:

- 57 % i Danmark
- 33 % i Sverige og Norge
- 42 % på Island

For Norges vedkommende tilsvarer tallet at ca 23 % av det som blir sluppet ut fra produksjon av betong (inklusive produksjon av sement) blir absorbert igjen.

I en rapport fra 2008 av Baetzner og Pierkes [26] har de kort en sammenstilling av flere beregninger. På bakgrunn av sammenstillingen konkluderer de:

1. CO_2-opptaket fra karbonatisering over en konstruksjons brukstid på 50 til 70 år kan nå opp i 60 til 100 kg pr tonn sement. Dette er ca. 10 % av totalutslippet av CO_2 ved produksjon av sement
2. For tiden etter riving av betongkonstruksjonen er bindingspotensialet enda noe større. Det skyldes at betongens fri overflate økes kraftig ved riving og nedknusing. For nedknust betong kan ytterligere 10-15 % av totalutslippet av CO_2 ved sementproduksjon bindes opp gjennom karbonatisering

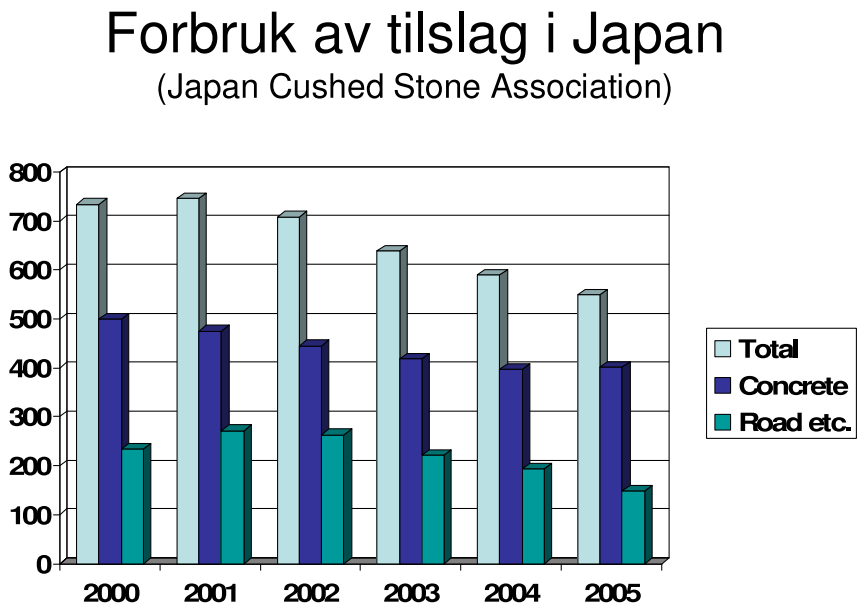
Potensialet for ytterligere karbonatisering når konstruksjonene rives og knuses for gjenbruk er meget stort. Dette er et meget viktig poeng som bør taes med i vurderinger om riving i framtiden, men er ikke tall som er representative for dagens situasjon. For å belyse dette, og mulig potensial i framtiden, tar vi med noen gjenbrukstall fra Norge og Japan.

Norge:
Det produseres i underkant av 1,3 mill. tonn med byggavfall pr. år i Norge. Av dette antar man at nærmere 1 mill. tonn er betongavfall En rapport fra 2005 [27] oppgir tallet til 650-975 000 tonn. (I følge Statistisk sentralbyrå ble det generert 1,24 mill. tonn byggeavfall i 2004. Av dette var det 599 472 tonn tegl, betong og andre tyngre byggematerialer, og 36 842 tonn forurenset betong og tegl [28]). Muligens kan 30-50 % av dette maksimalt benyttes som nytt tilslag i betong. Engelsen et al [27] anslår tallene til 195 000-293 000 tonn i 2004 og et potensial på 455-683 000 tonn i 2010.(Laboratorietester antyder et karbonatiseringspotensialet på 50-90 % av det som blir knust ned til 1 til 8 mm.

Nasjonal handlingsplan for bygge- og anleggsavfall (NHP2) [29] foreslår et mål om årlig gjenvinning av betong- og teglavfall på 90 % innen 2012. Det er dermed ikke sagt at betongen skal gjenvinnes ved å knuses ned og benyttes som tilslag i ny betong. Om betongen skal gjenvinnes ved direkte ombruk eller resirkuleres og brukes som tilslag i bunden eller ubunden bruk må vurderes på bakgrunn av hva som gir størst gevinst miljømessig, men også med hensyn til tidsmessige og økonomiske resurser.

Basert på årlig sementforbruk, forbruker vi årlig 10-14 mill. tonn med jomfruelig tilslag til betong. I tillegg har vi et tilsvarende minst like stort forbruk av sand, grus, og pukk til andre formål. (Iflg. Statistikk fra NGU/PGL ble det i 2005 produsert 53,23 mill. tonn tilslag i Norge. En vesentlig del av dette gikk til eksport.) Det som i dag knuses ned av betongavfall, og som bidrar til økt karbonatisering, vil maksimalt, på bakgrunn av ovenstående, utgjøre 1-2 % av forbrukt materiale og maksimalt 0,5-1 % i merkarbonatisering.

Japan:
På grunn av mangel på naturlig tilslag og samtidig store ombyggingsbehov er landet i en helt annen situasjon. Iflg. Sakai [30], forbruker Japan årlig 500-700 mill. tonn tilslag, hvorav 2/3 går til betong. Den viktigste årsak til nedgangen i tilslagsmengden, er en metning/nedgang i betong- og sementproduksjon.



Figur 11: Tilslagsforbruket i Japan iflg. [30]

Iflg. [31] vurderte Development Bank of Japan i 2002 mengden av byggavfall til å ville overstige 300 mill. tonn i 2010 og 400 mill. tonn i 2030. Det siste er en tredobling fra år 2000. Mer enn halvparten av dette er betong. Behovet for avansert resirkulasjonsteknologi og høy andel av resirkulert tilslag i ny betong er derfor innlysende. Man [31] regner med at mellom 2035 og 2045 vil mengden av betongavfall overstige behovet for tilslag til ny betong.

Poenget med økt CO_2-opptak fra nedknust avfall, som framheves bl.a. av Engelsen et al [27], er derfor meget interessant som et framtidig absorpsjonspotensial, og for i framtiden og forbedre betongens livsløpsegenskaper. Argumentet har imidlertid beskjeden betydning i en plan for å redusere utslipp i takt med politiske ønsker (fokus 2020), eller behov i IPCC-sammenheng (fokus 2050). Det vil også variere sterkt i betydning mellom forskjellige land.

Sammendragsmessig vil vi påpeke at;

- Opptaket av CO_2 i betong er en viktig faktor som må trekkes fra når materialets fotavtrykk vurderes i et livsløpsperspektiv
- De verdier som er framkommet som et mulig teoretisk potensial bør ikke forveksles med det som skjer av opptak i dag
- Opptakstallene har mindre betydning i en vurdering av målsettinger for utslippsreduksjoner framover

5.6 Andre forhold

En rekke forskere har hevdet at det viktigste tiltaket for betong i miljøsammenheng er å øke betongens levetid. Det er liten tvil om at dette vil være et viktig utfordring for industrien også i framtiden.

- I en rekke av de land hvor utbyggingstakten er sterkest for øyeblikket, har klart volum- og utbyggingstaktprioritering vært høyere enn fagopplæring, gode løsninger og god kontroll. Her finnes det store forbedringspotensialer å hente også for å redusere industriens fotavtrykk i klimagasssammenheng

- Det burde være både god økonomi og god miljøpolitikk å øke eller differensiere kravene til betongens potensielle levealder. I dag differensierer Norsk Standard på betongområdet 2 dimensjonerende levealdere, 50 og 100 år. Det er mulig det bør være en lavere og en høyere levealder i tillegg til disse, for eksempel 30 år og 300 år.

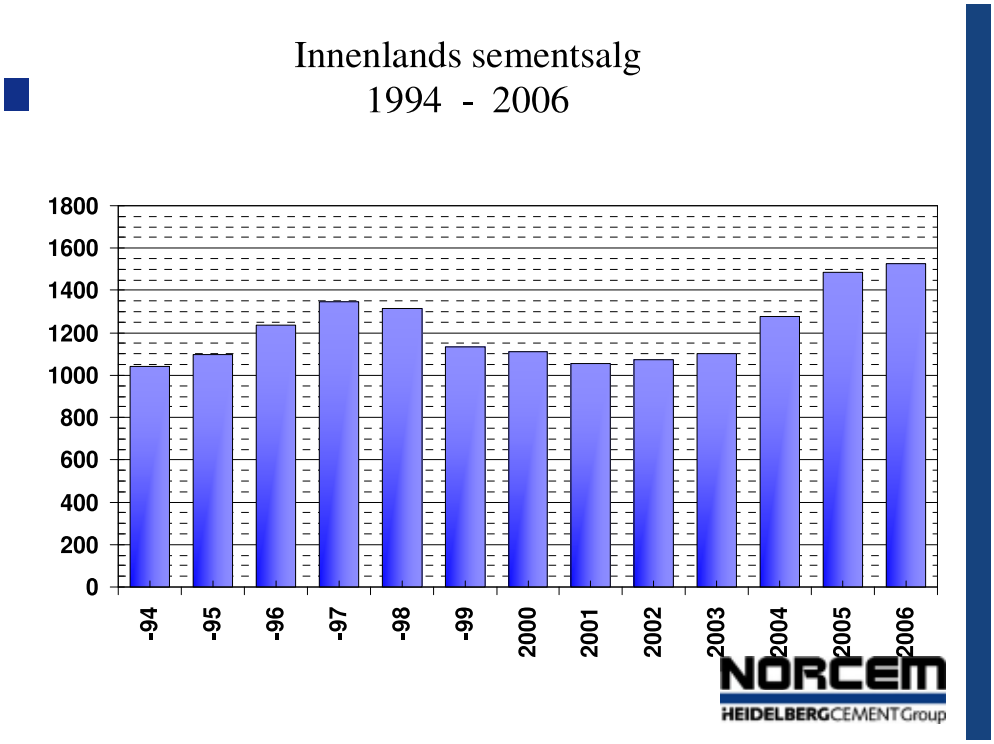
En vurdering antyder at mer enn 2/3 av all betong som rives, er for å vike plass til mer moderne løsninger, ikke fordi betongmaterialet er kondemnabelt. Dette faktum kan tilsi innføring av en lavere dimensjonerende levealder (for eksempel 30 år), som kan benyttes for den type konstruksjoner som ofte rives tidlig. Dette ville kunne innbære bruk av lavere betongkvalitet som også vil være mer miljøvennlig, og generelt mindre materialbruk i denne type bygg.

For andre byggverk, som planlegges for levetider på kanskje 200-300 år, bør det muligens innføres en dimensjonerende levealder på dette nivå. Dette for å redusere omfanget av kostbare og miljøuheldige reparasjoner og utbedringer i løpet av den prosjekterte levetiden. Dette vil innebære bruk av høykvalitetsbetong som innebærer økt miljøbelastning ved produksjon og en generelt høyere materialbruk. Hvis store reparasjoner unngås, vil dette likevel kunne være lønnsomt miljømessig sett over et livsløpsperspektiv.

6 Fokus 2020

6.1 Nasjonal målsetting

Norge forventes å få et stort sett antatt jevnt sementforbruk på 1,5- 2,0 mill. tonn pr. år framover (innenlands produksjon + import), noe varierende med konjunkturer og utvikling av store infrastrukturprosjekter.



Figur 12: Utvikling i norsk sementforbruk (1000 tonn)

Utslippene pr. tonn sement er i tidligere avsnitt registrert til ca 0,692 for norskprodusert sement i 2007. Dette er relativt lave spesifikke utslipp sammenliknet med globale utslippstall tidligere diskutert. Tallene vi har fått oppgitt for importsement er usikre, men er sannsynligvis i samme størrelsesorden som de norske.

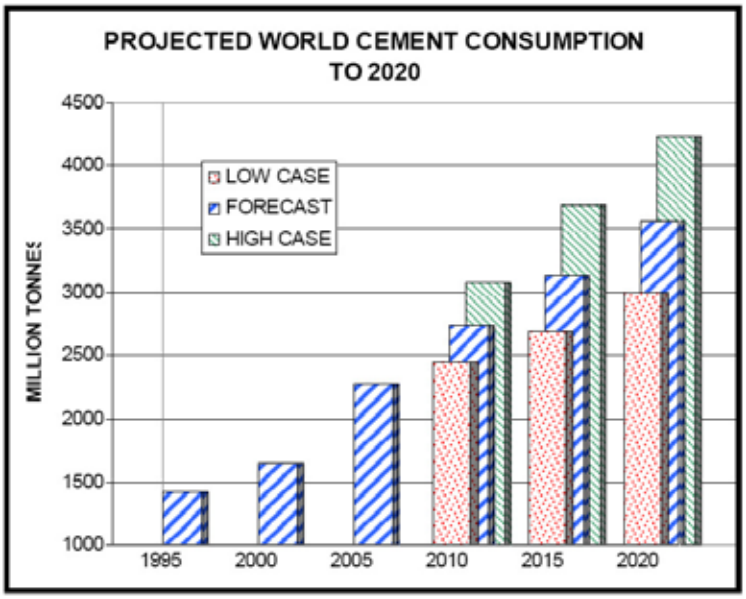
Måltall for norsk sementindustri for 2020 er ennå ikke bestemt. Dette vil avhenge av både hva samfunnet setter som krav, nasjonalt og internasjonalt, og egne framtidsvurderinger. Selv om måltallene ikke er utarbeidet ennå, er det all grunn til å regne med at de vil innebære en betydelig skjerpelse i forhold til dagens utslippstall. Det er derfor viktig at norsk sement- og betongindustri arbeider kraftfullt med å utvikle produkter i en enda mer miljøvennlig retning framover.

6.2 Global målsetting

Det antagelig mest spekulative i å forsøke å vurdere en global målsetting, er å vurdere utviklingen i verdens sementproduksjon. I et foredrag på Lillehammer 2007, referer Malhotra [32] til World Cement Annual Review, som i Juli 1997 gav denne prognosen for verdens sementforbruk:

1995: 1396 mill. tonn
2000: 1662 ”
2005: 1839 ”
2010: 1946 ”

Ikke bare denne prognosen, men de fleste liknende på slutten av 90-tallet og de første årene etter årtusenskiftet, skjøt skivebom. Som nevnt i avsnitt 3.2, passerte verdens sementforbruk i 2006 2,54 Mrd. tonn.



Figur 13: Prognoser over verdens sementforbruk iflg. Fidjestøl et al [33]

Malhotra gir følgende estimat for utviklingen i verdens sementforbruk [32] i mill. tonn.

	1985	*2003*	*2020*
Developed countries	*320*	*400*	*500*
Developing countries	*360*	*1200*	*3500*
TOTAL	*680*	*1600*	*4000*

Det eksisterer en rekke prognoser over utviklingen i verdens sementforbruk, med til dels stort sprik i anslagene. Vi finner det sannsynlig at veksten i Kinas sementforbruk vil stanse opp, men det er sterke veksttendenser i en rekke andre asiatiske land. Mest markant er antagelig veksten og potensialet i India og Vietnam. I videre beregninger har vi antatt verdens sementforbruk i 2020 til 2,9 til 3,5 mrd. tonn.

Basert på at dagens utslipp er 0,84-0,87 tonn CO_2 pr. tonn, vil derfor 20 % reduksjon i 2020 føre til utslipp i 2020 tilsvarende:

(0,84 til 0,87) x 0,80 x 2,54/ (2,9 til 3,5) = 0,488 til 0,609 tonn CO_2 pr. tonn bindemiddel i betong.

Som vi senere vil se ved gjennomgang av virkemidlene er det teoretisk mulig å nå en slik målsetting med eksisterende teknologi.

7 Fokus 2050 – målsettinger

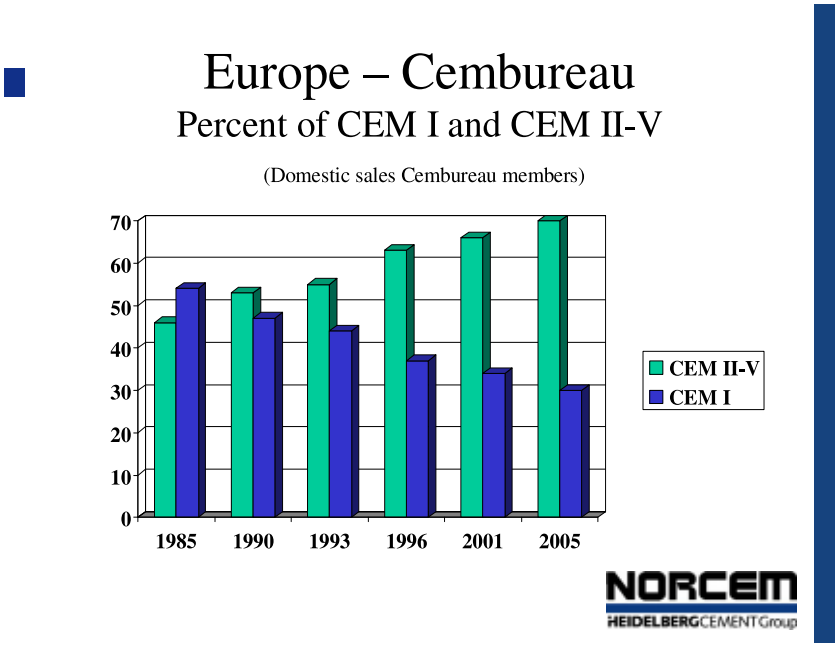
Det kan synes spekulativt å diskutere en målsetting for sement- og betongindustrienes utslippsmålsettinger for 2050, fordi det er så mange usikre variable. Det som bør stå fast er imidlertid at dagens menneskeskapte utslipp (kfr. kap. 4) ifølge IPCC bør reduseres med 50-80 %. Dette må også betong- og sementindustrien ta hensyn til. Den største usikkerheten på den negative siden, er hvilket sementforbruk vi har i verden om 40 år. Dette vil i betydelig grad påvirke hva vi bør se på av utslipp pr. tonn bindemiddel. Vi forventer ikke at det nasjonale sementforbruket vil ha endret seg i en grad som påvirker en vurdering av målsettinger pr. tonn bindemiddel. Det er ikke urimelig å anta at det globale sementforbruket vil være i nærheten av det doble av det vi ser i dag, dvs. ca. 5 Mrd tonn. Flere analyser antyder at verdens sementforbruk vil flate ut rundt 2050-2060 og stabilisere seg på 4,5 til 6 Mrd. tonn. Målene for globale utslippsreduksjoner pr. tonn bindemiddel vil derfor kunne bli meget store.

På den positive siden har vi spørsmålet om CCS (Carbon Capture and Storage). Planen er at EU-direktivet for CCS skal ligge klar i 2009-2010, og i 2015 forventes det at det skal være igangsatt 10-12 dokumenterte prosjekter i EU-planen (Europa og Kina) [34]. Teknologien forventes å få sitt gjennomslag i praktisk bruk i større skala på midten av 2030-tallet [34]. Enkelte forfattere hevder at det vil være rimelig å anta at 30-50 % av potensielle CO_2-utslipp i 2050 vil bli fanget og lagret [7]. Sementindustrien er regnet for å være en av de mest interessante i så måte, fordi man her finner meget konsentrerte utslipp. CCS gir også helt spesielle perspektiver for enkelte lands sement- og betongindustri, fordi det kan føre til at betongproduksjon kan få en netto reduserende effekt på verdens klimagassutslipp:
– Utslippene fra ny sementproduksjon blir lagret, mens ny betong absorberer CO_2 gjennom karbonatisering.

8 Virkemidlene

8.1 Bruk av substituttmaterialer

Bruk av substituttmaterialer, innblandet i sement, eller som en egen komponent i betongreseptene, er det klart viktigste virkemidlet for å redusere utslipp av CO_2 i en global sammenheng.



Figur 14: Utvikling i bruk av blandingssementer i Europa

Som det framgår av figuren over, har bruk av blandingssementer økt i betydelig grad de siste 10 årene i Europa. Tendensen er den samme de fleste steder i verden. Innblandingsprosentene av substitutter er også økende. Hvilke stoffer som er viktigst, vil variere avhenge av hvor man er i verden. Jahren foretok i 2003, med oppdatering i 2006 [3, 11] en vurdering av hvilket potensial i CO_2- reduksjon de forskjellige substituttalternativene representerer, i tillegg til det som allerede er utnyttet i dag (til sement-/betongformål, eller til andre formål).

Tabell 1: Merpotensial i reduksjon i mill. tonn CO_2-utslipp fra substituttmaterialer [11]

SUPPLEMENTARY MATERIALS	*Immediate (2004)*	*2010*	*2020*
** Fly ash*	*400*	*700*	*1 200*
** Blast furnace slags*	*25*	*55*	*75*
** Silica fume*	*0.1*	*0.3*	*0.3*
** Rice husk ash*	*3*	*6.5*	*6.5*
** Lime stone powder*	*150*	*170*	*200*
** Metakaolin*	-	-	-
** Natural pozzolans*	*25*	*40*	*50*
** Other ashes*	-	*20*	*2*
** Other industrial wastes*	-	*40?*	*200?*
TOTAL	*603*	*1 032*	*1 734*

Tabellen viser klart at det er økt innblanding av flyveaske som er det viktigste potensielle virkemidlet for økt reduksjon av CO_2-utslipp. I nasjonal sammenheng tenker man først og fremst på hydroelektrisk energi og andre fornybare energiformer når vi snakker om elektrisitetsproduksjon. Dette er ikke situasjonen ellers i verden.

Kull er den desidert viktigste energibæreren i økningen i verdens elektrisitetsproduksjon. Hver uke åpner et nytt kullkraftverk i verden. Dette gir også et formidabelt potensial for bruk av flyveaske som substitutt for Portland klinker og som reduksjonsredskap av utslipp fra verdens økende betongproduksjon. Malhotra [32] refererer til "Weather makers" av Tim Flannery i 2005 og gir følgende oversikt over forventet bygging av kullfyrte elektrisitetsverk.

Tabell 2: Bygging av kullfyrte elektrisitetsverk i verden iflg. [32]

1999-2009	249
2009-2019	483
2020-2030	710

Det er interessant å merke seg at vi også finner de fleste landene med sterkest vekst i sementforbruk blant de største kullprodusentene i verden.

Tabell 3: Verdens 10 største kullproduserende og kullforbrukende land i mill tonn oljeekvivalenter [32]

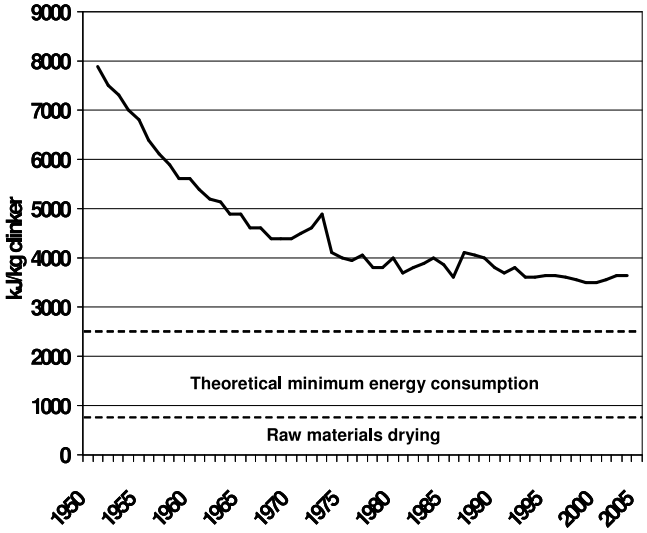
	Produksjon	*Forbruk*
Kina	989,8	956,9
USA	567,2	564,3
Australia	199,4	54,4
India	188,8	204,8
Sør-Afrika	136,9	94,5
Russland	127,6	105,9
Japan		120,8
Indonesia	81,4	
Polen	69,8	57,7
Tyskland	54,7	85,7
Kasakstan	44,4	
Sør-Korea		53,2

Vi presiserer igjen at selv om flyveaske er, og i økende grad vil bli, det viktigste substituttmateriale for redusert CO_2-utslipp, vil dette variere betydelig mellom forskjellige land, og sågar innen enkeltland. Innenfor Europa (Cembureau) utgjør Portland flygeaske sement omkring 6 % av totalt sementvolum. Det sementproduktet som har størst vekst de senere tiår er Portland kalksteinsement, hvor opp til 20 % av sementklinkeren kan være erstattet av kalkstein. Denne produkttypen utgjør ca 24 % av det totale sementvolum i Cembureau-området. Kalkstein er sannsynligvis det dominerende substituttmaterialet i Europeisk sementindustri i dag. Det kan nevnes at Portland kalksteinsement er hovedtypen i våre naboland Sverige og Danmark. Portland flygeaskesement er hovedtypen i Norge. Hvilke substituttmaterialer som vil øke i framtiden i Europeisk sementindustri avhenger først og fremst av tilgang og pris på brukbare kvaliteter samt industristruktur og tradisjoner. I noen land brukes flygeaske og slagg som erstatningsmaterialer til sementproduksjon. Mens i andre land brukes disse materialene som erstatning for deler av sementen i den senere betongproduksjonen.

For sammenliknings skyld har vi i BILAG 1 til rapporten sett på noen scenarier i global sammenheng over mulig økt nytte av substitutthjelpemidlet. Med referanse til avsnitt 6.2 i denne rapporten, ser vi at en 2020-målsetning antagelig er oppnålig ved bruk av substitutthjelpemidlet alene, forutsatt at vi utnytter ca 70 % av potensialet. Hvorvidt dette er det alternativet som er gunstigst, i forhold til utnyttelse av andre virkemidler er et annet spørsmål.

8.2 Mer effektiv sementproduksjon

Det finnes betydelige potensialer i reduksjoner i utslipp av klimagasser ved mer effektiv sementproduksjon i de land som representerer de tyngste volumene av verdens sementproduksjon. Dette gjelder så vel I-land som U-land. Damtoft [14], hevder at et teoretisk minimum for energiforbruk i sementproduksjon ligger under 3000 kJ pr. tonn klinker.



.

Figur 15: Spesifikk energiforbruk i tysk sement industri, og teoretisk minimumsverdier [14]

Til sammenlikning kan nevnes at Norcems miljørapport [4], angir følgene verdier for deres to fabrikker i 2007:
* Dalen: 3503 kJ/ kg klinker
* Kjøpsvik: 3530 kJ/ kg klinker

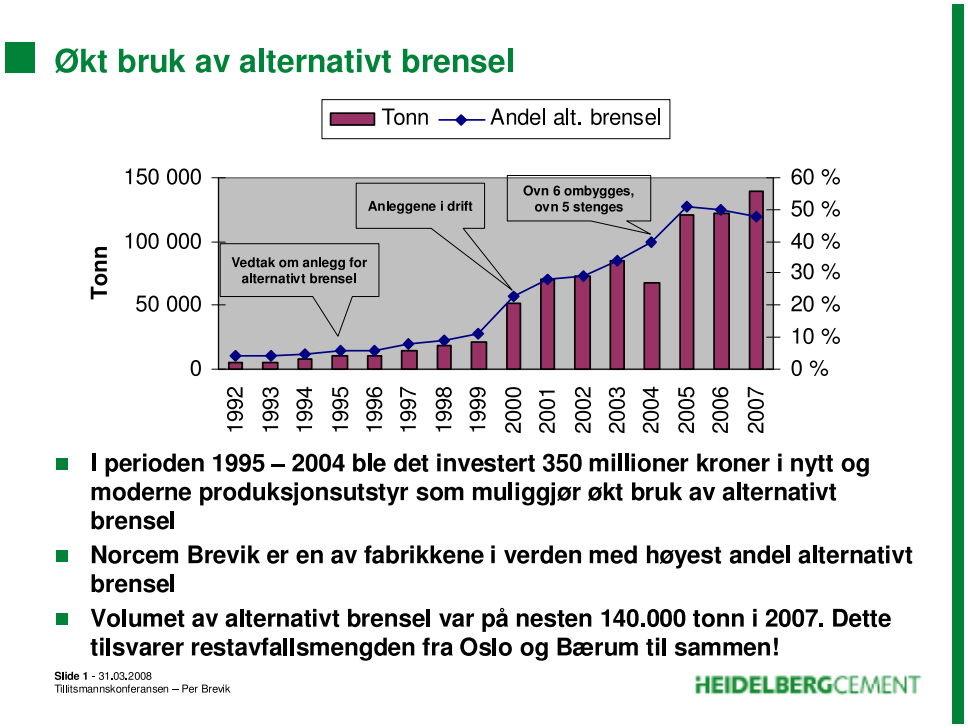
I global sammenheng er variasjonene meget store. Dersom produksjonen i verden kunne moderniseres ned mot 3- 3,5 MJ/kg ville det ligge besparelser i CO_2-utslipp på i størrelsesorden 0,10 kg CO_2 pr. kg klinker. Om videre 1/3 av energiforbruket blir klimanøytralt brensel (jfr. neste avsnitt), hvilket er klart mulig, vil effektivisering av sementproduksjonen bidra med utslippsreduksjon på 0,17-0,20 kg CO_2 pr kg bindemiddel. Dette tilsvarer en utslippsreduksjon på omtrent 20 % ved uforandret sementforbruk.

Cement Industry Energy Intensities by Region and Subregion					
Region Energy Intensities			SubRegion Energy Intensities		
Region Name	MJ per kg Clinker		SubRegion Name	MJ per kg Clinker	
	1990	2000		1990	2000
I. North America	5.47	5.45	1. USA	5.50	5.50
			2. Canada	5.20	4.95
II. Western Europe	4.14	4.04	3. W. Europe	4.14	4.04
III. Asia	4.75	4.50	4. Japan	3.10	3.10
			5. Australia & NZ.	4.28	4.08
			6. China	5.20	4.71
			7. SE. Asia	5.14	4.65
			8. Rep. Of Korea	4.47	4.05
			9. India	5.20	4.71
IV. Eastern Europe	5.58	5.42	10. FSU	5.52	5.52
			11. Other E. Europe	5.74	5.20
V. South & Latin America	4.95	4.48	12. S. & L. America	4.95	4.48
VI. Middle East & Africa	5.08	4.83	13. Africa	5.00	4.75
			14. Middle East	5.17	4.92

Figur 16: Energiforbruk ved klinkerproduksjon iflg. [9]

<u>Økt bruk av alternativt brensel er et særdeles viktig punkt i sementindustriens bestrebelser:</u>
I tilknytning til produksjon av sement, kommer i størrelsesorden 1/3 av klimagasser (CO_2) fra det brenselet som benyttes i forbrenningsprosessen. I produksjonen av klinker ligger det største reduksjonspotensialet i å erstatte fossilt brensel (primært kull) med avfallsbasert brensel (alternativt brensel). På denne måten utnyttes for det første energien i avfall som for en stor del ville gått til deponi, for det andre reduseres bruken av kull (som er en begrenset ressurs) og biomasseandelen i det alternative brenselet er CO_2-nøytral, slik at utslippene fra produksjonsprosessen reduseres.

Det har vært en kraftig økning i bruken av alternative brensler blant sementprodusentene. Norcems fabrikk i Brevik var tidlig ute (siste halvdel av 80-årene) og har gjort store investeringer for å utvikle sitt alternative brenselkonsept. De tre hovedfraksjonene som benyttes ved fabrikken i Brevik er Foredlet Avfalls Brensel (FAB) som består av forbehandlet husholdningsavfall og industriavfall, brensel basert på forbehandlet farlig avfall produsert hos datterselskapet Renor og dyremel (restproduktene fra kjøttproduserende industri). Figuren under viser utviklingen med hensyn til volum og erstatning i Brevik. Siste år var tilnærmet halvparten av den termiske energien alternativt brensel, og det samlede volumet lå i underkant av 140 000 tonn (som erstatter ca. 65 000 tonn kull). Samlet CO_2-effekt ligger i størrelsesorden 125 000 tonn CO_2/år.



Figur 17: Volum og erstatning av kull med alternative brensler ved Norcems sementfabrikk i Brevik.

På dette området ligger europeisk sementindustri langt framme. En vesentlig grunn er selvsagt at CO_2 allerede er en konkret utfordring i Europa slik at bedriftene har startet sin tilpasning. Forskjellene er imidlertid store også innen Europa. Alle de 6 sementfabrikkene i Nord-Europa som eies av HeidelbergCement ligger over konsernets gjennomsnitt mht. bruk av alternativt brensel, men andelen svinger fra i underkant av 20 % til over 50 % som vist på Figur 17. Fokus på mulighetene for å redusere CO_2-utslippene knyttet til klinkerproduksjonen ytterligere er sentralt i sementprodusentenes arbeid for en mer bærekraftig utvikling.

8.3 "Nye" sementtyper

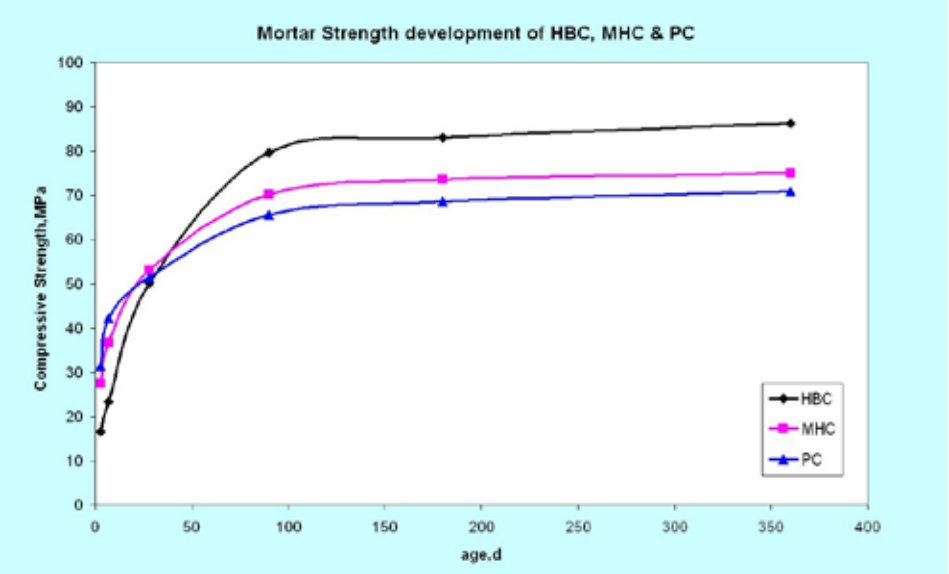
I en rapport fra 2003 [3] referer Jahren til rapporter fra over 20 forskjellige land som omhandler alternative bindemidler. De fleste av rapportene baserer seg imidlertid på utnyttelse av substituttmaterialer, og gir lite nytt i CO_2-reduksjonshenseende sammenliknet med det vi har omtalt i avsnitt 8.1. foran. Utviklings- og forskningsarbeid som søker å finne alternative sementer/metoder for sementproduksjon med mindre klimagassutslipp synes i dag å stå på agendaen i de fleste land som har kommet langt innen sement- og betongteknologi. Et av de mange eksemplene er foredraget fra Ellis Gartner på Lillehammerkonferansen i 2007 [35]; "Low CO_2 cements based on Calsium Sulfoaluminates".

Av andre eksempler never vi:
Eksempel 1:Kinesisk High Belite Cement (HBC)
China Building Materials Academy (CBMA) i Beijing har blant annet utviklet en type belite-sement som de har kalt HBC som iflg. Sui Tongbo et al. [36] pr. september 2007 var lisensiert til 4 kinesiske sementselskaper, og som er benyttet i en rekke store prestisjefylte prosjekter, bl.a. til Three Gorges Dam og olympiaanleggene i Beijing. Dette er en sementtype hvor ovnstemperaturen senkes til 1350 °C. Dette er hovedårsaken til at man fikk

- 20 % reduksjon i energiforbruk
- 10 % reduksjon i CO_2-utslipp

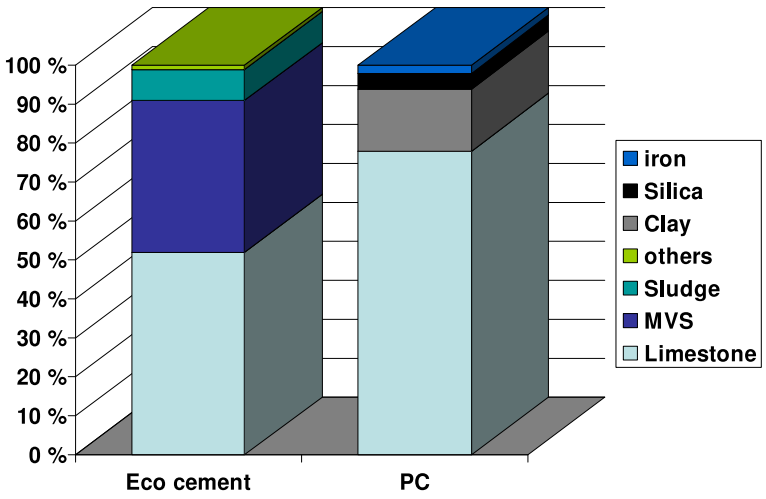
– 20 % kostnadsreduksjon

Denne sementen har vesentlig saktere herdeforløp enn tradisjonell portland-sement. Dette kan gi begrensning i bruk av moderne byggeteknikk.



Figur 18: Fasthetsutvikling for HBC i forhold til PC (Portland Cement) iflg. [36] Malingsgrad etc er justert for å få lik fasthet etter 28 døgn.

Eksempel 2: Japansk ECO-cement
Denne sementtypen ble akseptert som Japansk standard i 2002 (JIS 2514), og baserer seg på bruk av husholdningsavfall som et viktig råmateriale (MSW – Municipal Solid Waste) (500 kg/tonn cement). 110 000 tonn pr år produseres av Taiheiyo Cement i Japan [37]. Forsøk etter tilsvarende ideer har vært gjort i en rekke land, også i Europa.



Figur 19. Sammenlikning i % av råvarer for Eco Cement og Portland Cement [37]

Forsøkene med alternative sementtyper er interessante og mange, og det er mulig at vi i løpet av 15-20 år vil finne nye typer i bruk i et interessant omfang. En edruelig vurdering av

hvilken betydning de vil kunne få på utslippssituasjonen i et 2020 perspektiv, som et mulig tillegg til de virkemidler som er nevnt tidligere, resulterer i relativt små potensielle globale utslippsreduksjoner. Hovedårsaken til denne erkjennelsen er:

8.4 Endret konstruksjonspraksis

En mer bevisst holdning til miljø generelt, og utslipp av klimagasser spesielt på planleggingsstadiet, kan gi interessante effekter på utslippstallene fra betongkonstruksjoner i et livsløpsperspektiv, men har liten eller ingen effekt på utslippstall fra betongproduksjon i et 2020-perspektiv. I et 2050-perspektiv vil tiltakene ha begrenset til liten virkning.
De viktigste forbedringstiltakene for redusert CO_2-utslipp vil være:

- Energireduksjon i bygninger gjennom bedre utnyttelse av betongens termiske masse
- Miljømessig bevisst planlegging, tilsvarende det amerikanske LEED-systemet eller tilsvarende. I tillegg til reduksjon av utslipp fra en rekke enkeltområder, bidrar systemet også til andre miljømessige gevinster. (LEED-systemet (Leadership in Energy and Environmental design) er et ratingsystem for bygninger utviklet av US Green Building Council, som synes å få økende betydning i USA og Canada, spesielt for offentlig byggevirksomhet
- Bevisst krav og forbedring av betongens bestandighet
- Krav til mer bruksfleksible løsninger som reduserer behov for destruksjon av konstruksjoner begrunnet i nye brukskrav
- Vurdere krav til at enhver konstruksjon skal kunne tilpasses nye bruksområder, eller at materialene i konstruksjonen skal kunne gjenbrukes/gjenvinnes
- I en artikkel i Cement Nå 1/08 påpeker Knut O. Kjellsen [38] at vi kan spare betydelige utslipp ved å redusere/optimalisere de betongfastheter som beskrives og benyttes

8.5 Andre forhold

Vi har tidligere (kap 7) nevnt CCS-lagring av CO_2. Vi ser dette som et særdeles interessant alternativ i et langsiktig perspektiv. Dette må imidlertid ikke forhindre at initiativ tas og presset holdes oppe for å gjennomføre andre tiltak.

Enkelte har hevdet at restriksjoner må taes i bruk som virkemidler;

- et behov for en CO_2-avgift synes rimelig dekket av det kvoteringssystem som delvis er innført, og som får stadig større utbredelse. Det er imidlertid viktig at et slikt system:
  - ikke virker konkurransevridende mellom forskjellige materialalternativer
  - ikke virker konkurransevridende mellom produsenter fra forskjellige land
  - og at ikke et kvotekjøpingssystem i framtiden fører til innkjøp av kvoter fra utviklingsland, som igjen bidrar til å hemme deres sosiale utvikling

Reduksjon av betongens pastavolum gjennom økt kunnskap og FoU på bruk av proposjonerings-/pakningsteknologi [39], og økt bruk av vannreduserende midler er viktig. Vi forventer at økt bruk av substituttmaterialer også vil medføre et behov for økt bruk av vannreduserende midler. Dette vil redusere, men ikke eliminere, muligheten for bruk av slike stoffer for å redusere pastavolum, og derved også CO_2-utslipp alene. Andre begrensninger for å utnytte dette hjelpemidlet er også tilgjengelighet og pris. Teoretisk kan det være mulig å utnytte vannreduserende stoffer som et separat hjelpemiddel til å bringe CO_2-utslippene ytterligere nedover 0,02-0,04 kg pr kg bindemiddel globalt. Selv om norske tall vil være betydelig mindre, bør det også her være interessante potensialer.

9 Endring i viktige sammenligningsparametere?

For vel et halvt århundre siden klarte noen kloke hoder å bli enige om internasjonale regler for hvordan vi skal teste sement og betong, slik at vi får verdier som også kan sammenliknes over landegrensene. Dette har vært nyttig for å øke forståelse for, og å utveksle, teknologi, erfaringer og nyvinninger. Men, er det på tide å se på en del av disse reglene for å se om de er tidsmessige, og om de fremmer en ønsket utvikling mot reduserte klimagassutslipp?

Eksempel 1:
Den viktigste sammenlikningsparameter og godkjenningsparameter for sement og betong, er trykkfasthet testet etter 28 døgn. I tillegg testes ofte etter 1, 2, 3 og 7 døgn. Betong har stort sett følgende kritiske tidspunkter krav til styrke:

1. **Avformingstidspunktet:** Avformingstidspunktet er ofte etter 15 til 18 timer etter utstøping for industriproduksjon og noe senere for plasstøpte konstruksjoner. Krav til fasthet kan variere fra 15-20 % av karakteristisk fasthet for prefabrikerte betongvarer, for å unngå skader under håndtering og lagring, til 40-60 % av karakteristisk fasthet for avspenning, oppspenning av spennarmerte konstruksjoner
2. **Første belastningstidspunkt:** Dette kan være når et betongelement monteres i et byggverk, når formen slippes i en seksjon i en frittframbyggbro etc. Oftest blir belastningen i størrelsesorden egenlasten i byggverket, eller noe over 50 % av kritisk belastning. Tidspunktet er ofte ca. en uke etter utstøping
3. **Første gang med mulig maksimal nyttelast:** Dette skjer sjelden før etter 3-6 måneder etter utstøping

En mer realistisk tidssyklus for å tilpasse seg til virkeligheten og gi nyttig brukerinformasjon, enn det regime vi har i dag, ville antagelig være å teste kritisk fasthet for sement og betong etter 90 dager, med tilleggsopplysninger om fastheter etter 18 timer og 7 døgn. Dette vil også redusere faren for at dagens testregime bremser utviklingen/bruken av mer miljøvennlige bindemidler. Et eksempel på dette ser vi av Figur 18. Typisk for en High Belite Cement er at den kan ha lik fasthet som en Portland sement etter 28 døgn, men har 20-25 % høyere fasthet etter 90 døgn. Tilsvarende finner vi for en rekke av de bindemiddelskombinasjoner som diskuteres for lavere utslipp av CO_2.

Av flere praktiske grunner, særlig for sammenlikning med eksisterende tekniske data og forskningsresultater, er det neppe realistisk å fjerne det systemet vi har i dag, men det bør vurderes å innføre en likeverdig subsidiær metode for å sikre at ikke testmetodene gir konkurransevridning i disfavør av miljøvennlige alternativer.

Eksempel 2:
Standard testing skjer normalt ved 20 °C. Knapt noen betong blir støpt ut ved denne temperaturen, så denne standardiserte forutsetningen er av liten pedagogisk verdi for brukerne. Et typisk fellestrekk med de fleste utslippsgunstige bindemiddelalternativene, er at de er ”tregere” en dagens vanlige alternativer. At de har lavere varmeutvikling fører også normalt til gunstigere egenskaper med hensyn til bestandighet. Krav til testtemperatur er derfor også et område hvor vi bør se nærmere på muligheten for å innføre likeverdige subsidiære testregler.

Hensikten med disse eksemplene er å argumentere for at det bør igangsettes et grundig arbeide for å se på om de regler vi har i dag kan være hemmende for en positiv miljøutvikling.

Det er også nødvendig å se på de regler som benyttes for å dokumentere og opplyse om CO_2-utslipp fra sementproduksjon. Fordi det eksisterer 2 forskjellige dokumentasjonsbehov oppstår det en viss forvirring og misforståelse rundt de rapporter og den informasjon som gis.

En grov forklaring på forskjellen i de 2 behovene er:

- **Dokumentasjon av produksjonens fotavtrykk i utslippssammenheng**: Her tar man med det uslippet som skjer på produksjonsstedet, med fratrekk for bruk av biobrensel. De utslippene som for eksempel kommer fra nedmaling og av innblanding av slagg taes ikke med, fordi de skal taes med i nasjonale og globale utslippsregnskaper av slaggprodusenten

- **Dokumentasjon av utslipp i en LCA- sammenheng**: Her må man ta med utslipp fra alle de råstoffer/energikilder som benyttes, for eksempel nedmaling av slagg. Destruksjon av miljøfarlig mineralsk brensel bør trekkes fra, fordi hvis man ikke hadde benyttet dette brenselet, ville utslippet kommet annet sted. Følgelig er dette ikke en miljøbelastning som tilhører sementproduksjonen

Vanligvis oppgis bare en av disse verdiene, og oftest bare den første. Etterregning av diverse rapporter viser at det kan være forskjeller i størrelsesorden 5-15 % (0,05-0,10 kg CO_2 pr kg sement) mellom realistiske og angitte verdier. Det bør taes initiativ til å innføre et system hvor begge verdiene oppgis fra sementprodusenter og i forskningsrapporter og publikasjoner.

10 FoU – behov og muligheter

Erfaring, blant annet fra en rekke internasjonale konferanser og seminarer de senere årene, har vist at det i de fleste land i verden foregår et intensivert forsknings- og utviklingsarbeide rettet mot mer miljøvennlige løsninger. Reduksjon av utslippene av CO_2 er et av de mest sentrale temaene. En gjennomgang av www.miljobasen.no i mars 2008, viser at av 946 registrerte publikasjoner, er 253 registrert under temaet UTSLIPP og 251 under temaet RESSURS-/ENERGIFORBRUK.

Vi har i det etterfølgende notert en del oppgaver som vi ikke kjenner til at det foregår FoU på, eller hvor vi mener at arbeidet bør intensiveres:

1. En kritisk gjennomgang av alle testmetoder og godkjennings- og kvalitetsregler med vurdering av om de bør moderniseres og om de kan virke hemmende for en positiv utvikling mot reduserte klimagassutslipp. Samtidig vurdere relevante forbedringsalternativer som kan benyttes som likeverdige subsidiære regler
2. Vurdering av utarbeidelse av entydige regler for rapportering av utslipp av CO_2 fra sementproduksjon, som både viser utslipp i en ”footprint”-sammenheng, og som angir korrekte verdier for bruk i en LCA-analyse (livssyklus)
3. Studie for å undersøke mulige teknisk, økonomisk og miljømessig fortrinn av å øke/senke krav til betongens bestandighet og krav til levealderbeskrivelse under planlegging
4. Studie av hvordan hverdagsrasjonalisering hos betongprodusenter og entreprenører kan redusere klimagassutslipp fra betongproduksjon
5. Vurdere effekten av og foreslå løsninger og tiltak slik at betongkonstruksjoner som bygges, enkelt skal kunne tilpasses nye bruksområder eller demonteres/gjenbrukes/resirkuleres
6. Ytterligere oppgaver vil framkomme etter utarbeidelse av handlingsplan, som nevnt i neste avsnitt i rapporten

Til orientering pågående prosjekter i COIN (COIN – COncrete INnovation Centre).
Prosjektet har 5 Task Groups:
TC1: Sement og bindemidler (inkl. miljøvennlige produkter)
TC2: Betongteknologi (inkl. miljø og ressurseffektive løsninger)
TC3: Konstruksjonsløsninger (inkl. miljø og ressurseffektive løsninger)
TC4: Levetid
TC5: Energibruk
Spørsmål rundt CO_2-utfordringen vil være sentralt i alle delaktivitetene.

11 Hva vil miljøkomiteen gjøre?

Norsk Betongforenings Miljø-komité har et mandat for sitt arbeid godkjent av Norsk Betongforenings styre og

- skal blant annet overvåke oppdatering av miljobasen.no
- arrangerte i september 2007 en større internasjonal konferaanse om ”Sustainability in the Cement and Concrete Industry” på Lillehammer. Konferansen hadde deltakere fra over 20 land, og ble betegnet som faglig meget vellykket. Utslipp av Klimagasser var et av de store temaene på konferansen
- tok i desember 2007 initiativ til den problemgjennomgang som denne rapporten representerer. Rapporten planlegges overlevert Norsk Betongforenings styre i september 2008

Miljøkomiteen vil arbeide videre med et utkast til en bransjehandlingsplan når dette blir prioritetsmessig aktuelt.

12 Sluttord

Denne rapporten er utarbeidet for å bidra til klarlegging av utfordringer, betongindustriens plass i en større sammenheng nasjonalt og internasjonalt, med hensyn til utslipp og utslippsreduksjoner av CO_2. Den vil forhåpentligvis være et godt utgangspunkt for et viktig oppgave med å lage en bransjehandlingsplan på området på et egnet tidspunkt.

13 Referanser

1 Sage R.: Sustainable Development of the International Cement and Concrete Industry. Climate Change and Minerals and Metals. Three-Day CANMET/ACI International Symposium on Sustainable Development of the Cement and Concrete Industry. Ottawa, Canada Oct 21-23, 1998. Speakers foils
2 Glavind M., Damtoft J.S., Røtting S.: Cleaner Technology Solutions in the Life Cycle of Concrete Products. Third CANMET/ACI International Symposium. San Fransisco, USA, September 2001. Supplementary Papers pp 313-327
3 Jahren P.: Greener Concrete – What are the options? The CO_2-case. Report STF22 A03610, SINTEF, Cement and Concrete, Trondheim, Norway, August 2003
4 NORCEM AS: Rapport on bærekraftig uyvikling 2007, **www.norcem.no**
5 KLIMA 1-08, Cicero, Senter for Klimaforskning, Oslo, 2008
6 Hauge Frederic: From Pollution to Solution, FABEKO-konferanse, Mars 2008, PPt-presentasjon
7 Cembureau, Activity Report 2006, **www.cembureau.eu**
8 Mingshu Tang: Extending the service life of infrastructure – The most important issue for saving energy and reducing emission, International Worshop on Cement & Concrete Technology for Sustainable Development, Nanjing, China, August 8, 2007
9 Jahren Per: Climate Change and CO_2 Emission- Effect on Concrete Technology, Strategy meeting, Dutch Precast Concrete Association , Woerden, Holland , Oct. 18,2007
10 The Economist: Pocket World in Figures 2007,London, ISBN-10: 1 86197 8251
11 Jahren Per: How to Improve the CO_2 – Challenge, A world wide review. International Conference on Sustainability in the Cement and Concrete Industry, Lillehammer, Norway September 16-19, 2007, pp. 136-148
12 Humphreys K., Mahasenan M., Placet M., Fowler K.: Towards a Sustainable cement Industry – Substudy 8. Climate Change. March 2002. World Business Council for Sustainable development, **www.wbsccement.org**
13 Sakai Koji: Standardization and Systems for Sustainability in Concrete and Concrete Structures, International Conference on Sustainability in the Cement and Concrete Industry, Lillehammer, Norway September 16-19, 2007. (PPt-presentation)
14 Damtoft Jesper Sand: The Sustainable Cement Production of the Future. International Conference on Sustainability in the Cement and Concrete Industry, Lillehammer, Norway September 16-19, 2007 pp. 75-84
15 Gullberg Anne Therese: Skjerpet kvotesystem i EU etter 2012. KLIMA 1-08, Cicero, Senter for Klimaforskning, Oslo, 2008
16 Pachauri Rajendra: Tale til åpningssesjonen i FN's generalforsamling 24 September 2007, **www.ipcc.ch**
17 IPCC Working group I, Chapter 10, **www.ipcc.ch**
18 Aarstad Geir Magne: Tjuvholmen – Parkeringsgarasje med 600 parkeringsplasser under vann, Norsk Betongdag 2007, Trondheim, Norsk Betongforening, Oslo
19 Sui Tongbo: High Performance Low Heat Portland Cement – High Belite Cement, Preparation & Performance, Application and Perspective, 2007 International Workshop on Cement & Concrete Technology for Sustainable Development, Beijing, Nanjing, Lhasa, August 2007, China Building Materials Academy (CBMA), Beijing 100024, China
20 byggutengrenser.no: Termisk masse og klimatisering av bygninger – en oversikt tilrettelagt for byggherrer, arkitekter og rådgivende ingeniører. **www.byggutengrenser.no**
21 Biasioli F., Øberg M.: Concrete for Energy Efficient and Comfortable Buildings. . International Conference on Sustainability in the Cement and Concrete Industry, Lillehammer, Norway September 16-19, 2007.pp. 593-599
22 byggutengrenser.no: Verdt å vite Mur og Betong. **www.byggutengrenser.no**
23 Jahren Per; Bærekraftig utvikling for sement- og betong industrien, Beong Industrien 4/ 1988, Oslo
24 Jacobsen Stefan, Jahren Per : Binding of CO_2 by Carbonation of Norwgian OPC Concrete, Third CANMET/ACI Symposium on Sustainable development in the Cement- and Concrete Industry, San Fransisco September 2001, Supplementary papers. pp. 329-338
25 Pade Claus, Guimaraes Maria, Kjellsen Knut, Nilsson Åsa; The CO_2 uptake of concrete in the pertspective of life cycle inventory. International Conference on Sustainability in the Cement and Concrete Industry, Lillehammer, Norway, September 16-19, 2007. pp. 230-235
26 Baetzner Silvan, Pierkes Roland: Release and uptake of carbon dioxide in the life cycle of cement. European Cement Research Academy, Technical report TR-ECRA 0004/2008. Duesseldorf, Tyskland, 2008

27 Engelsen J. Christian, Mehus Jacob, Pade Claus, Sæther Dag Henning: carbon dioxide uptake in demolished and crushed concrete, Byggforsk, Oslo, Project report 395-2005
28 Statistisk sentralbyrå, www.ssb.no
29 NHP-nettverket: Nasjonal handlingsplan for bygge- og anleggsavfall 2007-2012. (utarbeidet for byggenæringen), 2007, www.byggemiljo.no
30 Sakai Koji; Mail-korresondanse 17.08.07. Tall fra Japan Crushed Stone Association
31 Noguchi T., Fujimoto S.; Evaluation and Minimalization of life cycle environmental risk of concrete structures, Sustainable Construction Materials and Technologies, Coventry, UK, June 2007
32 Malhotra Mohan v.: Global Warming and Sustainability Issues as related to Concrete Technology. International Conference on Sustainability in the Cement and Concrete Industry, Lillehammer, Norway September 16-19, 2007 pp. 17-26
33 Fidjestøl P., Dåstøl M, Nielsen T.: Sustainabilty of Concrete Construction. International Conference on Sustainability in the Cement and Concrete Industry, Lillehammer, Norway September 16-19, 2007. pp. 85-94
34 Stangeland Aage: Legal Framework for CO_2 Capture and Storage. Bellona-seminar, Oslo, 07.03.08, **www.bellona.no**
35 Gartner E. Low-CO2 Cements based on Calcium Sulfoaluminates. International Conference on Sustainability in the Cement and Concrete Industry, Lillehammer, Norway September 16-19, 2007. pp. 95-105
36 Sui Tongbo, Wen Zhaijun, Wang Jing, Fan Lei: A Study of the Performance of High Belite Cement and Concrete. International Conference on Sustainability in the Cement and Concrete Industry, Lillehammer, Norway September 16-19, 2007 (PPt-presentation)
37 Sui Tongbo: Innovation of Cement based Materials for Sustainable Development. 2007 International Workshop on Cement & Concrete Technology for Sustainable Development, Beijing, Nanjing, Lhasa, August 2007, China Building Materials Academy (CBMA), Beijing 100024, China
38 Kjellsen Knut O.: For høy fasthet I norsk byggbetong? Cement Nå 1/08, **www.norcem.no**
39 Jacobsen Stefan et.al: Aggregate packing and void saturation ratio in mortar and Concrete proportioning, Springer: Materials & Structures Vol 41, No 4, 2008 pp. 701-716

BILAG 1

CO2 utslipp - sement og betong
UTFORDRINGER OG PERSPEKTIVER

SCENARIOER I GLOBAL SAMMENHENG OVER MULIG ØKT NYTTE AV SUBSTITUTTHJELPEMIDDELET – Ref. Rapportens avsnitt 8.1.

Scenario 1:

- Substituttpotensialet (1,73 Mrd. tonn i 2020) utnyttes 50 %.

A. Sementforbruk 2,9 Mrd. tonn:

Anslått utslipp= 0,85 x (2,9 - (1,73 x 0,5))/ 2,9 = 0, 60 tonn CO_2 pr. tonn bindemiddel

B. Sementforbruk 3,5 Mrd tonn:

Anslått utslipp= 0,85 x (3,5 - (1,73 x 0,5))/3,5 = 0,64 tonn CO_2 pr. tonn bindemidddel

Scenario 2:

- Substituttpotensialet utnyttes 70 % i 2020:

A. Sementforbruk 2,9 Mrd. tonn:

Anslått utslipp= 0,85 x (2,9 - (1,73 x 0,7))/ 2,9 = 0, 50 tonn CO_2 pr. tonn bindemiddel

B. Sementforbruk 3,5 Mrd tonn:

Anslått utslipp= 0,85 x (3,5 - (1,73 x 0,7))/3,5 = 0, 56 tonn CO_2 pr tonn bindemiddel

Scenario 3:

- Substituttpotensialet utnyttes 90 % i 2020:

A. Sementforbruk 2,9 Mrd. tonn:

Anslått utslipp= 0,85 x (2,9 - (1,73 x 0,9))/ 2,9 = 0, 39 tonn CO_2 pr. tonn bindemiddel

B. Sementforbruk 3,5 Mrd tonn:

Anslått utslipp= 0,85 x (3,5 - (1,73 x 0,9))/3,5 = 0,47 tonn CO_2 pr. tonn bindemiddel

Tilknyttet Tekna • Postboks 2312 Solli, 0201 Oslo • Telefon: 22 94 75 00 • Telefax: 22 94 75 01