



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

BACHELOROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:

Byggingeniør/konstruksjonsteknikk

Vårsemesteret, 2021...

Åpen / ~~Konfidensiell~~

Forfatter: Monika Sævareid

Fagansvarlig: Kjell Tore Fosså

Veileder(e): Roar Vigre

Tittel på bacheloroppgaven:

Betong som byggemateriale i fremtidens konstruksjoner

Engelsk tittel:

Concrete as Building Material in Future Constructions

Studiepoeng: 180

Emneord:

Klimaendringer, netto nullutslipp, CO₂,
lavkarbonbetong, miljøvennligbetong,
bærekraftige bygg, karbonfangst-og lagring,
CCS, vindkraft, Hywind Tampen

Sidetall: 62.....

+ vedlegg/annet: 0.....

Stavanger, 29.05.2021.....
dato/år

Sammendrag

Globale klimautfordringer er et viktig tema i dagens samfunn. Det er viktig å tenke på miljø og bærekraft for at fremtidige generasjoner skal ha en levedyktig klode.

Byggebransjen og spesielt ferdigbetongbransjen etterlater seg store klimaavtrykk som det må gjøres noe med. Den utviklingen som har oppstått de siste 100 årene må bremses. Sementindustrien står for 4-5 % av de globale utslippene. Norge og Europa er på god vei i satsingen på å bremse denne utviklingen. Bare de siste årene har det skjedd en enorm utvikling i betongindustrien hvor miljø- og klimasatsing har vært et fokus for flere bedrifter. Ølen Betong er en av bedriftene som har stilt seg i spissen for denne satsingen.

Selve byggebransjen står for omtrent 40 % av utslippene. Tiltak som rehabilitering av bygg, slankere konstruksjoner, lavenergihus, gjenbruk av materialer og bedre avfallshåndtering er viktige tiltak for å bedre klimaregnskapet. Vi må velge bærekraftige bygg og materialer som har god bestandighet og lang levetid. I tillegg til at bygg på gjøres mer demonterbare enn de er i dag slik at de kan brukes på nytt.

SINTEF og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) har flere nye forskningsprosjekter hvor det blant annet forskes på nye tilsetningsmaterialer som kalsinert leire, sement uten oppvarmingsprosess og aluminiumsarmert betong. Universitetet i Tromsø startet i 2019 et stort forskningsprosjekt for bedre håndtering av avfallsstrømmer. Forskningsområdene er bra, men det går ofte veldig lang tid fra konseptstudie til ferdigstilling, da vi trenger tiltak allerede nå.

Teknologier som karbonfangst- og lagring og energieffektivisering er løsninger som vil ha en betydelig rolle i klimaregnskapet. Effekten av Carbon Capture and Storage- (CCS) teknologien vil vi ikke se før Norcem har ferdigstilt anlegget sitt. Det som er positivt er at myndighetene har gitt statlige støtteordninger for at det skal bli mulig å utvikle denne teknologien. I tillegg leder Norcem an for sementindustrien, og forhåpentligvis vil andre land følge etter.

Myndigheter og byggherrer må på banen å sette krav for at vi skal kunne oppnå netto nullutslipp innen 2050. Geografiske forskjeller gjør det derimot vanskeligere å sette strengere krav til standardene. Avfallshåndtering er ofte bedre i byer, transportavstander og tilgang til tilsetningsmaterialer og tilslag vil variere i landet. CO₂ kvoteprisen må opp for at det skal bli lønnsomt å investere i miljøprodukter og avfallsbehandling. Kostnadene klimaendringene vil påføre oss på sikt vil bli svært mye høyere enn kostnadene for å få ned utslippene.

Abstract

Climate change and global warming are a potential threat to our future generations. It is important to slow down the development for future generations to have a viable planet. The construction industry and especially concrete industry leave behind climate footprints that need to be addressed. The development that has taken place the last 100 years must be decreased. The cement industry stands for 4-5 % of the CO₂ emissions. Fortunately Norway and Europe are on a good way to slow down the development. There has been enormous focus on the environment in the industry recent years. Ølen Betong is one of the companies that has taken initiative to improve the industry.

The construction industry accounts for 40 % of the emissions. Measures like rehabilitation of buildings, low energy houses, reuse of materials and better waste management are important for the future. Selection of sustainable materials that have good durability for future building projects. In addition new buildings must be made more energy efficient, and more demountable than they are today in order to reuse them.

Sintef and NTNU have many new research projects going on. Some of them are new additive materials for cement such as calcined clay, bacteria-based cement and aluminium reinforced concrete. The University in Tromsø started in 2019 a research project for better waste management for the concrete industry. There are some good research studies going on, but it often takes very long time from the conceptual studies to results as we need the measures already now.

Technologies such as Carbon Capture- and Storage (CCS) and energy efficiency are solutions that will play a significant role in global warming and climate changes. We will not see the effect of the CCS technology before a couple of years. The positive effects is that the Governments has provided support to make it possible to develop this technology. In addition Norcem is an inspiration for the rest of the cement industry of what can be accomplished.

If we are to achieve net zero emissions by 2050 the authorities and construction clients must set environmental requirements. The CO₂ tax has to rise in order for it to be profitable to invest in environmental products and to minimize waste flows. The cost that climate change will inflict on us in the long run, will be higher than the cost to reduce the emissions.

Forord

Denne oppgaven er utarbeidet våren 2021 i samarbeid med Ølen Betong, som en avsluttende del av bachelorgraden i konstruksjonsteknikk ved Universitetet i Stavanger. Den er utarbeidet som et selvstendig arbeid med faglig veiledning av Roar Vigre ved Ølen Betong og Kjell Tore Fosså fra Universitetet i Stavanger.

Opgaven beskriver miljø- og bærekraftig utvikling i byggebransjen med særskilt fokus på betong som byggemateriale. Teknologier og løsninger som Karbonfangst-og lagring og energieffektivisering er og diskutert i oppgaven.

Jeg ønsker å takke Tom Fredvik, Sverre Smeplass og Thomas Beck for at de tok seg tid til å bli intervjuet og har gitt meg gode innspill på hvordan byggebransjen forholder seg til miljø- og bærekraft.

Til slutt vil jeg rette en stor takk til min veileder Roar Vigre fra Ølen Betong. Han har knyttet meg opp til relevante fagpersoner i industrien og gitt meg muligheten til å delta på kurs og feltbesøk. Jeg har blant annet vært på betongfabrikken i Gismarvik og fått sett betongkonstruksjone til Hywind Tampen prosjektet. Han har gitt meg gode perspektiver om miljø- og bærekraft i betongbransjen, i tillegg til innspill på utfordring- og mulighetsområder. Han har vært en ressurs jeg ikke kunne vært foruten og sammen synes jeg vi har fått til en god oppgave.

Innhold

Figurer	vii
Tabeller	vii
Forkortelser/symboler	viii
1 Innledning	9
1.1 Begrensninger	9
1.2 Metode	10
2 Miljøpolitikk	11
2.1 Bærekraft og bærekraftig utvikling	11
2.2 Klimaforskning og FN`s klimapanel	11
2.3 Parisavtalen	12
2.4 Klimapolitikk i Norge	12
2.5 Klimagassutslipp byggebransjen	13
3 Miljøverktøy	15
3.1 Livsløp analyse	15
3.2 Miljødeklarasjoner	16
3.3 Miljøsertifisering	17
4 Betongteknologi	20
4.1 Tradisjonell betong	20
4.2 Sement	20
4.3 Tilslag	21
4.4 Tilsetningsstoffer	22
4.5 Tilsetningsmaterialer	23
4.6 Standarder	24
5 Miljøbevisst betong	26
5.1 Lavkarbonbetong	26
5.1.1 Klassifisering	26
5.2 Grenseverdier for klimagassutslipp	27
5.3 Etterspørsel etter lavkarbonbetong	27

5.4	Reduksjon av energiforbruket og klimagassutslipp ved sementproduksjon	28
5.4.1	Alternativt brennstoff.....	28
5.4.2	Reduksjon av sementklinker	29
5.4.3	Alternativer til flyveaske	31
5.5	Herdeakseleratorer	32
5.6	Kortreist tilslag og elektrifisering.....	34
5.7	Resirkulert betong	37
5.7.1	Re-Con Zero- et produkt som kan minimalisere avfallsstrømmer	37
5.8	Nyere forskning.....	39
6	Teknologier og andre løsninger	41
6.1	Bærekraftige materialer.....	41
6.2	Bærekraftige bygg	42
6.3	Karbonfangst- og lagring	43
7	Casestudie Hywind Tampen	49
8	Konklusjon	55
8.1	Videre arbeid	56
	Referanser	57

Figurer

FIGUR 1 KLIMAGASSUTSLIPP BYGGEBRANSJEN 2017 (ENERGI OG MILJØ,2021)	13
FIGUR 2 ILLUSTRASJON OVER LIVSLØPET TIL ET PRODUKT (LCA.NO)	16
FIGUR 3 MAKSIMALT TILLATT KLIMAGASSUTSLIPP (NORSK BETONGFORENING, 2020).	27
FIGUR 7 ILLUSTRASJON OVER SKJÆRINGSPUKT FOR FLYGEASKE OG NYE SCMER (KJELLEN, 2021).	32
FIGUR 8 TEMPERATURUTVIKLING HERDEAKSELERATOR VS. STANDARD FA (MAPEI AS,2020).	33
FIGUR 6 TILGJENGELIGHET AV LAVKARBONBETONG I NORGE (BJØNTEGÅRD, 2019)	35
FIGUR 7 EPD I HENHOLD TIL NS-EN 206 (FREDVIK, T., 2021).	36
FIGUR 8 EPD I HENHOLD TIL PROSESSKODE 2 (FREDVIK, 2021)	36
FIGUR 9 NORTHERN LIGHTS (SKJEGGERUD, 2021).	43
FIGUR 10 SEISMISK OBSERVASJON OVER HVORDAN CO_2 VIL UTVIKLE SEG OVER TID I RESERVOAR (NORCEM, 2021A).	44
FIGUR 11 DET FREMTIDIGE CCS ANLEGGET I BREVIK (SKJEGGERUD, 2021).	45
FIGUR 12 EFFEKT AV KARBONFANGST FOR SEMENTENS CO2 UTSLIPP (SKJEGGERUD, 2021).	46
FIGUR 13 NORCEMS NULL-VISJON (SKJEGGERUD, 2021)	47
FIGUR 14 FREMTIDIG KARBAVTRYKK FOR LAVKARBONBETONG MED CCS-SEMENT (NORCEM, 2021A).	48
FIGUR 15 BETONGKONSTRUKSJONENE TIL HYWIND TAMPEN	49
FIGUR 16 BETONG OG ARMERING TIL KONSTRUKSJONEN	51
FIGUR 17 TILSLAG OG DET MOBILE BLANDEVERKET TIL ØLEN BETONG	52
FIGUR 18 EPD AV EN LAVKARBON BETONG	53
FIGUR 19 EPD AV EN LAVKARBON BETONG FORTSETTELSE	53
FIGUR 20 EPD AV EN LAVKARBON BETONG FORTSETTELSE	54

Tabeller

TABELL 1 KATEGORIER (GRØNN BYGGALLIANSE, 2021D)	18
TABELL 2 BREEAM-KLASSIFISERING (GRØNN BYGGALLIANSE, 2021D)	18
TABELL 3 STØRRELSEORDEN FOR KJEMISK SAMMENSETNING AV PORTLANDSEMENT	21
TABELL 4 TYPISK MINERALSAMMENSETNING I KLINKER TIL PORTLANDSEMENT	21
TABELL 5 TIDSPERSPEKTIV PÅ REVIDERING AV NS-EN 197-1 (KJELLEN, 2021).	31
TABELL 6 BETONGRESEPT PÅ EN LAVKARBON BETONG FRA ØLEN BETONG	52

Forkortelser/symboler

BREEAM	Building research establishment environmental assessment method
CCS	Carbon capture and storage
CO ₂	Karbondioksid
EPD	Environmental product declaration
FAB	Foredlet avfallsbrensel
IEA	International Energy Agency
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LCA	Life Cycle Assessment
NEWSCEM	NEW Supplementary cementitious materials in CEMent production
SiO ₂	Silisiumdioksid
CaO	Kalsiumdioksid

1 Innledning

Forskerne sier at menneskeskapte klimagassutslipp er en av de største truslene verdenssamfunnet vil stå ovenfor i årene som kommer. De negative konsekvensene kommer i form av ekstremvær, økte temperaturer og klimatiske endringer. For å bremse denne utviklingen så må hele verdenssamfunnet omstille seg.

Det er blitt et økt fokus på hvordan vi skal imøtekomme denne globale klimautfordringen. Norge har blant annet satt seg et mål om å bli klimanøytrale innen 2050. Byggenæringen står for omtrent 40 % av denne miljøbelastningen dermed har jeg i denne oppgaven valgt å se på hvilke muligheter og tiltak byggenæringen kan gjøre for å redusere utslippene, og da spesielt på ferdigbetongbransjen.

Betong er et av de mest anvendte byggematerialene i bransjen og betong etterlater seg et høyt karbonavtrykk på grunn av sementproduksjonen. Dette karbonavtrykket kan reduseres. Betong kommer til å være en stor del av bygningsmassene i årene som kommer. Blant annet på grunn av kommende samferdselsprosjekter. Det er derfor viktig å se på betong som byggemateriale i et miljøperspektiv for å finne gode løsninger for en bærekraftig fremtid. Byggebransjen vil ikke klare å oppnå netto nullutslipp alene, det er derfor viktig å se på hva andre sektorer kan gjøre for å minimere karbonavtrykket og.

Norge har satt seg som mål om å oppnå netto nullutslipp innen 2050. Er det mulig å oppnå netto nullutslipp innen 2050? Hvilke bidrag kan byggebransjen og da spesielt ferdigbetongbransjen gjøre for å oppnå dette? Hvilke teknologier og muligheter er det for fremtiden? Hvilke områder trengs det mer forskning på?

1.1 Begrensninger

Opgaven belyser teknologier, muligheter og forskning fra Norge og Europa. Norge er ledende innenfor miljø- og bærekraftig utvikling i betongbransjen og ligger på mange områder langt foran andre land når det gjelder klimapolitikk. Derfor er oppgaven relevant for tiden i dag.

Jeg har blitt knyttet opp i mot fagpersoner i byggebransjen som jobber med miljø- og bærekraft. De vil naturligvis ha en positiv innstilling til emnet, noe som kan resultere i at den andre siden ikke blir like godt belyst.

Utslippene til byggebransjen har vært hovedfokuset i denne oppgaven. De andre sektorene er ikke like mye diskutert og vil ha en innvirkning på om det er mulig for Norge å oppnå netto nullutslipp innen 2050.

Denne oppgaven er skrevet under pandemi Covid-19. Data, prognoser og dokumentasjon kan være berørt av eventuelle ringvirkninger av Covid-19.

1.2 Metode

Litteraturstudie er valgt som metode. Oppgaven er en teoretisk oppgave som bygges opp av data og materialer hentet fra bøker og andre skriftlige kilder. Det vil bli gransket og sett på forskningsområder innenfor emnet. Intervju av fagpersoner som arbeider i byggebransjen. Problemstillingen blir diskutert opp i mot teori, fagpersoner og faglige tidsskrifter.

2 Miljøpolitikk

Verden opplever stadig mer ekstremvær, temperaturen øker, snø og is smelter, havet stiger og blir surere og skoger brenner. Økosystem og sårbare arter forsvinner. Klimaendringene vil bare bli kraftigere de kommende årene. De menneskeskapte klimaendringer vil ha konsekvenser for dyr, natur og mennesker både nå og i fremtiden. Endringene er allerede synlige og forskerne sier at det må handles nå for å sikre velferden til kommende generasjoner.

2.1 Bærekraft og bærekraftig utvikling

Bærekraftig utvikling kom først frem i Brundtland kommisjonens sluttrapport på *vår felles framtid* i 1987. Denne rapporten betegner hvordan miljø, økonomi og sosial utvikling er knyttet sammen. Hovedbudskapet i denne rapporten er hvordan verdenssamfunnet må imøtekomme dagens forbruksbehov uten at det skal ødelegge for kommende generasjoner å få dekket sine behov (FN Sambandet, 2019).

Vi har tre grunnpilarer for bærekraftig utvikling. Disse er: klima og miljø, økonomi og sosiale forhold. Det er sammenhengen mellom disse som avgjør om noe er bærekraftig. Det må finnes nye løsninger som balansere belastningen på miljøet med forbruket og økonomien. I tillegg må det finnes bedre måter å fordele disse ressursene på (Wikipedia, 2021b).

2.2 Klimaforskning og FN`s klimapanel

I 1988 opprettet FN et klimapanel Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). IPCC ble opprettet for å samle eksisterende forskning som kunne beskrive klimaendringene. Hvordan klimaendringer har utviklet seg og hvilke farer og risikoer mennesker og samfunn står ovenfor. IPCC gav i 1955 ut den første rapporten om klimaendringene. Denne rapporten konkluderte med at det kunne ses en antydning til at menneskelig aktivitet hadde hatt innflytelse på det globale klimaet. Noen få år senere gav de ut enda en rapport som viste at omtrent det aller meste av oppvarmingen de siste 50 årene kunne forbindes til menneskelige aktiviteter. Denne rapporten viste at atmosfæren og havet var blitt varmere, mengden snø og is var gått ned og havnivået var steget. I 2001 ble det så fastsatt at menneskelig påvirkning på klimasystemet er et faktum, og de gav ut en rapport i 2015 som viste at menneskelige aktiviteter siden førindustrielle tider har forårsaket omtrent 1 °C oppvarming. Forskere er i dag enige om

at klimaendringene vil bli umulig å kontrollere hvis temperaturen i år 2100 er mer enn 2 C° varmere enn den var i 1850. Utslippene må falle med 45% innen 2030 sammenlignet med 2010 nivået for å begrense oppvarmingen til 1,5 C°. Det vil si at det må oppnås netto nullutslipp innen 2050.

I 2018 kom IPCC med de aller mest nødvendige anbefalingene for å begrense utslippene. Disse anbefalingene var som følger (IPCC, 2018):

- betydelige utslippskutt i alle sektorer
- Å ta i bruk en rekke teknologier
- Atferdsendringer
- Økte investeringer i lavkarbon løsninger
- Å oppnå omfattende endringer raskt

Alle disse anbefalingene må tas til etterretning. Det er betydelig fremgang innen fornybar energi for å få ned utslippene, men vi må og se det i andre sektorer som byggebransjen.

2.3 Parisavtalen

I slutten av 2015 ble det opprettet en internasjonal klimaavtale. Nesten alle land i verden har forpliktet seg til denne avtalen, og den utgjør et solid rammeverk for den globale klimasatsingen. Denne avtalen omhandler at alle verdens land skal klare å begrense klimaendringene ved å redusere utslipp av drivhusgasser, klimatilpasning og gi støtte til utviklingslands omstilling. Målet med avtalen er at de globale utslippene skal gå raskt ned. Visjonen er at alle land skal bli klimanøytrale, det vil si å oppnå netto nullutslipp en gang mellom 2050 og 2100. Økningen i den globale gjennomsnittstemperaturen må holdes godt under 2 grader sammenlignet med førindustrielt nivå (Wikipedia, 2021c).

Avtalen fastslår at alle land er forpliktet til å utarbeide nasjonale utslippsmål som de skal forsøke å oppnå. De nasjonale utslippsmålene må fornyes hvert femte år fra og med 2020. I tillegg skal alle rapportere inn utviklingen over utslippskuttene. De rikeste landene skal bidra med å hjelpe de fattige land med å kutte utslipp.

Norge sine forpliktelser til Parisavtalen er å redusere utslippene med minst 40 % innen 2030, sammenliknet med 1990 (Regjeringa, 2021).

2.4 Klimapolitikk i Norge

Regjeringen sin klimapolitikk forutsetter at velferd styrkes samtidig som utslippene går ned. Faktorer som økonomi, naturmangfold, mattrygghet og klimatilpassing er nøye vurdert i denne betraktningen. Norge skal bli en stor bidragsyter både nasjonalt og

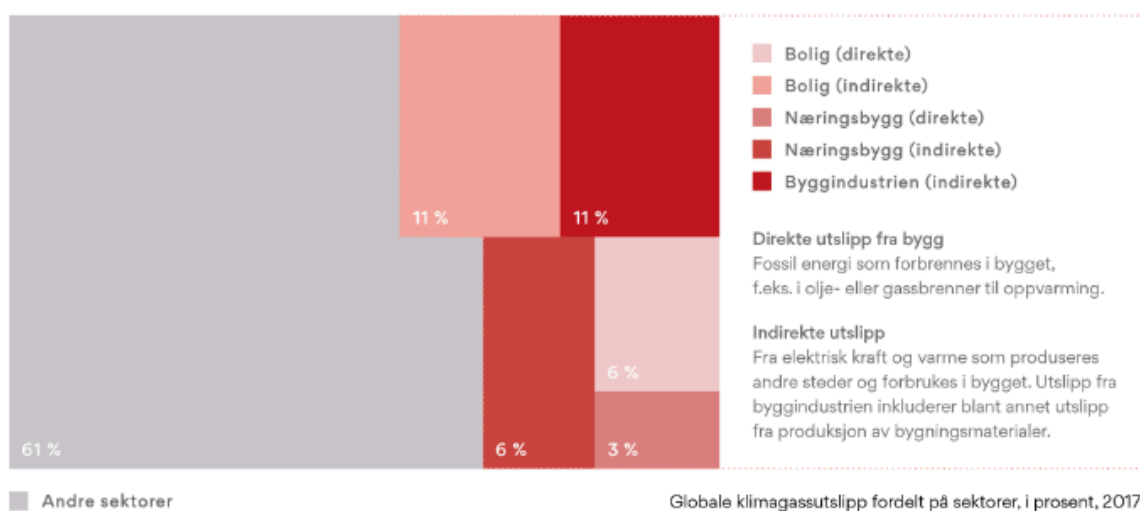
internasjonalt. Der de skal bidra med nasjonale utslippskutt og til teknologiutvikling som kan brukes internasjonalt.

Norsk klimapolitikk går hånd i hånd med Europeisk klimapolitikk. Det er på grunn av samarbeidet med EØS-avtalen og EU, der alle har en felles oppfylning av klimamålet for 2030. Den grønne omstillingen til Norge er påvirket av EU sine klimamål. Norge ligger på mange områder langt foran andre land når det gjelder klimapolitikk. Det vises i klimaregnskap fra SSB der norske klimagassutslipp er redusert, og var i 2019 på det laveste på 27 år (Regjeringen, 2021). I Norge er utslippene anslått til å være på 41 023 tusen tonn (2016) med en topp i 2008 på 55 691 tusen tonn (FN Sambandet, 2020).

Regjeringen har flere tiltak for å få ned klimagassutslippene. De har blant annet opprettet en ny lov om offentlige anskaffelser og etablert flere støtteordninger som fremmer null- og lavutslippsløsninger. Nysnø er et investeringsselskap opprettet av regjeringen for å bidra til reduserte klimagassutslipp (Regjeringen, 2020b).

2.5 Klimagassutslipp byggebransjen

Bygg- og anleggsbransjen har en viktig rolle i det grønne skiftet. Denne sektoren alene utgjør omtrent 40 % av utslippene. Direkte utslipp fra bygg står for omtrent 9 % av de globale klimautslippene.



Figur 1 Klimagassutslipp byggebransjen 2017 (Energi og Miljø, 2021)

Utslippene fra byggesektoren har økt de siste årene. Årsaken er etterspørsel etter elektrisitet til bygninger-kjøling og husholdningsutstyr har økt raskere enn avkarbonatisering av el-produksjonen.

Ekstremvær har bidratt til økt strømforbruk i forhold til kjøling. International Energy Agency (IEA) sier sektoren ikke ligger an til å levere sitt bidrag til å holde global oppvarmingen under 2 C°. Mange utviklingsland henger etter med byggeforskrifter og investeringer i energieffektive bygg går for sakte.

2,8 millioner mennesker bor i verdens varmeste regioner og kun 8 % av dem har tilgang på luftkjølingsanlegg. Etterspørsel etter ny kraftproduksjon og utbygging av nettet vil øke betraktelig. Tilgang til kjøling vil bli livsnødvendig for mange ettersom det vil bli verre i løpet av århundret (Energi og klima, 2021).

I Norge er utfordringen for sektoren å få ned utslippene knyttet til produksjonen av byggevarer. Produksjon av byggevarer utgjør hele 24 % av utslippene. I følge klimaloven så skal utslippene i 2030 være redusert med minst 40% sammenlignet med 1990, det vil si at utslippene fra byggebransjen må ned med 7,6 % hvert år fremover (Regjeringen, 2020a).

3 Miljøverktøy

Miljøfokus og miljøbevissthet i byggebransjen gir etterspørsel etter dokumentasjon av produkters miljøegenskaper. Et fokus er det spesielt på klimagassutslipp av fremstilling av materialer, og på livsløpsanalyser for produkter og hele bygg.

Miljødeklarasjoner dokumenterer miljøegenskapene til et produkt. Ulike produkter kan sammenlignes når de er utviklet i samme produktkategori og utarbeidet etter samme produktkategoriregler (PCR). Deklarasjonene brukes når det ønskes å trekke inn miljøhensyn i forhold til innkjøp av materialer, eller som en miljødokumentasjon for byggherren.

Det er og mulig å miljøklassifisere hele bygg. I Norge benyttes BREEAM-NOR mest, hvor det oppnås poeng for å ha miljødeklarasjon for produktet. For bedriftene sp gir en miljødeklarasjon god innsikt i egen miljøprofil. Det er positivt i og med at det danner grobunn for videreutvikling og bevisstgjøring internt.

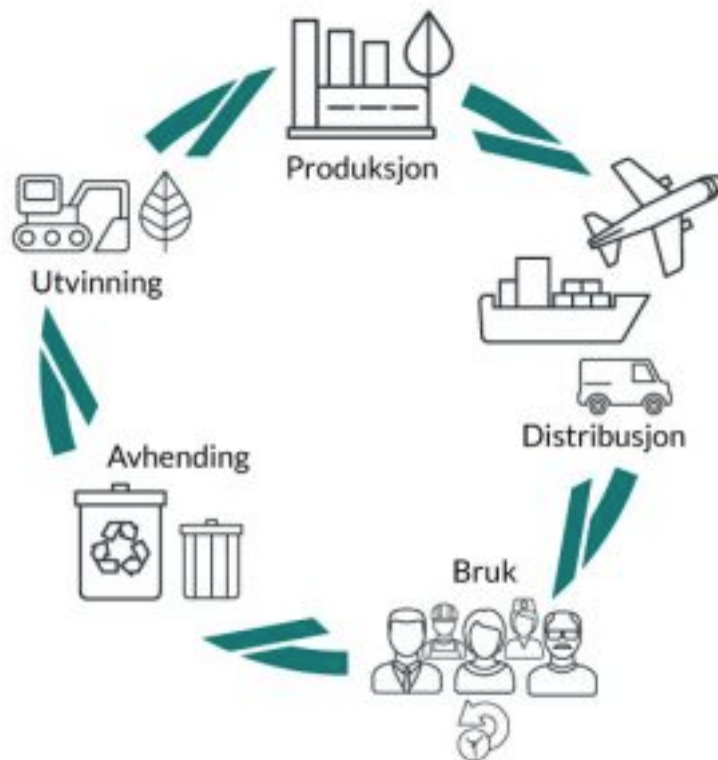
Miljødeklarasjoner blir utarbeidet etter internasjonale standarder for livsløpsvurderinger. NS-EN 15804 og NS-EN 15942 er det mest benyttede europeiske standardene.

For et byggeprodukt så må ressurs og miljøbelastning vises gjennom hele livsløpet i deklarasjonen. I noen tilfeller er det hensiktsmessig å utelate en eller flere faser i livsløpet. For eksempel når produktet blir brukt i forskjellige sammenhenger og det ikke kjennes til livsløpet (SINTEF byggforsk, 2014).

3.1 Livsløp analyse

En Life Cycle Assessment (LCA) er et metodisk verktøy som systematisk kartlegger og vurderer helse, miljø- og ressurspåvirkningen gjennom hele livsløpet til et produkt eller et produktsystem. Hele livsløpet er gjeldende fra råvareuttak til endelig avfallshåndtering. Med andre ord er en LCA en kartlegging av hele livsløpet til et produkt fra "vugge til grav".

Et produkt sitt livsløp består av fasene råvareuttak, produksjon, bygging, drift og avhending. En LCA kan utføres for hver enkelt produkt eller for hele konstruksjoner, tjenester og virksomheter.



Figur 2 Illustrasjon over livsløpet til et produkt (LCA.no)

Metoden går ut på å kartlegge utslipp, deretter kategoriseres utslippene og til slutt blir miljøpåvirkning beregnet. Resultatet er en oversikt over hvordan livsløpet til et produkt kan forbedres.

LCA blir tatt i bruk for å finne de mest miljøvennlige løsningene til et prosjekt, eller for å redegjøre for miljøbelastningen tidlig i prosjekte. Det er og mulig å dokumentere miljøbesparelser ved ferdig leveranse. En LCA er ofte tatt i bruk som grunnlag for å utvikle Environmental Product Declaration (EPD) til produkter (LCA, 2021).

3.2 Miljødeklarasjoner

I 2002 ble EPD etablert av Næringslivets hovedorganisasjon og Byggenæringens landsforening. EPD er en skybasert løsning for miljødokumentasjon for byggebransjen. Det er en tredjeparts verifiseringsordning som er spesifisert i en egen ISO standard for hvordan de bygges opp.

Dokumentet beskriver miljøpåvirkningen til et produkt eller en tjeneste. Den gir informasjon om bruk av ressurser, utslipp, innhold av farlige stoffer og påvirkning av inneklimate og behandling av avfall og resirkulering.

EPD er et nyttig produkt ved at produsenter får dokumentert produktene sine og brukerne får sammenlignet de forskjellige produktene. Brukerne kan ut i fra å lese en EPD gjøre et valg på bakgrunn av miljøpåvirkningen.

Ved å benytte standard faser fra uttak av råmaterialer og frem til håndtering av avfallet, skiller en EPD mellom hvor i prosessen eller levetiden miljøpåvirkningen kommer fra etter endt livsløp. De forskjellige fasene i en EPD er (EPD-Norge, 2021):

- A1-Råmaterialer
- A2-Transport av råvarer
- A3-Tilvirkning av betongen
- A4-Transport til byggeplass
- A5-Konstruksjon og installasjon

3.3 Miljøsertifisering

Building research establishment environmental assessment method (BREEAM) er et av verdens eldste miljøsertifiseringsprogram fra Storbritannia, og er det mest anvendte miljøsertifiseringsprogrammet for byggverk i hele verden.

Den norske utgaven heter BREEAM-NOR og er utviklet av Grønn bygg allianse. BREEAM-NOR skal redusere den negative miljøpåvirkningen på bygg samtidig som det tar hensyn til verdier av samfunn og økonomi gjennom hele byggets levetid.

Miljøklassifisering i BREEAM manualen har ti tekniske kategorier hvor det er mulig å oppnå vektning på hver kategori. BREEAM klassifiseringen oppnås av en sum av antall oppnådde poeng i de ulike kategoriene (Grønn byggallianse, 2021a; Grønn Byggallianse, 2021b).

Poengsummen kalkuleres etter:

$$Poengsum = \frac{\text{antall oppnådde poeng i kategori}}{\text{antall tilgjengelige poeng i kategori}} \times \text{Vekting } [\%]$$

I tabell 1 og 2 vises de ulike kategoriene og hvordan klassifiseringen i BREEAM-NOR vektet.

KATEGORI	Vekting (%)
LEDELSE	12
HELSE OG INNEMILJØ	15
ENERGI	19
TRANSPORT	10
VANN	5
MATERIALER	13,5
AVFALL	7,5
AREALBRUK OG ØKOLOGI	10
FORURENSNING	8
INNOVASJON	10

Tabell 1 Kategorier (Grønn byggallianse, 2021d)

BREEAM-klassifisering	Poengsum i %
OUTSTANDING	≥ 85
EXCELLENT	≥ 70
VERY GOOD	≥ 55
GOOD	≥ 45
PASS	≥ 30
UKLASSIFISERT	< 30

Tabell 2 BREEAM-klassifisering (Grønn byggallianse, 2021d)

Manualen fra 2016 omfatter både nybygg og større rehabiliteringsprosjekt. På GreenBooklive.com er det en oversikt over hvor mange bygg i Norge som er sertifisert etter denne manualen. I Norge er det oppført 354 bygg som har fått denne sertifiseringen og det er totalt 13 bygg som har fått klassifisering Outstanding.

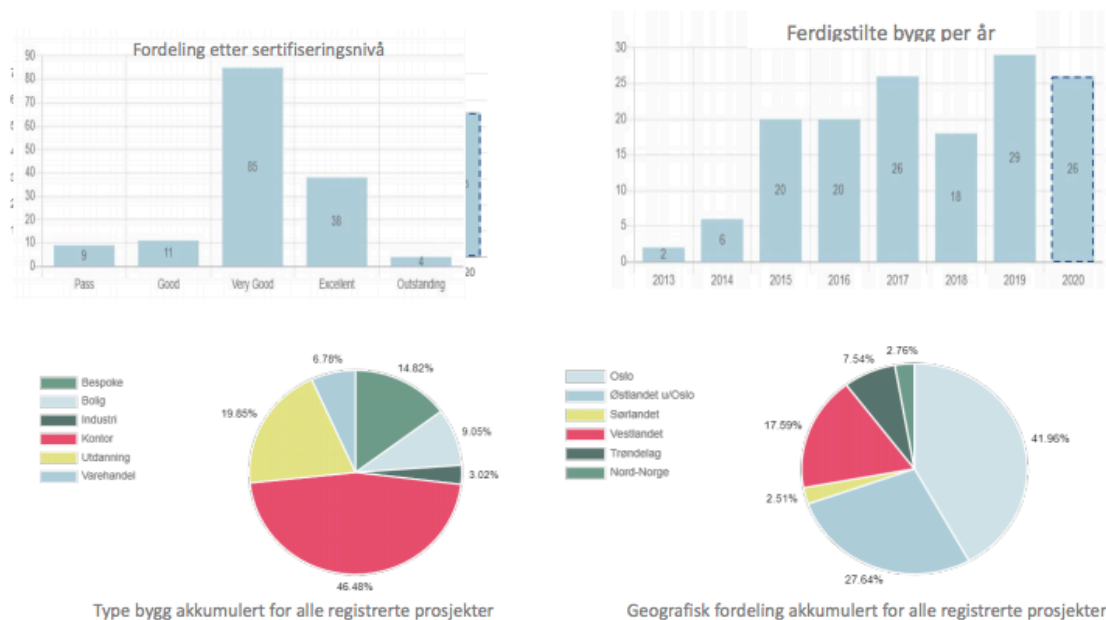


Figure 1 utviklingen av BREEAM sertifiserte bygg i Norge (Grønn byggallianse, 2021c)

Figuren over viser utviklingen av BREEAM sertifiseringer i Norge. Statistikken er fra september 2020. Den viser at det er økning i antall bygg som er sertifisert med BREEAM-NOR de siste årene. Høsten 2021 kommer det en revidert utgave av BREEAM-NOR. Den utgaven skal muliggjøre bedre dokumentering.

Politiske føringer og kommersiell etterspørsel etter miljøsertifiseringer som BREEAM-NOR klassifikasjonene og EPDer er viktige tiltak for å øke bevissthet. I Oslo bygges det i dag omtrent bare nybygg med BREEAM sertifiseringer (Grønn byggallianse, 2021c).

4 Betongteknologi

Vi har tre store byggematerialer i Norge; tre, stål og betong. Betong er et av de mest anvendte materialene i verden. Bare i Norge har vi et forbruk på 4,4 millioner m^3 ferdig betong og prefabrikkerte betongprodukter. Betong som er riktig sammensatt, utstøpt og utformet kan gi en konstruksjon med meget god styrke og bestandighet. Betong har i tillegg varmelagrende og lydisolerende egenskaper.

4.1 Tradisjonell betong

Betong består av sement, vann, sand og stein, tilsetningsmaterialer og tilsetningsstoffer. Forholdet mellom alle disse påvirker egenskapene til betongen. Betong kan produseres ved to forskjellige metoder; plasstøpt- eller ferdigbetong og betongelementer. Plasstøptbetong kommer ferdig til byggeplass og blir støpt der. Betongelementer blir ferdigstøpt på fabrikken og transporteres så videre til byggeplassen (Byggutengrenser, 2020; SINTEF Byggforsk a, 2016).

4.2 Sement

Sement er den viktigste bestanddelen i betong og den består av klinker som er finmalt med gips. Blandingssementer blir laget ved å finmale klinker med ulike tilsetningsmaterialer. Sement er et hydraulisk bindemiddel, det vil si at det herdner ved kontakt med vann og er stabilt under vann. Klinker er fremstilt av en råblending av kalkstein og materialer som inneholder kvarts, leire, skifer, bauxitt, jernslig og lignende. Disse råmaterialene blir malt tørre og varmet opp i store roterende varmeovner på 1450 grader. Forbrenningsgassen har en temperatur på omtrent 2000 C° . Den høye temperaturen er nødvendig for å oppnå delvis sintring og kjemisk omdannelse til klinkermineraler. Etter brenning og avkjøling så males klinkeren i møller med gips og andre tilsetningsmaterialer. Deretter blir den oppbevart i siloer før den pakkes i sekker eller distribueres i løsvekt. De ulike sementtypene klassifiseres etter blandingsforholdet mellom klinkeren og tilsetningsmaterialene (SINTEF byggforsk b, 2016).

Den mest anvendte sementtypen er Portlandsement. Tabell 3 og 4 fra byggforsk 572.204 viser hvilke kjemiske forbindelser og mineraler Portlandsement består av:

Kjemisk forbindelse	Mengde
C (CaO –kalsiumdioksid)	62–67 %
S (SiO ₂ –silisiumdioksid)	20–25 %
A (Al ₂ O ₃ –aluminiumoksid)	3–7 %
F (Fe ₂ O ₃ –jernoksid)	2–5 %

Tabell 3 Størrelseorden for kjemisk sammensetning av portlandsement

Klinkertype	Mengde
C ₃ S (alitt)	45–65 %
C ₂ S (belitt)	15–30 %
C ₃ A (trikalsiumaluminat)	1–8 %
C ₄ AF (feritt)	8–15 %

Tabell 4 Typisk mineralsammensetning i klinker til portlandsement

Sement må beskyttes mot luftfuktighet og blir derfor lagret tørt. Det er fordi at hydratiseringsprosessen ikke skal starte. Hydratisering er den kjemiske reaksjonen som skjer når sement kommer i kontakt med vann. Hydratisering deles inn i ulike faser og er basert på varmeutvikling pr tidsenhet. For fasthetsutvikling på betong er v/c tall, hydratiseringsgrad og herdetemperatur de aller viktigste parametrene (SINTEF byggforsk b, 2016).

4.3 Tilslag

For å få god kvalitet og jevnhet i betongen så benyttes det tilslag. 65-75 % av betongvolumet består av tilslag. Tilslaget er steinene i betongen og kan være naturlige materialer, kunstig eller resirkulert byggemateriale. Naturtilslag kommer fra løsmasseforekomster avsatt etter siste istid. Bruken av kunstig tilslag har økt ettersom tilgjengeligheten til nye løsmasseforekomster er redusert.

Tilslag er delt opp i fraksjoner etter størrelse på kornene. Det er vanlig å bruke fraksjoner med 0-8mm, 8-16 mm og 16-22mm i produksjon av ferdigbetong (SINTEF Byggforsk, 2018; Wikipedia, 2021a).

4.4 Tilsetningsstoffer

Tilsetningsstoffer brukes i betong for å endre egenskapene i fersk eller herdnet tilstand. Stoffene kan være vannløselig organiske og uorganiske salter og forbindelser i flytende eller fast form. Det er flere ulike klasser av tilsetningsstoffer:

- Vannreducerende/plastifiserende
- Superplastiserende
- Størkningsretarderende
- Størkningsakselererende
- Herdningsakselererende
- Luftinnførende

Plastiserende og superplastiserende tilsetningsstoffer er de stoffene som vanligvis er tatt i bruk i norsk betongproduksjon. Plastiserende og superplastifiserende tilsetningsstoffer reduserer vanninnholdet uten å redusere støpbarheten i betongen. De gir betongen god støpbarhet og bearbeidbarhet ved lave masse forhold. Disse stoffene består av organiske langkjedede polymerer løst opp i vann. Det er to hovedtyper som dominerer markedet idag:

- polykarboksylater
- lignosulfonater

Dersom sementmengden reduseres endres også masseforholdet, og det gir uendret masseforhold for tilslaget og støpbarhet.

Superplastifiserende stoffer er dyrere enn de plastifiserende. Det blir derfor ofte benyttet en blanding av disse. De er spesielt tatt i bruk sammen når høy grad av vannreduksjon ønskes og uten at det skjer en retardasjon. De plastifiserende stoffene kan med høy dosering gi retarderende virkning på størkning- varme og fasthetsutviklingen i betongen. Derfor bør høye doseringer unngås.

En annen type tilsetningsstoff er akselererende stoffer. Disse stoffene er som oftest benyttet i konstruksjonsbetong og består hovedsakelig av kalsiumnitrat.

I sprøytebetong benyttes størkningsakseleratorer for å begrense nedfall og gi rask fasthetsoppbygging. Størkningsakseleratorer er de siste årene og tatt i bruk i støpebetong.

Herdningsakseleratorer har den egenskapen at de gir rask fasthets- og varmeutvikling, og er dermed godt egnet for lavkarbonbetong. Ved vinterstid vil en kombinasjon av herdingsakseleratorer og varm betong være effektivt ved støp. Herdingsakseleratorer lages i dag for det meste uten klorid, for å unngå korrosjon på stålet i armert betong (NORCEM, 2014; SINTEF Byggforsk, 2010).

4.5 Tilsetningsmaterialer

De mest benyttede tilsetningsmaterialene er kalksteinsmel, flygeaske, slagg og silikastøv. Ved å tilsette pozzolaner i betongen så gir det betongen økt porøsitet. Det dannes mer CSH-gel.

Tilsetningsmaterialer kan deles inn i to grupper:

- tilnærmet inerte tilsetningsmaterialer
- pozzolan- eller latent hydrauliske tilsetningsmaterialer

Kalksteinsmel er finmalt kalkstein som erstatter deler av portlandsklinkeren. Den forbedrer betongen sin støpelighet, og den har mange av de samme egenskapene som sement.

Silikastøv er et pozzolanmateriale som er et biprodukt fra produksjonen av silisium- og ferrosilisium legeringer under smelting. Silikastøv har gode filleregenskaper og gir stabiliserende effekt og økt bearbeidhet til fersk betong. Den erstatter omtrent 4-6 % av klinkerandelen. Tidligere var silikastøv veldig billig og omtrent 15-20 % av sementmengden ble erstattet med silikastøv. I dag er silikastøv dyrere per kg enn standard sement og blir dermed ikke tatt i bruk så ofte.

Flygeaske er et pozzolanmateriale som dannes under fyring av kull ved kullkraftverk. Det er et biprodukt fra rensingen av avgasser i kullkraftverk. Flygeaske består hovedsakelig av silisiumoksider (SiO_2) og aluminiumsoksider (CaO). Bruk av flygeaske reduserer herdetiden- og varmeutviklingen i betongen. Flygeaske har en negativ effekt i slanke betongkonstruksjoner, hvor det er nødvendig med rask fasthetsutvikling. Flygeaske går under betegnelsen Standard FA eller Anlegg FA eller som et separat tilsetningsmateriale i Norcem sine sementprodukter. Kullforbrenningsfabrikker benyttes ikke i Norge, derfor importerer Norcem all flygeasken fra Europa. Klinkerinnholdet i sementen blir erstattet med omtrent 20%.

Slagg er også et pozzolanmateriale som kommer fra smelteindustrien. Slagg blir erstattet med omtrent 30% av klinkerandelen, men den kan økes til ytterligere 70-75 % for å oppnå spesielle betongegenskaper (Byggutengrenser, 2017).

4.6 Standarder

Sementstandarden NS-EN 197 og betongstandarden NS-EN 206 er to felleseuropeiske standarder som er rammeverk for bruken av tilsetningsmaterialer i henholdsvis betong og sement (Pedersen, 2016).

I NS-EN 197 er det definert bestanddeler som tillates i en CEM-sement. Disse er:

- Portlanssementklinker
- Granulert råjernslag
- Pozzolane materialer: naturlig pozzolan; naturlig kalsinert pozzolan
- Flygeaske; silikatholdig flygeaske; kalkholdig flygeaske
- Brent skifer
- Kalkstein
- Silikastøv
- Sekundære bestanddeler
- Kalsiumsulfat
- Tilsetninger

Den europeiske sementstandarden åpner for 27 forskjellige typer i kategorien ordinær sement, hvor ren portlandsement utgjør en av disse klassene. Sementstandarden skiller videre mellom 5 hovedklasser sement:

- CEM I Portlandssement
- CEM II Portland blandingssement
- CEM III Slaggsement
- CEM IV Pozzolansement
- CEM V Blandingssement

I tillegg til disse inneholder den forskjellige typer sulfatresistente sementer og i NS-EN 206 er det regler for hvordan disse sementene kan sammensettes. I Europa er det svært varierende for hvilke sementtyper som er på markedet. Det har med ulik tilgang på råmaterialer og klimatiske forhold.

NS-EN 206 er bransjestandarden for betongprodusentene. Den er gjeldende for betong til plasstøpte konstruksjoner, prefabrikkerte konstruksjoner, og lastbærende prefabrikkerte produkter for bygg-og anleggskonstruksjoner. Standarden gir retningslinjer for produksjon av betong og for transport til byggeplass.

NS-EN 206 gir og retningslinjer for bruken av tilsetningsmaterialer som erstatningsmateriale for sement. Det er ingen øvre grense for hvor mye tilsetningsmateriale som kan anvendes, men det er en grense for hvor mye det må tas hensyn til i den effektive bindemiddelmengden. Grenseverdiene er avhengig av type

sement og av type tilsetningsmateriale. For flere av Portland flygeaskecementene er det i NS-EN 206 strengere regler til øvre grenseverdi i bestandighetsklasse M60. Det er satt strengere krav til noen av Portland slaggsementene, fordi at sementer med tilsatt flygeaske og slagg er mer utsatt for karbonatisering. For sementtyper med mer enn 20 % slagg eller flygeaske gir ikke det nasjonale tilleggsette regler i klassene MF40 og MF45. Dette fordi bindemidler med større mengde slagg og flygeaske vil gi redusert frostmotstand

Beregning av masseforhold og minste effektive bindemiddelmengde for de ulike tilsetningsmateriale:

$$\frac{\text{Tilsatt flygeaske} + \text{flygeaske i sementen}}{\text{bindemiddel}} = 0,35$$

$$\frac{\text{Tilsatt silikastøv} + \text{silikastøv i sementen}}{\text{bindemiddel}} = 0,11$$

$$\frac{\text{Tilsatt slagg} + \text{flygeaske og slaggi sementen}}{\text{bindemiddel}} = 0,60$$

$$\frac{\text{Tilsatt slagg} + \text{slaggi sementen}}{\text{bindemiddel}} = 0,80$$

for å sikre betongens støpelighet så er det krav i NS-EN 206 for minste effektive bindemiddelmengde og for de ulike bestandighetsklassene med størst masseforhold for de ulike sementtypene. Det kan være hensiktsmessig å utvide disse grensene ytterligere for å oppnå et lavere karbonavtrykk. For bindemidler hvor det nasjonale tillegg til NS-EN 206 ikke gir regler, eller der det ønskes å dokumentere andre grenseverdier gis det anledning til å dokumentere bruksegenskaper for sementer og bindemidler. Det er mulig for byggherrer å fravike fra NS-EN 206. Hvis byggherren godkjenner å fravike fra standarden, kan det tas i bruk en betongresept som er helt utenfor standarden. Forutsetning er da nøye utprøving og dokumentering. I tillegg må konstruksjonen ha en egenskap, levetid og pålitelighet som er i tråd med andre lovverk og forskrifter (Pedersen, 2016; Norsk Betongforening, 2020).

5 Miljøbevisst betong

Betong har et høyt karbonavtrykk som kan føres tilbake til produksjon av sement. I volum utgjør sementen bare 10-15 % av betongen, men den står for omtrent 90% av klimagassavtrykket til betongen. I tillegg kommer utslipp fra armering og transport av betongen. Sammensetningen av betong har ikke endret seg drastisk i løpet av de siste årene, men det er blitt gjort stegvise forbedringer med betongreseptene som har gjort de mer miljøvennlige. I dette kapitlet vil vi gå gjennom disse forbedringene (byggutengrenser, 2020).

5.1 Lavkarbonbetong

Lavkarbonbetonger er et resultat av forbedringer i sementproduksjon og innovasjon på betongreseptene. I en lavkarbonbetong er deler av sementen erstattet med flygeaske, silikastøv eller slagg. Den settes i sammen med minst mulig sement for å oppnå et ønskelig mindre karbonavtrykk. Lavkarbon betong er miljøvennlig, har lite varmeutvikling og mindre opprissing. Ulemper med en lavkarbon betong er at den har treg fasthetsutvikling og gir redusert fremdrift.

5.1.1 Klassifisering

Lavkarbonbetong klassifiseres i forskjellige klasser:

- Lavkarbon B
- Lavkarbon A
- Lavkarbon Pluss og Lavkarbon Ekstrem

De forskjellige klassene gir en veiledning på retningslinjer for lavkarbonbetong som er fornuftige for å oppnå gode løsninger. Lavkarbon B er mulig å oppnå med normale bindemiddel løsninger uten ytterligere tiltak. Det vil si at denne klassen er oppnåelig for de fleste betongprodusenter. Lavkarbon A trenger ytterligere bindemiddelløsninger, men som enda er innenfor helt normale standardnivåer i NS-EN 206. Dette nivået er derimot ikke tilgjengelig for alle, men de fleste betongprodusentene er i stand til å oppnå de spesielle tiltakene. Lavkarbon ekstrem og lavkarbon pluss er klasser der det må brukes løsninger som ikke er standardiserte. Det må spesielle bindemidler for å oppnå denne klassifiseringen. Et eksempel er maksimalt utnyttet slagg, som ikke er tilgjengelig overalt. Lavkarbon ekstrem er og den aller beste betongen som kan oppnås i bransjen.

5.2 Grenseverdier for klimagassutslipp

Bransjens standard for lavkarbonbetong er Publikasjon NB 37 Lavkarbonbetong. Den er utarbeidet av norsk betongforening og ble første gang publisert i 2015. I 2019 kom det en revidert utgave som justerte på klassegrenser og lavkarbonklassene. I 2020 ble det gjort en liten revisjon ved å endre på at klassesystemet og klassegrensene ikke var gjeldende for spesialbetonger som AUV-betong, lettbetong og sprøytebetong.

I publikasjonen så er det en oversikt over lavkarbon betongklasser med grenseverdier for klimagassutslipp. Den viser maksimalt tillatt klimagassutslipp pr m^3 betong. Dette klimagassutslippet skal dekke hele livsløpet fra råvareuttak til betongen forlater blandeverket.

Fasthetsklasse ¹⁾ og lavkarbonklasse	B20	B25	B30	B35	B45	B55	B65
Maksimalt tillatt klimagassutslipp [kg CO ₂ -ekv. pr m ³ betong]							
Bransjereferanse	240	260	280	330	360	370	380
Lavkarbon B	190	210	230	280	290	300	310
Lavkarbon A	170	180	200	210	220	230	240
Lavkarbon Pluss ²⁾			150	160	170	180	190
Lavkarbon Ekstrem ²⁾			110	120	130	140	150

Figur 3 Maksimalt tillatt klimagassutslipp (Norsk betongforening, 2020).

5.3 Etterspørsel etter lavkarbonbetong

Det er blitt en økende interesse for lavkarbonbetong de siste 5 årene, både fra entreprenører og byggherrer. Det er stor etterspørsel etter prosjekter med fokus på miljø og bærekraft sier Sverre Smeplass fra Skanska. Statens vegvesen har blant annet fått mer fokus på ytre miljø, karbonregnskap og sertifiseringer.

Sverre Smeplass i Skanska sier bruken av lavkarbonbetong ikke påvirker prosjektene deres i det hele tatt. De vil ikke bruke mer tid om de bruker en lavkarbon pluss eller lavkarbon ekstrem. Det som må til er dermed flere tiltak for å sikre at alt blir gjennomført riktig og en riktig tilpassing av fremdrift. Skanska stiller forventninger til at underleverandørene har samme målsetning i forhold til miljø og gode løsninger. Han sier at de som entreprenør ofte samarbeider med betongprodusentene på betongreseptene de skal ta i bruk (S.Smeplass, personlig kommunikasjon, 20 April 2021).

5.4 Reduksjon av energiforbruket og klimagassutslipp ved sementproduksjon

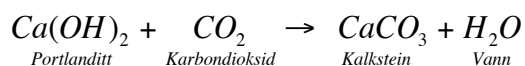
Utslipp av CO₂ fra sementproduksjonen kommer hovedsakelig i fra kalsineringen og ved bruken av brensel under oppvarming. Kalkstein er satt sammen av karbon og oksygen. Kalkstein blir brent med mindre mengder kvarts, jernoksid, aluminiumoksid, i en sementovn som har en temperatur på omtrent 1400 grader. Ved brenning spaltes CO₂ av og det oppstår en prosess som heter kalsinering.

Følgende reaksjon skjer under kalsineringsprosessen:



Råproduktet som kommer fra denne prosessen kalles sementklinker. For å holde en høy temperatur på sementovnene, så fyres de med fossilt brennstoff. Sementklinkeren blir deretter nedkjølt og malt sammen med gips til det ferdige produktet sement. Dette er en energikrevende prosess.

Når sement deretter blir blandet med vann og herder, blir det dannet Portlanditt som vil reagere med Karbondioksid i luften og karbonatisere tilbake til kalkstein.



I Norge så har produksjonen av ren portlandsement et totalt klimagassutslipp på omtrent 750 kg CO₂ ekvivalenter per tonn sement. Hele 450 kg CO₂ ekvivalenter per tonn sement kommer i fra kalsineringsprosessen. I andre deler av verden kan utslippene ligge på 900 kg CO₂ ekvivalenter (Norsk Betongforening, 2021).

5.4.1 Alternativt brennstoff

De siste 10 årene har Norge og den vestlige verden arbeidet med å få redusert utslippene. Tiltak som vises godt i klimaregnskapet er blant annet valget av alternative

brenslar. Tidligere var kull hovedkilden brensel. I dag brukes det mer alternative brenslar. Vi har to hovedyper alternative brenslar som er biologisk avfall og fossilt avfall.

De viktigste kildene til alternative brenslar er:

- Farlig avfall
- Foredlet avfallsbrensel FAB
- Dyremel
- Flis, trevirke, trekull og impregnert trevirke
- Bildekk
- Spillolje

Norcem bruker i dag mest FAB som består av treflis, papir, tekstiler og andre brennbare materialer. Rundt 75 % av brenselet i Brevik kommer i fra avfallsprodukter fra Norsk Gjenvinning sitt anlegg i Larvik. Det sendes omtrent 30 000 tonn årlig til Brevik til sementproduksjon. Dette er store bidrag som er med å redusere klimaregnskapet, samtidig som det tar vekk noe av avfallet fra deponi og gjenvinner energien. Norcem ønsker i dag å benytte mest biologisk avfall fordi den kan trekkes 100% i fra klimaregnskapet (Byggutengrenser, 2020;Hjelle & Fredvik, 2018).

5.4.2 Reduksjon av sementklinker

I NS-EN 206 er det krav til masseforholdet mellom vann og bindemiddel, for å opprettholde bestandigheten i betongen. Innenfor gitte grenser kan silikastøv, flygeaske og slagg erstatte sement. Derfor har tilsetningsmaterialene en effektivitetsfaktor kalt k-faktor. Hvis k-faktoren til silikastøv er 2, vil det si at 2 kilo sement kan erstattes med 1 kilo silikastøv i beregningen av masseforhold.

Ved å bruke tilsetningsmaterialer som har gode bindemiddelegenskaper kan mengden sementklinker reduseres. De forskjellige tilsetningsmaterialene er beskrevet i kapittel 4.1.3. Silikastøv, flygeaske og slagg er restprodukter fra industrier som er kilder til store klimagassutslipp, men de blir i dag regnet som karbonnøytrale i og med at de er restprodukter. Ved å gjenbruke disse produktene hindres det at de blir sluppet ut i naturen som følge av plassmangel. Forbrenningsanleggene har store kostnader med å samle opp og sende på deponi. Dermed er det bra at disse produktene blir til ressurser for sementindustrien. I fremtiden kan derimot disse produktene om politisk besluttet bli tatt med som en del av klimagassregnskapet, der utslippet blir overført fra hovedprodukt til restprodukt (T.Beck, personlig kommunikasjon,15 April 2021).

Flygeaske sammen med silikastøv er det vanligste tilsetningsmaterialet som er i bruk i Norge. Norcem bruker i dag omtrent 20% flygeaske i de vanligste sementproduktene. Bruken av flygeaske i sementprodukter gir økonomiske, praktiske og klimamessige

fordeler. Tilgjengeligheten på flygeaske blir dermed mindre på grunn av at de fleste i Europa blir mer og mer miljøbevisste. Av samme grunn blir kullkraftverk lagt ned. Norcem opplever at tilgangen har blitt mindre, hvor de nå har begynt å hente inn flygeaske fra Tyrkia. Tom Fredvik fra Norcem tror at tilgjengeligheten på flygeaske vil være der 10 år frem i tid, men at Norcem om 2 år må begynne å se etter alternativer som kan erstatte flygeaske i sementproduktene. De alternative tilsetningsmaterialene bør da testes i små mengder først, for deretter å øke andelen ettersom mer dokumentasjon det blir på disse nye materialene.

Nye tilsetningsmaterialer er avhengig av standardverk som sier hvor mye andel tilsetningsmaterialer det kan tas i bruk i sementen. Det er nå tillatt i veldig små mengder uten at det trengs ytterligere dokumentasjon. Hvis det skal benyttes større mengder så vil det kreve en omfattende bestandighetsdokumentasjon. Det bør åpnes mer opp for å dokumentere bestandighet til helt ukjente produkter. Industrien bruker i dag to forskjellige standarder, NS-EN 206 for betongindustrien og NS-EN 197 for sementindustrien. NS-EN 197 definerer mange ulike sementprodukter, men betongstandarden har et begrenset utvalg med sementprodukter. I betongstandarden står ikke alle de tillatte sementtypene som er i sementstandarden. Det må åpnes opp for at betongstandarden skal tillate flere av sementproduktene med nye tilsetningsmaterialer i Norge. Andre land har allerede tatt i bruk noen av disse tilsetningsmaterialene, blant annet kalsinert leire. I Norge har det ikke vært åpnet opp for å ta i bruk dette i betong. Det er fordi det ikke har vært et behov tidligere og at ingen har produsert denne typen sement i Norge før.

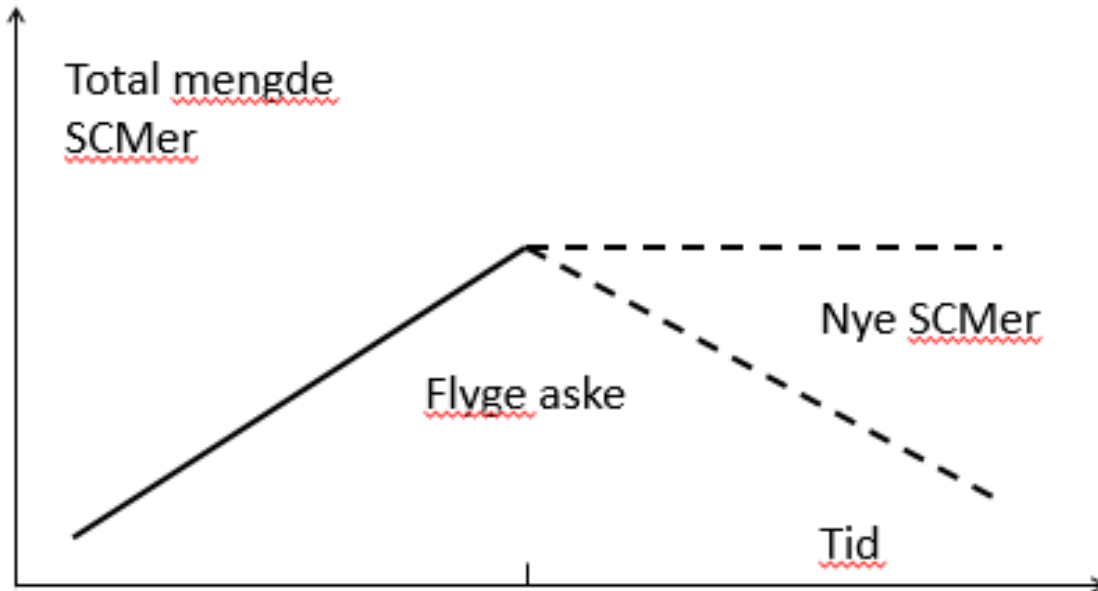
Standard Norge har startet et arbeid for å se på en revisjon av det nasjonale tillegget til NS-EN 206 betongstandarden. De skal se på hvordan de kan åpne opp for å dokumentere egenskapene til disse nye tilsetningsmaterialene. Dette er en forutsetning som må komme på plass før Norcem kan ta i bruk disse nye materialene. De tilsetningsmaterialene som er definert i NS-EN 197, men som det ikke er noe erfaring med i Norge, kan tilsettes i sement inntil 35 % uten revidering av standardverket. Det blir behov for å gjøre endringer i NS-EN 206 for å dokumentere bestandighet på nye tilsetningsmaterialer. Dette kan ta tid sier Tom Fredvik i Norcem. Det er på grunn av at nasjonal tillegg må endres først, deretter så må det tillates dokumentasjon av tilsetningsmaterialene som ikke er definert i NS-EN 197. Det vil si at regelverket må endres betraktelig (Kjellsen, 2021; T.Fredvik, personlig kommunikasjon, 22 April 2021).

NS-EN 197-1 'Sement'		
SCM definert	SCM definert	SCM IKKE definert
SCM som minor (<5%)	SCM som main (>5%)	
Ingen ny sertifisering nødvendig	Må revidere NAD til NS-EN 206. Gjøres på basis av dokumentasjonsprøving.	ETA, Europeisk dokumentasjons- og godkjenningsordning. Omfattende, komplisert. Nasjonal teknisk godkjenning+NAD til NS-EN 206
Tidsperspektiv: 1 år	Tidsperspektiv: Ca. 3 år	Tidsperspektiv: Ca. 5 år

Tabell 5 Tidsperspektiv på revidering av NS-EN 197-1 (Kjellsen, 2021).

5.4.3 Alternativer til flyveaske

Norcem har i dag startet opp et forskningsprosjekt som heter NEW Supplementary cementitious materials in CEMent production (NEWSCEM). Her forskes det på fremtidens sementer med nye substituttmaterialer. For at en spesifikk sementtype skal kunne brukes som tilslagsmaterialet er det viktig å ha kunnskap om materialets egenskaper, både fysisk, mekanisk og miljøteknisk. De ulike sementtypene Norcem forsker på er kalsinerte leirer, forbrenningsasker- og industrielle restmaterialer, og pozzolan bergarter. Norcem ønsker å øke andelen tilsetningsmaterialer som kan erstatte sementklinkeren. I dag brukes rundt 20% flyveaske i sementen. Desto mindre klinker og mer tilsetningsmaterialer desto lavere CO₂-utslipp. Mengden tilsetningsmaterialer må økes og det må bli mer fokus på alternative tilsetningsmaterialer. Mapei er delaktige i forskningen ved at de ser på flytstoffer som passer til disse nye mineralene i pilotsementene. De ser på hvordan de påvirker avbindingstid og herdeutvikling. Det er mye dokumentasjon og testing i tillegg til at tilsetningsstoffene må tilpasses disse nye materialene (Kjellsen, 2021; T.Fredvik, personlig kommunikasjon, 22 April 2021)



Figur 4 Illustrasjon over skjæringspunkt for flygeaske og nye SCMer (Kjellsen, 2021).

5.5 Herdeakseleratorer

Mapei Norge tester og flere typer herdeakseleratorer, i sammen med moderselskapet i Italia. Det testes spesielt på slagg akseleratorer. Selskapet har to typer akseleratorer de produserer, Mapefast Ultra N og Mapefast HA. Disse akseleratorene blir ofte brukt i lavkarbonbetong på vinterstid. Lavkarbonbetong er ofte en utfordring å benytte med det kalde klimaet ved at den er tregere. Når betong støpes så brukes ofte de samme forskalingselementene. Støpningen skjer vanligvis på ettermiddagen og det avforsalet tidlig neste morgen for å være klar til å sette opp en ny forskaling og ta i mot ny betong på ettermiddagen. Ved å bruke lavkarbonbetong på vinterstid, så kommer du fort ut av denne syklusen på grunn av at betongen oppfører seg mye tregere og er følsom for den kalde årstiden og den nedkjølingen den opplever. Herdeakseleratorer er dermed nyttige på vinterstid.

Mapefast Ultra N er et tilsetningsstoff som kan brukes i all betong, men den er spesielt velegnet for tunge fabrikkstøpte elementer og der det kreves særlige krav. I situasjoner der (Mapei AS, 2018a):

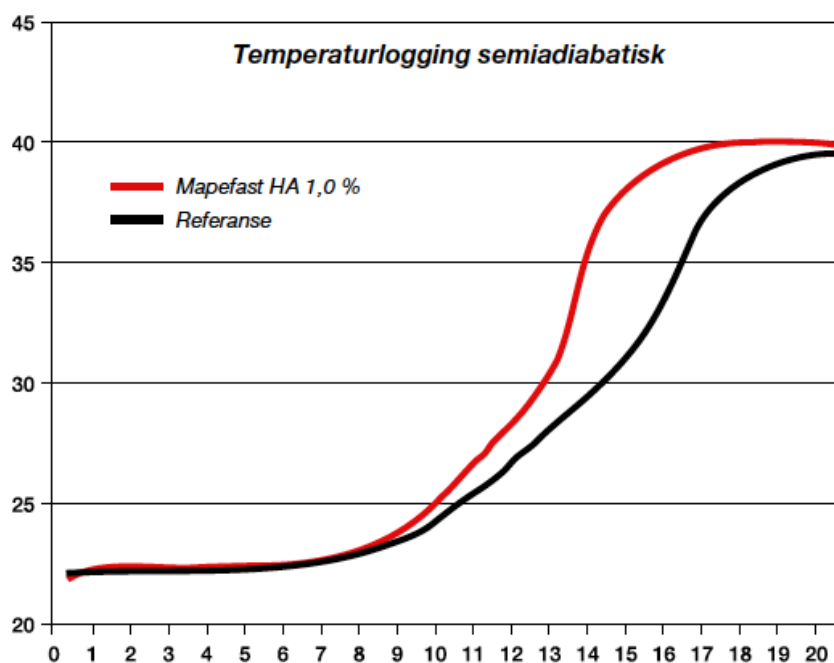
- temperaturen er lavere enn 10 grader celsius
- Høy mekanisk styrke etter korte herdesykluser
- For å optimalisere produksjonssykluser
- For å fjerne forskalinger tidligere og mer effektivt
- En reduksjon eller eliminering av dampherdesykluser

Mapefast Ultra N øker styrkeutviklingen til betongen under korte herdesykluser, også ved lave temperaturer. Det er dermed et velegnet produkt for lavkarbonbetong. Den forbedrer sementens mikrostruktur og strukturens holdbarhet. Det anbefales å bruke dette produktet i sammen med et superplastifiserende tilsetningsstoff.

Mapefast HA er og en herdningsakselerator for betong. Det er et flytende tilsetningsstoff som sikrer høyere tidligfasthet. Produkter egner seg godt til:

- Betong med høye krav til tidligfasthet for tidligere avforming
- Støping ved lavere temperaturer
- Betonger som inneholder blandingssementer, spesielt flygeaske

Hydrasjonsvarmen i betongen blir frigjort på et tidligere tidspunkt ved bruk av dette produktet. Det gir økt tidligfasthet uten at maksimumstemperaturen i massen øker. Betongen oppnår tilstrekkelig fasthet og den motstår frysing. Produktet påvirker ikke konsistens eller luftinnhold i betongen. En illustrasjon over temperaturlogging ved bruk av Mapefast HA vises nedenfor (Mapei AS, 2020):



Figur 1. Betong B30 M60, Standard FA, 340 kg, 0,8 % SX-N, konsistens 240 mm synk. v/c 0,56

Figur 5 Temperaturutvikling herdeakselerator vs. Standard FA (Mapei AS,2020).

Mapei Norge leverer kjemikalier til både Norcem i Norge og Cementa i Sverige. Disse kjemikaliene blir brukt i sementmøllene og er et malehjelpemiddel. Produktet er et høykonsentrert vannbasert produkt som forbedrer sementkvaliteten og malingskapasiteten i sementproduksjon. Produktet reduserer energibruken i

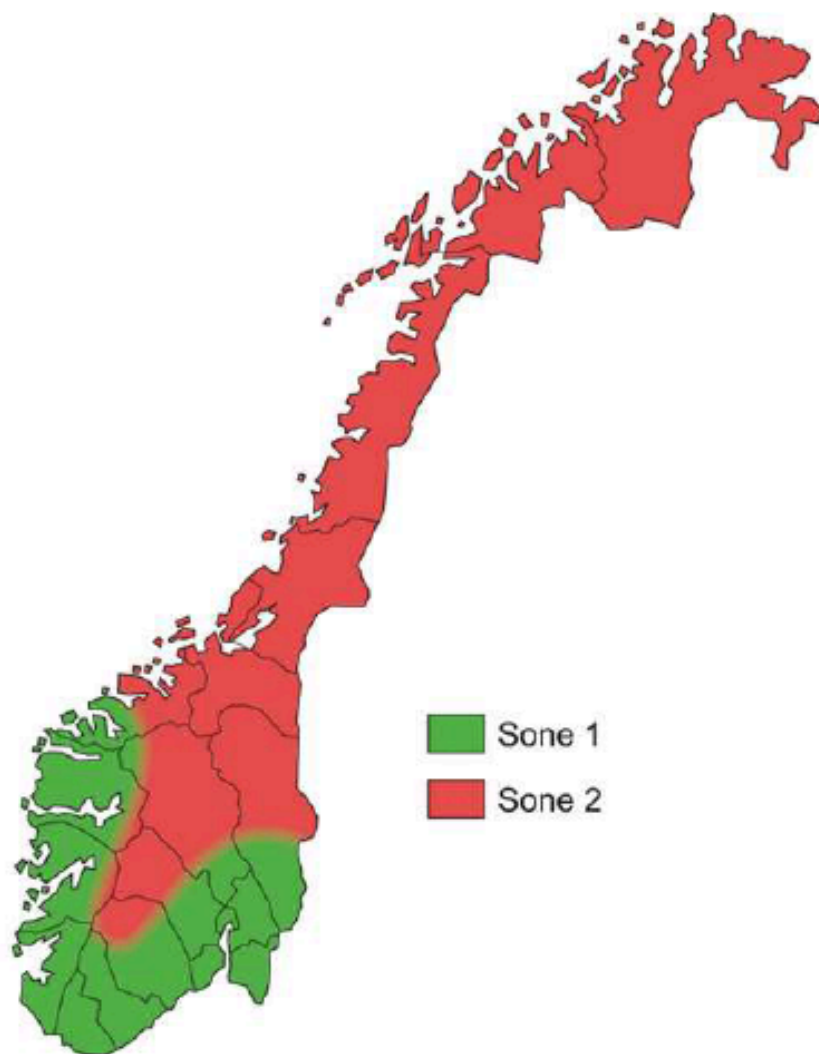
produksjonen og øker effekten på tidligfasthet. Malehjelpemidlene forbedrer produksjonen med at det blir mindre elektrisk energiforbruk pr tonn sement. Økningen i produksjonen vil normalt ligge på 10-30%. Det avhenger av sementen, mølleutstyr, sementklinkeren og dosering av malehjelpemiddelet (Mapei AS,2007).

Mapei Norge forsker og på om det kan være aktuelt å bruke kjemikalier som kan bidra til en forbedring av sementene. Herdeakseleratorene er kjemikalier som kan kompensere for at sementene er tregere og dårligere. Mapei arbeider med flere typer akseleratorer, de tester blant annet ut en slaggaktivator. Det er en akselerator som er spesielt tilpasset for slaggrikebetonger og sementer. Thomas Beck forteller at sementprodusenten Schwenk fra Tyskland har utviklet en lavvarme sement som inneholder omtrent 70 % slagg. Denne sementen er veldig miljøvennlig, og har en EPD med et CO₂ avtrykk på 214 kg CO₂ per tonn sement. Til sammenligning så har Norcem sin sement en EPD på omtrent 600 kg CO₂ tonn per sement (T. Beck, personlig kommunikasjon, 15 April 2021).

5.6 Kortreist tilslag og elektrifisering

Betongens klimagassutslipp er påvirket av regionale forskjeller. Transport av råvarer til betongfabrikk, betongfabrikken beliggenhet, transportform, råmaterialene opphavssted og plassering av silo for bindemidler påvirker karbonavtrykket. Råvaretransporten i Innlands-Norge og Nord-Norge har en vesentlig del av klimagassutslippet.

Ikke alle de forskjellige lavkarbonbetongene er tilgjengelige i hele landet. Det har med tilgjengelighet av bindemiddeltypen, medgått bindemiddelmengde ved bruk av lokale tilslag og transportavstand av råvarer til fabrikk. I tillegg til kompetanse og erfaring hos betongleverandør. Tilslaget i Midt-Norge, indre Østlandet og Nord-Norge gir større bindemiddelvolum enn ellers i landet. Dette har med tilgjengeligheten til flyveaske og slaggsement og kunnskap om stedlig geologi og tilslag. Statens vegvesen har i dag øvre Figuren under viser en oversikt over tilgjengeligheten til lavkarbonbetong. Sone 1 illustrerer områder der tilgjengeligheten er god. Sonene er ikke absolutte, men en indikasjon (Bjøntegård, 2019; Norsk Betongforening, 2020).



Figur 6 Tilgjengelighet av lavkarbonbetong i Norge (Bjøntegård, 2019)

Spesifikasjon SV-standard er statens vegvesen sin volumbetong. Sement inneholder 15-20 % flygeaske, betongfabrikkene kan tilsette flygeaske med opptil 30 % for en bedre EPD. Ved å sette spesielle miljøkrav til betongen risikerer de dermed at det ikke er mulig å levere lavkarbonbetong i det aktuelle området. Det er dermed nødvendig å forhøre seg med betongleverandør i området før man spesifiserer krav til klimagassutslipp.

Flygeaskestandarder er styrende for hva som er tillatt i betong, men den er ikke styrende for hva som er tillatt i blandingssementer. De to forskjellige EPDene under viser forskjellen i bruken av en lavkarbonbetong i henhold til de forskjellige standardene.

Utslippene fra statens vegvesen havner på et utslipp på 220 kg/m³, derav vil betongen i

henhold til NS-EN 206 være på 206 kg/m³. Det har med strengere krav i prosesskode 2 for hvor mye flygeaske det kan være tilsatt i betongen enn i sement fra sementfabrikken.

De forskjellige betongtypene brukt i EPDen:

- Lavkarbon A B45 MF40 i henhold til NS-EN 206
- Lavkarbon A B45 SV-Standard i henhold til statens vegvesen. Prosesskode 2

B45 MF40, k-verdi 1,0 for FA			A1	A2
Masseforhold	0,39	STD-FA	179	0,8 (båt Brevik-Sjursøya) 0,3 (bil Sjursøya-fabrikk)
Vann (l)	155	FA	0	5,4 (båt Tyrkia-Slemmestad) 0,2 (bil Slemmestad-fabrikk)
STD-FA (kg)	307	Silika	0	0,3
FA (%)	35	Tilslag	4,0	7,3
Silika (%)	3	TSS	6,0	0,3
Klimagassutslipp (A1-A3): 206 kg/m³		Totalt	189	14,6

Figur 7 EPD i henhold til NS-EN 206 (Fredvik, T., 2021).

B45 SV-Standard, k-verdi 0,7 for FA			A1	A2
Masseforhold	0,39	STD-FA	192	0,9 (båt Brevik-Sjursøya) 0,3 (bil Sjursøya-fabrikk)
Vann (l)	155	FA	0	5,0 (båt Tyrkia-Slemmestad) 0,2 (bil Slemmestad-fabrikk)
STD-FA (kg)	330	Silika	0	0,3
FA (%)	30	Tilslag	3,9	7,1
Silika (%)	3	TSS	7,2	0,3
Klimagassutslipp (A1-A3): 220 kg/m³		Totalt	203	14,1

Figur 8 EPD i henhold til Prosesskode 2 (Fredvik, 2021)

Tom Fredvik sier at sementanlegget i Brevik har de siste årene hatt god utvikling i elektrifisering for både båt og bil når sement lastes og losses på båter. EPD generatorene for sementen i Brevik er ikke oppdatert på denne elektrifiseringen. Det har vært en stor utvikling de siste 5 årene med lavere CO₂-utslipp på båtene som går fra Brevik langs

norskekysten. Norcem ønsker å få i gang et prosjekt for å forbedre utslippstallene på dagens båter ved å få lagt inn de reelle tallene.

5.7 Resirkulert betong

Et godt gjenbruksprosjekt er avhengig av ren betong med god styrke, pålitelig dokumentasjon og en akseptabel pris. Det å ta i bruk gammel betong, knuse den opp og bruke den som fyllmasse eller som tilslag til betong er gode tiltak for klimaregnskapet. Derimot så blir mye betongavfall sendt på deponi på grunn av at det består av mye forurensede masser (Tangen & Evensen 2013).

Nedknust herdet betong kan brukes som tilslag, men uten bindemiddeleffekt. Resirkulert betong har dårligere støpelighet og styrke enn rene naturtilslag. Nedknust betong gir dårligere karbonregnskap, på grunn av at den har mer sement i seg enn naturtilslaget. Resirkulert herdet betong er å betrakte som et godt miljøtiltak der det ellers er knapphet på tilslagsressurser. I dag er den nedknuste betongen aller mest brukt som bærelag i vei eller fyllmasse (Norsk Betongforening, 2020).

5.7.1 Re-Con Zero- et produkt som kan minimalisere avfallsstrømmer

Mapei er et familieeid konsern grunnlagt i Italia som er blitt en verdensledende aktør i byggebransjen. Mapei Norge startet opp i 1976 og er en ledende leverandør på kjemiske produkter til byggebransjen. Deres hovedfokus er på å være en bærekraftig og innovativ partner med byggebransjen.

Mapei Norge har flere ulike produkter til betongbransjen. Et av disse produktene er utviklet for å minimalisere avfallsstrømmer fra betongproduksjonen. Re-Con Zero er et produkt som er utviklet fra moderselskapet til Mapei i Italia. Den opprinnelige ideen med Re-Con Zero var å omdanne returbetong som ikke blir benyttet på byggeplass. Denne returbetongen kommer tilbake til fabrikk flytende og bedriftene får noen ganger ikke solgt dette produktet videre igjen. Restbetongen blir noen ganger støpt ut på bakken og knust igjen for å benyttes som fyllmasse. Den kan og benyttes til å støpe betongklosser på 1 m³ som kan bli brukt til blant annet støttemurer. Re-Con Zero produktet er et to komponent pulverprodukt laget av polymerer og uorganiske delmaterialer. Dette produktet brukes til gjenvinning av alle typer betong som returneres til blandeverket. Produktet blir lagt inn i betongbilen og skal tromle der i 10 minutter. Etter 10 minutter så vil betongslammet være omdannet til en granulert masse med gode mekaniske egenskaper når det har herdet. Dette materialet kan brukes til fyllmasser. For eksempel bærelag til veier, dreneringsmasse eller det kan bli benyttet som erstatning for natur tilslag i betong. Ved bruk av Re-Con Zero blir betong helt gjenvunnet uten at det genereres noen avfallsprodukter (Mapei AS, 2018b).

Mapei i Norge har i samarbeid med Ølen Betong videreutviklet denne ideen på Ølen Betong sin fabrikk i Gismarvik. Produktet er i første omgang blitt brukt til å tørrvaske betongbiler. Betongbiler som kommer tilbake med mye sementslam til fabrikkene blir vanligvis vasket med 800-1000 liter vann. Det blir brukt enormt mye vannressurser på å få disse betongbilene rene igjen. I tillegg så vaskes disse betongbilene flere ganger i løpet av en dag, og det kommer mye slam som tømmes i slambasseng. Dette slammet blir så sedimenter i flere kammer, deretter graves slammet opp og sendes til avfallsdeponier som spesialavfall. Re-Con Zero produktet består av små kuler som puttes inn i betongbiler som er brukt og som kommer tilbake til fabrikkene tomme med et lag av sementslam. Produktet gjør det mulig å vaske betongbilene tørre uten vann, samtidig som at restproduktet kan gjenbrukes. Kulene kan brukes i den samme prosessen 10-15 ganger. Restproduktet brukes som tilslag i betong eller det kan brukes i returbetongen til å støpe klosser. Re-Con Zero tilslag er generelt noe svakere enn vanlig fra klasse B30 M60 og nedover. Det blir typisk brukt innendørs og ikke utendørs.

Ølen betong testet dette produktet i Gismarvik i en periode på et halvt år og de har sett at det har gitt mindre kostnader på å bli kvitt vaskeslam og at det genererer mindre spesialavfall fra fabrikkene. Kostnaden med produktet er investeringsutsyr. Det trengs et doseringsanlegg. Produktet er i startfasen og det vil for å få solgt det inn til bedrifter sier Thomas Beck i Mapei. For at flere skal kunne ta i bruk produktet så må det blant annet bli dyrere å kvitte seg med spesialavfall.

Mapei Norge ser og nå på en mulighet for å håndtere andre typer slam med dette produktet. Fra Tunnelbygging hvor en borer og pumper ut vann som igjen går via sedimenteringsbasseng. Oppstår en steinstøvslam, som kan inneholde forurensede masser. ReCon-Zero teknologien kan omdanne dette slammet til kuler som en kan benytte som bærelag på vei eller som grøftepukk slik at avfallet igjen kan bli til en ressurs.

Mapei Norge forsker i tillegg på muligheten for om disse kulene kan karbonatiseres og dokumenteres i klimaregnskapet. Et større forskningsprosjekt i samarbeid med Sintef ser nå på karbonatisering av betong. En ønsker helst at karbonatisering skal skje i overflaten, og at det ikke skal trenge inn til armering. Hvis karbonatiseringsfronten kommer inn til armeringen vil det være kritisk for da vil den lettere ruste. Mapei sine betongkuler på 2 cm vil være lettere å få en større og spesifikk overflate som får kontakt med CO₂ i luften og la seg karbonatisere. Thomas Beck og Mapei ser for seg at en slik ReCon-Zero kule på 2 cm skal være gjennom karbonatisert innen et halvt år. Ved å ta i bruk disse kulene som fyllmasse, så vil det redusere klimaregnskapet til prosjektet. I tillegg blir det tatt i bruk avfall som vanligvis hadde blitt levert på deponi.

Thomas Beck fra Mapei sier at det han opplever som det viktigste miljøtiltaket om dagen er lavkarbonbetong og hvordan man skal få den til å oppføre seg normalt. Den herder mye tregere, og blir veldig påvirket av utendørs støp særlig om vinteren. Det andre viktige miljøtiltaket er avfallsstrømmer og å få oppgradert det til å bli en ressurs (T.Beck, personlig kommunikasjon, 15 April 2021).

5.8 Nyere forskning

Sintef og NTNU forsker på bruken av aluminiums armert betong. Konstruksjoner kan bygges mye slankere med aluminiums armert betong enn med stålarmeret betong. Dette vil bidra til å få ned CO₂ utslippene. Aluminiums armert betong benytter en lavere andel av klinker.

Betong med armering av stål er konstruert ekstra tykk for å hindre at karbondioksid og klorider trenger inn til stålet. Det vil oppstå korrosjon av stålet i armeringen om klorider og karbondioksid trenger inn, som igjen vil føre til at betongen sprekker.

Aluminiumsarmert betong har også en lavere andel av klinker. Klinkerestatningen som brukes i denne betongen blir brent på en lavere temperatur enn klinker i vanlig sement. Klinkeren er erstattet med kalsinert leire som brennes på en temperatur på 850 Celsius grader. Aluminiumsarmert betong oppstår som mer porøs enn vanlig betong på grunn av karbondioksid og klorider ikke er et problem for aluminiumen. Derav blir CO₂ fra produksjonen absorbert opp igjen i betongen. Den vil også være enda mer bestandig enn vanlig betong. Betongen vil ha en lavere PH enn vanlig betong og det gjør den vedlikeholdsfri ettersom den er bestandig mot nedbrytningsreaksjoner. På sikt så vil aluminiumsarmert betong kunne erstatte armeringer hvor korrosjon av stål er det største problemet, slik som i marine miljø (Kulmo W,M., 2019)

SINTEF utvikler en biologisk sement som kalles BioZement. Der de ser på en alternativ måte å lage sement uten oppvarming. Hvis forskerne får det til så vil en kunne redusere de globale utslippene med opptil 80% i forhold til vanlig produksjon av sement.

Prosessen går ut på å bruke kalksteinpartikler med sand der det tilsettes bakterier fra et kalksteinsbrudd. Kalksteinen blir løst opp ved at bakteriene produserer syre, da frigjøres kalsiumioner og karbonat. Deretter blandes sand med en annen type bakterie og det blir tilsatt delvis oppløst kalkstein og urinstoff. Når de to bakteriene samarbeider dannes det kalsiumkarbonatkrystaller som holder sandpartiklene sammen.

Kalsiumkarbonatkrystallene fungerer som bindemiddelet. Siste trinn i prosessen er tørking for å få materialet fast. Materialstyrken vil ikke være like bra som den konvensjonelle, men det finnes bruksområder der den vil være god nok eller man kan forsterke det med andre muligheter, som for eksempel armering. Forskerne ser også i

potensiale i å resirkulere dette produktet, som igjen vil redusere ressursbruken (Egge, 2021).

På Universitetet i Tromsø så forskes det på bærekraftig gjenvinning av betong. Det vil komme krav fra EU om resirkulering av minimum 70 % av konstruksjons- og rivningsavfall som er ikke-farlig. En betydelig andel av dette avfallet er betong. Derfor er det viktig å finne ut hvordan en skal håndtere dette avfallet. Målet er å oppnå 75% gjenvinning av betongmassene. Betongmassene som ikke er forurenset kan erstatte pukk i bygge- og anleggsvirksomhet (Eidum, 2019).

Nyere forskning viser at betong kan også lagre CO₂. I dagens klimaregnskap blir ikke denne karbonatisering tatt med. I en ferdigbygget betongvegg er det små porer med vann når CO₂ fra luften trenger inn i betongen og blir blandet med dette vannet, så vil CO₂ bli tatt opp av kalsiumoksidene i sementen, som igjen blir til kaliumkarbonat. Det er den samme forbindelsen som kalkstein i starten av prosessen. Nye studier anslår at omtrent 43% av CO₂ blir tatt opp igjen. Desto mer overflatevann som er i kontakt med luft, desto mer CO₂ vil betongen ta opp. Det vil si at bygg med tynne lag med mørtel ute på fasaden lagrer nesten 98% av det originale utslippet. Tykke betongvegger lagrer mindre. SINTEF har ledet et forskningsprosjekt hvor de har funnet ut at mengden av CO₂ som tas opp i en betongbelegningsstein er betydelig. Sammen med en rekke produsenter og sementindustrien har de forsket på hvor mye CO₂ som bindes til betongbelegningsstein. Målet med forskningen er at det skal ta hensyn til netto CO₂ - utslipp gjennom hele livsløpet i miljødeklarasjoner. Denne forskningen har vist at opptil 90 % av potensialet for CO₂ opptak til belegningssteinen har blitt målt i laboratoriet. Prosessen er derimot treg, og avhenger av betongkvalitet, fuktnivå og tilgang på luft (Engelsen, 2021).

6 Teknologier og andre løsninger

6.1 Bærekraftige materialer

I dag fremstår tre som det mest bærekraftige materialet av de tradisjonelle materialene som stål og betong. Massiv tre er konkurransedyktig, men blir alle forhold tatt med i miljøregnskapene som at stål og betong er mer holdbart og enklere kan gjenbrukes.

Nyere forskning fra østfoldforskning utarbeidet på vegne av betongelementforeningen viser en studie av klimagassregnskap, basert på LCA metodikk for en kontorbygning på 16 etasjer. Kontorbygget er oppført med både prefabrikkert betongkonstruksjon og trekonstruksjon som hovedmateriale. Klimagassberegningene viser at miljøoptimaliserte betongprodukter med lavkarbonbetong kommer best ut ved både 8 og 16 etasjers konstruksjoner. Ved konstruksjoner på 4 etasjer er utslippsnivået for trekonstruksjoner noe lavere enn ved bruk av prefabrikkert betong. Denne studien viser at det er en fordel å bygge med prefabrikkert betong til høyere bygg (Bolin, 2019).

Store deler av Europas massivtre produksjon foregår i dag i Østerrike og Tyskland. Transport av materialer fra sentral Europa til Norge er ikke så klimavennlig. I tillegg så blir også trevirket importert til fabrikken. Betong har mindre transportavstander enn tre.

En svensk boligbygger Riksbyggen tilsvarende OBOS i Norge gjennomførte en studie om bærekraftig utbygging på et leilighetskompleks. Hensikten med studien var at de ville gjøre et kunnskapsbasert valg av materialer i et boligprosjekt med høye miljøambisjoner. De satte materialene opp i en fullstendig LCA analyse med en levetid på 100 år. Studien viser at massivtre og betong gir like store miljøbelastninger. I denne studien ble det brukt massiv betong 80% og hulldekke på 20% (Betongelementforeningen, 2020).

Julie Lyslo Skullestad utførte en studie på bygging av høyhus i tre som et klimatiltak i 2016. Denne studien er vitenskapelig publisert og konkluderer med at man kan redusere klimagassutslipp med opptil 85% ved å bygge høyhus med bærekonstruksjon i tre i stedet for stål og betong. Skullestad sier årsaken er at byggematerialer i tre lagrer karbon gjennom byggets levetid.

Byggematerialers miljøbelastning avhenger av ressursbruk, produksjonsteknologi, transportavstander og bestandighet. For å evaluere et bygg sin miljøbelastning så må kombinasjon av total materialbruk over levetid vurderes. Løsningene vil være forskjellig

for hvert prosjekt, og en bør se på hvert enkelt bygg og bygge med den løsningen som passer best til akkurat det prosjektet. Beregninger av utslipp for de ulike materialene varierer mye med valg av metode. Og en ser fra de ulike studiene at valg av ulike forutsetninger kan gi ulike konklusjoner (Rønning & Tellnes, 2018).

6.2 Bærekraftige bygg

Norge har som ambisjon å bli et lavutslippssamfunn innen 2050, i tråd med Parisavtalen og FNs bærekraftsmål. Gjenbruk og rehabilitering av eksisterende bygninger spiller en viktig rolle når vi må redusere miljøbelastningen fra byggenæringen for å nå klimamålene.

I Trondheim kan en finne det mest bærekraftige bygget i verden med dokumentert klimaregnskap. NTNU og Sintef har bygd dette nullutslippslaboratoriet i samarbeid med veidekke og LINK arkitektur. Bygningen er verdens første nullutslippsbygg med dokumentert klimaregnskap.

Skanska er en av landets største og ledende entreprenør og eiendomsutvikler. Selskapet satser stort innen miljø og grønne prosjekter. De har blant annet vært med på å utvikle BREEAM-NOR. I Norge har Skanska 36 % av alle BREEAM sertifiserte bygg og de har landets første CEEQUAL sertifiserte prosjekt på anlegg. Skanskas visjon er å bygge for et bedre samfunn (kilde skanska.no).

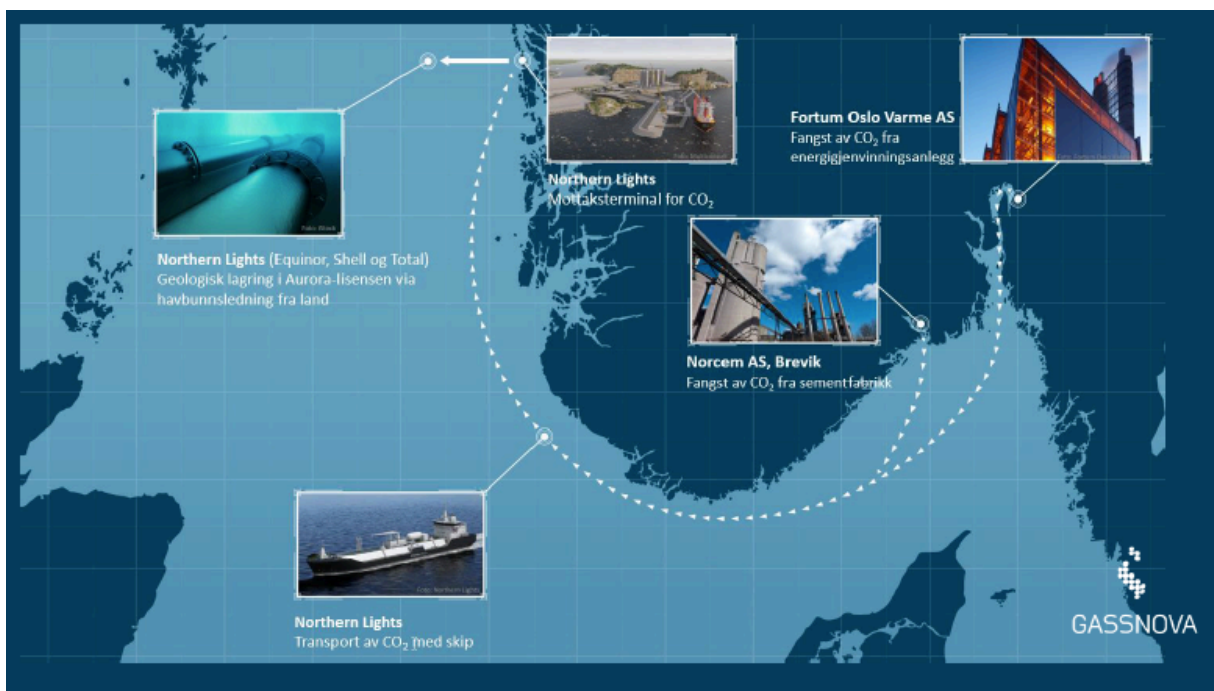
Skanska ser på muligheten for hvordan de skal prosjektere bygg i 2021 for å så bruke de om igjen om 40 eller 60 år. I dag blir ikke bygg bygget for å stå i evig tid. De fleste bygg blir revet og det blir bygd nytt. Dagens bygg er ikke demonterbare nok, og det bør ses på muligheten for å gjøre bygg demonterbare slik at det går an å ta det i bruk igjen.

Det å ikke bygge nytt og heller bruke det om igjen vil være en viktig del for å oppnå netto nullutslipp. For at det skal være mulig så må standarder, regler og forskrifter komme på plass. Betong har en lang levetid og er et veldig bestandig materialet, så det beste er ofte å la bærekonstruksjoner stå. I dag så lønner det seg å rive et bygg istedenfor å gjenbruke betongen og la hele bæresystemet stå. Økonomiske insentiver må også lønne seg, tekniske tiltak og nyproduksjon må bli minst mulig belastende.

Sverre Smeplass fra Skanska sier at det som er mest effektiv er å ta ned energibruken i bygget når det står der. Byggene må bli prosjektert og driftet riktig. Skanska har i samarbeid med Entra, Snøhetta og flere et prosjekt som heter Powerhouse Brattøra. Det er et signalbygg som kombinerer noen av verdens høyeste miljøambisjoner med god byutvikling og arkitektur. Brattøra har et energibruk på $15 \frac{kWh}{m^3}$ per år. Et standard kontorbygg har derimot en energibruk på $60-89 \frac{kWh}{m^3}$ per år. I et standard kontorbygg så

følges kravene i TEK10. Brattøra har tatt energibruken ned ved å optimalisere bygget med gode ventilasjonseffekter. I tillegg er lys og solenergi tatt i bruk på best mulig måte. Energibruken er redusert med $\frac{1}{4}$ ved bruk av dagens teknologi. Hvis det kommer krav til at energibruken for ethvert nybygg skal ligge under $15 \frac{kwh}{m^3}$ per år, så vil utslippene gå ned. Sverre Smeplass sier dette er et stort potensiale som ikke er blitt utnyttet enda. Sverre Smeplass sier at han ser at miljø og bærekraft er viktigere nå enn før for både byggherrer og de fleste entreprenører. Han sier Skanska har vært med på å drevet det litt frem ved at de har stilt krav til seg selv og da også fått byggherren med på det (S. Smeplass, personlig kommunikasjon, 20 April 2021).

6.3 Karbonfangst- og lagring



Figur 9 Northern Lights (Skjeggerud, 2021).

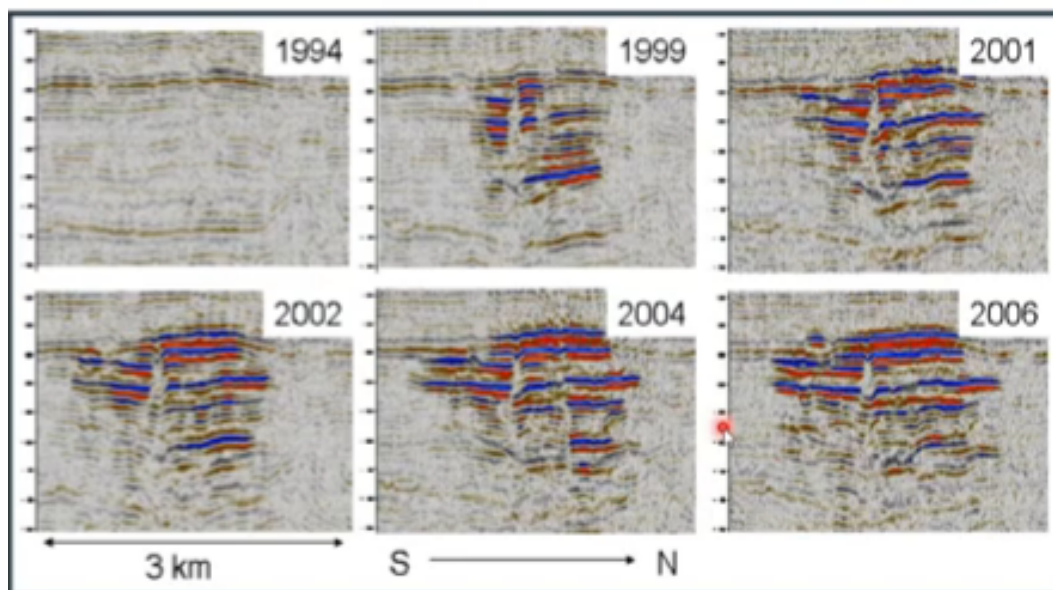
Langskip-prosjektet som handler om å støtte fangst, transport og lagring av CO₂ i Norge er en milestein i industri- og klimasatsingen til regjeringen. CCS er sett på som den beste løsningen for å gjøre de store industrianleggene utslippsfrie. FNs klimapanel viser i 2018 at vi er avhengig av CCS dersom vi skal nå klimamålene. Fangst av CO₂ fra sementproduksjonen er et viktig element når det kommer til en visjon om nullutslipp av CO₂ fra betongprodukter innen 2030. Hensikten med denne teknologien er å fange CO₂, for deretter å lagre den sikkert i geologiske formasjoner under bakken.

14 desember 2020 ble det i Stortinget besluttet å investere i prosjektet Norcem Brevik. Det vil bli en av verdens første sementfabrikker med fullskala karbonfangst. Prosjektet hadde oppstart 4 Januar, og det er planlagt at den første båten med CCS skal gå ut i fra

anlegget på Brevik 1 Juli 2024. Teknologien som skal brukes til å fange CO₂ er amminteknologi som er utviklet av Aker Solution. Anlegget er prosjektert for å fange CO₂ utslipp med 400 000 tonn pr år. Det vil utgjøre en betydelig stor forskjell i klimaregnskapet for produksjonen av sement(Regjeringen, 2021).

Prosjektet er kalt Northern Lights og er et samarbeid mellom Total, Shell og Equinor der de har ansvar for transport, mellomlagring og lagring av CO₂en i Aurora-Formasjonen. Hver 4 dag skal båter komme inn til Brevik og hente CO₂ som deretter transporteres ut til Øygarden utenfor Bergen for mellomlagring. CO₂en sendes så videre ut i rør til Nordsjøen. Her skal CO₂ pumpes ned i sandlag som ligger 3 km under havbunnen. Når CO₂en injiseres i bakken så vil den legge seg i mellom porene til sandlaget. Ovenfor dette sandlaget ligger det en impermeabel skiferbergart som vil hindre at den beveger seg oppover. Etter hvert så det meste av CO₂en bli fanget i mellom sandlagene og noe vil bevege seg videre og oppløses i formasjonsvannet i reservoaret. Den oppløste CO₂en vil bli tyngre og vil til slutt miste oppdrift og synke til bunnen. Det vil til slutt og oppstå en mineraliseringsprosess med CO₂en hvor den blir omdannet til stein. CO₂ kan dermed lagres veldig trygt i bakken

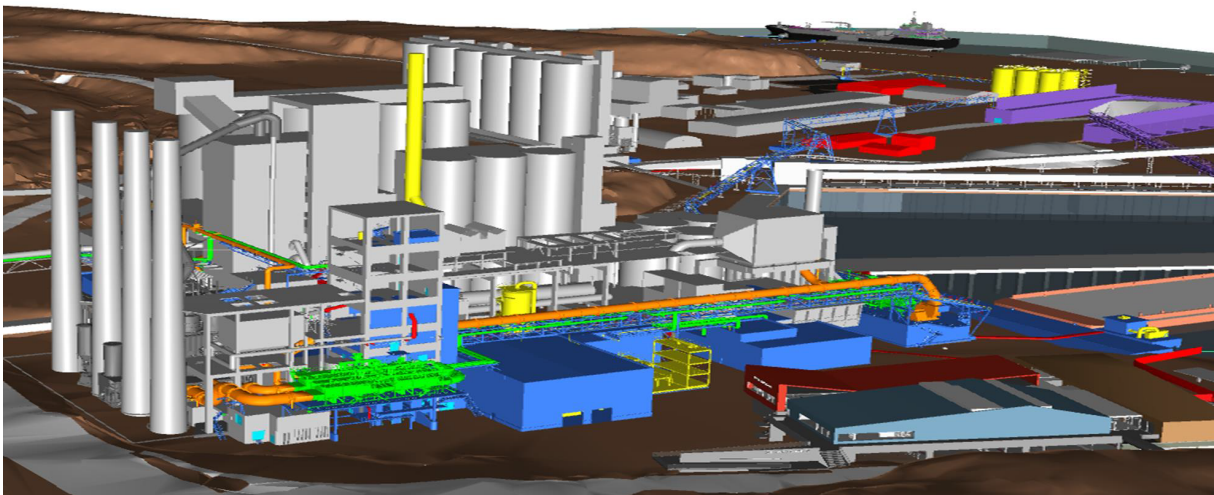
Equinor har implementert teknologien på 2 felt tidligere, hvor det har vist at det årlige utslippet kan bli redusert med et tilsvarende utslipp til 10 millioner biler. Under vises en seismisk observasjon fra Sleipner feltet hvor teknologien allerede er i bruk. Figuren viser en oversikt over hvordan CO₂en har utviklet seg i reservoaret siden den ble injisert i 1994. Etter noen år vil den bre seg ut mellom sandkornene i reservoaret (Norcem 2021a).



Figur 10 Seismisk observasjon over hvordan CO₂ vil utvikle seg over tid i reservoar (Norcem, 2021a).

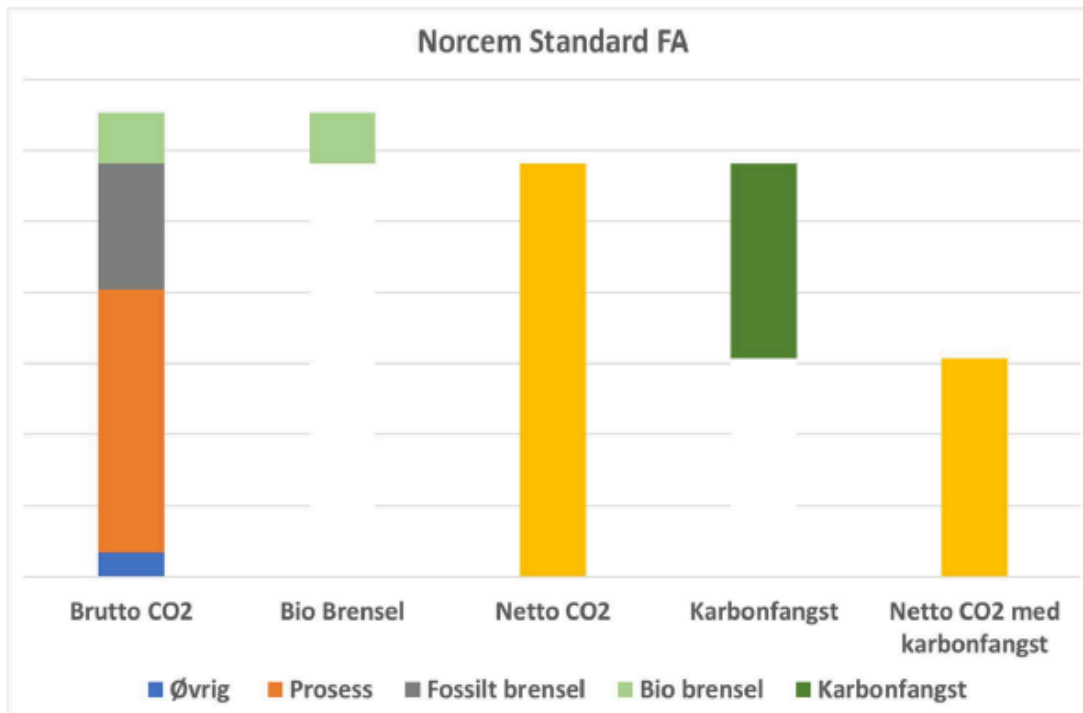
Planleggingen for Norcem sitt anlegg i Brevik startet allerede på høsten i 2020. Nå er de i gang med rivearbeid-selve bygging av anlegget starter ikke opp før sommeren 2021. Anlegget er planlagt for å integreres inn i den nye fabrikk og har en kostnad på 25 Milliarder NOK, der staten har investering på 17 milliarder NOK.

De første konseptstudiene om et karbonfangst anlegg i Brevik kom allerede i 2005. Det har tatt lang tid å få realisert prosjektet. Figuren under viser hvordan anlegget vil se ut når det er ferdigstilt. Det som er i farger skal bygges inn i eksisterende fabrikk. Den store utfordringen med dette prosjektet for Norcem, er å bygge dette anlegget samtidig som de skal produsere den vanlige mengden sement.



Figur 11 Det fremtidige CCS anlegget i Brevik (Skjeggerud, 2021).

Tom Fredvik fra Norcem sier at i forhold til sement produsert i fra Brevik så ser det realistisk ut å oppnå netto nullutslipp ved at det forutsettes karbonfangst. Det vil også gjelde for andre fabrikk om de tar i bruk et tilsvarende anlegg. Figuren under viser at bidraget fra karbonfangst vil redusere Norcem sine utslipp med omtrent 40 %.



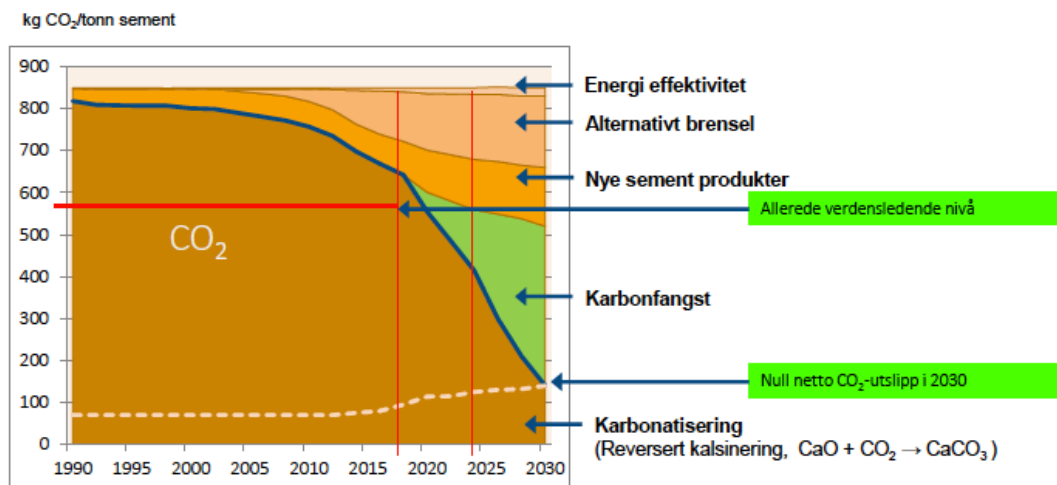
Figur 12 Effekt av karbonfangst for sementens CO2 utslipp (Skjeggerud, 2021).

Tom Fredvik sier det er usikkert å si hvordan CCS-sementen skal prises når den kommer på markedet i 2024 i forhold til andre sementer. Sement vil bli dyrere fremover på grunn av investeringene på karbonfangst og det forventes at Brevik er første fabrikk av veldig mange fremover. Flere Heidelbergcement fabrikker i Europa har allerede lansert karbonfangstprosjekter. Sementprisen vil bli drevet av høyere og høyere kvotepriser på CO₂ og tildelingen av frikvoter vil gå ned. De sementfabrikkene som ikke har karbonfangst, vil få en dyrere sement på grunn av at utgiftene vil bli større på CO₂ kvote sertifikatene. Substituttene vil det bli større etterspørsel etter og mindre tilgjengelighet, som deretter vil øke kostnadene. Bare de siste årene har prisen på flygeaske og slagg økt kraftig. På et tidspunkt kommer det et skjæringspunkt over hva som vil lønne seg; enten kjøpe seg ut av disse CO₂-kvote sertifikatene eller investere i CCS-teknologi. DTom Fredvik sier at desto mer erfaring en får ved bruk av denne teknologien, desto billigere vil det bli å ta den i bruk. Equinor anslår at kostnaden vil gå dramatisk ned etter bare 4 år. Det vil etter hvert også bli mulig å fange mer CO₂ enn det første pilotprosjektet (Norcem, 2021a; T.Fredvik, personlig kommunikasjon, 12 April 2021).

Grafen under viser målsetningen til Norcem om en null-visjonen for sementproduktene i 2030. I 2030 skal utslippene være på et så lavt nivå at de av utslippene som er igjen skal kunne tas opp i betongen gjennom karbonatisering i hele livsløpet. Norcem sin

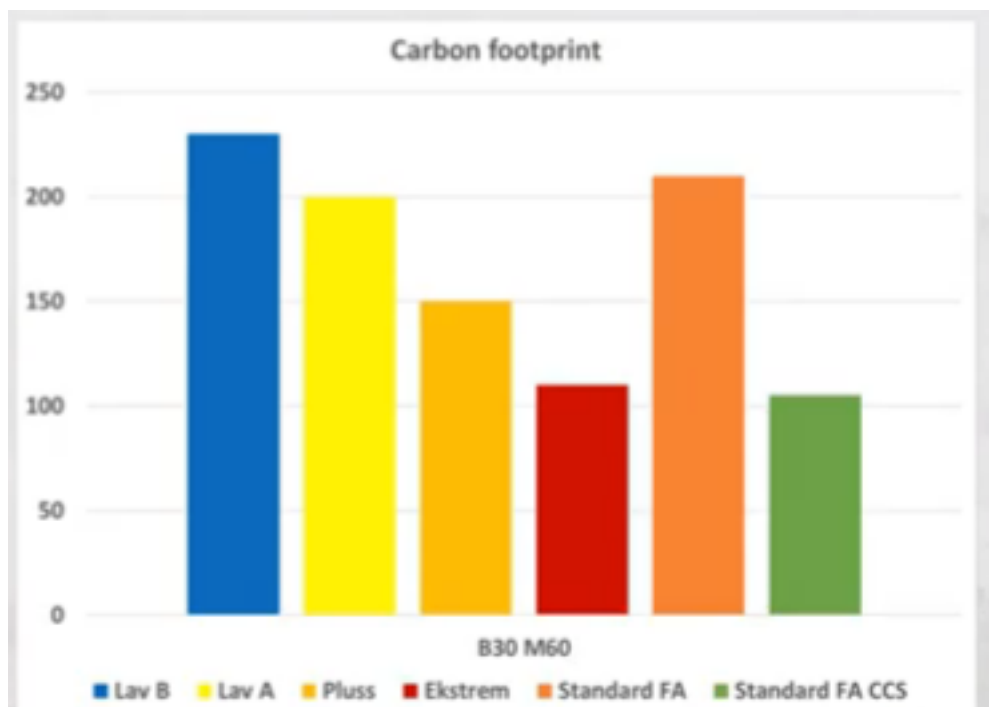
visjon er å ha et netto CO₂ nøytralt produkt for betongkonstruksjonen gjennom hele livsløpet (NORCEM, 2021a).

Norcems null-visjon – Status og videre planer



Figur 13 Norcems null-visjon (Skjeggerud, 2021)

Med CCS-teknologien på plass så er det i fremtiden oppnåelig å produsere en lavkarbonbetong i klassen lavkarbon pluss og lavkarbon ekstrem med de verdiene som i dag tilsvarer lavkarbonklasse B. Søylene under viser karbonavtrykket for de forskjellige klassene med en standard FA betong B30/M60 betong produsert på Østlandet så vil CO₂ utslippet med en CCS-sement være på 200-220 kg Co₂ pr m³. Det tilsvarer i dag en lavkarbon klasse B i henhold til lavkarbon publikasjon NB 37. Tilsvarende med en B35/M65 lavkarbonbetong klasse B så vil CCS-sement gjøre at CO₂ avtrykk vil ligge på 100-110 kg co₂ per m³. På dette nivået så er vi på en lavkarbonbetong i klassen ekstrem i følge kravene i lavkarbon publikasjon NB 37. Disse beregningene er og uten at karbonatisering er tatt med i regnskapet. Det vil og redusere karbonavtrykket i fremtiden om det blir dokumenterbart i fremtiden.



Figur 14 fremtidig karbonavtrykk for lavkarbonbetong med CCS-sement (Norcem, 2021a).

Fremtidensbetong vil forventes å være av typen lavkarbon pluss eller lavkarbon ekstrem for en betong som i dag er en normalbetong. Karbonfangst- og lagring vil ha mye å si for betong som byggemateriale i fremtiden.

Karbonfangst og lagring er en teknologi for fremtiden, men det krever samarbeid. Myndigheter og næringsliv må utvikle insentiver, infrastruktur og arbeidsplasser for at CCS skal bli et effektivt miljøtiltak. Havbunnen utenfor norskekysten er godt egnet for lagring av CO₂ og har potensiale til å lagre CO₂ tilsvarende 1000 år med norske utslipp i Nordsjøen (Norcem, 2021a; T. Fredvik, personlig kommunikasjon, 13 April 2021).

7 Casestudie Hywind Tampen



Figur 15 Betongkonstruksjonene til Hywind Tampen

Ølen betong er en av landets største betong-og betongvareprodusenter. De har 40 års erfaring innen bransjen og leverer betong, elementer og betongvarer til både store og små prosjekter. I Norge har de over 30 blandeverk. En av deres grunnleggende pilarer i bedriften er satsing på miljø, og de er en foregangsbedrift i utviklingen og satsingen. De bygger for å skape en fremtid og deres fremste mål er at bedriften ikke skal ha utslipp som skader miljøet. Bedriften gjenbraker blant annet restbetong og overskuddsbetong for å unngå deponi og unødige utslipp i naturen.

Gjennom FOU prosjektet "Grønn Betong har de fått gode resultater ved å omdanne sementholdig slam til nytt råstoff for betong. Bedriften sine produksjonsanlegg har installert miljøanlegg som gjenvinner betong, slam og vann. Prosessvannet etter rensing blir og gjenbrukt til vask av betongtromler eller tatt i bruk i betongproduksjonen.

Et stort prosjekt som Ølen Betong er leverandør til er Hywind Tampen. Hywind Tampen er et planlagt flytende vindkraftprosjekt fra Equinor som skal forsyne strøm til feltene Gullfaks og Snorre i Nordsjøen. Det vil bli den største flytende vindparken i verden som leverer strøm til olje-og gassplattformer til havs med en kapasitet på 88 MW. Den vil kunne dekke om lag 35 % av det årlige kraftbehovet til de 5 plattformene på feltet. Det

anslås at det årlig vil fjerne 200 000 tonn -utslipp og 1000 tonn NOx-utslipp, det vil si omtrent 0,4 prosent av Norges totale CO₂-utslipp.

Prosjektet er bra for videre utvikling av fremtidige energiløsninger og havvind ved at det blir et testmiljø hvor det prøves ut nye og større turbiner, betongstrukturer, innstalleringsmetoder, og integrasjon mellom kraftsystemer som gass og havvind. Vindparken er planlagt bestående av 11 vindturbiner av typen Siemens Gamesa SG 8.0-167 DD. De skal kobles i sammen i en sløyfe med inter-array kabelnett. Vindmøllene blir montert på flytende betongstruktur med felles forankringssystem. Det er prosjektert med vindmøller av typen Hywind som er basert på en av Equinors havvindteknologier. Vandybden i vindparkområdet er omtrent 260 og 300 m.

I oktober 2019 ble prosjektet investeringsbesluttet og i April 2020 ble det godkjent av olje- og energidepartementet. Investeringen er på 5 milliarder kroner, og gjennom Enova har den norske stat gitt en støtte på 2,3 milliarder kroner og opptil 566 millioner kroner fra NOx-fondet. Prosjektet omfattes av oljeskattsystemet, det betyr at Equinor og partnere trekke fra 78 % av investeringene på skatten, noe som vil redusere kostnadene med omtrent en halv milliard kroner. Prosjektet har vært avhengig av at myndighetene har utvidet levetiden for feltene med 20 år lengre enn først planlagt.

Oppstart av prosjektet var i Februar 2021 hvor det ble støpt 11 flytende betongskrog på Aker Solutions sitt verft på Stord. Elevation fra 3-20 meter av betongskroget ble støpt her, deretter ble konstruksjonene slept med båt langs sjøveien ut til Dommersnes i Vindafjord. I Dommersnes skal resten konstruksjonen på 107,5 meter ferdigstilles. Dommersnes er en ypperlig plassering for byggingen, siden det her er dypt vann. På Dommersnes vil konstruksjonene vokse i dybden ved at det pumpes vann ned i fundamentets hullrom for å holde dem stabile. I første omgang støpes det på Dommersnes opp til 66 meter, deretter må det monteres utstyr for å støpe videre til 107,5 meter. En turbin vil veie omtrent 20 000 tonn, hvor konstruksjonen fylles med armeringsjern på 200 kg/m³ og resten av betong. Det bygges omtrent 3 meter i døgnet per konstruksjon. Etter Dommersnes skal betongkonstruksjonene bli fraktet til Gulen for innstallering av vindturbinet, derfra taues de så ut til Snorre og Gullfaks feltet i Nordsjøen.



Figur 16 betong og armering til konstruksjonen

Disse elleve betongkonstruksjonene er de første på lang tid for et offshore prosjekt. Ikke siden Troll A plattformen i 1995 er det blitt bygd slike offshorekonstruksjoner.

Prosjektet er planlagt ferdigstilt tidlig sommeren 2022 og vil være et foregangsprosjekt for en fornybar fremtid. Det vil ivareta og utvikle verdiene på norsk sokkel ved klimaavtrykket blir redusert fra Equinor sine operasjoner samtidig som teknologien vil spre seg globalt (Krogh, 2021; Hovland, 2019).

Ølen betong er leverandør for betongen til konstruksjonene. De har installert et mobilt blandeverk som bare er 5 minutter borte fra siden på Dommersnes. Her leverer de betong på omtrent 7 m^3 i timen. Egenprodusert og kortreiste tilslag vil gi mindre klimagassutslipp. Betongen som leveres er en lavkarbon klasse B.



Figur 17 Tilslag og det mobile blandeverket til Ølen Betong

Under vises utdrag fra EPDen av lavkarbonbetongen som er levert til prosjektet. Denne betongen er en konstruksjonsbetong som består av 1 m^3 klasse B65 M40 betong. Livsløpet til denne betongen går fra A1-A4 og transporten til byggeplass er på kun 4 km med blandebil. betongresepten er som følger:

Materials	kg	%
Cement	420,00	17,66
Aggregate	1785,58	75,07
Water	156,00	6,56
Chemicals	3,77	0,16
SCM	13,10	0,55
Total:	2378,45	

Tabell 6 Betongresept på en lavkarbon betong fra Ølen Betong

Denne betongresepten har 17,66 % sement med tilslag på 75,07 %. Resultatene fra LCA analysen vises i figurene under.

LCA: Results

The LCA results are presented below for the declared unit defined on page 2 of the EPD document.

System boundaries (X=included, MND=module not declared, MNR=module not relevant)

Product stage				Construction installation stage	User stage							End of life stage				Beyond the system boundaries
Raw materials	Transport	Manufacturing	Transport	Assembly	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Deconstruction demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse/Recovery/Recycling-potential
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND

Environmental impact

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4
GWP	kg CO ₂ -eq	2,64E+02	1,69E+01	3,34E+00	8,12E-01
ODP	kg CFC11 -eq	4,91E-06	2,94E-06	5,87E-07	1,54E-07
POCP	kg C ₂ H ₄ -eq	3,62E-02	2,87E-03	6,73E-04	1,44E-04
AP	kg SO ₂ -eq	1,57E-01	9,60E-02	2,48E-02	2,86E-03
EP	kg PO ₄ ³⁻ -eq	1,56E-01	1,94E-02	5,35E-03	5,95E-04
ADPM	kg Sb -eq	1,23E-04	2,38E-05	4,06E-06	1,80E-06
ADPE	MJ	8,94E+02	2,34E+02	4,74E+01	1,24E+01

GWP Global warming potential; ODP Depletion potential of the stratospheric ozone layer; POCP Formation potential of tropospheric photochemical oxidants; AP Acidification potential of land and water; EP Eutrophication potential; ADPM Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPE Abiotic depletion potential for fossil resources

Reading example: 9,0 E-03 = 9,0*10⁻³ = 0,009

*INA Indicator Not Assessed

Figur 18 EPD av en lavkarbon betong

Resource use

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4
RPEE	MJ	2,46E+02	3,51E+00	2,44E+01	1,91E-01
RPEM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,84E-02
TPE	MJ	2,46E+02	3,51E+00	2,44E+01	2,49E-01
NRPE	MJ	9,22E+02	2,39E+02	4,92E+01	1,27E+01
NRPM	MJ	1,82E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TRPE	MJ	9,40E+02	2,39E+02	4,92E+01	1,27E+01
SM	kg	1,13E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	3,62E+02	0,00E+00	4,19E-03	0,00E+00
NRSF	MJ	4,58E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
W	m ³	2,90E+00	4,59E-02	6,38E-03	1,13E-02

RPEE Renewable primary energy resources used as energy carrier; RPEM Renewable primary energy resources used as raw materials; TPE Total use of renewable primary energy resources; NRPE Non renewable primary energy resources used as energy carrier; NRPM Non renewable primary energy resources used as materials; TRPE Total use of non renewable primary energy resources; SM Use of secondary materials; RSF Use of renewable secondary fuels; NRSF Use of non renewable secondary fuels; W Use of net fresh water

Reading example: 9,0 E-03 = 9,0*10⁻³ = 0,009

*INA Indicator Not Assessed

End of life - Waste

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4
HW	kg	1,13E-03	1,58E-04	2,46E-05	9,60E-06
NHW	kg	3,66E+01	6,26E+00	6,53E-01	1,25E+00
RW	kg	INA*	INA*	INA*	INA*

HW Hazardous waste disposed; NHW Non hazardous waste disposed; RW Radioactive waste disposed

Reading example: 9,0 E-03 = 9,0*10⁻³ = 0,009

*INA Indicator Not Assessed

End of life - Output flow

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4
CR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MER	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EEE	MJ	INA*	INA*	INA*	INA*
ETE	MJ	INA*	INA*	INA*	INA*

CR Components for reuse; MR Materials for recycling; MER Materials for energy recovery; EEE Exported electric energy; ETE Exported thermal energy

Reading example: 9,0 E-03 = 9,0*10⁻³ = 0,009

*INA Indicator Not Assessed

Figur 19 EPD av en lavkarbon betong fortsettelse

Greenhouse gas emissions from the use of electricity in the manufacturing phase

National production mix from import, low voltage (production of transmission lines, in addition to direct emissions and losses in grid) of applied electricity for the manufacturing process (A3).

Electricity mix	Data source	Amount	Unit
El-mix, Norway (kWh)	ecoinvent 3.4	31,04	g CO ₂ -ekv/kWh

Figur 20 EPD av en lavkarbon betong fortsettelse

Ut i fra LCA analysen så vil miljøbelastningen for GWP ekvivalenter være på 285,052 fra A1-A4 råvareuttak til transport til byggeplass.

En EPD for betong vil gi mest utslag i fase A1, hvor produksjon av sement faller under. Samtidig vil det under kategorien A4 og A5 kunne redusere utslippene mest for betongprodusentene. Egenproduserte kortreiste tilslag gjør at det ikke er nødvendig med transport, og vil dermed gi utslag i lavere verdier. Ved foreksempel bruk av stedlige masser til omfylling kan utslippene og reduseres. I fase A1-A3 kan hver enkelt bedrift optimalisere og justere reseptene for å få ned utslippene.

IEA kom i mai 2021 med sin nye plan for å oppnå netto nullutslipp innen 2050. Denne planen legger opp til at det ikke trengs noen nye olje-og gassfelt etter 2021. Planen viser hvordan løsninger som solkraft og vindkraft kan erstatte fossil energi og samtidig skape millioner av jobber, øke veksten og nå klimamålene. IEA har også lagt frem at det trengs ingen nye kullgruver eller forlengelse av levetiden for kullgruver. Det må ikke tas investeringsbeslutninger på nye kullkraftverk uten CO₂ rensing. IEA mener at olje og gassbransjen kan bruke ekspertisen sin på andre felt som hydrogen, CO₂ fangst og havvind. Det må flere investeringer i ren energi som kan skape millioner av nye jobber og løfte global økonomisk vekst (IEA, 2021).

Hvis klimagassutslipp skal kunne kuttes betraktelig så må kraftforsyningen bli fossilfri. Vindkraft og solenergi er avgjørende i sammen med karbonfangst-og lagring for å kunne oppnå netto nullutslipp. En teknologi med et fremtidig stort potensiale er flytende havvindteknologi, vi vil komme til å se mye mer av denne teknologien i fremtiden.

8 Konklusjon

Miljøvennligbetong er et viktig steg mot en klimavennlig fremtid for våre generasjoner. Valg av bestandige materialer vil gi stor gevinst i vedlikeholdsbudsjettet på sikt og det vil redusere byggets totale utslipp, ressurs og energibruk. Å bygge med betong er både effektivt og økonomisk når miljøprosjektering er gjort riktig. Betong er et bestandig materiale med lang levetid som har et fortrinn i fremtidens bygging med tanke på gjenbruk av hele bygg og bygningselementer i betong.

Teknologier som karbonfangst- og lagring må komme på plass for at vi skal få ned utslippene fra sementproduksjonen, som er det største bidraget til CO₂ utslippene. Hvis Norcem får en utslippsfri sement med karbonfangst- og lagring så er det realistisk å se på fremtidens betong som en nullutslippsbetong. Det må komme gode alternativer til flygeaske som er med på å redusere utslippene og biologisk avfall må benyttes mer i produksjonen av sement. Utviklingen de siste 5 årene viser at bransjen har hatt et økt fokus på miljø og bærekraft. Betongbransjen er kommet veldig langt og ligger foran i miljøsatsingen på produksjon av materialer. Hvis flere og flere entreprenører og byggherrer velger miljøvennlig betong til prosjektene sine i fremtiden så er vi på vei mot en grønnere fremtid. Kostnadene klimaendringene vil påføre oss på sikt vil være svært mye høyere enn kostnadene for å få ned utslippene. Etter hvert som teknologiene tas i bruk vil også kostnadene reduseres, det ser en ved å se på hvordan utviklingen har vært for både solenergi og vindkraft.

Avfallshåndtering fra betongproduksjon som slam og returbetong må det investeres mer i. Det er en krevende prosess og det må bli dyrere å deponere avfallsstrømmer om en skal lykkes. At bedrifter som Ølen Betong går foran som gode eksempler er viktig for at flere bedrifter skal følge etter. Bedriftene må se en økonomisk lønnsomhet i å investere i miljøprodukter.

I tillegg til at bedriftene må ha et økt fokus på miljø og bærekraft så må myndigheter entreprenører og byggherrer stille krav. Hvis det skjer så vil hele bransjen kunne omstille seg, og det vil vise seg positivt for klimaregnskapet. Utvikling av miljødeklarasjoner for byggevarer som gjør det mulig å sammenligne miljøprestasjoner for ulike materialvalg er allerede viktige tiltak. Sertifiseringer som BREEAM-NOR er et kjempeviktig tiltak for fremtidens bygg. For bedriftene så vil det lønne seg å være konkurransedyktig i det grønne skiftet ved å dokumentere og sertifisere.

Byggherrer må ha høye miljøambisjoner fra startfasen og tillate tidsbruk og optimalisering av bærekonstruksjonen. Det må bli bevissthet på kjøp av materialer og hindre unødig transport av materialer. Det er dermed varierende mulighet i landet til å kunne påvirke karbonavtrykket. Lavkarbonbetong er ikke like enkelt å produsere alle steder i landet, på grunn av at en må ha kunnskap om stedlig geologi og tilslaget. Flyveaske tilgjengeligheten vil og variere på de ulike stedene.

Byggebransjen vil ikke klare å oppnå netto nullutslipp alene, avkarbonatisering fra andre sektorer må og skje. Et viktig steg mot dette er energieffektivisering og fornybare energiløsninger som blant annet vindkraft. Hywind Tampen prosjektet er et godt eksempel. Slike prosjekter som dette vil vi se desto flere av i fremtiden, og det er viktig at land som Norge går foran. Problemet ligger i at alle land må bidra for at vi skal kunne oppnå dette. Norge har penger og ressurser til å investere i slike prosjekter ved at myndighetene gir statlige støtteordninger. I mange land så er ikke dette mulig, og bedriftene må ta ansvaret selv. Det er da ikke økonomisk lønnsomt for bedriftene og investere i slike prosjekt. Det må lønne seg å utvikle ny teknologi og bærekraftig teknologi. Hvis det ikke lønner seg så vil det ikke bli noe utvikling av det. Det vil bli lønnsomt til slutt om alternativene blir dyrere eller forbudt. Det kan styres mye med politisk makt og virkemidler.

Det oppfattes som om de fleste selskaper og bedrifter i dag ønsker å bidra til en bærekraftig fremtid, og hvis alle myndigheter i alle land hadde blitt med og satt krav allerede nå så ville vi vært på god vei mot en bærekraftig fremtid, og det vil være realistisk å oppnå netto nullutslipp innen 2050.

8.1 Videre arbeid

En må forske videre på å finne nye tilsetningsstoffer som kan erstatte flyveaske. Derav ressurser som er lett tilgjengelige og har lite karbonavtrykk. Forskningen må skje fortere, går ofte lang tid fra konseptstudie til slutfase.

Politikerne må sette krav og investere mer i forskningsområder og nye teknologier. De fleste nybygg bør bygges som lavenergi bygg og det må flere sertifiseringskrav for produkter. Det må ses mer på hvordan eksisterende bygg skal brukes på nytt.

Byggebransjen har store avfallsmengder og det må komme forslag til bedre avfallshåndtering og gjenbruk av avfall. Transportomfanget må og reduseres i tillegg til elektrifisering av transport.

Referanser

1. Betongelementforeningen (2020). Anmodning om at rapporten "lavutslippsmaterialer i bygg barrierer og muligheter" en rapport utarbeidet av NIBIO og CIVITAS på oppdrag fra klima og miljødepartementet trekkes tilbake og at oppdraget utlyses på nytt. Tilgjengelig fra: <https://www.betongelement.no/siteassets/dokumenter/20-04-2020-bef-uttalelse-vedr-klima-og-miljodepts-barrierestudie-.pdf>. (Hentet: 26. mai 2021).
2. Byggutengrenser (2017). Kalksteinsmel, flyveaske, slagg og silikastøv. Tilgjengelig fra: <https://www.byggutengrenser.no/faq-items/kalksteinsmel-flyveaske-slagg-og-silikastov/> lest 24.04.21.(Hentet: 07. mai 2021).
3. Byggutengrenser (2020). Bærekraftig betong. Tilgjengelig fra <https://www.byggutengrenser.no/2020/06/23/baerekraftig-betong/> / (Hentet: 15 Februar 2021).
4. Bjøntegård, Ø., (2019). Betong og handlingsrom. Innlegg presentert ved teknologidagene, Trondheim. Sammendrag hentet fra https://www.vegvesen.no/_attachment/2855996/binary/1351170?fast_title=Betong+og+handlingsrom.pdf
5. Bolin, T. A., (2019). Tre ikke mer miljøvennlig enn betong. Tilgjengelig fra: <https://nyheter.byggfakta.no/tre-ikke-mer-miljovennlig-enn-betong-152859/nyhet.html> (Hentet: 22. mai 2021).
6. Egge, H. (2021). Bacteria-based concrete offers climate benefits. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/en/latest-news/2021/bacteria-based-concrete-offers-climate-benefits/> (Hentet: 22. mai 2021).
7. Eidum, E, V., (2019). Får 14 mill. til forskning på gjenvinning av betong. Tilgjengelig fra: https://uit.no/nyheter/artikkel?p_document_id=625603&p_dim=265634 (Hentet : 26. mai 2021).
8. Energi og Klima (2021). Bygninger må bli mer energieffektive. Tilgjengelig fra: <https://energiogklima.no/klimalosninger/bygg/>. (Hentet: 22. mars 2021)
9. Engelsen, C. J. (2021) Belegningsstein av betong binder CO2 fra luften, *SINTEFblogg*, 2 mars. Tilgjengelig fra: <https://blogg.sintef.no/sintefbuilding-nb/belegningsstein-av-betong-binder-co2-fra-luften/> (Hentet: 10 Mars 2021).
10. EPD-Norge, (2021). Hva er en EPD? Tilgjengelig fra: <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/> (Hentet: 08. mars 2021).

11. Fabeko (2021). Miljø: Betong og bærekraftig bygging. Tilgjengelig fra: <https://fabeko.no/temasider/miljo/miljo-betong-og-baerekraftig-bygging/> (Hentet: 05. mars 2021).
12. FN Sambandet (2019). Bærekraftig Utvikling. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/tema/fattigdom/baerekraftig-utvikling> (Hentet: 14. februar 2021).
13. FN Sambandet (2020). CO2 utslipp. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/Statistikk/co2-utslipp> (Hentet: 16. februar 2021)
14. Fredvik, T. (2021). Lavkarbonbetong, CCS og fremtidens sementer. Innlegg presentert ved NCG, Sementskole-webinar.
15. Greenbooklive (2019). Certified BREEAM Assesments- 2008 schemes onwards plotted on a map. Tilgjengelig fra: <https://www.greenbooklive.com/search/buildingmapgoogle.jsp> (Hentet 15. mars 2021).
16. Grønn byggallianse (2021a) Nysgjerrig på BREEAM-NOR. Tilgjengelig fra <https://byggalliansen.no/sertifisering/om-breeam/nysgjerrig-pa-breeam-nor/> (hentet 23 Mars 2021)
17. Grønn byggallianse (2021b) Ofte stilte spørsmål om BREEAM-NOR 2016. Tilgjengelig fra: <https://byggalliansen.no/sertifisering/om-breeam/manual-verktoy-og-hjelp/breeam-faq-2016/> (Hentet 15. mars 2021).
18. Grønn byggallianse, (2021c). Innspill til BREEAM-NOR 2021. Tilgjengelig fra: https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2020/10/2020_Innspill-og-analysefase-BREEAM-NOR-2021-rapport.pdf (Hentet: 17. mars 2021).
19. Grønn byggallianse (2021d). BREEAM-NOR 2016 for nybygg. Teknisk manual. Tilgjengelig fra: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2019/06/SD-5075NOR-BREEAM-NOR-2016-Nybygg-Versjon-1.2.pdf> (Hentet 19. mars 2021).
20. Hjelle, J., Fredvik, T. (2016) Miljøvennlig betong-grå, grønn og gunstig for klimaet. Slik sikrer vi betongens egenskaper. Innlegg presentert ved frokostmøte, Ingeniørenes hus, Oslo.
21. Hovland, K. M., (2019). Equinor-plan: Hywind Tampen skal koste rett under fem milliarder. Tilgjengelig fra <https://e24.no/olje-og-energi/i/2G4b0x/equinor-plan-hywind-tampen-skal-koste-rett-under-fem-milliarder>. (Hentet: 21.mai 2021).
22. IEA, 2021. Global Energy Review 2021 (Flagship report-April 2021). Tilgjengelig fra <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>. (Hentet: 22 mai 2021).
23. IPCC (2018) Summary for Policymakers Tilgjengelig fra: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf (Hentet: 29 Februar 2021)

24. Kjellsen, K.O. (2021). NEWSCEM- NEW Supplementary cementitious materials in CEMent production. Innlegg presentert ved Bane NOR, Sørlandet.
25. Kulmo, W. M., (2019). En vill idé har blitt til miljøvennlig betong. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2019/en-vill-ide-har-blitt-til-miljovennlig-betong/> (Hentet 25. mai 2021).
26. Krogh, M. V., (2021). Her skrives neste kapittel i norsk energihistorie. Tilgjengelig fra <https://e24.no/det-groenne-skiftet/i/7Kr3Wo/havvindpionerer-her-skrives-neste-kapittel-i-norsk-energi-historie>. (Hentet: 20. mai 2021).
27. LCA, (2021). Hva er LCA? Tilgjengelig fra <https://lca.no/hva-er-lca/> (hentet 25 Mars 2021).
28. Mapei AS (2007) MA.G.A./C 098 NOR 02. Brosjyre. Sand: Mapei AS
29. Mapei AS (2018a), Mapefast Ultra N. Brosjyre. Sand: Mapei AS.
30. Mapei AS (2018b) Re-Con Zero Evo. Brosjyre. Sand: Mapei AS.
31. Mapei AS (2020) Mapefast HA. Brosjyre. Sand: Mapei AS.
32. Miljødirektoratet (2020). Utslipp og opptak av klimagasser i Norge. Tilgjengelig fra <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/> (Hentet: 20 februar 2021).
33. Norsk Betongforening (2020). Publikasjon nr.37 Lavkarbonbetong. Tilgjengelig fra: <https://betong.net/nettbutikk/nb-publikasjoner/37-pdf-lavkarbonbetong-2015-gratis-nedlasting-klikk-les/> (Hentet: 15. mars 2021).
34. Norcem (2014). Herdeteknologi. Tilgjengelig fra https://www.norcem.no/sites/default/files/assets/document/bb/11/herdeteknologi_lav.pdf (Hentet: 27 mars 2021).
35. Norcem (2021a). Norcem CCS webinar 2021. Tilgjengelig fra <https://www.youtube.com/watch?v=0oUyPsL1keM&t=3s> (Hentet: 24. mai 2021)
36. Norcem (2021b). Sementproduksjon og CO2. Tilgjengelig fra <https://www.norcem.no/no/sementproduksjon-co2> (Hentet: 20 februar 2021).
37. Norsk Betongforening, (2021). Visste du dette om betong og miljø? Tilgjengelig fra <https://betong.net/wp-content/uploads/17966-Visste-du-dette-om-betong-og-milj%C3%B8-WEB.pdf> (hentet: 09 Februar 2021).
38. Pedersen, B. (2016). Sementer med flygeaske og slagg: Lab og feltefaringer (Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015). Statens Vegvesen. <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2623921/SVV%20rapport%20517%20Sementer%20med%20flygeaske%20og%20slag%20Lab-%20og%20feltefaringer.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
39. Regjeringen (2020a). Hva kan byggebransjen gjøre for å redusere klimautslippene? Tilgjengelig fra <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/hva-kan->

- byggebransjen-gjore-for-a-redusere-klimautslippene/id2692924/ (Hentet: 23 Mars 2021).
40. Regjeringen (2020b). Norske Utslipp av klimagasser gikk ned i 2019. Tilgjengelig fra <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/norske-utslipp-av-klimagasser-gikk-ned-i-2019/id2705384/> (Hentet: 15. februar 2021).
 41. Regjeringen (2021). Klimaplan. Tilgjengelig fra <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-13-20202021/id2827405/?ch=1> (Hentet: 15 Februar 2021).
 42. Rønning, A. & Tellnes, L. G. F., (2018). Blir det bedre bygg ved bruk av LCA? Gjennomgang av noen utvalgte LCA-studier. Tilgjengelig fra https://www.betongelement.no/siteassets/dokumenter/or-42.18-lca_review-bygg.pdf (Hentet: 26. mai 2021).
 43. SINTEF Byggforsk (2010) 572.207. Tilsetningsstoffer for betong. Tilgjengelig fra https://www.byggforsk.no/dokument/590/tilsetningsstoffer_for_betong (Hentet: 21 Mars 2021).
 44. SINTEF Byggforsk (2014) 470.103. Miljødeklarasjoner (EPD) av byggevarer. Tilgjengelig fra https://www.byggforsk.no/dokument/3006/miljoedeklarasjoner_epd_av_byggevarer (Hentet: 21 mars 2021)
 45. SINTEF Byggforsk (2016a) 572.205. Betong. Typer, egenskaper og bruksområder. Tilgjengelig fra: <https://www.byggforsk.no/Document/Index/5157/> (Hentet: 28 februar 2021).
 46. SINTEF Byggforsk (2016b) 572.204. Sement. Typer, egenskaper og bruksområder. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/589/sement_typer_egenskaper_og_brukso_mraader (Hentet: 22 mars 2021).
 47. SINTEF Byggforsk (2018). Naturlig tilslag i betong. Egenskaper og dokumentasjon. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/284/naturlig_tilslag_i_betong_egenskaper_og_dokumentasjon (Hentet: 04. mai 2021).
 48. SINTEF (2016). Knust fjell gir stor miljøgevinst. Tilgjengelig fra <https://www.sintef.no/siste-nytt/2016/knust-fjell-gir-stor-miljogevinst/> (Hentet 04 mai 2021)
 49. Skjeggerud, K. (2021). Norcems nullvisjon og Brevik CCS. Innlegg presentert ved betongfagdag Nord.

50. Standard Norge (2013). NS-EN 206 Betong- spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar. Tilgjengelig fra:
<https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=ns+en+206> (Hentet: 27.mai 2021)
51. Standard Norge () NS-EN 197-1 Sement-Del 1:Sammensetning, krav og samsvarskriterier for ordinære sementtyper. Tilgjengelig fra
<https://www.standard.no/no/nettbutikk/produktkatalogen/produktpresentasjon/?ProductID=507733>. (Hentet: 27.mai 2021)
52. Tangen, D. A. & Evensen, R. (2013) Bruk av knust betong i vegbygging (Varige veger 2011-2014). Statens Vegvesen. <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2658328/Rapport%20262%20Bruk%20av%20knu%20betong%20i%20vegbygging%20varige%20veger%202011-2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
53. Vikingstad, J. (2021). Her slepes Hywind-fundamentene fra Stord. Tilgjengelig fra <https://e24.no/naeringsliv/i/0K80eA/her-slepes-hywind-fundamentene-fra-stord> (Hentet 20 Mai 2021).
54. Wikipedia (2021a). Tilslag. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/Tilslag> (Hentet: 04 Mai 2021).
55. Wikipedia (2021b). Bærekraftig Utvikling. Tilgjengelig fra:
https://no.wikipedia.org/wiki/B%C3%A6rekraftig_utvikling (Hentet: 15. Mars 2021)
56. Wikipedia (2021c). Parisavtalen. Tilgjengelig fra <https://no.wikipedia.org/wiki/Parisavtalen> (hentet:20 Februar 2021).

