



DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:
Konstruksjon og materialer, Bygg

Vårsemesteret, 2022

Åpen

Forfatter: Even Falbach og
Ivar Hindenes Agasøster

Ivar H. Agasøster
Even Falbach

.....
(signatur forfatter)

Fagansvarlig: Kjell Tore Fosså

Veiledere: Kjell Tore Fosså, Andreas Denk, Asbjørn Stoveland

Tittel på masteroppgaven: Prefabrikkert- og plass-støpt bæresystem, en sammenligningsstudie med hensyn på miljø

Engelsk tittel: Precast concrete and cast in place load bearing system, a feasibility study regarding environmental impact

Studiepoeng: 30

Emneord:

- Prefabrikkerte betongelementer
- Hulldekker
- Plass-støpt betong
- Miljøvennlig betong
- Livsløpsanalyse

Sidetall: 73

Stavanger, 14.06.2022

Forord

Denne masteroppgaven er vårt avsluttende arbeid ved Universitetet i Stavanger, under institutt for maskin, bygg og materialteknologi. Oppgaven består av 30 studiepoeng, der arbeid relatert til oppgaven har pågått vinteren 2021/2022 og våren 2022.

Begge har en bachelorgrad innen bygg, utstedt fra Høyskolen på Vestlandet (HVL) og Universitetet i Agder (UIA). Sammen fant vi tonen på vårt nå felles institutt og studieretning, der vi har samarbeidet tett med fagene og et flersifret antall oppgaver. Samarbeidet har vært godt siden og i september 2021 til februar 2022 bodde vi sammen under vårt utvekslingsemester i Lisboa, Portugal. På dette tidspunktet startet også kontraheringsarbeidet med oppgaven, der begge avtalte å individuelt skrive for samme firma om nærliggende temaer. Da aktuelt firma spurte om det var ønskelig å skrive sammen, ble det naturligvis takket ja. Det ble dermed mindre arbeid for bedriften, mer omfattende veiledning og mulighet for å gjennomføre ett større dypdykk i valgt problemstilling.

Miljøfokuset i bransjen får mye oppmerksomhet og det er ingen tvil om at miljømessige løsninger er en viktig del av fremtiden. Gitt vår studieretning innen konstruksjonsteknikk har det alltid vært ønskelig og spennende å utforske og kombinere konstruksjonstekniske - og materialistiske løsninger for å optimalisere klimaavtrykket.

Interessen og ønsket som er beskrevet over ble godt tatt imot av vår samarbeidspartner Veidekke AS, og sammen utarbeidet vi problemstillingen. Veidekke AS har vært behjelpelig gjennom prosessen, der vi har fått tilgang til standarder, lisens til programmer og hjelp av personell. Gjennom nettverk og samarbeidspartnere til Veidekke AS kom vi i kontakt med Block Berge, avd. Stavanger som har vært utrolig samarbeidsvillig og interessert i oppgaven. Block Berge har vært en stor bidragsyter, der samarbeid resulterte i den prefabrikkerte løsningen inkludert i casestudiet. Under hele prosessen med å utarbeide oppgaven har vi fått veldig god hjelp av vår veileder Kjell Tore Fosså, der han har fungert bra som veileder, samtalepartner og diskusjonspartner.

Vi ønsker å rette en stor takk for god veiledning til Andreas Karl Denk og Asbjørn Orheim Stoveland fra Veidekke AS, Daniel Sandvik og Aksel Ankerheim fra Block Berge og vår veileder Kjell Tore Fosså fra Universitetet i Stavanger.

Stavanger, juni 2022

Sammendrag

Bærekraft i eiendoms-utvikling og forvaltning er sentrale temaer for at Norge og verden skal kunne nå FNs bærekraftsmål innen 2030. Byggsektoren i Norge har ønsket og kapasiteten til å bidra til å nå disse målene. For å nå målene trengs en reduksjon innen klimagassutslipp fra alle deler av byggsektoren. Ny teknologi og forskning vil være essensielle verktøy for å kunne klare dette. Tidlig kartlegging av konstruksjoner med strenge miljøkrav til prosjektering og utførelse driver byggsektoren mot en grønnere utvikling. I dag diskuteres og kartlegges mulige løsninger som reduserer klimaavtrykket hyppig.

Denne studien tilsikter å undersøke hvor miljøvennlig prefabrikkerte løsninger er sammenlignet med plass-støpte løsninger. Svar på dette utarbeides i hovedsak gjennom et casestudie. Casestudien kartlegger klimaavtrykket av et plass-støpt- og et prefabrikkert bygg gjennom to uavhengige livsløpsanalyser. Supplementerende forskerspørsmål er lagt til for å gi en dypere innsikt i relevansen av casestudien, hvilken grad den er anvendbar og hvilke bransjeforutsetninger som må på plass for å nå fremtidige klimamål. For å vurdere dette har intervjuer og samtaler med fagkyndig personell innen byggsektoren blitt gjennomført. Studien er utarbeidet for og med Veidekke AS.

Byggene i casestudien er bestående av enkel geometri, generelt og felles lastgrunnlag, like krav og avgrensninger. I masteroppgaven er det bare bæresystemene som analyseres og vurderes med hensyn på miljø gjennom dets levetid. Videre er det utslipp av CO₂ som undersøkes gjennom livsløpet til hver konstruksjon. Det prefabrikkerte bidraget vil ta i bruk diverse løsninger og metoder, herunder miljøvennlige resepter, miljøvennlige støpemetoder, spennarmering, hulldekker og andre løsninger for å optimalisere klimaavtrykket. Ved å anvende flere fordeler tilhørende prefabrikkerte elementer vil byggets strukturelle karakter variere noe og miljøavtrykket kunne reduseres ytterligere. Summen av arbeidet oppsummeres gjennom livsløpsanalysene, der skalarverdien til en optimalisert prefabrikkert konstruksjon sammenlignet med en plass-støpt konstruksjon fremlegges.

Studien inneholder et omfattende diskusjon kapittel, der forhold og faktorer utover casestudiens omfang diskuteres. Diskuterte forhold og faktorene er dermed ikke bare knyttet til det beregnede resultatet fra casestudien, men også relevante for hvor gunstig forskjellige løsninger vil være. Konklusjonen tilhørende supplementerende spørsmål forsøker å belyse hvordan en totalentreprenør i byggebransjen kan være med å nå fremtidens strengere miljøkrav, med akseptabel statistikk innen økonomi og tid.

Abstract

The United Nations goals for sustainability is a central topic within the construction sector both in Norway, and globally, and will be an important factor for the world to reach the UN's environmental goals by year 2030. The construction sector in Norway has both the capacity and the desire to contribute towards these goals. To accomplish these goals, a reduction within all parts of the construction sector is vital. Research and development are essential and will continue to be, with stricter environmental regulations.

This study intends to investigate and compare the environmental impact from the utilization of prefabricated concrete, compared to in-situ concrete for a load bearing system. To analyze the impact of the two forms of construction, a case study is to be utilized. The case study consists of developing two different load bearing systems, one of prefabricated concrete, and the other of in-situ concrete. The two systems are analyzed with regards to their environmental imprint, considering the CO₂– emissions throughout their lifespan. The study also considers the potential of new technology and development for further improvement of environmental impact. To evaluate the usability of current, and alternative solutions several interviews with qualified personal within the construction sector. This study is written for and alongside the Norwegian contractor Veidekke AS.

The load bearing systems for the study is developed considering the same geometry, regulations, and loads. For this master thesis it is only the load bearing structure that is to be analyzed and evaluated with regards to their environmental imprint. For each of the systems any advantage or possibility of improvement that comes from utilizing prefabricated or in-situ concrete is included and will therefore result in some variation between the structural character of each load bearing system. Life Cycle analyzes for each of the systems is utilized considering the available data and is analyzed through the software "One Click LCA". The resulting values for each of the systems with regards to environmental impact through their lifespan is analyzed to give a comparison overview of the case study.

This master study includes a broad discussion chapter, whereas further development, usability and possibilities for improvement off each of the system is discussed. The topics of discussion may not be implemented in the case study but intends to provide an indication for which type of system that may be more applicable for a constructor. The conclusion of this thesis intends to give valuable information in order to evaluate and compare the two types of load bearing systems with regards to environmental impact with acceptable economic and time consumption impact.

Innhold

Forord.....	I
Sammendrag.....	II
Abstract.....	III
Figurliste.....	VII
Tabelliste.....	VIII
Formelliste.....	IX
1 innledning.....	1
1.1 Oppgavebeskrivelse.....	1
1.2 Bakgrunn for oppgaven.....	1
1.2.1 klimastiftelsen – EU`s grønne giv.....	1
2 Metode.....	3
2.1 Kvalitativ eller kvantitativ metode.....	3
2.2 Induktiv eller deduktiv metode.....	3
2.3 Validitet og reliabilitet.....	3
2.4 Verdinøytralitet og objektivitet.....	4
2.5 Anvendte metoder.....	4
2.6 Styrker og svakheter.....	5
2.7 Anvendte programmer, standarder og publikasjoner.....	5
2.7.1 Revit.....	5
2.7.2 FEM-Design.....	6
2.7.3 Excel.....	6
2.7.4 Håndberegninger.....	6
2.7.5 One-Click LCA.....	6
2.7.6 Sletten E-Bjelke.....	7
2.7.7 Standarder og publikasjoner.....	7
3 Teori.....	9
3.1 Betong.....	9
3.1.1 Historie.....	9
3.1.2 Sement.....	11
3.1.3 Betong, fasthet og bestandighets klasser.....	12
3.1.4 Lavvarmebetong.....	16
3.1.5 Prefabrikkerte betongelementer.....	17

3.1.6 Lavkarbonklasse	19
3.1.7 Spennarmering.....	20
3.2 Miljø	22
3.2.1 Karbon	23
3.2.2 CO ₂	24
3.2.3 Energi	25
3.2.4 Mengder og materialer	28
3.2.5 EPD	28
3.2.6 CO ₂ opptak i betong.....	29
3.2.7 Karbonfangst.....	30
3.2.8 Gjenbruk.....	31
3.2.9 CO ₂ -Ekvivalenter	33
4 Forskerspørsmål.....	34
4.1 Mål	34
4.2. Avgrensninger og hovedfokusområder	34
4.2.1 Avgrensninger	34
4.2.2 Hovedfokusområder	34
5 Casestudie	36
5.1 Krav og avgrensning.....	36
5.2 Felles last- og prosjekteringsgrunnlag	36
5.3 Plass-støpt bygg	37
5.4 Prefabrikkert bygg.....	38
5.5 Livsløpsanalyse for plass-støpt- og prefabrikkert bygg.....	41
6 Resultat	43
6.1 Sammenligning livsløpsanalyser	45
6.2 Carbon Heroes Benchmark	46
7 Diskusjon	47
7.1 Livsløpsanalyse – One Click LCA.....	47
7.2 Hulldekke – produksjon	47
7.3 Plass-støpt betong	48
7.4 Transport og tilgjengelige ressurser	49
7.5 Gjenbruk og rivning av bærekonstruksjoner og elementer.....	49
7.6 Gjenbruk av eksisterende bæresystemer	50

7.7 Utvikling av mer miljøvennlige bæresystemer	51
7.7.1 Karbonfangst.....	52
7.8 Mengder og materialer	52
7.9 Feilkilder	53
8 Konklusjon.....	55
9 Videre arbeid.....	56
Kilder	57

Figurliste

Figur 1 - Diverse betong (Vegvesen, 1939) (ØlenBetong, 2019) (Pentacon, 2020).	9
Figur 2 - Pantheon (Marina Prusac Lindhagen, 2019).	10
Figur 3 - Forhold mellom fasthetsklasse og masseforhold.	15
Figur 4 - Stor betongkonstruksjon (Gcp, 2020).	16
Figur 5 - Fasthetsutvikling, lavvarmebetong.	17
Figur 6 - Hulldekkeprofiler (Almeida, 2022).	18
Figur 7 - Hulldekker (City Steinhus, 2022).	19
Figur 8 - Spennarmering prinsipp (Statens Vegvesen, 2014).	21
Figur 9 - Grønnere byggeplass (Nymann, 2021).	22
Figur 10 - Temperaturendring (Klimastiftelsen, 2021).	23
Figur 11 - Roterende forbrenningsovn (Datis-Inc., 2020).	24
Figur 12 - Trend CO ₂ utslipp. (The world bank, 2020).	25
Figur 13 - Energikilder (BP, 2021).	26
Figur 14 - Energi miks for fremtiden (BP, 2021).	27
Figur 15 - Miljødeklart EPD (Taktilla, 2019).	29
Figur 16 - Karbonatisering og rust (A1Consult, 2018).	30
Figur 17 - Karbonfangst (Tønnesen, 2021).	31
Figur 18 - Gjenbruk i byggsektoren (BetongFokus, 2022).	31
Figur 19 - Media city Bergen (Digi, 2021).	32
Figur 20 - 3D-visning, plass-støpt bygg.	37
Figur 21 - Lang- og kortside, plass-støpt bygg.	38
Figur 22 - 3D-visning, prefabrikkert bygg.	39
Figur 23 - Lang- og kortside, prefabrikkert bygg.	39
Figur 24 - Dekke og dekkeopplager.	40
Figur 25 - Utslipp knyttet til betongelement (One-Click LCA, 2022).	44
Figur 26 - Utslipp knyttet til «slutten på livet» (One-Click LCA, 2022).	45
Figur 27 - Carbon Hero Benchmark, plass-støpt (One-Click LCA, 2022).	46
Figur 28 - Carbon Hero Benchmark, Prefabrikkert (One-Click LCA, 2022).	46
Figur 29 - Stord Helsepark (Veidekke, 2021)	51

Tabelliste

Tabell 1 - Anvendte standarder og publikasjoner.....	8
Tabell 2 - Inndeling av sementtyper (Norsk Standard, 2011).	12
Tabell 3 - Eksponeringsklasser (Standard Norge, 2020).	13
Tabell 4 - Eksponerings- og bestandighetsklasse (Standard Norge, 2020).	14
Tabell 5 - Fasthets- og lavkarbonklasse (Norsk Betongforening, 2020)	20
Tabell 6 - Sentrisk og eksentrisk plassering (Almeida, 2022).	21
Tabell 7 - GWP-verdier til noen klimagasser (Returgass, 2019).	33
Tabell 8 - Last- og prosjekteringsgrunnlag.	37
Tabell 9 - Masseforhold	40
Tabell 10 - Sammendrag utslipp (One-Click LCA, 2022).	43

Formelliste

Formel 1 - Masseforhold.....	14
Formel 2 - K-verdi metoden.....	14

1 innledning

1.1 Oppgavebeskrivelse

Denne masteroppgaven er skrevet i samarbeid med Veidekke Entreprenør, region Bergen. Oppgaven har som formål å undersøke, analysere og evaluere utbygging av bæresystemer bestående av prefabrikkert betong sammenlignet med plass-støpt betong med hensyn på CO₂-utslipp. For å danne et sammenligningsgrunnlag anvendes en casestudie hvor hvert bæresystem dimensjoneres og analyseres etter samme grunnlag. Casestudiet har som hensikt å legge frem miljøpåvirkningene på en konkret måte for å sikre et godt sammenligningsgrunnlag som anvendes spesielt for dem, da det ikke vil være knyttet til et bestemt prosjekt, med tilhørende bestemt lokasjon.

Det anvendes også intervjuer med aktører fra bransjen for å kartlegge fordeler og ulemper med hvert enkelt bæresystem. Den fremlagte problemstillingen blir dermed: «Hvor stor miljøpåvirkning har prefabrikkert bæresystem sammenlignet med plass-støpt bæresystemer i betong?» Forskerspørsmålet gjennomgås nærmere i kapittel «4 Forskerspørsmål», med tilhørende underspørsmål.

1.2 Bakgrunn for oppgaven

Ved utgangen av 2021 ble den første delen av rapporten fra FNs klimapanel publisert. Den viste mellom annet veldig tydelig at klimapåvirkningen vi ser i dag er menneskeskapte (klimastatus 2022 – klimastiftelsen). Ved utgangen av året 2020 vedtok det europeiske rådet å skjerpe klimamålene sine frem mot år 2030, der den skjerpete differansen gikk fra 40 prosent reduksjon til 55 prosent reduksjon. Norge hadde på den tid et mål om å redusere med 50 prosent, men har også endret til 55 prosent. (Norsk klimastiftelse, 2020)

1.2.1 klimastiftelsen – EU's grønne giv

For å nå dette målet er det viktig at alle bidrar til å redusere utslippene. I bygg-sektoren er betong et svært viktig og essensielt byggemateriale. Betong blir ofte sett på som en klimaværsting, ettersom sementen som inngår i produksjonen står for om lag 8 prosent av globalt klimagassutslipp i verden (Sintef, 2020). Det forskes mye på løsninger som skal bidra å redusere forurensingen fra bruken av betong. Blant annet innen karbonfangst på produksjonsnivå, der det forsøkes å fange karbon allerede ved forbrenningsprosessen. Det forskes mye på mindre forurensende sementresepter, eksempelvis lavvarme. Karlegging av alternativer for betongen, derav andre materialer og kombinasjoner av disse.

Det er også viktig å se på bruken av betongen. Betong brukes i dag ofte som bæresystem i konstruksjoner, og denne masteroppgaven skal se nærmere på hvordan konstruksjoners bæresystemer av betong påvirker miljøet. Det er da viktig å betrakte bæresystemets utslipp gjennom hele dets livstid, og ikke bare klimapåvirkningen av å bygge det. Gjenbruk av eksisterende bæresystem er også en sentral faktor ved undersøkelser av klimaavtrykk.

Denne oppgaven er skrevet i samarbeid med Veidekke, og samarbeidspartnere, hvor bruk av dagens tilgjengelige teknologi innen betong skal anvendes for å undersøke hvilke muligheter Veidekke har til forbedring allerede i dag. Det er her snakk om bæresystemer, og løsningene som skal undersøkes må være mulige å gjennomføre gitt de forutsetningene som er tilgjengelige for Veidekke, og samarbeidspartnere den dag i dag.

2 Metode

Metode er en planmessig fremgangsmåte som ofte følger regler og prinsipper (Tranøy, 2019). Dette kapitlet beskriver den anvendte metoden brukt for å løse de fremstilte forskerspørsmålene. Målet med å inkludere et metodekapittel er å gi leseren ett innblikk i hvordan data samles inn, tolkes og vurderes. Samtidig tar kapitlet for seg andre metoder som ble valgt bort til fordel for andre, bedre, og mer passende metoder. En god planmessig fremgangsmåte vil øke troverdigheten, samtidig styrke validiteten og reliabiliteten av resultatene.

2.1 Kvalitativ eller kvantitativ metode

Kvalitative studier omfatter ofte færre enheter enn kvantitative, der enheter tilsvarer data innsamlet fra individer, organisasjoner, samfunn eller stater (Grønmo, 2021). Kvantitative metoder søker ofte bredere ved å inkludere større mengder forskingsdata. Kvalitative metoder søker som hovedregel smalere og har som mål å gå i dybden og forstå spesifikke kontekster eller kategorier (Grønmo, 2020).

Oppgaven tar for seg mye data fra få enheter og vil kategoriseres som en kvalitativ studie. Ved en eventuell utbredelse av oppgaven vil det være aktuelt med kvantitative studier, men for oppgavens gitte avgrensninger og formål vil det være henholdsvis passende og tilstrekkelig med kvalitativ metode.

2.2 Induktiv eller deduktiv metode

Både induksjon og deduksjon er en form for slutning, det vil si å resonere seg frem til en konklusjon, basert på bemerkelser og bevis. Begge metodene baserer seg på en form for logisk analyse. Den deduktive metoden konkluderer basert på allmenne til mindre allmenne – singulære eller partikulære – utsagn. Induktiv metode går fra de enkelte fakta til allmenne prinsipper eller lover. Fordelen med induktiv metode er at slutningene og konklusjonene får virkelighetskontakt eller empirisk innhold, men vil alltid ha en viss usikkerhet ved dem. (Tranøy, 2019)

Tilnærmingen for oppgaven vil være induktiv metode, der slutninger trekkes basert på fakta samlet fra få enheter. Når konklusjonen baseres på gitt teori og spesifikt casestudie vil validiteten og reliabiliteten være av forhåpentligvis høy kvalitet. Hvorvidt konklusjonen vil være like passende for andre situasjoner vil diskuteres senere i oppgaven når resultatene drøftes.

2.3 Validitet og reliabilitet

Validitet blir ofte omtalt som gyldigheten og er en indikator på om konklusjonene baserer seg på et akseptabelt resultats grunnlag. Man skiller gjerne mellom indre og ytre validitet. Indre validitet uttrykker

om resultatene er korrekte og gyldige for det definerte studiet under gitte omstendigheter. Ytre validitet refererer til gyldigheten av resultatene under tilnærmet omstendigheter. Ettersom oppgaven baserer seg på en casestudie er det antatt at resultater vil ha høy indre validitet. Et casestudium vil naturligvis ha lavere ytre validitet. Skalaren til den ytre validiteten sammenlignet med den indre validiteten vil gjennomgåås og drøftes senere i oppgaven.

Relabilitet blir ofte omtalt som pålitelighet og angir hvorvidt resultatene er troverdig eller ikke. Det antas at relabiliteten i oppgaven vil være av høy karakter. Det er likevel viktig å informere om, og drøfte forskjellige usikkerheter og feilkilder. Usikkerheter og feilkilder i casestudiet vil eksempelvis være input data til LCA-analyser, der det teoretiske alltid vil vike noe fra virkeligheten.

2.4 Verdinøytralitet og objektivitet

Denne oppgaven utarbeides i tett samarbeid med Veidekke og samarbeidspartnere til Veidekke. Kunnskapen som tilegnes under utarbeidelse av oppgaven vil i spesielle tilfeller kunne karakteriseres som subjektiv. Subjektivitet vil eksistere, men anses å være av liten grad, der noe informasjon har rot i vitenskapelig fakta og annen informasjon inkluderer egne erfaringer og eksempelvis interne rutiner. Dette anses ikke som en svakhet i oppgaven ettersom ingeniørfaget er formet og utarbeidet etter vitenskapelige rammer, men det vil alltid være rom for noe subjektivitet. Kapitlet er inkludert for at undertegnede og leser selv skal reflektere rundet temaet.

2.5 Anvendte metoder

De anvendte metodene for utarbeidelse og strukturering av oppgaven vil bli gjennomgått i dette kapitlet. Metodene i studien er i hovedsak intervjuer, samtaler og gjennomgang av eksisterende litteratur og dokumenter.

Under utarbeidelse har gjennomgang av litteratur og dokumenter vært til stor hjelp under kartlegging av fortidens og dagens byggesektor og betongnæring. For å kartlegge påvirkningskraften til studien i fremtiden har det vært utfordrende å finne nødvendig informasjon i allerede publisert litteratur og dokumenter. Det har da blitt gjennomført intervjuer og samtaler med fagkyndige innen bransjen, der bransjerepresentanter er fra tallrike forskjellige bedrifter. Styrker og svakheter med metodene vil bli gjennomgått i neste kapittel. 2.6 Styrker og svakheter

Det er også blitt utarbeidet en casestudie for å synliggjøre de forskjellene studien forsøker å belyse. Nærmere gjennomgang av casestudiet kan ses under kapittel «5 Casestudie».

2.6 Styrker og svakheter

Samtlige metoder benyttet gjennom oppgaven har styrker og svakheter. Kapittelet skal ta for seg de mest innlysende. Formålet med en casestudie er å utvikle inngående kunnskap om og helhetlig forståelse av den enheten som studeres (Grønmo, 2020). Dette beskriver styrken og svakheten som følger en casestudie. Styrken er at den gir god innsikt i den eksakte studien med tilhørende begrensninger. Svakheten er hvorvidt den opparbeidete kunnskapen kan anvendes under tilnærmete like eller generelle studier. (Grønmo, 2020)

Gjennomgang av teori og dokumenter kan ha motsatt styrke og svakhet som casestudiet diskutert over, der gjennomgang av teori og dokumenter kan fungere godt for generelle studier, men gjerne ikke like godt for spesifikke studier med gitte begrensninger. Ved å stole på teori basert på ett fåtall dokumenter er det rom for å inkludere feilkilder, usikkerheter og mangler ved videre arbeid. Dette kan løses ved å gjennomgå uavhengige teorier og dokumenter, der det er mulig å styrke faginnholdet ved å sammenligne informasjon og konklusjoner.

Målet med intervjuer er å opparbeide kunnskap som allerede er tilegnet andre. En fordel med intervjuer er at det er en rask og presis måte å uthente informasjon fra intervjuobjekter. Intervjuer vil samtidig få muligheten til å stille supplerende spørsmål om innhold er uklart eller utydelig. En svakhet med denne formen for innhenting av informasjon er at intervjuobjektet vil kunne meddele feil eller usikker fakta. Det vil også være rom for feiltolkning og misforståelser.

Fordelen ved å kombinere de nevnte metodene er at de vil supplere og utfylle hverandre, der både undertegnede og leser kan tilegne seg en bedre og dypere forståelse av oppgavens innhold.

2.7 Anvendte programmer, standarder og publikasjoner

Gjennomgående oppgave og casestudie baserer seg på utregninger, kalkulasjoner og modellering gjort for hånd og ved hjelp av diverse programmer, standarder og publikasjoner. I dette kapitelet vil anvendte programmer, standarder og publikasjoner bli overordnet introdusert.

2.7.1 Revit

Revit BIM står for “Revit building information modeling”. Dette er en programvare for å øke effektiviteten og nøyaktigheten på hele infrastrukturprosjektet livssyklus, fra konseptuelt design, visualisering og analyse til tilvirkning og konstruksjon, poengterer Autodesk på sine hjemmesider (AutoDesk, 2022). Programmet blir brukt verden over for å modellere forskjellige typer konstruksjoner, med høy presisjon og nøyaktighet.

I denne oppgaven er Revit anvendt for å modellere bæresystem. Programmets anvendte resultat er reelle og tydelige bilder, med tilhørende mengdeberegninger som er et hovedfokus gjennom oppgaven.

2.7.2 FEM-Design

FEM-Design utvikles av StruSoft og kan løse alt fra relativt enkle, statisk bestemte- og ubestemte konstruksjoner til mer komplekse og kompliserte konstruksjoner, med tilhørende analyser og beregninger. Her kan man modellere i tre, stål og betong, og utføre statikk-, dynamikk-, jordskjelv- og stabilitets-beregninger i henhold til Eurokoder. Beregninger og resultater vises i form av avansert grafikk eller animasjon. (NorConsult, 2022)

Undertegnede anvender FEM-Design for å kontrollere at utførte håndberegninger er i henhold til korrekt statikk og Eurokoder, samt for å være i besittelse av beregningsmessige funksjonelle modeller av bæresystemene.

2.7.3 Excel

Excel er et program utviklet av Microsoft. Det kan brukes til å sortere og analysere mengdedata, lage tabeller, behandle lister, osv. Programmet blir ofte omtalt som et regnearkprogram. (Microsoft, 2022) Under utarbeidelse av oppgaven er Excel brukt for å strukturere og sammenligne data, og synliggjøre informasjon i form av tabeller.

2.7.4 Håndberegninger

Som nevnt innledningsvis i kapitlet er håndberegninger benyttet gjennom utarbeidelse av oppgaven. Disse baseres seg på notater og opparbeidet kunnskap fra bachelor- og masternivå, ved tilhørende utdanningsinstitusjoner: Høgskolen på Vestlandet, Universitet i Agder, Instituto Superior Técnico de Lisboa og Universitetet i Stavanger.

2.7.5 One-Click LCA

LCA står for «Life Cycle Assessment» og omtales som livsløpsanalyse på norsk. Det standardiserte verktøyet skal brukes metodisk i henhold til rammeverket og metodikken med de henholdsvis tilhørende standardene «NS-ISO 14040» og «NS-ISO 14044». LCA skal systematisk kartlegge og vurdere ressurs- og miljøpåvirkningene gjennom livsløpet til produkter eller produktsystemer. Livsløpsanalyse skal følge et produkt eller produktsystem fra «vugge til grav». (LCANorge, 2020). Programmet anvendes for å nøye kunne gjennomføre og synliggjøre henholdsvis livsløpsanalyser og miljømessige forskjeller for de studerte bæresystemene.

Beregningsmetode

Beregningsmetoden anvendt av One-Click LCA i Norge er hentet fra «NS 3720:2018 – Metode for klimagassberegninger» (One-Click LCA, 2021). Standarden baserer seg på den europeiske standarden «EN 15978 Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method» (Byggeindustrien, 2018). Det norske bidraget i NS 3720 skal sikre mer etterrettelige klimagassberegninger, kvalitativ miljødokumentasjon av byggevarer, sammenlignbare resultater og dokumenterte beregninger. Standarden gjennomgår metoder som følger den nye Norske standarden for klimagassregnskap. (Standard Norge, 2018) (One-Click LCA, 2021). Nærmere gjennomgang av utførelse og metode for livsløpsanalysen er gitt i kapitel «5.5 Livsløpsanalyse for plass-støpt- og prefabrikkert bygg».

2.7.6 Sletten E-Bjelke

Ove Sletten har laget en rekke programmer for beregning og dimensjonering av betongkonstruksjoner. Programmene gir raske resultater og er enkle å bruke. Den totale samlingen består av BTSnitt, E-Bjelke, K-Bjelke, V-skive, Flatedekke og lastberegning. For studien har E-Bjelke blitt benyttet, der hensikten er å kalkulere typer prefabrikkerte bjelke- og dekkeelementer i betong. I programmet er det mulig å dimensjonere ved bruk av slakk- og forspent armering, med eller uten samvirkestøp. (FocusSoftware, 2020)

2.7.7 Standarder og publikasjoner

Oppgaven må forholde seg til begrensinger og retningslinjer gitt i Internasjonale og nasjonale standarder, med tilhørende tillegg. Oppgaven anvender, omtaler og bruker litteratur og definisjoner hentet fra forskjellige publikasjoner. En oversikt av relevante standarder og publikasjon kan ses i etterfølgende tabell.

Betegnelse	Tittel
NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016	Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008	Eurokode 1: Laster på konstruksjoner
	Del 1-1: Allmenne laster
	Tetthet, egenvekt, nyttelaster i bygninger
NS-EN 1991-1-3:2003+NA:2008	Eurokode 1: Laster på konstruksjoner
	Del 1-3: Allmenne laster
	Snølaster
NS-EN 1992-1-1:2004+A1:2014+NA:2018	Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner
	Del 1-1 Allmenne regler og regler for bygninger
NS-EN 1993-1-1:2005+A1:2014+NA:2018	Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner
	Del 1-1 Allmenne regler og regler for bygninger
NS-EN 206: 2013 + A1: 2016 + NA2020	Betong – Spesifikasjoner, egenskaper framstilling og samsvar
NB 37	Lavkarbonbetong
NS 3720:2018	Metode for klimagassberegninger

Tabell 1 - Anvendte standarder og publikasjoner.

3 Teori

Dette kapittelet anvendes for å presentere teori som anses relevant for forståelsen av etterfølgende kapitler. Kapittelet er sammensatt av en betongdel og en miljødel med tilhørende relevante underkapitler. All presentert teori vil ikke nødvendigvis bli direkte anvendt, men anses som relevant i forhold til den totale forståelsen av studien.

3.1 Betong

Betong er et byggemateriale bestående av vann, sement, en form for tilslag og ofte en form for tilsetningsstoff. Tilsetningsstoff brukes ofte i dagens betong for å fremme en bestemt egenskap, men det er ikke en nødvendighet for å produsere betong. Betong er en av de hyppigst anvendte byggematerialene i dag, og i 2021 ble det produsert 4,1 milliarder ton sement til betongproduksjon globalt. (Statista, 2022)



Figur 1 - Diverse betong (Vegvesen, 1939) (ØlenBetong, 2019) (Pentacon, 2020).

En finner betong overalt, der noen eksempler kan ses på figur over. Betongens egenskaper kan tilpasses til sitt bestemte formål, og en kan trygt si betong er en av de viktigste byggematerialene vi har i dag.

3.1.1 Historie

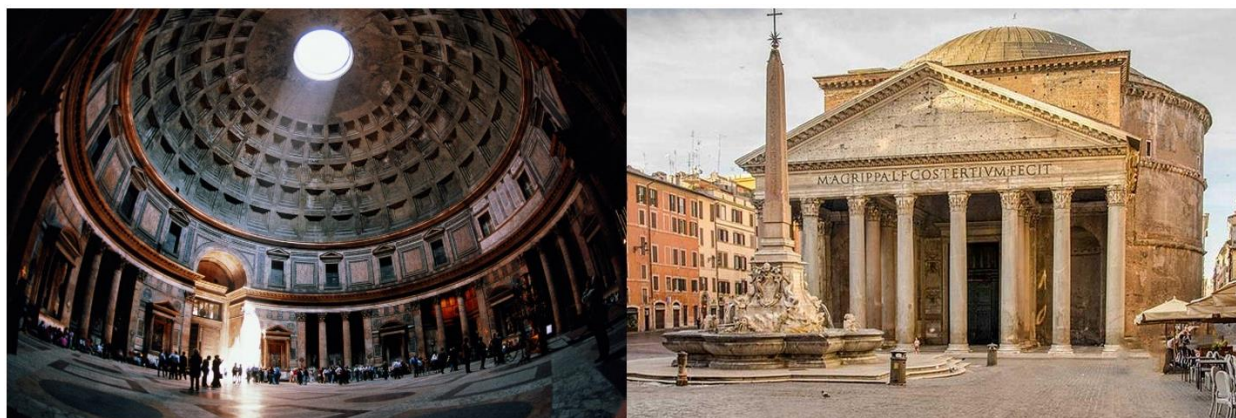
Vår kunnskap om betong både er og har vært under utvikling over lang tid. Det finnes spor av betong så langt tilbake som 7000 år før år null. Dette var et gulv som ble oppdaget i den sørlige delen av Israel, og bestod av en sammensetning av ulesket brent kalk, blandet med vann og sten. Tilsvarende blandinger har også blitt oppdaget i Øst-Europa, og kan dateres helt tilbake til 5000 år før år null, samt funn av mer hyppig bruk i Hellas og Egypt mellom 3-og 4000 år senere. Denne formen for betong var ikke hydraulisk, som betyr at betongen ikke herdet ved kontakt med vann. Det var ikke før Romernes tid vi først så hydraulisk betong. (Soutsos, 2017)

Romersk betong

Romerne har etterlatt seg en stor arv av historiske bygg som ikke bare er fascinerende grunnet sine arkitektoniske trekk, men også av sine imponerende materialegenskaper. Romerne står bak store byggverk som Colosseum, Pantheon og Forum Romanom (Jackson, 2017).

Romerne brukte lenge betong som ikke kan betegnes som hydraulisk, men rundt en tid på det andre århundret før år null kan en se tegn til at dette ikke lenger var tilfellet. Romerne oppdaget at ved å blande kalk og pozzolaner fikk de en sement med hydrauliske egenskaper. Pozzolanene fant de i form av vulkansk pulver som de kalte «pulvis puteolanis» i nærheten av landsbyen Puteoli (i dag, Pozzouli). Dette betydde store teknologiske steg fremover for romersk arkitektur- og ingeniørkunst. (Delatte, 2001) (Kontrollbetong, 2018) (Jackson, 2017)

Den dag i dag holder romerne enda rekorden for største dom bygget uten bruk av armering. Domen finner vi i bygget Pantheon i Roma. Domen står med en diameter på 43,4 meter, og er fullstendig uten armering.



Figur 2 - Pantheon (Marina Prusac Lindhagen, 2019).

Pantheon blir ifølge den italienske arkeologen Rodolfo Amadeo Lanciani beskrevet som «Sfinksen på Marsmarken», og kan beskrives som Romas best bevarte antikke tempel. Tempelet står i dag som et eksempel på romernes evner som bygg-ingeniører, og til den dag i dag brukes romernes betong til forskning for dagens betong, både til landbaserte og offshore konstruksjoner. (Jan Ingar Thon, 2014)

Etter romernes fall hadde romerne brukt sin kunnskap til å bringe betongen ut til Europa, men ved romernes fall, falt kunnskapen med dem. Romerne hadde da bygget seg ut over i Europa, og laget et stort nettverk av veier og broer som ble brukt i sammenheng med krigføring. Etter romernes fall ble ikke

betong brukt i like stor grad, men en kunne blant annet se spor av bruk ved en statue i Salzburg fra 1100-tallet, og en kirke i Storbritannia.

Det var ikke før slutten 1300-tallet at bruken av betong begynte å vokse til igjen i Europa. Den katolske kirke begynte å bygge med betong, men i Skandinavia må man ikke lenger tilbake enn til 1718 før man finner den eldste betongkonstruksjonen.

Joseph Aspdin var mannen bak portlandsementen, som han tok patent på i 1824. Det var ikke før 1888 at sementindustrien i Norge begynte i større skala. Da ble Christiania Cement Aktiebolag grunnlagt og begynte å produsere sement. På denne tiden var det ikke mange som hadde kunnskap om hvordan de skulle dimensjonere og prosjektere konstruksjoner av betong. Av den grunn var det enkelte byggherrer som ikke aksepterte bruken av betong som konstruksjonsmateriale. (Jackson, 2017)

Utviklingen av betong som konstruksjonsmateriale utviklet seg deretter raskt, noe som førte til at industrien ekspanderte og det ble et større behov for betong. Industri- og kraftutbyggere så tidlig muligheter i bruken av betong til sine konstruksjoner, og brukte det blant annet til å bygge ut vannkraft. Innen det norske oljeeventyret har betong også vært av svært hyppig bruk. Verdens største flyttbare betongkonstruksjon, Troll A-plattformen er bygget i betong. Konstruksjonene veier 656 000 tonn, er 472 meter høy og ble bygget i 1995. Dette er et godt eksempel på hvor store konstruksjoner vi kan bygge ved hjelp av betong (Kontrollbetong, 2018). I dag er betongindustrien essensiell for utbyggingen i verden, men bidrar også med å belaste klimaet vårt. (Kontrollrådet, 2018)

3.1.2 Sement

Blandingssement som anvendes i betong består av finmalt klinker blandet med gips, og ulike tilsetningsmaterialer gitt ut fra ønsket sementtype. Klinker fremstilles av kalkstein og en blanding av materialer som inneholder Al_2O_3 , Fe_2O_3 og SiO_3 . Hvilke tilsetningsmaterialer som brukes, og forholdet mellom klinker og tilsetningsmaterialer bestemmer den endelige oppnådde sementtypen. Ulik mengde klinkerinnhold, sekundære og andre bestanddeler avgjør hvilken type en sementblanding kategoriseres som. I «*NS-EN 197-1: Sement – Del 1: Sammensetning, krav og samsvarskriterier for ordinære sementtyper*» er det fem hovedtyper sement, med tilhørende 27 forskjellige typer ordinær sement. De fem hovedtypene er CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV og CEM V. (Byggforsk, 2016)

Sementtyper

Ettersom det er tallrike undersementtyper kategorisert innen CEM I – CEM V er det tatt med en tabell hentet fra «*NS-EN 197-1:2011 Sement – Del1: Sammensetning, krav og samsvarskriterier for ordinære*

sementtyper». Tabellen er vist under, der den tydeliggjør de 27 forskjellige undersementtypene. Tabellen viser masseprosenten av forskjellige bestanddeler, der den inkluderer klinker, andre bestanddeler og sekundære bestanddeler. En ser da en bred variasjon for klinker, andre bestanddeler og sekundære bestanddeler, der de varier henholdsvis mellom 20-100 -, 6-80 – og 0-5 prosent.

Hovedtyper	Betegnelse på de 27 typene ordnær sement		Bestanddeler (masseprosent)		
			Klinker	Andre bestanddeler	Sekundære bestanddeler
CEM I	Portlandsement	CEM I	95-100	-	0-5
CEM II	Portland - slaggsement	CEM II/A-S	80-94	6-20	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	0-5
	Portland - silikastøvsement	CEM II/A-D	90-94	6-10	0-5
	Portland - pozzelansement	CEM II/A-P	80-94	6-20	0-5
		CEM II/B-P	65-79	21-35	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	6-20	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	21-35	0-5
	Portland - flygeaskesement	CEM II/A-V	80-94	6-20	0-5
		CEM II/B-V	65-79	21-35	0-5
		CEM II/A-W	80-94	6-20	0-5
		CEM II/B-W	65-79	21-35	0-5
	Portland - skifersement	CEM II/A-T	80-94	6-20	0-5
		CEM II/B-T	65-79	21-35	0-5
	Portland - kalksteinsement	CEM II/A-L	80-94	6-20	0-5
		CEM II/B-L	65-79	21-35	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	21-35	0-5
	Portland - blandingsement	CEM II/A-M	80-88	12-20	0-5
CEM II/B-M		65-79	21-35	0-5	
CEM III	Slaggsement	CEM III/A	35-64	36-65	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	0-5
CEM IV	Pozzolansement	CEM IV/A	65-89	11-35	0-5
		CEM IV/B	45-64	36-55	0-5
CEM V	Blandingsement	CEM V/A	40-64	36-60	0-5
		CEM V/B	20-38	62-80	0-5

Tabell 2 - Inndeling av sementtyper (Norsk Standard, 2011).

Sementtyper med høy prosentandel «andre bestanddeler» er ofte knyttet til sement med lavere utslipp av karbon, da høy andel klinker fører til høyt utslipp. Lav andel klinker blir ofte referert til som lavvarmesement eller slaggsement, mer om dette kan leses under kapitel «3.1.4 Lavvarmebetong».

3.1.3 Betong, fasthet og bestandighets klasser

Betong består i hovedsak av en blanding av sement, vann, tilslag og ofte tilsetningsstoffer.

Tilsetningsstoffer i en betongblanding anvendes for å fremme en bestemt egenskap i betongen, som for

eksempel støpbarhet. Tilslag er en betegnelse som omfatter sand og stein, og påvirker betongens støpbarhet, fasthet og elastitetsmodulus. Sementtype som anvendes påvirker eksempelvis betongens varmeutvikling, endelig fasthet og fasthetsutvikling. Sammensetningen av de inkluderte ingrediensene i betongblandingen kalles en betongresept. Hvilken betongresept det er behov for er avhengig av formål. Bestandighet- og fasthetsklasse er sentrale for valg av resept.

Bestandighetsklasser beskriver påkjenninger en konstruksjon skal kunne tåle å bli eksponert for. Det er da snakk om påkjenninger i form av miljøet den er konstruert i. Av den grunn brukes også eksponeringsklasser. Eksponeringsklassene beskriver hva som kan forventes at konstruksjonen utsettes for, og bestandighetsklassen settes ut ifra denne. Tabellen under viser de ulike eksponeringsklassene som anvendes i dag og er et utdrag fra «NS-EN 206: 2013 + A1: 2016 + NA2020: Betong – Spesifikasjoner, egenskaper framstilling og samsvar».

Eksponeringsklasser	Kategoribeskrivelse
X0	1 Ingen risiko for korrosjon eller nedbryting.
XC1, XC2, XC3, XC4	2 Korrosjon fremkalt av karbonatisering.
XD1, XD2, XD3	3 Korrosjon fremkalt av klorider som ikke stemmer fra sjøvann.
XS1, XS2, XS3	4 Korrosjon fremkalt av klorider fra sjøvann.
XF1, XF2, XF3, XF4	5 Fryse- / tineangrep med eller uten avisningsmidler.
XA1, XA2, XA3	6 Kjemiske angrep.
XA4	7 Kjemiske angrep fra husdyrgjødsel.
XSA	8 Særlig aggressivt miljø.

Tabell 3 - Eksponeringsklasser (Standard Norge, 2020).

Den norske standarden anvender 8 ulike kategoribeskrivelser, og 20 eksponeringsklasser som blir gitt ut fra kategoribeskrivelsen. Bestandighetsklassene som anvendes er som sagt avhengig av eksponeringsklassen for konstruksjonen, og er gitt i tabellen under. Tabellen er et utdrag og hentet fra «NS-EN 206: 2013 + A1: 2016 + NA2020: Betong – Spesifikasjoner, egenskaper framstilling og samsvar».

Eksponeeringsklasse	Bestandighetsklasse					
	M90	M60	M45	MF45	M40	MF45
X0	X	X	X	X	X	X
XC1, XC2, XC3, XC4, XF1		X	X	X	X	X
XD1, XS1, XA1, XA2 ^a , XA4 ^b			X	X	X	X
XF2, XF3, XF4				X		X
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3 ^a					X	X
XSA ^a	Betongsammensetning og beskyttelsestiltak fastsettes særskilt. Betongsammensetning skal minst tilfredsstillende kravene til M40.					
^a	Om det i eksponeeringsklasse XA2, XA3 eller XSA er muligheten for kontakt med sulfater i konsentrasjoner høyere enn nedre grenseverdi for XA2, skal det i betongspesifikasjonen være angitt at det skal anvendes sulfatbestandig bindemiddel (SuR1 eller SuR2).					
^b	For konstruksjoner utsatt for husdyrgjødsel skal det i betongspesifikasjonen være angitt at det skal anvendes minst 4% silikastøv.					

Tabell 4 - Eksponeerings- og bestandighetsklasse (Standard Norge, 2020).

Bestandighetsklassene M og MF kan som figuren viser dekke kravene for flere eksponeeringsklasser.

Tallet bak klassene beskriver forholdet mellom vann og masse, som vi kaller for masseforhold.

Masseforholdet er forholdet mellom effektiv vannmengde og effektiv bindemiddelmengde i resepten,

$$\text{Masseforhold} = \frac{\text{Effektiv vannmengde}}{\text{Effektivt bindemiddel}}$$

Formel 1 - Masseforhold.

For å bestemme hvor mye av bindemiddelet som kan anses som effektivt, anvender «NS-EN 206 – Betong – Del 1: Spesifikasjon, egenskaper, fremstilling og samsvar» k-verdi metoden. K-verdi metoden bestemmer masseforholdet med følgende formel:

$$m = \frac{v}{(c+k*p)}$$

Formel 2 - K-verdi metoden.

Der: m = Masseforholdet mellom vann og bindemiddel.

v = Totalt fritt vanninnhold.

c = Sementinnhold.

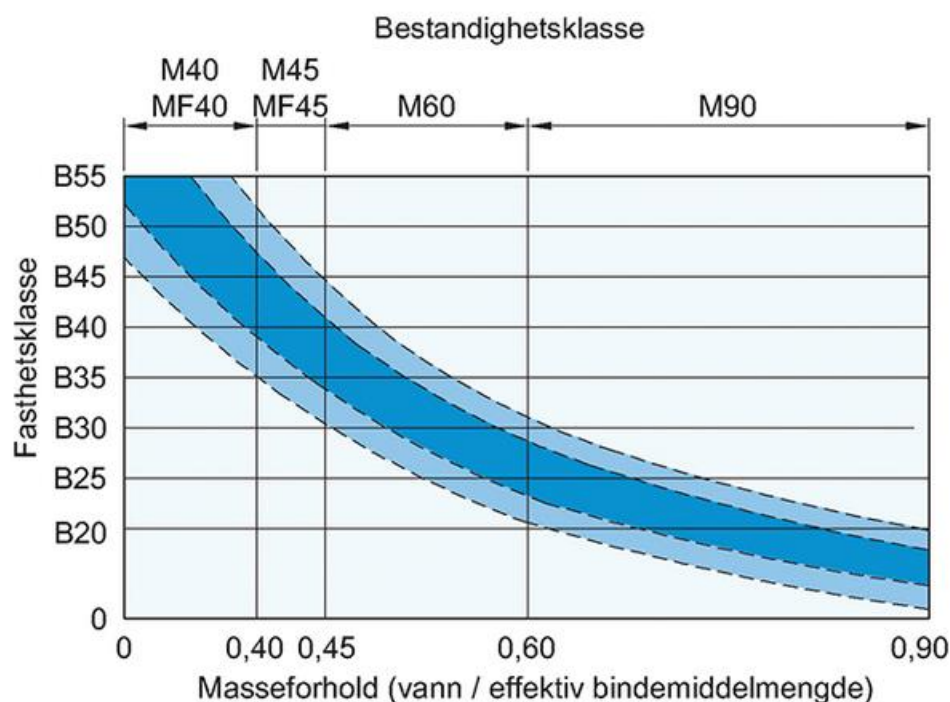
k = Virkningsfaktor for anvendt tilsetningsmateriale.

p = Innhold tilsetningsmateriale.

Virkningsfaktoren k settes i henhold til «NS-EN 206: Betong – Del 1: Spesifikasjon, egenskaper, fremstilling og samsvar» og avhenger av hvilket bindemiddel som anvendes og hvilken bestandighetsklasse betongen dimensjoneres etter.

«V/C» er et begrep for vann-sement-forhold, og brukes ofte for å beskrive masseforholdet. I motsetning til V/C-tallet tar masseforholdet hensyn til vanninnhold i tilsetningsstoffer, og fuktinnhold i tilslaget. Av den grunn bør V/C-tallet bare anvendes ved resepter som ikke inneholder tilslag eller tilsetningsstoffer.

Tallet i bestandighetsklassene beskriver kravet til masseforholdet i betongen. Høyere masseforhold betyr en høyere andel vann i forhold til sement. Lavere tall i bestandighetsklassen tyder på bedre bestandighet, og dette forholdet påvirker hvilke fasthetsklasser det er mulig å oppnå for en resept. Normalbetong er et begrep som anvendes for å beskrive betong med en densitet som ligger mellom 2000 og 2600 Kg/m³, samt lettbetong beskriver betong med en densitet under 2000 Kg/m³ og tungbetong beskriver betong over 2600 Kg/m³. For normalbetong kan den oppnåelige fastheten, gitt en bestemt bestandighetsklassen beskrives med figuren under. (Byggforsk, 2016).



Figur 3 - Forhold mellom fasthetsklasse og masseforhold.

Som figuren viser, vil det være vanskeligere å oppnå en høy fasthetsklasse for betongen desto høyere masseforhold resepten har. Fasthetsklassen til normal- og tungbetong beskrives med bokstaven B, og lettbetong beskrives med bokstavene LB. Begge benevningene er etterfulgt av en tallverdi som beskriver

hvilken fasthet betongen har oppnådd etter herding i 28 dager, og er gitt i MPa, eller N/mm². Dette kan utarbeides ved trykktesting av betongen. (Byggforsk, 2016)

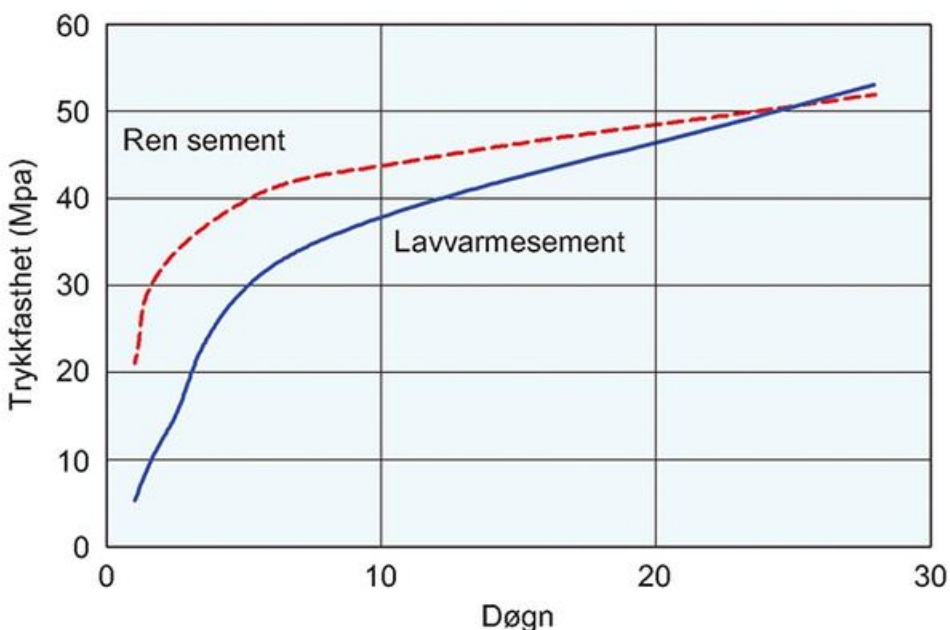
3.1.4 Lavvarmebetong

Lavvarmebetong er en betongtype som inneholder mindre mengder sement, og større andel slag, flyveaske eller andre pozzolaner. Ettersom det er klinkerinholdet i betongen som står for det meste av klimagassutslipp, kan dette bidra til å redusere utslipp. Lavvarmebetong avgir også mindre varme enn mange andre typer betong. Dette gjør denne typen aktuell for konstruksjoner hvor varmeutviklingen kan være problematisk. Hydratiseringsprosessen i betong skaper en varmeutvikling, og denne varmen kalles hydrasjonsvarme. Denne varmen kan i ulike tilfeller både være positiv og negativ for konstruksjonen. For slanke konstruksjoner kan den bidra til å holde moderat temperatur i byggelementet som støpes, noe som vil sikre fasthetsutviklingen. For store konstruksjoner som vist på bildet under, kan den imidlertid ha en negativ effekt ettersom varmen kan bli svært høy, som kan føre til rissdannelse, eller bestandighetsproblemer. (Norcem, 2019)



Figur 4 - Stor betongkonstruksjon (Gcp, 2020).

Lavvarmebetong har som sagt potensiale med hensyn på miljø. En studie fra UiS – Universitetet i Stavanger undersøkte potensialet for reduksjon av klimagassutslipp ved konstruering av et parkeringshus. Her ble to ulike løsninger lagt frem, hvor den ene besto av en referansebetong, og den andre av lavvarmebetong. Studiet viste en reduksjon av klimagassutslipp på nesten 66 prosent ved bruk av lavvarmebetong sammenlignet med en referansebetong. Problemet med denne løsningen var fasthetsutviklingen til lavvarmebetongen (Lindstrøm, 2021). Lavvarmebetong har en fasthetsutvikling som vist i figuren nedenfor, her sammenlignet med referansebetong, figuren er hentet fra Byggforsk. (Byggforsk, 2016)



Figur 5 - Fasthetsutvikling, lavvarmebetong.

Som figuren viser vil ikke betongen oppnå den samme fastheten i tidlig fase av herdeprosessen, men etter 28 dager vil fastheten til lavvarmebetong nærme seg tradisjonell betong. For plass-støpte konstruksjoner kan dette være problematisk med hensyn på logistikk, ressursutnyttelse og tid. Med plass-støpte konstruksjoner menes konstruksjoner hvor betongelementene som anvendes er støpt på byggeplassen. For de fleste prosjekter er det vesentlig å fortsette arbeidet før de ulike betongelementene har herdet i 28 dager, noe som gjør lavvarmebetong til en ugunstig løsning for et parkeringshus. (Pedersen, 2021)

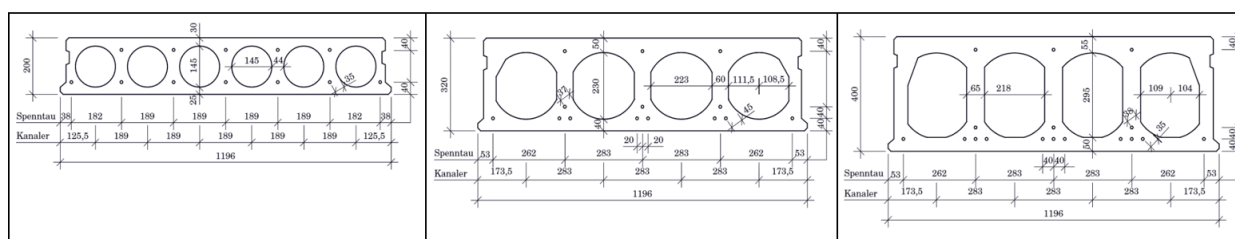
3.1.5 Prefabrikkerte betongelementer

Prefabrikkerte betongelementer er betongelementer som produseres på en elementfabrikk, for så å transporteres fra fabrikk til byggeplass for sammensetning. Produksjon av betongelementer ved en fabrikk gir produsenten muligheten til å ferdigstille elementet i kontrollerte omgivelser. Elementene produseres i støpeformer, og fabrikkene kan da også produsere elementer som i mange tilfeller krever mindre betong for å oppfylle kravene for det bestemte elementet, for eksempel hulldekker. Dette er en svært viktig faktor, der reduserte mengder vil redusere klimaavtrykket ytterligere. (Fosså, 2022)

Hulldekker

Hulldekker er en prefabrikkert dekkeløsning for konstruksjoner. Dekkene er forspente, med hull gjennom som reduserer egenvekten av elementet. Hulldekkeløsningen produseres på fabrikk i et

kontrollert miljø, noe som gjør det mulig å anvende betong som ikke kan anvendes ved plass-støpte betongdekker. Mer miljøvennlige betongtyper som lavkarbonbetong kan i enkelte tilfeller anvendes ved produksjon av hulldekker. Ved å redusere egenvekten til elementet, forspenne og med et friere valg av anvendt betongtyper tillater hulldekker større spennvidder for dekketystemet sammenlignet med tradisjonelle plass-støpte dekkeløsninger. Kombinasjonen mellom den reduserte betongmengden, type betong og lengre spennvidder kan gi en miljøgevinst for elementene. (Lea, 2022) Forskjellige hulldekker med tilhørende forskjellig mengdebesparelse kan ses under.



Figur 6 - Hulldekkeprofiler (Almeida, 2022).

Ved undersøkelser av miljøgevinst ved bruk av prefabrikkerte elementer sammenlignet med plass-støpte elementer er det svært viktig å vurdere transport. Da både transporten for råvarene fra fabrikken tar inn og transporten fra fabrikk til byggeplass. Dette er en faktor som ikke kan ses bort fra, ettersom utslippene fra transporten kan resultere i et negativt sluttresultat. (Fosså, 2022)

Norsk Betongforenings publikasjon «NB37 – Lavkarbonbetong» omhandler lavkarbonbetong, og ble først publisert i 2015. Den kan brukes som referansedokument for å undersøke og presentere dokumentasjon for klimagassutslipp til ulike prosjekter. For at konstruksjonsbetong skal kunne defineres som lavkarbonbetong må betongen som anvendes være produsert innenfor kravene og reglene fra «NS-EN 206: 2013 + A1: 2016 + NA2020: Betong – Spesifikasjoner, egenskaper framstilling og samsvar», og dekke kravene for utslipp gitt i «NB37 – Lavkarbonbetong». Publikasjonen legger frem ulike lavkarbonklasser for betong, og kan brukes til å angi klimagassutslipp i kilo CO₂ ekvivalenter per kubikk (Kg CO₂ – ekvivalenter / m³).



Figur 7 - Hulldekker (City Steinhuis, 2022).

Det er viktig å merke at denne publikasjonen ikke tar hensyn til mengden armering som inngår i en gitt løsning. I bygg-sektoren har det siden 2015 vært stor utvikling innen kunnskap, markedssituasjoner, verktøy for dokumentasjon og ambisjonsnivå. Derfor var publikasjonen revidert i 2019, etterfulgt av en oppdatering i 2020. Det er viktig å anvende nyeste publikasjonen etter hvert som publikasjonen blir oppdatert eller revidert. Denne masteroppgaven anvender den nyeste publikasjonen fra 2020.

3.1.6 Lavkarbonklasse

«NB 37 – Lavkarbonbetong» presenterer fire definerte nivåer for lavkarbonbetong. De ulike klassene inneholder klassegrenser for hvor mye utslipp en bestemt blanding kan ha gitt sin egen fasthetsklasse og bestandighetsklasse. Som tidligere nevnt kan høyere fasthetsklasser føre til mindre forbruk av betong, men fører også ofte til høyere utslipp per kubikkmeter. Av den grunn kreves det lavere utslipp per kubikkmeter for betong av lavere fasthetsklasse for å nå en viss lavkarbonbetongklasse. Publikasjonen tar for seg lavkarbonklassene for betonger med fasthetsklassen fra B20 til B65. De ulike klassene er presentert i figuren under og hentet fra «NB 37 – Lavkarbonbetong». (Norsk Betongforening, 2020)

Fasthetsklasse ¹⁾ og lavkarbonklasse	B20	B25	B30	B35	B45	B55	B65
Maksimalt tillatt klimagassutslipp [Kg CO₂-ekv. Pr m³ 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⁾			250	160	170	180	190
Lavkarbon ekstrem ²⁾			110	120	130	140	150

Tabell 5 - Fasthets- og lavkarbonklasse (Norsk Betongforening, 2020)

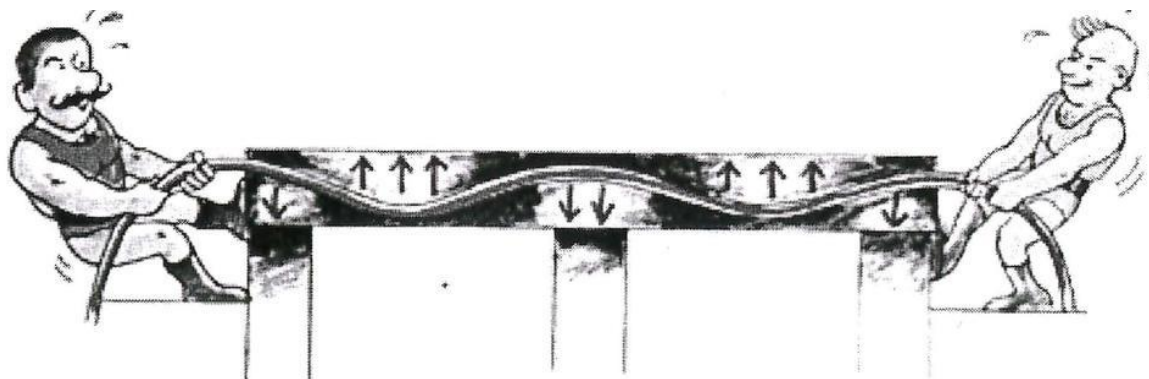
For oppnåelse av de ulike lavkarbonbetongklassene kreves det ulike mengder av bindemiddelsammensetninger, noe som er avhengig av tilgjengeligheten i markedet.

Klasse B kan vanligvis oppnås ved ordinære resepttekniske tiltak, mens for klasse A trengs det ofte mer spesielle tiltak. For klasse pluss og ekstrem vil det være behov for bruk av spesielle sammensetninger av bindemiddel som ikke er godkjent for alle bestandighetsklasser, og som heller ikke kan forventes å ha tilstrekkelig tilgjengelighet på markedet. Bransjereferansen som er anvendt i «NB 37 – Lavkarbonbetong» er utarbeidet gjennom EPD-er, og ble oppdatert i den siste versjonen av «NB 37 – Lavkarbonbetong» fra 2020. Det er også viktig å merke seg at verdien gitt i tabellen over forutsetter ordinær produksjon, og at det er ulikheter fra region til region i Norge (Pedersen, 2022).

3.1.7 Spennarmering

Armering er et vidt begrep der det finnes tre hovedtyper under det bredere begrepet, nemlig slakkarmering, fiberarmering og spennarmering. Kapittelet vil gjennomgå prinsipper ved og bruk av spennarmering.

Spennarmering ble patentert i 1928 av den franske ingeniøren Eugène Freyssinet da han utarbeidet og forstod prinsippene innen spennarmering (Freyssinet, 2020). Gitt Eugène Freyssinets patenteringen i 1928 er det ofte den amerikansk-kinesiske ingeniøren Tung-Yen Lin som anses som «The father of prestressed concrete», nemlig «Spennbetongens far» (CE Berkeley, 2018). Kallenavnet følger med Tung-Yen sitt fremragende arbeid, der han videreutviklet og forenklet bruken av spennarmering på 40-, 50- og 60-tallet (Berkely, 2003). Prinsippet med spenn armering er forenklet på bildet under.



Figur 8 - Spennarmering prinsipp (Statens Vegvesen, 2014).

Spennarmering er igjen delt opp i to hovedtyper, der det skilles mellom før- og etterspent.

Hovedforskjellen ved de selvforklarende typene er at spennarmeringen påføres strekkrefter før eller etter støp, for henholdsvis før- og etterspent armering. Det er bare forspent armering som vil bli gjennomgått og benyttet i denne oppgaven.

Førspent armering

Ved førspenning blir armeringen påført strekkrefter før den støpes og herdes. Når betongen er ferdig herdet og de påførte strekkreftene opphører overføres kreftene fra spennarmeringen til betongen, der dette resulterer i en indre trykkraft i betongelementet. Dette vil øke strekkapasiteten til betongen betraktelig samtidig som den fungerer reduserende for riss og sprekker. Det vil kun være mulig å forspenne armeringen linært, da parabler må etterspennes. (Almeida, 2022). Førspent armeringsjern eller armeringskabler legges sentrisk eller eksentrisk i tverrsnittet.

Sentrisk	P_{jern}	Q	$P_{\text{jern}} + Q$
Eksentrisk	P_{jern}	Q	$P_{\text{jern}} + Q$

Tabell 6 - Sentrisk og eksentrisk plassering (Almeida, 2022).

Eksentrisk førspenning vil kunne fremprovosere indre momentkrefter i tverrsnittet, med tilhørende deformasjon. En slik metode er svært effektiv for å oppnå store spenn med liten relativ deformering.

3.2 Miljø

Byggsektoren og bygg står for en betydelig del av klodens klimagassutslipp. Av totalt antall konstruksjoner bygges det årlig 1-2 prosent nye konstruksjoner på verdensbasis. 70 prosent av utslippene innen bygg og byggsektoren er knyttet til nye konstruksjoner. De resterende 30 prosentene er resultatet av drift og vedlikehold av samtlige bygg (Bramslev, 2021). Viktigheten av å kutte og redusere utslipp relatert til nye konstruksjoner og drift av gamle konstruksjoner er et stort fokusområde i bransjen. Reduserende tiltak kan være mindre riving, økt gjenbruk av materialer, utslippsfrie bygge og anleggsplasser og energieffektive konstruksjoner. Det er viktig å velge de løsningene og byggevarene som gir et redusert klimaavtrykk i et livsløpsperspektiv. (Grønn byggeallianse, 2020)



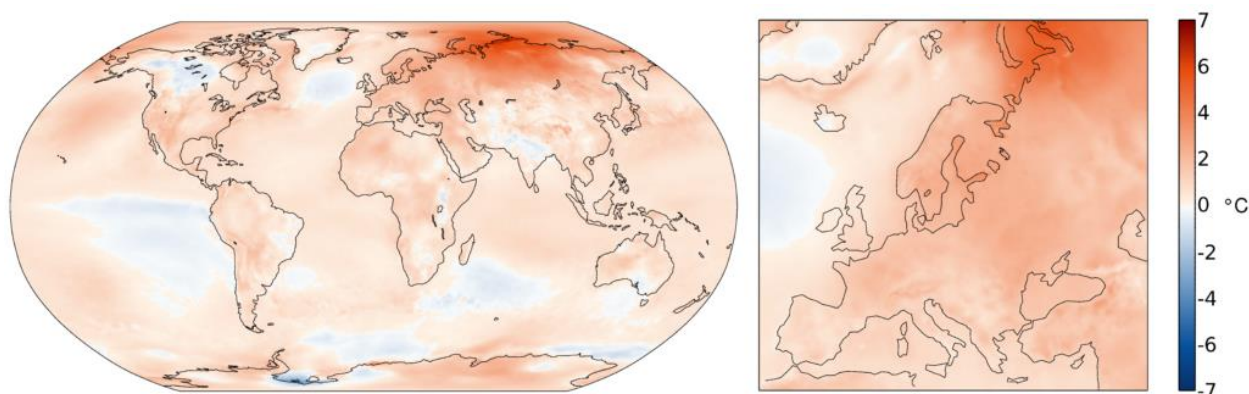
Figur 9 - Grønnere byggeplass (Nymann, 2021).

For å videre redusere klimaavtrykket fra bygg og byggesektoren har FNs klimapanel involvert seg, der de ytret at det viktigste tiltaket byggsektoren kan bidra med er å redusere utslippene knyttet til produksjon av materialer. (FN-Sambandet, 2019). I denne sammenhengen blir betong ofte omtalt som den største bidragsyteren. Grunnen til dette er de vanvittige mengdene som produseres. Som nevnt tidligere står sementproduksjonen for store deler av utslippet når fabrikker produserer betong. Dette er gitt, til tross for at standard betong kun inneholder 10-15 prosent sement (Bjørnstad, 2016). Mellom 1930 og 2013 ble det produsert tilnærmet 75 milliarder tonn sement på verdens basis, som med dagens resepter vil tilsvare mellom 500-750 milliarder tonn betong. Til sammenligning inneholder Norges største elv Mjøsa

cirka 56 milliarder tonn med vann. Elven renner 117 Km og dypeste mål viser 453 meter (Thorsnæs, 2020) (Bjørnstad, 2016). Med disse tallene er det klart at det vil foreligge en betydningsfull miljøgevinst om ny standardbetong reduserer utslippene under produksjonen. Videre tar kapittelet for seg forskjellige temaer som er viktig for en miljøvennlig betongindustri.

3.2.1 Karbon

Karbon er vesentlig for alt liv på kloden. Vi er laget av og livnærer oss på dette grunnstoffet, samtidig vil en for stor ansamling i atmosfæren være kritisk for alt liv. Når det kommer til miljø, er utslipp av klimagassen karbon kanskje det største problemet verden står ovenfor (Naturvernforbundet, 2019). Global oppvarming er en direkte konsekvens av karbonutslipp, med tilhørende andre klimagasser. De siste hundre årene har gjennomsnittstemperaturen på jorden økt betraktelig. Klimaforskerne i FNs klimapanel meddeler at 95 prosent av temperaturendringen kommer av menneskelig aktivitet (Naturvernforbundet, 2019).

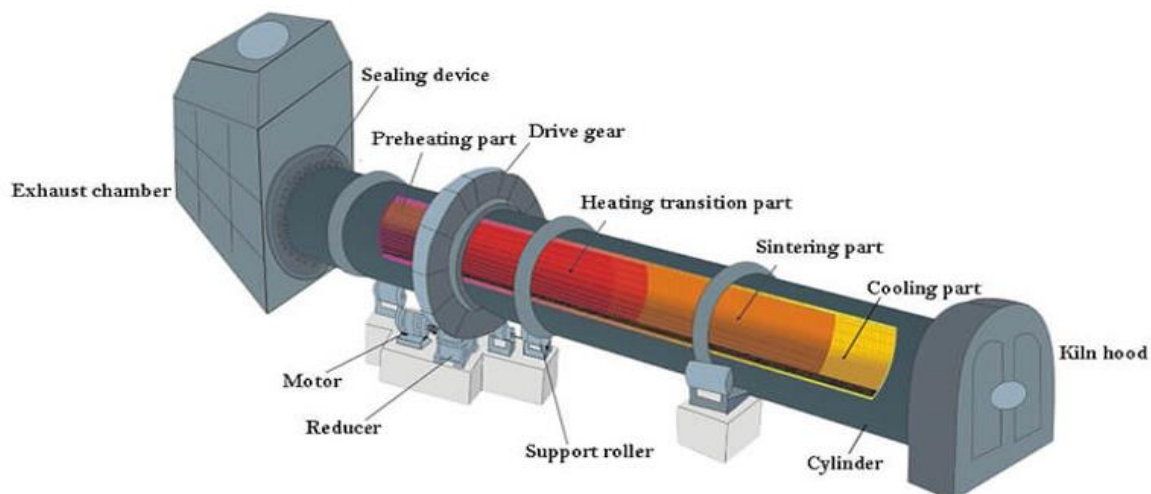


Figur 10 - Temperaturendring (Klimastiftelsen, 2021).

Bildet over viser temperaturendring, der gjennomsnittstemperaturen i 2020 sammenlignes med gjennomsnittstemperaturen fra 1981 til 2010. Temperaturendringen skyldes i stor grad drivhuseffekten, der klimagassene som slippes ut i atmosfæren danner et lag rundt kloden. Dette laget vil ha tilnærmete og sammenlignbare egenskaper som ordinære drivhus. De slipper en gitt mengde lys og varme inn og tilsvarende mengder slipper ikke ut. Et tjukkere og tettere lag med aggregerte klimagasser i atmosfæren vil naturligvis øke og forsterke denne effekten. Ordinært liv på jorden er helt avhengig denne effekten, problemet oppstår når utslippene overgår det jorden selv klarer å ta opp.

3.2.2 CO₂

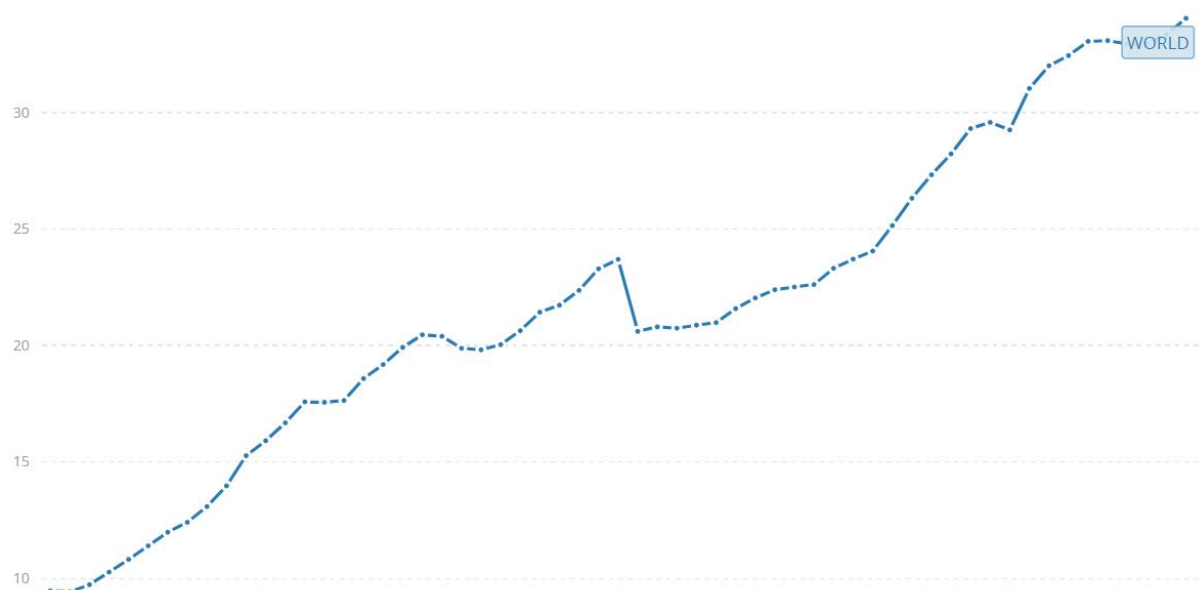
Den ordinære sementen som brukes i betong lages ved å brenne kalkstein sammen med andre materialer. Materialer som kan anvendes i denne prosessen er eksempelvis kvarts og skifer. Prosessen starter med å knuse nevnte materialer før de plasseres i en roterende ovn på rundt 1450 grader celsius. Produktet blir da klinker som videre kombineres med gips og blir til sement. (Norcem, 2020) Kalkstein benyttet i prosessen består av sammenpressede og forsteinede koraller og bløtdyr som levde i havet for mange millioner år siden. Et fellestrekk for koraller, bløtdyr og annet materie som inngår i kalkstein er at de inneholder CO₂. Påfølgende, inneholder kalkstein mye CO₂. Forbrenningsprosessen som finner sted i den roterende ovnen, starter en kjemisk prosess kalt kalsinering. Under denne prosessen forbrennes CO₂ av kalksteinen og slippes fri. Det er denne reaksjonen som står for mesteparten av CO₂-utslipp knyttet til produksjon. De resterende mengdene slippes ut ved oppvarming av ovnen og transport av biprodukter og ferdige produkt. Om det ikke gjøres tiltak for utslippene vil et tonn klinker tilsvare et tonn CO₂. (Norcem, 2020)



Figur 11 - Roterende forbrenningsovn (Datis-Inc., 2020).

Det er naturligvis tiltak som kan iverksettes. Det er mulig å redusere andel klinker i sementen, der det er mulig å benytte andre materialer. Eksempelvis slagg, kalksteinpulver, silikastøv, naturlige pozzolaner eller flyveaske. Hvorvidt disse er gunstige er ofte opp til den individuelle fabrikken, der det foretas et forenklet regnskap som inkluderer transport, pris, mengder osv. Det vil dermed ikke alltid være gunstig for bedrifter og tilhørende fabrikker å iverksette tiltak, da det ikke nødvendigvis foreligger en gevinst i henhold til miljø, tid eller økonomi. (Norcem, 2020)

CO₂ er kanskje den mest omtale klimagassen og mye oppmerksomhet og omtale følger med når klimakonferanser holdes. Dette kan forsvares når en ser på de akselererende mengdene som finner vei ut i atmosfæren. CO₂ utslippet har altså hatt en globalt økende trend de siste årene.



Figur 12 - Trend CO₂ utslipp. (The world bank, 2020).

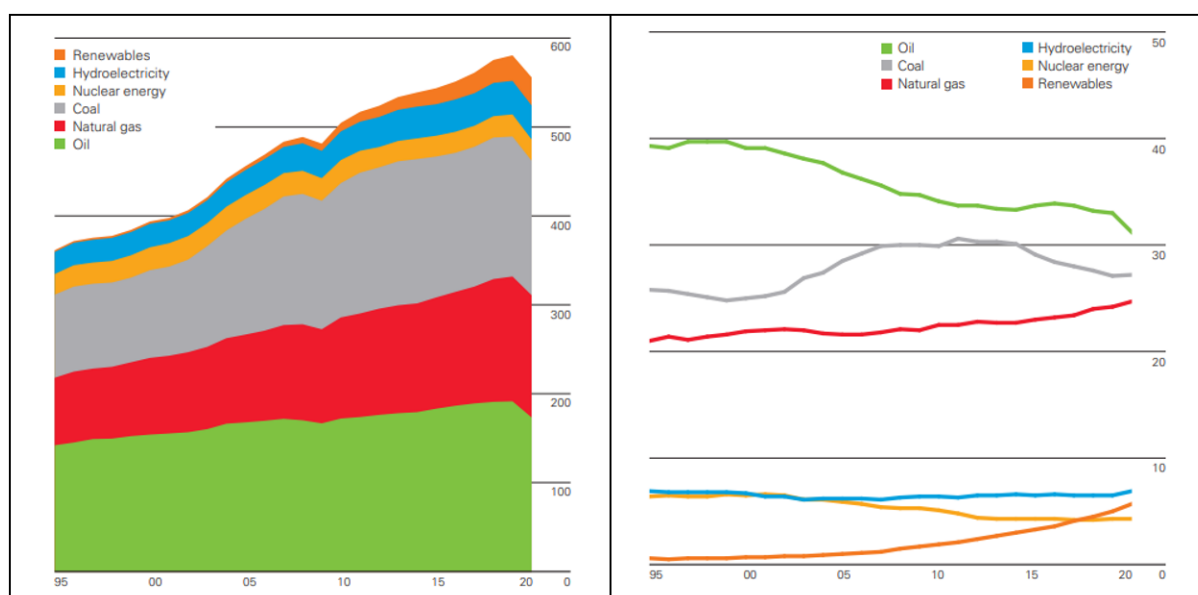
Figuren over visualiserer denne trenden, der den viser data fra 1960-2020. Grafen viser en tredobling av utslipp innen 60 år. Skalaren på siden antyder utslippet per 1.000.000.000 tonn, altså per milliarder tonn. I og med at betong står for om lag 8 prosent av det totale utslippet av CO₂, vil et redusert klimaavtrykk fra betongindustrien være bidragsyter til fremtidige reduserte globale utslipp.

3.2.3 Energi

Energi omtales ofte som evnen til å utføre arbeid og standard måleenhet er joule. Energi kan ikke oppstå eller forsvinne, men kan ta mange alternative former. Energi kan utvinnes til nytte for mennesker gjennom forskjellige energikilder, der det skilles mellom fornybare og ikke-fornybare energikilder. Fornybare energikilder vil eksempelvis være vannfall-, bølge-, bio-, vind- og solenergi. De ikke-fornybare kildene baserer seg også på naturlige ressurser, men i forhold til menneskets perspektiv anses de ikke som fornybare. Eksempelvis, består olje av fossile stoffer som tilbake i tiden ble drevet og laget av solenergi i form av fotosyntesen. Energekilden kan umulig ses på som fornybar ettersom mengden ny olje ikke kan sammenlignes med dagens forbruk. Andre ikke-fornybare energikilder er naturgass, kull og kjerneenergi i form av atomspalting. (Hofstad, 2021)

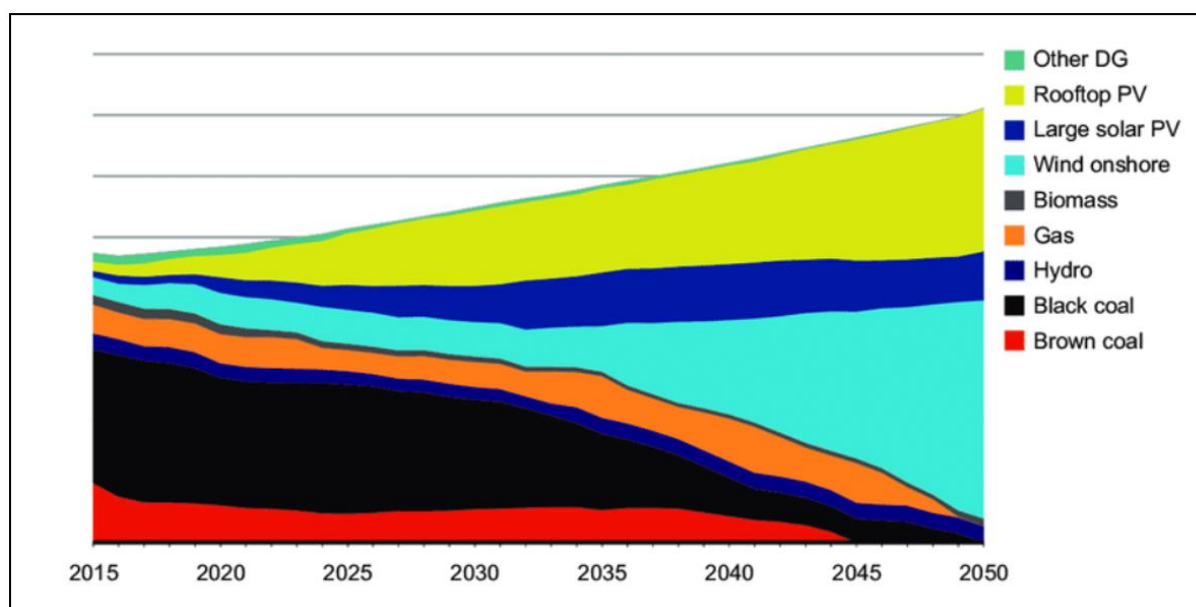
Energikilder defineres dermed som alle naturfenomener eller materialer som kan omdannes til nyttige energiformer. Varme, elektrisitet og mekanisk energi er de mest vanlige formene. En energikilde kan brukes direkte eller sekundært. Brennbar materiale som antennes vil direkte utnytte energikilden ved å produsere varme. For 100 år siden ble vannkraft ofte brukt direkte i form av eksempelvis sagbruk og møller. I dagens samfunn blir mesteparten av vannkraft brukt til å produsere elektrisk energi ved bruk av turbiner. Elektrisiteten blir da omtalt som sekunder energi. Fordelen med sekunder energi er at den lettere kan produseres, transporteres og omsettes på lik linje som andre alminnelige varer. (Bøe, 2021) (Hofstad, 2021)

Som nevnt innledningsvis i delkapittelet måles energi i den internasjonalt standardiserte energienheten joule. Når energi distribueres og omsettes er det også vanlig å bruke andre standardiserte måleenheter. Dette varierer, gitt forskjellige energikilder. De nasjonale og den internasjonale energistatistikken benytter seg ofte av måleenheten million tonn oljeekvivalent, med tilhørende forkortelse Mtoe (million tonnes of oil equivalent). Uansett måleenhet, er det viktig å vurdere energikildene etter hvor konsentrert energien kan utvinnes. Når fagkyndige klassifiserer energikildene vurderes det hvor mye energi som kan utvinnes per vekt, eller per volumenhet. Målet er et tall for energitettheten knyttet til den typiske energikilden. Energitettheten sammenlignes med hvor kostbart det er å utvinne og transportere, samtidig hvor egnet sekundær energien er til ulike formål. Ved å behandle slik data kan det dannes diverse regnskap som tydeliggjør fordeler og ulemper med spesifikke energikilder.



Figur 13 - Energikilder (BP, 2021).

En visualisering av benyttet energimiks fra år 1995 til 2020 er vist over. Figuren inkluderer energikildene utthentet på global basis. Til venstre er energikildene akkumulert for å vise det totale forbruket, til høyre viser grafene prosentandel av total forbruk. Majoriteten av energien de siste ti-årene kommer fra olje, gass og kull. Grafen viser en generell økende trend av totalt forbruk, sett bort ifra nedgangen ved år 2019-2020. Dette skyldes den globalt utbredte Corona-pandemien. Dataen er samlet og utarbeidet av det britiske selskaper British Petroleum. I forhold til global oppvarming og den gitte klimakrisen er det essensielt at energi miks endres. Følgende figur illustrerer en ønsket energi miks for fremtiden.



Figur 14 - Energi miks for fremtiden (BP, 2021).

Jordas befolkningstall er stigende, og fremtidens energibehov vil trolig øke. Ved illustrasjonen over kan det være mulig å overkomme denne økningen, samtidig som jordens befolkning kollektivt tar vare på miljøet. Det er da vist en klar vekst og samtidig reduksjon i henholdsvis fornybare og ikke-fornybare energikilder.

Fremtidens samfunn vil i økende grad benytte seg av fornybare energikilder. Dette vil være svært positivt for miljøet. Et annet hovedfokus er å redusere det totale energiforbruket. Reduksjon av all energi, fornybar eller ikke-fornybar vil ha en direkte eller indirekte påvirkning på miljøet. Det vil dermed foreligge en stor gevinst for miljøet om alle trer støttende til. Ved å energieffektivisere hele bransjer vil det totale miljøavtrykket reduseres betraktelig. I byggsektoren utvikles og arbeides det med tiltak, både i produksjons- og driftsfasen. NVE, Norges vassdrags- og energidirektorat anslår at fremtidens energieffektive bygninger vil redusere Norges totale strømforbruk med 10 prosent i driftsfasen (NVE,

2021). I produksjonsfasen er det også rom for forbedring, noen relativt enkle og andre mer komplekse løsninger. Mindre avanserte løsninger kan være bedre planlegging og mindre svinn. Mer komplekse løsninger vil være å redusere andel fossilt drivstoff, både på byggeplass og transport til byggeplass.

3.2.4 Mengder og materialer

Store mengder av utslippet og energiforbruket er knyttet til materialer, påfølgende vil mengden brukte materialer være utslagsgivende for klimaavtrykket. Ved å engasjere prosjekterende ingeniører til å redusere mengder der det er hensiktsmessig, vil det anses som besparende for miljøet. Besparelsene i materialer kan samles fra eksempelvis bærende elementer, ikke-bærende elementer og annen bygningsmasse.

3.2.5 EPD

EPD er en kortfattet tredjeparts miljøprofil som i ett dokument oppsummerer miljøprofilen gjennom livsløpet til en gitt komponent, et ferdig produkt eller en tjeneste på en standardisert og objektiv måte (EPD Norge, 2021). Forkortelsen EPD brukes internasjonalt og i Norge, på engelsk står EPD for «Environmental Product Declaration». Hensikten med EPD er at personer og bedrifter skal kunne gjøre en vurdering av og sammenligne miljøprofiler basert på forskjellige miljødeklarasjoner. Tanken er at EPD skal være helt uavhengige verifiserte miljødeklarasjoner som overholder fire viktige krav: objektivitet, sammenlignbarhet, troverdighet og adderbarhet (EPD Norge, 2021). Innholdet i en gitt EPD skal følge kravene, premissene og retningslinjene gitt i «ISO 14020 – Miljømerker og deklarasjoner».

Miljøpåstander skal kunne dokumenteres med fakta. EPD for tilsvarende produkter skal utvikles etter like retningslinjer og regler. Dette er løst ved å lage PCR, som er et sett med produktspesifikke regler. PCR står for «Product Category Rules» og sikrer sammenlignbare og troverdige EPD'er for en gitt produktgruppe (EPD Norge, 2021).

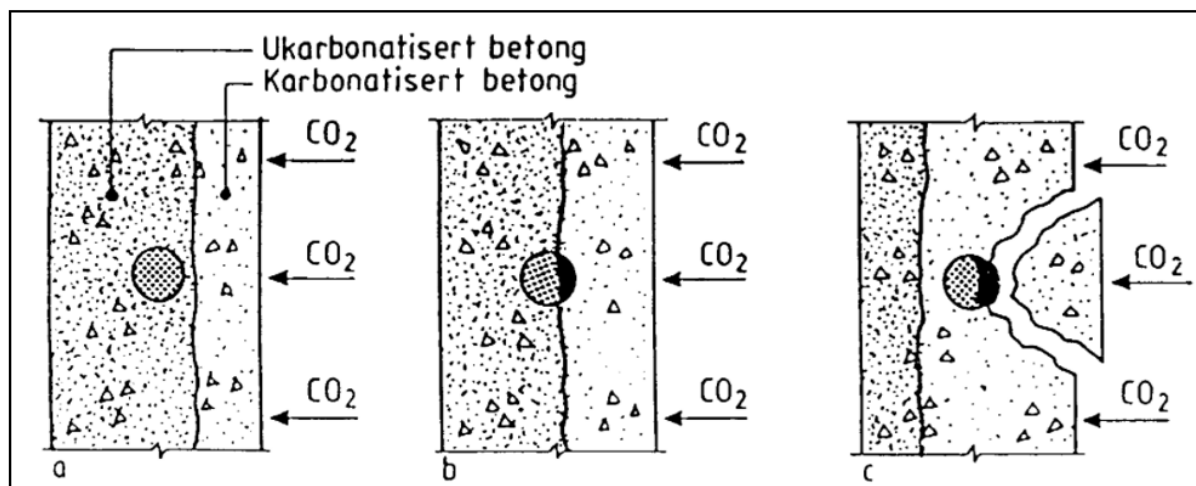


Figur 15 - Miljødeklarerert EPD (Taktila, 2019).

Fordelen med EPD er at et totalt bygg med gitt antall EPD enklere kan settes sammen til en total livsløpsanalyse for bygget, der data fra produksjonsfasen, bruksfasen og avhendingsfasen er allerede inkludert for hvert eneste produkt og materiale. Under gjennomføring av en slik analyse må variabler som transport og levetid legges inn separat. Når EPD anvendes på denne måten medfører det samtidig en livsløpsanalyse med mindre feilkilder og usikkerheter.

3.2.6 CO₂ optak i betong

Karbonatisering er en prosess der kalsiumhydroksid [Ca(OH)₂] i betong reagerer med karbondioksid [CO₂] i luften slik at det dannes Kalsiumkarbonat [CaCO₃] og vann (Thue, 2020). Det er fordeler og ulemper med denne effekten. For bæremessige elementer anses effekten som negativ, da reaksjonen vil redusere pH-verdien i betongen betraktelig. Den reduserte pH-verdien opphører betongens naturlige korrosjonshindrende virkning, som fører til rust av armering. Effekten svekker elementets motstandsdyktighet mot pålagte laster og konstruksjonen mister sitt konstruksjonssikre og trygge utseende. Om skader fra karbonatiseringsprosessen ikke utbedres i tide, vil det kunne medføre total kollaps av betongkonstruksjonen.



Figur 16 - Karbonatisering og rust (A1Consult, 2018).

Figuren over viser karbonatisering og rust i henholdsvis betong og stål, innen et armert betongtverrsnitt. Som nevnt har det negative bære- og utseendemessig konsekvenser, men sett i et miljøperspektiv kan effekten anses som mer positiv. Grunnen til dette er at CO₂ innholdet i luften reduseres. Tvetydige studier viser forskjellig mengde CO₂ – opptak i betongen, noe som har sin naturlige forklaring. Det er utallige faktorer som spiller inn under karbonatiseringsprosessen. Eksempelvis: Betongsresept, fasthet, luftfuktighet, lufttemperatur, klima, lokasjon, overflate, areal, eksponering, solforhold osv. Gitt de forskjellige faktorene og de tvetydige resultatene, anses mengdene fortsatt å være av betydelig størrelsesorden. Ved gjennomføring av livsløpsanalyse kan betongens CO₂ – opptak medtas med negativt bidrag på klimaavtrykket. (Bjørnstad, 2016)

3.2.7 Karbonfangst

Karbonfangst går ut på å fange og lagre karbondioksid og består av tre faser: fangst, transport og lagring av karbondioksid. Fangsten av karbondioksid gjennomføres ved å separere CO₂ fra de andre gassene som produseres ved sementproduksjon. Deretter må CO₂-en komprimeres før den transporteres videre til lagring. Lagringen kan eksempelvis være under bakken, eller under Nordsjøen. Nordsjøen antas å ha kapasitet til å lagre 1000 år med utslipp av karbondioksid, gitt dagens utslipp for Norge. Karbonfangst kan være en svært viktig faktor for å nå målene for klimagassutslipp, og antas å ha potensiale til å kunne ta opp 90% av utslippet av karbondioksid. (Equinor, 2019)



Figur 17 - Karbonfangst (Tønnesen, 2021).

3.2.8 Gjenbruk

Det er stor enighet om at gjenbruk er bra for miljøet. I intervju gjennomført av NRK ytrer teknisk sjef for byggevarerindustriens forening at byggsektoren er positiv til gjenbruk, men at det gjenstår en del utfordringer (Pettersen, 2021). Gjennom intervjuet kommer det frem at den Norske byggsektoren også er motivert for å kutte utslipp, der gjenbruk blir fremtrukket som et reduserende tiltak med tanke på utslipp.



Figur 18 - Gjenbruk i byggsektoren (BetongFokus, 2022).

Det gjenstår fremdeles noen problemstillinger med å implementere gjenbruk i stor skala. Utfordringene er i hovedsak knyttet opp mot økonomi, tid, logistikk og dokumentasjon. Om bygg og andre konstruksjoner skal opphøres er det mer kostbart å demontere enn å demolere. Den neste utfordringen som innfinnes, er lagring av bygningsmasse som ønskes gjenbrukt. Om materialet skal transporteres vil

det samtidig følge merkostnader og merutslipp. Påfølgende vil det totalt koste tid og penger ved gjennomføring av demontering, transporter og arbeid vedrørende lagring av bygningsmaterialet. For å tilfredsstille krav til nybygg er det viktig at de gjenbrukte materialene også inkluderer tilfredsstillende dokumentasjon i henhold til dagens standard. Om allerede dokumentasjon er begrenset kan det være utfordringer knyttet til å generere og teste henholdsvis dokumentasjon og kvalitet. Om mulig, vil prosessen sette spor tidsskjematisk og økonomisk.

Gjenbruk i fremtiden kan bli mer aktuelt og utbredt om gjenbruksprosessen starter allerede på rådgiverens kontorer. Ved å designe løsninger som er gjenbruksvennlige og anvendbare vil neste prosjekt lettere kunne benytte seg av gjenbruk. Det er flere måter å løse det «neste» prosjektet. Under visse omstendigheter kan et eksempelvis bæresystem være intakt i deler eller i sin helhet. Det vil da være mulig å benytte seg av det allerede bæresystemet, enten som en helhet eller med noen forsterkende og nye elementer. Et ypperlig eksempel på dette er Media City bygget i Bergen som også ble nominert til den internasjonale miljøprisen «BREAM Awards».



Figur 19 - Media city Bergen (Digi, 2021).

Nominerte bygg skal være av særdeles høy miljømessig klasse (Saltnes, 2022). Media city i Bergen tar samtidig for seg en reel problemstilling som påvirker bransjens vilje til å bygge for gjenbruk. Det er nemlig det neste prosjektet som får klimagevinsten når livsløpsanalysen og klimaregnskapet fremlegges, slik som Bergen Media City i Bergen. Det vil trolig foreligge en økt motivasjon ved å bygge for gjenbruk om det første prosjektet også får noe av klimagevinsten på papiret. (Denk, 2022)

Om overnevnte problemstilling løses vil bransjen sannsynligvis designe for gjenbruk, der bærende konstruksjoner, andre ikke-bærende konstruksjoner og annen bygningsmasse vil kunne bli tatt i bruk på samme eller annen geografisk lokasjon med positivt klimaregnskap for det «første» prosjektet.

3.2.9 CO₂-Ekvivalenter

Statistikk knyttet til mål på klimagassutslipp blir ofte omtalt som CO₂-ekvivalenter, der klimagassutslippet for forskjellige gasser sammenlignes. Det er kun gasser med negativ effekt på klimaet, der gassene har fossil opprinnelse som kan omregnes til CO₂-ekvivalenter (Lahn, 2020).

GWP er en engelsk forkortelse og står for «Global Warming Potential», på norsk er dette globalt oppvarmingspotensiale. Dette er målenheten som gjør det mulig å sammenligne forskjellige klimagasser. GWP-verdien for en gitt klimagass viser akkumulert oppvarmingseffekt som skalarverdi i forhold til karbondioksid gjennom et bestemt tidsintervall. Beregningsperioden kan variere noe, men de mest vanlige periodene er 20, 100 eller 500 år. Tabellen under viser GWP-verdiene til noen klimagasser, gitt en beregningsperiode på 100 år (Returgass, 2019).

Medie	Kjemsisk navn	Kjemisk formel	GWP (100 år)	Atmosfærisk levetid [År]
CO ₂	Karbondioksid	CO ₂	1	-
CH ₄	Metan	CH ₄	25	12
N ₂ O	Dinitrogenoksid	N ₂ O	298	114
HFK134a	Tetrafluoretan	CF ₃ CH ₂ F	1 430	14
HFK22	Kloridfluormetan	CHClF ₂	1 810	12
KFK11	Triklorfluormetan	CCl ₃ F	4 750	45
HALON1301	Bromtrifluormetan	CBrF ₃	7 140	65
KFK12	Dikloridfluormetan	CCl ₂ F ₂	10 900	100
PFK116	Hexafluoretan	CF ₃ CF ₃	12 200	10 000
SF ₆	Svovelheksafluorid	SF ₆	22 800	3 200

Tabell 7 - GWP-verdier til noen klimagasser (Returgass, 2019).

Ved hjelp av slike tabeller kan en regne ut det globale oppvarmingspotensiale til en sum av klimagasser, der resultatet er et enkelt tall med tilhørende CO₂-ekvivalenter som benevnelse. Små utslipp av klimagasser med høy GWP-verdi vil da kunne ha stort globalt oppvarmingspotensiale (Miljødirektoratet, 2019).

4 Forskerspørsmål

Forskerspørsmålet studien betrakter vil være som følgende: «Hvor stor miljøpåvirkning har prefabrikkerte bæresystem sammenlignet med plass-støpte bæresystemer i betong?»

For å kunne gi et supplerende svar på forskerspørsmålet har følgende underspørsmål blitt utarbeidet:

- I. Hvordan kan Veidekke miljømessig bli bedre ved å benytte prefabrikkerte bæresystem fremfor plass-støpte system?

4.1 Mål

Oppgavens hovedmål er å kartlegge og sammenligne miljøpåvirkningen fra to ulike bæresystemer av betong, hvorav det ene består av prefabrikkerte betongelementer med betongresepter som anses som fullt oppnåelige for en totalentreprenør i dag, og det andre tar for seg referanseverdier for plass-støpt betong som anvendes i dag. Kartleggingen skal ta for seg en livsløpsanalyse av konstruksjonene fra «vugge til grav», og kunne anvendes som referanse for totalentreprenør, der det foreligger en indikator på forskjellen av miljøavtrykket.

4.2. Avgrensninger og hovedfokusområder

4.2.1 Avgrensninger

- I. Oppgaven tar kun høyde for mulige løsninger som er tilgjengelige for Veidekke entreprenør, gitt deres forutsetninger.
- II. Undersøkelser av tid knyttet til ferdigstillelse av bæresystemer tas ikke med i betraktning til gunstighet for hvert bæresystem.
- III. Undersøkelser av mulig økonomisk tap eller gevinst tas ikke med i betraktning for hvert bæresystem.
- IV. Dimensjonering av bæresystemer er utarbeidet på likt grunnlag. De er også utarbeidet for å gi en best mulig fremstilling av prosjekter som bygges i dag, fremfor optimaliserte bygg med fritt dimensjoneringsgrunnlag.

4.2.2 Hovedfokusområder

- I. Kartlegge tilgjengelige muligheter for optimalisering/forbedring av bæresystemer med hensyn på miljø for Veidekke.
- II. Kartlegge miljøpåvirkningen av bæresystemer gjennom hele dets livsløp.

- III. Kartlegge mulige forbedringer som kan bidra til utvikling og forbedring av bæresystemer basert på miljø.

5 Casestudie

For å utforske klimaavtrykkets skalarverdi til en optimalisert prefabrikkert konstruksjon sammenlignet med en plass-støpt konstruksjon vil studien ta for seg et casestudie. Casestudien består av et plass-støpt - og et prefabrikkert bygg. Målet er å synliggjøre de individuelle klimaavtrykkene gjennom byggenes levetid og sammenligne dem. For begge bygg vil det medfølge tilhørende livsløpsanalyser. Casestudien begrenses til å KUN undersøke og sammenligne de aktuelle bæresystemene.

Studien forsøker å se på det reduserte klimaavtrykket ved å optimalisere prefabrickerte bygg. Det prefabrickerte bygget vil ta i bruk diverse løsninger og metoder, herunder miljøvennlige resepter, miljøvennlige støpemetoder, spennarmering, hulldekker og andre løsninger for å optimalisere klimaavtrykket. Ved å anvende fordeler tilhørende prefabrickerte elementer vil byggets strukturelle karakter variere. Begge byggene skal overholde krav satt av undertegnede.

5.1 Krav og avgrensning

Byggene skal overholde visse krav relatert til spennlengder og avstand mellom diverse elementer. Dette for å sikre at konstruksjonene kan anvendes som tiltenkt. Utover dette vil det være mulig å flytte, fjerne og redigere strukturelle elementer for å optimalisere bygget.

For å sikre sammenlignbare bygg og livsløpsanalyser medfølger det avgrensninger. Avgrensningene er respektert og overholdt under utarbeidelse av begge byggene. Nevnte bygg er avgrenset til kun bæresystemet, der dekke mot grunn uteblir helt. Antall strukturelle komponenter i form av dekker og avstivende veggskiver skal være likt, mens antall søyler og bjelker vil variere. Begge bygg er bestående av en enkel geometrisk løsning, dette er ønskelig da avanserte og komplekse løsninger vil tilføre unødvendig støy for studiets formål. Transportavstand og transporttype av betongen til det plass-støpte bygget og de prefabrickerte elementene til det prefabrickerte bygget vil ikke bli inkludert. Transport er et høyst aktuelt tema og studien vil drøfte dette nærmere i kapittel «7.4 Transport og tilgjengelige ressurser» .

5.2 Felles last- og prosjekteringsgrunnlag

Anvendte standarder og publikasjoner er listet opp og gjennomgått i kapittel 2.7.6. Dette kapitlet tar for seg relevante punkter fra de forskjellige standardene og publikasjonene. Last- og prosjekteringsgrunnlag gjelder for begge bygg. Som gjennomgående nevnt i kapitlet består byggene av en enkel geometri, der dette skal sikre en pålitelig sammenligning. Det samme prinsippet er anvendt under utarbeidelse av prosjekteringsgrunnlaget, da dette vil føre til mindre støy og forskjeller mellom byggene. Det plass-

støpte bygget er det originale referansebygget. Utarbeidelse av det prefabrikkerte bygget baserer seg på det plass-støpte bygget, der det er gjennomført konstruksjonsmessige vurderinger som anses nødvendige for å optimalisere konstruksjonen. Dette er gitt for å kunne kombinere og utnytte de ulike fordelene med prefabrikkerte betongelementer, der konstruksjonen blir så miljøvennlig som mulig.

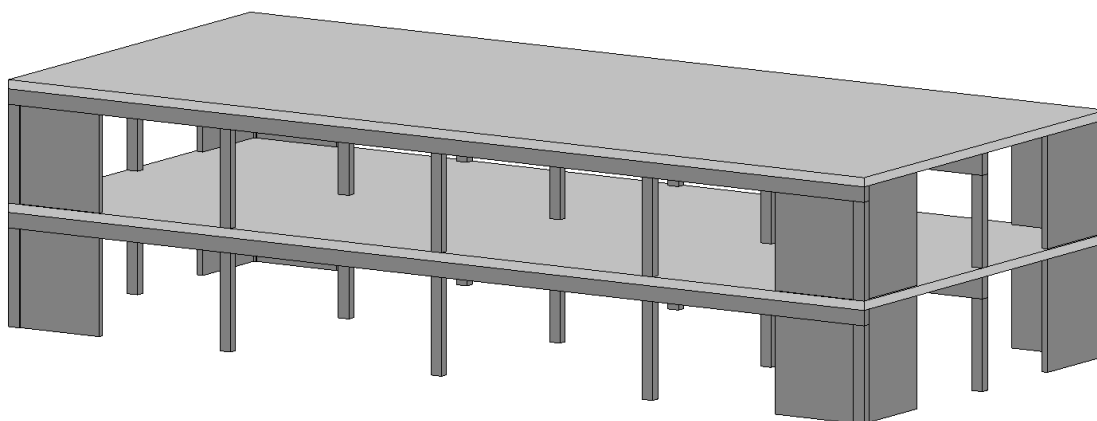
Last- og prosjekteringsgrunnlag for plass-støpt - og prefabrikkert bygg	
Laster første etasje:	Nyttelast Lager [5 kN/m ²]
Laster andre etasje:	Nyttelast Lager [5 kN/m ²] og Snølast 1,2 [kN/m ²]
Eksponeeringsklasse:	XC2
Dimensjonerende brukstid	50 år
Nedbøyningskrav:	L/250 inkludert kryp og riss
Betongkvalitet:	B35

Tabell 8 - Last- og prosjekteringsgrunnlag.

Tabellen over viser de viktigste punktene når det kommer til last- og prosjekteringsgrunnlag som gjelder byggene. Kravene er sammensatt av undertegnede og er utdrag fra standardene gjennomgått i kapittel 2.7.6.

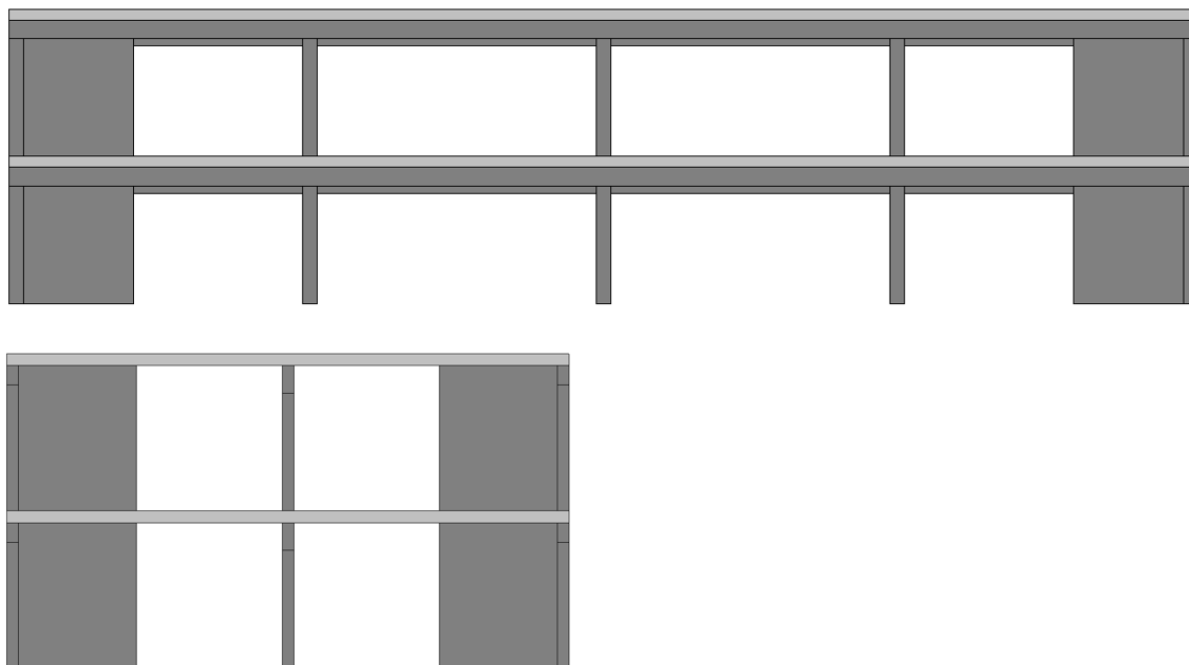
5.3 Plass-støpt bygg

Dimensjoner på dekke, bjelker, søyler og vegger er kalkulert for hånd, med tilhørende beregningsmodell i FEM-Design. Modellen i FEM-Design ble benyttet for å kontrollere håndberegningene og vice versa. Bygget er samtidig modellert i Revit for korrekt uthenting av masser. Grunnen til dette er at FEM-Design kalkulerer etter senterlinjer der det vil være overlappende masser i knutepunkt. Figur under er fra Revit. Det har også blitt brukt en «plug-in» i Revit fra One-Click LCA, der definerte masser har blitt kontrollsjekket.



Figur 20 - 3D-visning, plass-støpt bygg.

Byggets langside er 30,4 meter med tilhørende kortsiden på 14,3 meter, der målene går ytterkant til ytterkant. Dette resulterer i ett fotavtrykk på totalt 435 kvadratmeter. Bygget har totalt tre etasjer, da øverste dekke fungerer som åpent lager. Bygget består av 2 dekker, 16 vegger, 30 søyler og 6 bjelker. Ettersom dekke mot grunn uteblir beregnes livsløpsanalysen med 2 dekker / etasjer. Dette gjelder for begge konstruksjonene.



Figur 21 - Lang- og kortsiden, plass-støpt bygg.

Figur over viser bygget sett inn fra lang- og kortsiden. Dekket regnes kontinuerlig, men fritt opplagt på tre opplagere. Samme prinsipp gjelder for bjelkene, da de regnes kontinuerlig, men fritt opplagt på fem opplagere. Figuren tydeliggjør to bjelketyper, der det er forskjell på ytterbjelker og innerbjelke med henholdsvis tilhørende mål på 300x500 [mm] og 300x700 [mm]. Samtlige søyler i bygget er like, der tverrsnittmålene er 300x400 [mm]. Tykkelsen på dekker og vegger er henholdsvis 300 [mm] og 200 [mm]. Samtlige konstruksjonsdeler beregnes med betongkvalitet B35.

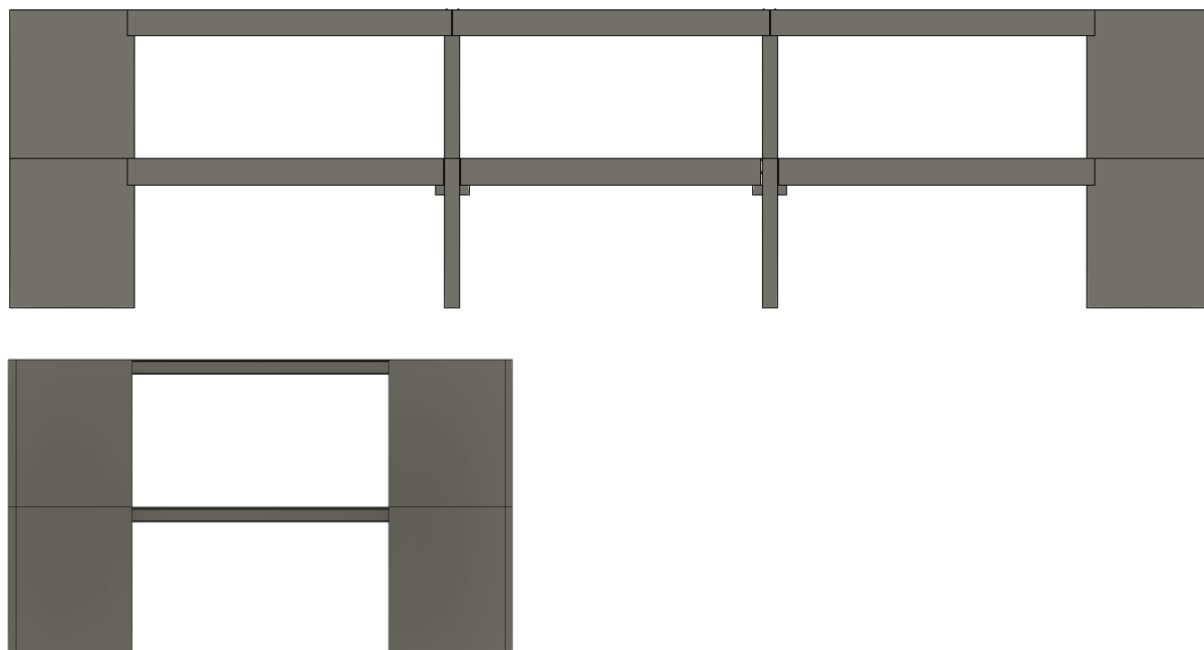
5.4 Prefabrikkert bygg

Bygget er utviklet i samarbeid med Block Berge Bygg. Bygget deler de samme utvendige målene som det plass-støpte bidraget, der grunnflaten også her tilsvarer 435 kvadratmeter. Bygget er tegnet i Revit der Block Berge har allerede prefabrikkerte elementer innlagt i programmet.



Figur 22 - 3D-visning, prefabrikkert bygg.

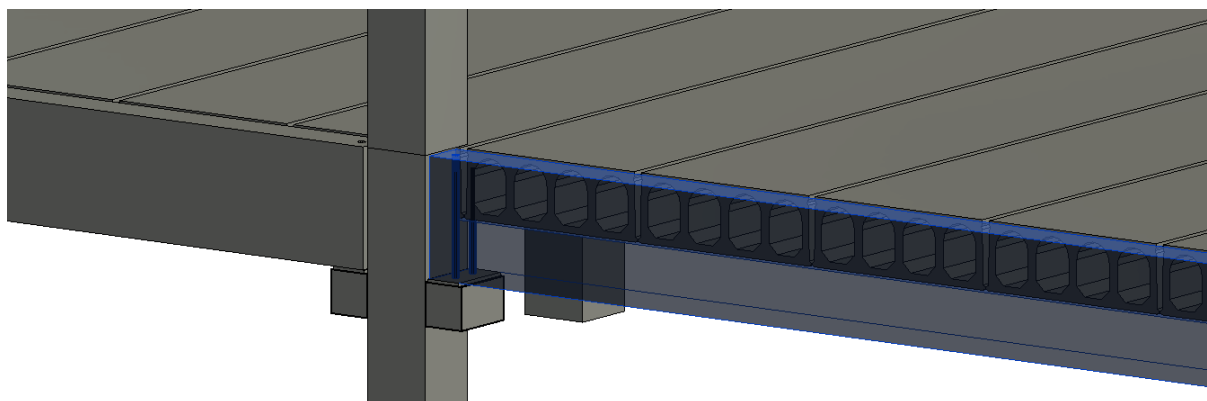
Figuren over viser tydelige forskjeller mellom byggene. De spennarmerte hulldekkene strekker seg vesentlig lengre enn plass-støpte dekker. Med dette er det mulig å avskrive hele søyle-/bjelkeraden i midten på kortsiden av bygget. Dette medfører signifikante mengdebesparelser i bygget. Bygget består totalt sett av 2 dekker, 16 vegger, 4 gjennomgående søyler og 12 bjelker.



Figur 23 - Lang- og kortsiden, prefabrikkert bygg.

Over er det prefabrikkerte bygget vist i Revit, da fra kort- og langsiden. Konstruksjonen ser tydelig mer slank ut en tilhørende sammenlignings bygg. Dekket spenner over 14 meter og gitt påførte laster er det tilstrekkelig med hulldekketykkelse på 400 [mm]. På hver side hviler dekket på L-formete bjelker, der de

er fritt opplagt. I motsetning til de kontinuerlige bjelkene i det plass-støpte bygget, er bjelkene delt opp over hvert opplegg.



Figur 24 - Dekke og dekkeopplager.

Figur viser hvordan hulldekket er utformet, samtidig hvordan det er lagt opp på de L-formede bjelkene. En ser også tydelig at dekket er delt opp i seksjoner som legges ved siden av hverandre. Her er også alle konstruksjonsdeler bestående av betongkvalitet B35.

Til sammenligning har det blitt utarbeidet en masseforholdstabell som vist under. En ser da samlet betongvolum for hver type konstruksjonsbestanddel for begge bygg, derav dekke, bjelker, søyler og vegger. Til høyre er totalt volum summert. Nederste rad viser masseforholdet i prosent for de nevnte konstruksjonsbestanddelene og totalt. Prefabrikkert bygg sammenlignes med plass-støpt bygg, der tilhørende og henholdsvis brøkverdier er teller og nevner.

	Dekke	Bjelker	Søyler	Vegg	Totalt
Plasstøpt					
Betong volum [m³]	278,0	33,0	11,3	33,1	355,4
Prefabrikkert					
Betong volum [m³]	185,3	28,9	5,1	41,6	261,0
Prefabrikkert / Plasstøpt					
Betong volum [m³]	67 %	87 %	45 %	126 %	73 %

Tabell 9 - Masseforhold

5.5 Livsløpsanalyse for plass-støpt- og prefabrikkert bygg

Livsløpsanalysene for hvert bygg er gjennomført med programvaren One Click LCA. Gjennomføringen av livsløpsanalysen er lik for begge byggene. Hvert enkelt element blir lagt inn med tilhørende EPD for elementet. EPD er nærmere forklart i kapittel 3.2.5.

For det plass-støpte bygget er det generiske EPD'er som benyttes, der disse stemmer overens med elementets materialistiske egenskaper. Generisk EPD omtales ofte som bransje-EPD. Man kan se på det som en gjennomsnitts-EPD, der flere produsenter samarbeider om å deklarerer samme type produkt. Det er ikke satt krav til størrelsesorden på variasjonen mellom produsentene. Eneste begrensingen er at produktet skal være likt. Det forventes at produsenter og leverandører oppgir variasjonsbredden for de ulike miljøpåvirkningskategoriene (EPD-Norge, 2019). For det prefabrikkerte bygget er det benyttet produktspesifikke EPD'er, der EPD utarbeides direkte av produsent / leverandør. Block Berge har lagt inn sine elementer på EPD-Norge. Da element og tilhørende EPD er konstruert, registrert og lagret i EPD-Norge, kan man enkelt hente denne gjennom anvendt programvare og sikre tilstrekkelige resultater. (EPD-Norge, 2019).

Etter valg av riktige og tilhørende EPD'er, skal mengden presenteres for hvert element. Mengdene kan legges inn med forskjellige benevnelse der oppgavens livsløpsanalyser har benyttet seg av areal og tykkelse, eller volum. Areal og tykkelse anses som å være mer presist da programmet med større sikkerhet kan kalkulere overflate av elementene. Det er ikke alle EPD'er som tillater valgfri benevnelse av data. Gjeldene for begge bygg er da søyler lagt inn med volum [m^3], og dekke, bjelker og vegger er lagt inn med areal og tilhørende tykkelse, henholdsvis [m^2] og [m].

EPD'er tilhørende de prefabrikkerte elementene inkluderer resirkulert armering. For de plass-støpte EPD'ene er det ikke inkludert armering som standardinnstilling. Det har da blitt lagt inn egne EPD'er, der armering inkluderes. Denne armeringen er også lagt inn som resirkulerbar. Armering legges inn med benevnelsen kilo, der totalt antall kilo i konstruksjonen er lagt inn.

For utførelse av miljøanalyse for casestudien anvendes EPD'er som reflekterer Veidekkes bruk av betong til betongproduksjon i dag. Den gitte betongen for begge bygg antas å tilfredsstillende lavkarbon klasse B og for hulldekker, klasse A. Dette gjøres for å kartlegge og evaluere dagens realistiske bruk.

Når korrekt EPD og mengder er oppgitt, skal data for transport og levetid legges inn i analysene.

Transport diskuteres videre i kapitel «7.4 Transport og tilgjengelig ressurs». Når overnevnte avsnitt

er lagt inn kan en summere og starte videre arbeid som inkluderer å tolke, analysere og sammenligne resultater.

6 Resultat

Kapitelet skal presentere resultatene knyttet til gjennomførte LCA-analyser. Nærmere beskrivelse av gjennomføringen er lagt under kapittel 5.5. Resultatene hentes direkte fra programvaren One-Click LCA, der utvalgt data presenteres grafisk. Resultatene uthentes og publiseres likt for begge analysene, der dette sikrer et likt sammenligningsgrunnlag. Det vil være en objektiv presentasjon av data, der diskusjon, tolkning og feilkilder er forbeholdt neste kapittel: «7 Diskusjon».

Livsløpsanalysen kalkulerer utslipp fra de to bæresystemene gjennom hele livsløpet til hver konstruksjon. Siden dette studiet er ment til å kunne anvendes som et oppslagsdokument for å gi en generell indikator på CO₂ utslipp for bæresystemene. Isolert sett har ikke energiforbruk, transport, vannforbruk og forurensing på byggeplass blitt tatt med i betraktning ettersom dette er avhengig av hvert enkelt prosjekt. Sosiale kostnader anses ikke å være relevant for denne studien og vil ikke bli gjennomgått i detalj, men tas med i den grad det kan være av relevans for leser.

For bæresystemet bestående av prefabrikkerte betongelementer forventes det et totalutslipp på 63 tonn CO₂-ekvivalenter gjennom hele dets livstid. Herunder stammer 50,5 tonn av dette utslippet fra hulldekkene, 10,5 tonn fra bæreveggene, og 2 tonn fra søyler og bjelker. Til sammen tilsvarer dette tilsvarer 1,37 kg [CO₂ e/ m² / år] om man tar brukbart areal og levetid med i betraktning, samt 30384kr sosiale kostnader for karbonutslipp.

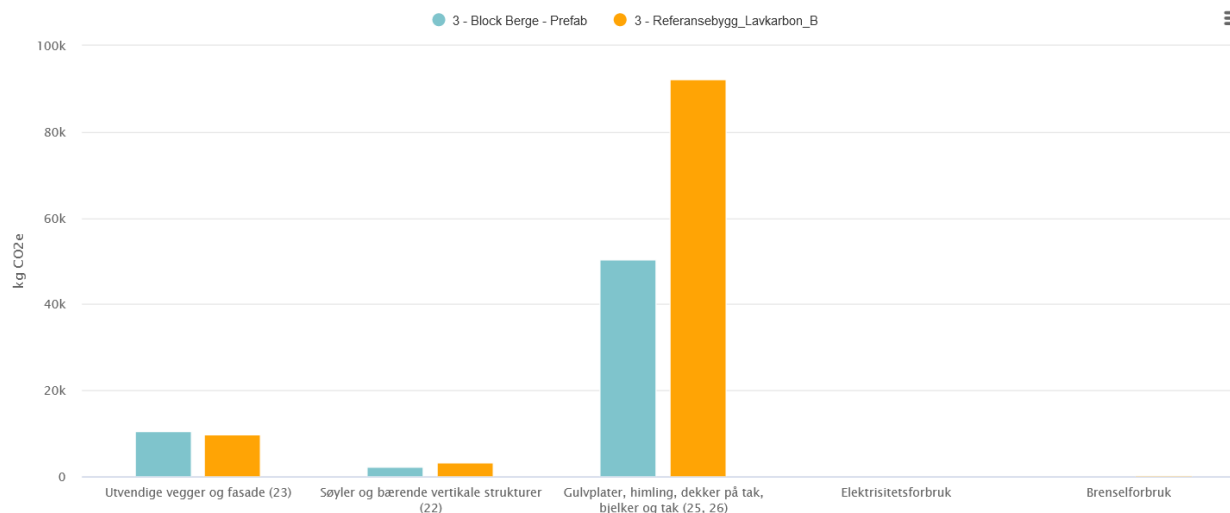
For bæresystemet bestående av plass-støpt betong forventes det et totalutslipp på 106 tonn CO₂-ekvivalenter gjennom hele dets livstid. Herunder stammer 92 tonn fra produksjon av betongdekke, 10 tonn fra bæreveggene, og 3 tonn fra søyler og bjelker. Til sammen tilsvarer dette tilsvarer 2,28 kg [CO₂ e/ m² / år], samt 50669kr sosiale kostnader for karbon.

	Plass-støpt	Prefabrikkert	Prefabrikkert / Plass-støpt
[Ton CO ₂ e]	106	63	60 %
[Kg CO ₂ e/m ² /år]	2,28	1,37	60 %
Sosiale kostnader [Kr]	50 669	30 384	60 %

Tabell 10 - Sammendrag utslipp (One-Click LCA, 2022).

Som en kan tyde av tabellen over tilsvarer det prefabrikkerte bygget 60 prosent av det plass-støpte. Gitt størrelsen på bygget og sosiale kostnader som er direkte knyttet til totalt utslipp vil 60 prosent være gjeldene for [CO₂ e/ m² / år] og sosiale kostnader også.

Følgende figur viser en sammenligning av utslipp knyttet til de ulike betongelementene i bæresystemene:



Figur 25 - Utslipp knyttet til betongelement (One-Click LCA, 2022).

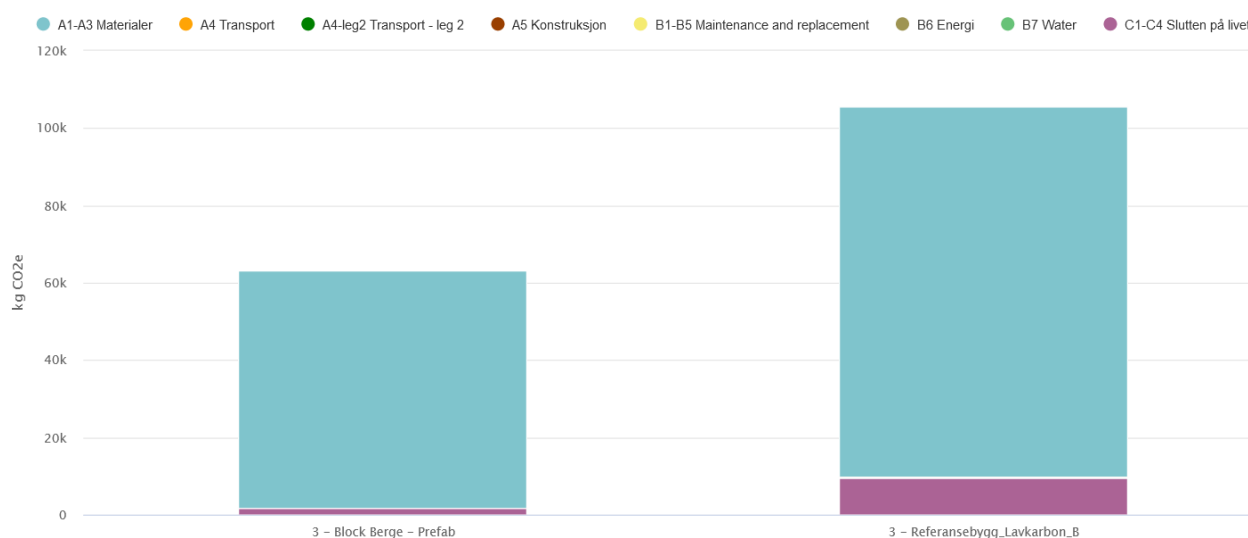
Grafen viser at for det plass-støpte bæresystemet er det i hovedsak dekkene som er årsaken til et høyere utslipp. For de avstivende veggene vil det prefabrikkerte bæresystemet ha høyere utslipp enn det plass-støpte bæresystemet. Dette skyldes at veggene i det prefabrikkerte bæresystemet i høyere grad er dimensjonert for å være bærende, ettersom en kan fjerne flere søyler.

Utslipet fra søyler og bjelker for det plass-støpte bæresystemet vil være et tonn høyere enn det prefabrikkerte bæresystemet. Dette skyldes at ved bruk av hulldekker kan en anvende lenger spennvidder, og av den grunn eliminere vertikale og horisontale bærende strukturer.

6.1 Sammenligning livsløpsanalyser

Ved å analysere hvert enkelt bæresystem har bare utslipp knyttet til materialer og riving av konstruksjonen blitt tatt med i betraktningen. Ettersom faktorene transport, utbygging, vedlikehold, energiforbruk og vannforbruk er bestemte faktorer for hvert enkelt prosjekt, og bæresystemene er prosjektert etter samme krav anses disse som mindre relevant for å oppnå en helhetlig sammenligning til oppgavens formål.

Følgende figur viser beregnede verdier for utslippet knyttet til materialer og «slutten på livet» av hvert bæresystem:



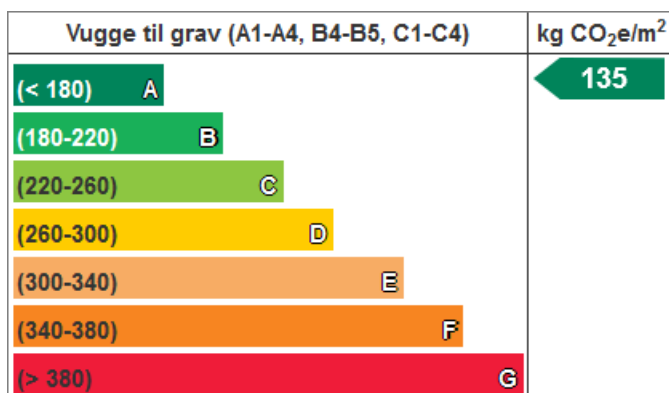
Figur 26 - Utslipp knyttet til «slutten på livet» (One-Click LCA, 2022).

For det prefabrikkerte bæresystemet beregnes utslippet knyttet til materialer å være 61,5 tonn CO₂-ekvivalenter, og for det plass-støpte bæresystemet beregnes det å være 95,8 tonn CO₂-ekvivalenter. Utslipp knyttet til «slutten på livet» av det prefabrikkerte bæresystemet beregnes å være 1,6 tonn CO₂-ekvivalenter, og 9,4 tonn for det plass-støpte bæresystemet.

6.2 Carbon Heroes Benchmark

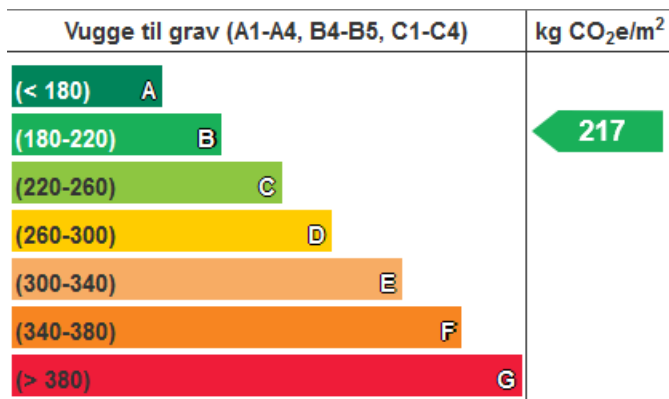
Carbon Heroes Benchmark er et verktøy utviklet av One Click LCA i samarbeid med nasjonale aktører fra land som ønsker å anvende verktøyet. I Norge er det Statsbygg som er samarbeidspartner med One Click LCA, og som har bidratt med utviklingen for de norske sammenligningsverdiene.

For det prefabrikkerte bæresystemet forventes følgende benchmark å kunne oppnås:



Figur 27 - Carbon Hero Benchmark, plass-støpt (One-Click LCA, 2022).

For det plass-støpte bæresystemet forventes følgende benchmark å kunne oppnås:



Figur 28 - Carbon Hero Benchmark, Prefabrikkert (One-Click LCA, 2022).

Bæresystemet bestående av prefabrikkerte betongelementer tilfredstiller kravene for karakter A, mens det plass-støpte bæresystemet tilfredstiller kravene for karakter B. Det er viktig å merke seg at dette er bare bæresystemene isolert sett. For å oppnå denne karakteren må utslippet fra prosessene som kreves for å ferdigstille konstruksjonen for sitt bestemte bruk ikke overskride det gitte kravet for hver enkelt karakter. Det er dermed ikke sikkert at de ferdige konstruksjonene ville merkes med samme benchmark.

7 Diskusjon

Følgende kapittel diskuterer resultater fra livsløpsanalysen, samt presentere og diskutere relevante faktorer som er avgjørende for de to bæresystemene. Disse faktorene er ikke bare knyttet til det beregnede resultatet for utslipp fra bæresystemene, men også relevante for hvor gunstig en valgt løsning vil være sammenlignet med en annen. Målet for arbeidet i denne masteroppgaven er i hovedsak å presentere en sammenligning som kan anvendes på generell basis, og dermed anses det som essensielt å inkludere fordeler og ulemper relatert til gjennomførbarhet. Faktorer som økonomi og tid avhenger av utførende entreprenør og marked, og anses dermed som en vurdering som må evalueres av entreprenøren som ønsker å anvende denne oppgaven gitt dens forutsetninger for gjennomførbarhet. Det skal også merkes, som tidligere nevnt, at denne masteroppgaven er utarbeidet i samarbeid med Veidekke Entreprenør, og vil av den grunn rette søkelys på de forutsetningene som Veidekke har i skrivende stund.

7.1 Livsløpsanalyse – One Click LCA

Resultatene som presenteres fra livsløpsanalysen i forrige kapitel («6 Resultat») tyder på en betraktelig reduksjon i utslipp av CO₂-ekvivalenter ved valg av prefabrikkerte betongelementer sammenlignet med plass-støpte betongelementer. For analysen er hele konstruksjonen vurdert som enten prefabrikkert, eller plass-støpt. Analysen viser også at den største bidragsyteren for reduksjonen til den prefabrikkerte konstruksjonen skyldes i hovedsak hulldekkenes reduserte betongmengde, og muligheten til å fjerne bærende elementer grunnet lengre spenn for hulldekker.

7.2 Hulldekke – produksjon

Produksjon av hulldekker på fabrikk muliggjør støping i mer kontrollerte omgivelser sammenlignet med plass-støpte dekker. En stor fordel er at flere typer betongresepter kan anvendes. Dette kan gjøre det lettere for elementfabrikker å anvende mer miljøvennlig betong enn det som er mulig for plass-støpt betong.

Et eksempel på dette er lavvarme betong. Lavvarme betong består ofte av en høyere mengde slagg, flyveaske eller pozzolaner, og mindre mengder sement i resepten, som kan resultere i lavere utslipp for hvert element. Om dette hadde blitt anvendt for den prefabrikkerte - og den plass-støpte konstruksjonen ville det hatt positivt utslag, der en vil se betydelig reduksjon i utslipp av CO₂-ekvivalenter. Lavvarmebetong krever ofte lenger tid til å herde og oppnå ønsket fasthet. Et døme på slik betong kan oppnås i dag ved bruk av sementtypen [CEM III/B 42,5 L-LH/SR (na)] som er en form for

lavvarmesement. (Hindenes, 2022) For fabrikken er det essensielt for drift og lønnsomhet å ha elementer med kortere herdetid, der de raskere får elementer ut av lager. Dette skyldes begrensninger på lagringsplass, og korte frister for leveranse. Lav herdetid er også kritisk for å få hulldekkene ut av former, ettersom nye dekker skal produseres fortløpende.

Fabrikker anser ofte produksjon av hulldekker bestående av lavvarmebetong som spesialbestillinger. Dette er dermed ofte ikke økonomisk gunstig for entreprenør. Lang herdetid for lavvarmebetong kan også være ugunstig for spennarmerte elementer, da slike elementer ofte må ha påførte laster innen gitt fasthet er utviklet. Satsing på økt lagringskapasitet, reseptutvikling og en lengre leveransefrist kan gjøre metoder som i dag ikke er gunstig til mer gunstige og lønnsomme løsninger i fremtiden, der strengere miljøkrav også er tilfredsstilt. Det er ikke tvil om at fremtidens miljøkravene blir strengere, og en slik satsing kan allerede bidra til å muliggjøre ny forskning på betongresepter, der formål er å produsere hulldekker som tilfredsstiller fremtidige miljøkrav samtidig som de er økonomisk gunstig for involverte parter.

7.3 Plass-støpt betong

Bæresystemer bestående av plass-støpt betong har ofte mindre transportbehov enn prefabrickerte betongelementer. (Revfem, 2018)

Bruk av plass-støpt betong i enkelte byggeprosjekter kan by på bedre plassutnyttelse og lavere byggehøyde for konstruksjoner. Dette er faktorer som ikke har direkte påvirkning på miljøet i casestudien, men som kan være av betydning ved andre byggeprosjekt. Ved slike konstruksjoner kan plass-støpte løsningsers gevinst fra transport, byggehøyde og plassutnyttelse være stor nok til å fremme en plass-støpt løsning. For mange entreprenører er kompetansen innenfor en løsning sammenlignet med en annen også avgjørende for valg bæresystem. (Revfem, 2018)

Det satses innen betongteknologi til bruk i dagens plass-støpte bæresystemer. CEM III/B som nevnt tidligere er en lavvarmesement som anvendes for å produsere lavvarmebetong med svært lavt karbonutslipp. Problemet med resepten i dag er at om vinteren kan den eksoterme prosessen være lav sammenlignet med andre resepter, som resulterer i at herdeprosessen kan stoppe opp. Dette medfører en betongen som ikke er gunstig til bruk om vinteren i dag. En løsning kan være varmetilføring til betongen, der en lavvarmeresept kunne blitt anvendt. Type form for varmetilførelse som kan anvendes vil avhenge av det bestemte prosjektet. Eksempelvis, vil støpning av et varmerør i betongen være gunstig om røret også kan anvendes til praktisk bruk etter bygget ferdigstilles.

7.4 Transport og tilgjengelige ressurser

Prosjekter der eventuell betongelementfabrikker er lokalisert lenger borte fra prosjektet enn en betongleverandør, kan en kombinasjon mellom de to løsningene vise seg å være en bedre løsning med hensyn på miljøet (Lea, 2022). Dette medfører at de plass-støpte betongelementene må passe sammen med de prefabrikkerte betongelementene, og de prefabrikkerte betongelementene må produseres til å muliggjøre videre arbeid med plass-støpt betong. Prosjektering og planlegging av valg av bæresystem i tidlig fase vil dermed være avgjørende for gjennomførbarheten av en slik løsning. (Lea, 2022)

Transport vil være en viktig faktor under planlegging og valg av bæresystem for entreprenørene (Denk, 2022). Plass-støpte betongelementer anvender fersk betong som leveres med betongbil fra produsent. Mens prefabrikkerte betongelementer leveres ofte med trailer, og monteres på byggeplass ved hjelp av en kran. Kranen som anvendes til montering krever ofte større kapasitet og mobilitet enn det som ofte anvendes på generell basis på byggeplass i dag. Gjennomføringen og montering krever ikke bare transport av betongelementene, men også eventuelt av monteringspersonell, og kran med kapasitet til å montere elementene. For LCA-analyser hvor One Click LCA anvender kalkulasjoner, blir ikke hver enkelt entreprenørs mulighet til gjennomføring tatt med i betraktning. En og samme entreprenørs tilgjengelighet på ressurser varierer fra tid til annen basert på antall prosjekter de har til en tid, og hvor mye ressurser de ulike prosjekter opptar. Casestudiet og studien velger derfor å se bort fra dette da dette er spesifikt for hver enkelt entreprenør til en bestemt tid. (Denk, 2022)

Eksempelvis, for Veidekke Bergen kan en kombinert løsning for prosjekter i Bergensområde være en gunstig løsning. I Veidekke Bergen anvendes mye plass-støpt betong for ferdigstillelse av bæresystemer. Block Berge Bygg sin fabrikk ligger lokalisert på Klepp, utenfor Stavanger, og vil dermed kreve betraktelig lenger transport enn betong til plass-støpt. Tilgjengeligheten av personell og kran vil også her variere fra tid til annen. (Olsen, 2022)

7.5 Gjenbruk og rivning av bærekonstruksjoner og elementer

Rivning av konstruksjoner er en prosess som fører med seg utslipp ved utførelse. Gjenbruk av bærekonstruksjoner undersøkes i byggsektoren i dag, og hvilke metoder en skal satse på vil være viktig i utviklingen av sektoren for å imøtekomme morgendagens miljøkrav.

I dag må entreprenørene som skal følge miljøkravkrav minske utslippene. Det er noe de både ønsker, og har muligheten til, men kravene er avgjørende for hvilken form for utvikling som vil være økonomisk gunstig for dem. Hvordan en skal vurdere en bygnings utslipp ved enden av dens liv er avgjørende for

hvordan entreprenørene velger å gå frem med byggingen. Prosjektering og dimensjonering med hensyn på hva som skjer ved slutten av en konstruksjons levetid gagnar i dag det «nye» bygget som skal ta dets plass. (Stoveland, 2022)

Om en klarer å utvikle prefabrikkerte betongelementer som kan demonteres og anvendes til andre konstruksjoner i fremtiden vil det gagne den fremtidige bygningens klimaavtrykk, og ikke «dagens». Det fører til at entreprenører og aktører som ønsker å utvikle gjenbrukbare betongelementer til det første bygget, både i form av plass-støpte - og prefabrikkerte betongelementer vil redusere sin egen konkurransedyktighet under anbud, da dette ofte er en økonomisk påkjenning. (Stoveland, 2022)

Betongelementer som kan demonteres og anvendes på nytt kan være en gunstig form for å redusere vårt klimaavtrykk fra byggsektoren i fremtiden. Det krever imidlertid at entreprenørene som ønsker å utvikle dette kan gjøre dette uten å gi fra seg de klimaregnskapelige fordelene. Det vil også kreve en utbredelse av hva som må til for å sikre sikker drift og bruk. Eksempelvis må det være klare krav til elementer som skal gjenbrukes, og undersøkelser som sikrer at disse kravene er tilfredsstilte. Satsing innenfor denne form for gjenbruk vil derfor kreve forskning og utvikling for å kunne optimaliseres, men anses ikke som et gunstig eller realistisk satsningsområde slik dagens form for miljøregnskap er lagt frem. (Stoveland, 2022)

7.6 Gjenbruk av eksisterende bæresystemer

Gjenbruk av eksisterende bæresystemer anvendes den dag i dag. For en livsløpsanalyse av en konstruksjon vil dette tilsvare en betraktelig stor reduksjon i materialer og prosesser som går med i utbyggingen av bæresystemer, og dermed også miljøavtrykket fra utbyggingen. Stord Helsepark er et eksempel på slik form av gjenbruk. Stord Helsepark sitt bæresystem består i stor grad av gjenbrukt bæresystem. Ved utbygging av Helseparken ble tre bæresystemer undersøkt og evaluert. De viste seg å være overdimensjonert og i god stand. (Hindenes, 2022)



Figur 29 - Stord Helsepark (Veidekke, 2021)

Dette medførte at Veidekke kunne anvende bæresystemet i de tre eksisterende konstruksjonene, bygde to nye etasjer og knyttet overnevnte sammen. Prosjektet ble slik grunnet økonomiske fordeler, men kan også være gunstig for oppnåelse av miljømessige krav.

For å bruke dagens bærekonstruksjoner som fremtidens bærekonstruksjoner, må det dimensjoneres med fokus på økt levetid. Grundig dokumentasjon av utføring og dimensjoneringstegninger vil også være essensielt for å kunne anvende bæresystemene videre og gi de nytt liv. (Hindenes, 2022)

7.7 Utvikling av mer miljøvennlige bæresystemer

Denne studien har som fokus å se på CO₂-utslipp, og andre klimagasser blir ikke betraktet i denne oppgaven. Når en ser på CO₂-utslippene fra betongproduksjon er anvendt betongresept viktig. Utviklingen av betongreseppter som gir mindre utslipp er allerede på god vei, men betongreseptene kan fortsatt bli bedre.

For produksjon av hulldekker har en som nevnt muligheten til å støpe betongelementene i mer kontrollerte omgivelser enn om man plass-støper. I dag har bransjen mulighet til å produsere svært miljøvennlige betongelementer, men er begrenset av økonomiske og tidsmessige faktorer. Et eksempel på slike elementer er elementer laget av lavvarmesement. (Byggforsk, 2016)

Block Berge Bygg har blitt intervjuet der de forklarer hvordan de arbeider for å forbedre produksjonen videre. Block Berge Bygg forsøker i nær fremtid å overholde kravet «Pluss» fra publikasjonen NB37's.

Dagens løsninger ved Block Berge Bygg anvender rundt 75% CEMII, og 25% CEMI sementer ved deres produksjon. Anvendelse av CEMI er i hovedsak knyttet til elementer som behøver kort herdetid, der den er på rundt seks timer. De tilrettelegger samtidig for spesialbestillinger av hulldekker, der en kan forvente å motta hulldekker som tilfredsstillende NB37`'s krav for Lavkarbonklasse A. (Lea, 2022)

I Block Berge Bygg investeres det i nye kjemipumper og styringssystem for å bedre kunne undersøke og kontrollere støpeprosessen. Block Berge Bygg har gjennomgått forbedringsarbeid med hensyn på miljø siden 2015, og har med dette redusert utslippene med 2065 tonn CO₂-ekvivalenter sammenlignet med år 2021. Under videre utvikling forventer Block Berge Bygg å kunne implementere bruk av CEMIII sementer i sine resepter for å kunne oppnå klassen «Pluss» under standardproduksjon. Med slikt fokus og slik utvikling vil en kunne produsere miljøvennlig betong til alle. Produksjon av prefabrikkerte betongelementer gir også mindre svinn sammenlignet med plass-støpt. Det svinn som allerede er produsert hos Block Berge Bygg får liv og brukes videre til å produsere simple elementer til privatpersoner, der prisen tilsvarer produksjonskostnaden. (Lea, 2022)

Produksjon hvor plass-støpt betong anvendes er det i dag lettere å bruke mer miljøgunstig betong. Resultatene fra livsløpsanalysen viser at for søyler, vegger og bjelker er det ikke like stor forskjell på miljøavtrykket som for etasjeskiller. Ved plass-støpte elementer vil det være mulig å tilrettelegge for mer miljøvennlige betongresepter, som CEMIII/B 42,5 L-LH/SR. Dette kan gjøre en kombinasjon mellom prefabrikkerte og plass-støpte til en gunstig løsning. (Lea, 2022)

7.7.1 Karbonfangst

CCS – Carbon Capture and Storage, eller, karbonfangst forskes det aktivt på. I forbrenningsprosessen ved sementproduksjon ser en store utslipp av karbondioksid. CCS forskes aktivt på av blant annet Norcem, Aker Carbon Capture og Gassnova. Det har stort potensiale for å redusere utslippene knyttet til sementproduksjonen, og kan være en essensiell medvirker til å nå fremtidens mål for miljø. For produksjon av både plass-støpt og prefabrikkerte betongelementer kan dette bidra med enda mer miljøvennlige betongelementer. (Lea, 2022) (Berge, 2022)

7.8 Mengder og materialer

Fremtidens løsningen må sees i sammenheng gjennom et helt livsløp, der flere faktorer spiller inn. Eksempelvis vil en kunne redusere arealet i ett tverrsnitt ved å øke betongkvaliteten. Bedre betong vil ofte ha høyere utslipp per kubikkmeter, men i eksempelet vil det være behov for mindre betong. Vil da redusert betongvolum gjøre opp for det økte utslippet per kubikkmeter? Dette svaret vil være

situasjonsbasert. En annen problemstilling kan være å sammenligne to geometrisk like betongelementer, støpt med forskjellig betongkvalitet. Vil økt betongkvalitet medføre mindre reparasjoner, eller mulighet for gjenbruk i neste prosjekt? Om man analyserer en løsning som inkluderer prefabrikkerte elementer med spennarmering og høy betongkvalitet vil en kunne maksimere spennlengder, og muligens annullere hele og flere elementer. Noen situasjoner vil fremprovosere en entydig løsning, der andre vil være tvetydig og vanskelig å avgjøre. Det er som diskutert over mange forskjellige og interessante problemstillinger. Fremtiden krever ingeniører med høy kompetanse innen konstruksjoner og materialer, der en arbeider for å implementere og realisere de beste og mest miljøvennlige løsningene.

7.9 Feilkilder

De teoretiske analysene vil ha feilkilder. For å gi lesere og andre interesserte et realistisk og bedre overblikk av studien er det viktig å kartlegge og informere om disse. Kapitlet vil ta for seg diverse feilkilder og synliggjøre omfanget av dem.

En grunnleggende feilkilde er avgrensningen til oppgaven, der den resulterer i avvik fra virkeligheten allerede før arbeidet starter. Gjennom studien har målet vært å isolere fremfor å avgrense, til den grad det lar seg gjøre. Dette forsøkes ved å la casestudien omhandle to bygg med samme avgrensninger. På denne måten vil resultatene avvike mer fra virkeligheten enn fra hverandre og casestudien vil sikre sammenlignbare resultater.

Under gjennomføring av LCA-analysene er det blitt benyttet generiske- og produktspesifikke EPD'er for henholdsvis det plass-støpte – og prefabrikkerte bygget. En mer detaljert beskrivelse av generiske- og produktspesifikke EPD'er kan leses under avsnitt 2, kapittel 5.5. Som en kan tyde av avsnittet vil det foreligge større feilkilder knyttet til det plass-støpte sammenlignet med det prefabrikkerte. Studiet anser Block Berge sine produktspesifikke EPD'er som relativt nøyaktige, der generiske bransje EPD'er vil inneha et standardavvik. Størrelsen og hvorvidt standardavviket vil være et positivt eller negativt bidrag for det plass-støpte bygget forblir et åpent spørsmål utenfor omfanget av studien.

Som nevnt under tredje avsnitt i kapittel 5.5, vil det foreligge en feilkilde knyttet til inputdata når en benytter seg av EPD'er. De fleste, men ikke alle EPD'er tillater valgfri benevnelse av mengder. Det har resultert i at noen elementer er lagt inn som kubikkmeter og andre som overflateareal og tykkelse. Feilkilden anses som relativ liten, men er hensiktsmessig å belyse.

Under utarbeidelse er det forsøkt å optimalisere byggene, der det er ønskelig å bruke så lite betong som mulig. Det er gitt, men felles avgrensinger og standarder skal respekteres og overholdes. Likevel nevnes dette som en feilkilde da det prefabrikkerte bygget anses som optimalisert i høyere grad, da dette er utarbeidet i samarbeid med profesjonelt personell fra Block Berge. Feilkilden anses som liten, men hensiktsmessig å belyse.

8 Konklusjon

Konklusjon på resultater og casestudien viser klart at den prefabrikkerte løsningen kommer best ut med lavere og bedre verdier for henholdsvis utslipp og Carbon Hero Benchmark. Det prefabrikkerte bygget, gitt avgrensninger, har et klimaavtrykk på 60 prosent sammenlignet med det plass-støpte bygget og tilhørende Carbon Hero Benchmark på Karakter A sammenlignet med B. Forholdet mellom masse og utslipp fra de to bæresystemene viser at det reduserte utslippet ikke bare skyldes betongmengde. Det prefabrikkerte bæresystemet konsumerer 73 prosent betong, samtidig som det slipper ut 60 prosent CO₂ sammenlignet med det plass-støpte bæresystemet. Dette skyldes betong som slipper ut mindre CO₂ per kubikkmeter gjennom dets livstid.

For å svare på underspørsmålet fremmer Kapittel 7 diskusjon flere punkter der valgt bæresystem må ses, betraktes og skreddersys hvert enkelt prosjekt. Dette kommer av variabler som aldri vil være like for ulike prosjekter. Ved anvendelse og bruk av prefabrikkerte bæresystemer er det i hovedsak hulldekker som er størst bidragsyter for miljøgevinst. Det vil være viktig for en totalentreprenør som Veidekke og utbedre bredere tilgang på hulldekker i områder hvor tilgang er begrenset. Der dette fortsatt er problematisk, vil en kombinasjon av prefabrikkert hulldekker og plass-støpt vegger, søyler og bjelker være en god løsning. I hvilke grad, og om andre prefabrikkerte elementer skal inkluderes vil være spesifikt for hvert prosjekt. Dermed, for at en totalentreprenør som Veidekke skal utvikle seg miljømessig ved å benytte prefabrikkerte bæresystem tyder studien på at prosjekter må ses i sin spesielle helhet, der kvalifisert og velinformert personell må utarbeide de spesifikke kombinasjonene som tilpasses for ønsket miljøgevinst. De spesifikke løsningene skal ikke bare nå fremtidens miljøkrav, men må også utarbeides innen akseptable krav innen økonomi og tid.

9 Videre arbeid

Under utarbeidelse av studien er det redegjort for antagelser og avgrensinger gjort for å sikre studiens formål. Et naturlig videre arbeid vil være å redusere omfanget av antagelser og avgrensninger, der ny studie ville blitt mer detaljert.

Andre og mer konkrete punkter som er av interesse å undersøke videre vil være:

- Studere utviklingen og tilgjengeligheten av elementfabrikker, der en undersøker hvilke grad en kan implementere lavvarmebetong som standardelement.
- Føre økonomisk regnskap og tidsplan tilhørende casestudiet, der en konkluderer innen disse aktuelle temaene.
- Kartlegge hvordan en kan kombinere plass-støpte og prefabrikkerte elementer for å sammen oppnå best mulige økonomiske, tidsmessige og miljømessige resultater.

Kilder

A1Consult, 2018. *A1Consult*. [Online]

Available at: <http://a1consult.no/kompetanse/betong/>

[Accessed 23 03 2022].

Almeida, J. F., 2022. *Tensile reinforcement*, Lisboa: Joao F. Almeida, Tecnico Lisboa.

AutoDesk, 2022. *AutoDesk*. [Online]

Available at: <https://www.autodesk.no/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription#revit-intro>

[Accessed 05 04 2022].

Berge, B., 2022. *prefabrikkert betong elementer, med hensyn på miljø*. [Interview] (18 03 2022).

Berkely, 2003. *UC Berkeley News*. [Online]

Available at: https://www.berkeley.edu/news/media/releases/2003/11/18_lin.shtml

[Accessed 04 19 2022].

BetongFokus, 2022. *2022*. [Online]

Available at: <https://www.betongfokus.no/2022/03/10/sirkularitet-og-gjenbruk-av-betong/>

[Accessed 11 03 2022].

Birkeland, E. B. o. K., 2018. *Bestandighet og holdninger til flerspenns prefabrikkerte brokonstruksjoner*, Kristiansand : UIA.

Bjørnstad, L., 2016. *forskning*. [Online]

Available at: <https://forskning.no/bygningsmaterialer-klima/kan-vi-bruke-betong-med-god-klimasamvittighet/379248>

[Accessed 07 03 2022].

Bjørnstad, L., 2016. *Forskning*. [Online]

Available at: <https://forskning.no/bygningsmaterialer-klima/kan-vi-bruke-betong-med-god-klimasamvittighet/379248>

[Accessed 16 03 2022].

BP, 2021. *Changing Energy mix*, London: BP.

BP, 2021. *Statistical Review og World Energy*, London: BP.

Bramslev, K., 2021. *Grønn Byggallianse konferanse*. Oslo, Grønn Byggallianse.

Byggeindustrien, 2018. *Byggeindustrien*. [Online]

Available at: <https://www.byggevaerindustrien.no/nyheter-2018/ns-3720-klimagassberegninger/>

[Accessed 07 08 2022].

Byggforsk, 2016. *Betong. Typer, egenskaper og bruksområder*, Oslo: Byggforsk.

Byggforsk, 2016. *Byggforsk*. [Online]

Available at:

https://www.byggforsk.no/dokument/589/semnt_typer_egenskaper_ogBruksomraader#i8
[Accessed 09 03 2022].

Byggforsk, 2016. *Sement. Typer, egenskaper og bruksområder*. Oslo: Byggforsk.

Bøe, M. V., 2021. *Store Norske Leksikon*. [Online]
Available at: <https://snl.no/energi>
[Accessed 21 03 2022].

CE Berkeley, 2018. *Civil and environmental Engineering*. [Online]
Available at: <https://ce.berkeley.edu/news/2035>
[Accessed 19 04 2022].

City Steinhuis, 2022. *CitySteinhuis*. [Online]
Available at: <https://citysteinhus.no/konstruksjon-2/hulldekker/>
[Accessed 20 05 2022].

Datis-Inc., 2020. *Datis-Inc.*. [Online]
Available at: <https://datis-inc.com/blog/clinker-calcination/>
[Accessed 20 03 2022].

Delatte, N. J., 2001. Lessons from Romancement and concrete . In: *Lessons from Romancement and concrete* . London: ASCE, p. 8.

Denk, A., 2022. *Veiledningsmøte mars* [Interview] (05 03 2022).

Digi, 2021. *Digi*. [Online]
Available at: <https://www.digi.no/artikler/bergen-har-fatt-en-medie-og-it-klynge-som-skaper-engasjement-og-nye-muligheter-na-rykker-ogsaa-ibm-inn-i-bygget/405383>
[Accessed 12 03 2022].

Direktoratet for byggkvalitet, 2018. *Direktoratet for byggkvalitet*. [Online]
Available at: <https://dibk.no/verktoy-og-veivisere/energi/ombruk-av-byggevarer--hvilke-krav-ma-oppfylles/>
[Accessed 02 03 2022].

EPD Norge, 2021. *EPD Norge*. [Online]
Available at: <https://www.estatevest.no/media-city-bergen-nominert-til-internasjonalmiljopris/>
[Accessed 22 03 2022].

EPD-Norge, 2019. *EPD-Norge*. [Online]
Available at: <https://www.epd-norge.no/getfile.php/1321663-1637233134/Dokumenter/Hvilke%20typer%20EPDer%20finner%20og%20hvordan%20er%20de%20forskjellige%20korr181121.pdf>
[Accessed 25 04 2022].

Equinor, 2019. *Equinor*. [Online]
Available at: <https://www.equinor.com/no/energi/karbonfangst-utnyttelse-og-lagring?e93a3fa409d4=0&e93a3fa409d4=1&e93a3fa409d4=3&e93a3fa409d4=4>
[Accessed 27 05 2022].

FN-Sambandet, 2019. *Klimaendringer*. s.l., s.n.

FocusSoftware, 2020. *FocusSoftware*. [Online]
Available at: <https://www.focus.no/produkter/ove-sletten/>
[Accessed 23 04 2022].

Fosså, K. T., 2022. *Veiledningsmøte III* [Interview] (24 03 2022).

Freyssinet, 2020. *Freyssynet*. [Online]
Available at: <https://www.freyssinet.com/corporate/where-we-come-from/>
[Accessed 24 04 2022].

Gcp, 2020. *Gcp*. [Online]
Available at: <https://gcpat.mx/es-la/about-gcp-applied-technologies>
[Accessed 20 05 2022].

Gorkum, C. v., 2010. *TU Delft*. [Online]
Available at: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:10b5fa56-432f-4188-a927-26f29d509681>
[Accessed 02 03 2022].

Grønmo, S., 2020. *Store norske leksikon*. [Online]
Available at: https://snl.no/kvalitativ_metode
[Accessed 07 03 2022].

Grønmo, S., 2020. *Store norske leksikon*. [Online]
Available at: <https://snl.no/case-studie>
[Accessed 07 03 2022].

Grønmo, S., 2021. *Store norske leksikon*. [Online]
Available at: https://snl.no/kvalitativ_metode
[Accessed 07 03 2022].

Grønn byggeallianse, 2020. *Byggalliansen*. [Online]
Available at: <https://byggalliansen.no/kunnskapscenter/publikasjoner/infopakkeklimakjempen/>
[Accessed 15 03 2022].

Halleraker, J. H., 2021. *Store Norske Leksikon*. [Online]
Available at: https://snl.no/fornybar_energi
[Accessed 21 03 2022].

Hindenes, A., 2022. *Masterveiledning 2022* [Interview] (18 05 2022).

Hofstad, K., 2021. *Store Norske Leksikon*. [Online]
Available at: <https://snl.no/energikilder>
[Accessed 21 03 2022].

Jackson, M. D., 2017. *American Mineralogist*. [Online]
Available at: <https://pubs.geoscienceworld.org/msa/ammin/article/102/7/1435/353606/Phillipsite-and->

Al-tobermorite-mineral-cements

[Accessed 10 03 2022].

Jan Ingar Thon, 2014. *Pantheon fra visjon til virkelighet*, Oslo: Jan Ingar Thon.

Klimastiftelsen, 2021. *Klimastiftelsen*. [Online]

Available at: <https://klimastiftelsen.no/publikasjoner/klimastatus-2021/>

[Accessed 20 03 2022].

Kontrollbetong, 2018. *Kontrollbetong*. [Online]

Available at: <https://kontrollbetong.no/aktuelt/ti-ting-du-ikke-visste-om-betong/>

[Accessed 13 03 2022].

Kontrollrådet, 2018. *Kontrollrådet*. [Online]

Available at: <https://kontrollbetong.no/aktuelt/betongens-historie/>

[Accessed 03 16 2022].

Lahn, B., 2020. *Store Norske Leksikon*. [Online]

Available at: <https://snl.no/CO2-ekvivalenter>

[Accessed 10 04 2022].

LCANorge, 2020. *LCA*. [Online]

Available at: <https://lca.no/hva-er-lca/>

[Accessed 23 03 2022].

Lea, K., 2022. *Intervju* [Interview] (18 03 2022).

Lindstrøm, P. o. Ø., 2021. *UIS*. [Online]

Available at: [https://uis.brage.unit.no/uis-xmlui/bitstream/handle/11250/2774351/no.uis%3Ainspera%3A78877253%3A37011206.pdf?sequence=](https://uis.brage.unit.no/uis-xmlui/bitstream/handle/11250/2774351/no.uis%3Ainspera%3A78877253%3A37011206.pdf?sequence=1)

[1](https://uis.brage.unit.no/uis-xmlui/bitstream/handle/11250/2774351/no.uis%3Ainspera%3A78877253%3A37011206.pdf?sequence=1)

[Accessed 10 03 2022].

Lyng, K.-A., 2014. *Østfoldforskning*. [Online]

Available at: <https://norsus.no/wp-content/uploads/720-1.pdf>

[Accessed 23 03 2022].

Marina Prusac Lindhagen, 2019. *Store norske leksikon*. [Online]

Available at: <https://snl.no/Pantheon>

[Accessed 9 03 2022].

Microsoft, 2022. *Microsoft*. [Online]

Available at: <https://www.microsoft.com/nb-no/microsoft-365/excel>

[Accessed 05 04 2022].

Miljødirektoratet, 2019. *Miljødirektoratet*. [Online]

Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energiplanlegging/tabell-for-omregning-av-co2-ekvivalenter/>

[Accessed 11 04 2022].

- Naturvernforbundet, 2019. *Naturvernforbundet*. [Online]
Available at: <https://naturvernforbundet.no/hva-er-global-oppvarming/category1362.html>
[Accessed 17 03 2022].
- Norcem, 2019. *Lavvarmebetong med Norcem-sementer*. [Online]
Available at: https://www.norcem.no/no/lavvarmebetong#Ref_3
[Accessed 09 03 2022].
- Norcem, 2020. *Norcem*. [Online]
Available at: <https://www.norcem.no/no/sementproduksjon-co2>
[Accessed 16 03 2022].
- NorConsult, 2022. *NorConsult*. [Online]
Available at: <https://www.nois.no/produkter/bim/fem-design/>
[Accessed 05 04 2022].
- Nordal, A. G., 2021. *Tekna*. [Online]
Available at: <https://www.tekna.no/magasinet/vil-ha-strengere-krav-til-gjenbruk-i-byggenaringen/>
[Accessed 02 03 2022].
- Norsk Betongforening, 2020. *NB37 - Lavkarbonbetong*, Oslo: Norsk betongforening.
- Norsk klimastiftelse, 2020. *Norsk klimastiftelse*. [Online]
Available at: https://klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2020/06/NK_notat_4_2020_EUs-gr%C3%B8nne-giv.pdf
[Accessed 02 03 2022].
- Norsk Standard, 2011. *NS-EN 197-1 - Sammensetning, krav og samsvarskriterier for ordinære sementtyper*. Oslo: Norsk Standard .
- NVE, 2021. *Energieffektivisering i bygninger*, Oslo: NVE.
- Nymann, P., 2021. *Nettpartner*. [Online]
Available at: <https://blogg.nettpartner.no/fra-fossilfri-til-utslippsfri-byggeplass-innen-2025-er-du-klar>
[Accessed 22 05 2022].
- Olsen, E. S., 2022. *Masterveiledning* [Interview] (10 02 2022).
- One-Click LCA, 2021. *One-Click LCA*. [Online]
Available at: <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360014964920-NS-3720-Klimagassverkt%C3%B8yet-One-Click-LCA-Norge>
[Accessed 07 06 2022].
- One-Click LCA, 2022. *One-Click LCA*. Stavanger: Agasøster og Falbach.
- Pederesen, F. B., 2022. *Intervju Master* [Interview] (13 05 2022).
- Pederesen, V., 2021. *Miljøvennlig betong*. Stavanger: UIS - Universitetet i Stavanger .

- Pentacon, 2020. *Pentacon*. [Online]
Available at: <https://pentacon.no/>
[Accessed 20 05 2022].
- Pettersen, T., 2021. *Mer gjenbruk i byggebransjen* [Interview] (21 09 2021).
- Pre-cast, 2020. *Pre-cast*. [Online]
Available at: http://www.pre-cast.org/docs/Sustainability_and_Precast_Concrete.pdf
[Accessed 02 03 2022].
- Returgass, 2019. *Returgass*. [Online]
Available at: <https://www.returgass.no/regelverk-miljo/drivhuseffekten/gwp/>
[Accessed 23 04 2022].
- Revfem, 2018. *Tu*. [Online]
Available at: <https://www.tu.no/artikler/skal-effektivisere-plasstoping-av-betong/442416>
[Accessed 28 03 2022].
- Saltnes, D.-J., 2022. *Estate vest*. [Online]
Available at: <https://www.estatevest.no/media-city-bergen-nominert-til-internasjonalt-miljopris/>
[Accessed 21 03 2022].
- Sintef, 2020. *Sintef*. [Online]
Available at: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/-betong-er-en-del-av-klimalosningen/>
[Accessed 12 03 2022].
- Soutsos, M., 2017. *Construction Materials: Their Nature and Behaviour*. Fifth Edition ed. London: CRC Press.
- Standard Norge, 2008. *NS-EN 1991-1-1 Laster på konstruksjoner*. s.l.:Standard Norge.
- Standard Norge, 2008. *NS-EN 1991-1-3 Snølast*. s.l.:Standard Norge.
- Standard Norge, 2016. *NS-EN 1990 Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*. s.l.:Standard Norge.
- Standard Norge, 2018. *NS 3720:2018 – Metode for klimagassberegninger*. Oslo: Standard Norge.
- Standard Norge, 2018. *NS-EN 1992-1-1 Prosjektering av betongkonstruksjoner*. s.l.:Standard Norge.
- Standard Norge, 2020. *NS-EN 206: 2013 + A1: 2016 + NA2020: Betong – Spesifikasjoner, egenskaper framstilling og samsvar*. 2020 ed. Oslo: Norsk standard.
- Statens Vegvesen, 2014. *Statens Vegvesen*. [Online]
Available at: <https://docplayer.me/47461312-Teknologidagene-2014-hvordan-kan-vi-oppna-kvalitet-spennarmering.html>
[Accessed 20 05 2022].
- Statista, 2022. *Statista*. [Online]
Available at: <https://www.statista.com/statistics/1087115/global-cement-production-volume/>
[Accessed 13 03 2022].

Stoveland, A., 2022. *Master veiledning* [Interview] (11 04 2022).

Taktila, 2019. *Taktila*. [Online]

Available at: <https://taktila.no/2021/09/forste-ute-med-miljodeklarasjon-epd-pa-taktil-merking/>
[Accessed 27 03 2022].

The world bank, 2020. *The world bank*. [Online]

Available at:

<https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT?end=2018&start=1960&view=chart>
[Accessed 18 03 2022].

Thorsnæs, G., 2020. *Store norske leksikon*. [Online]

Available at: <https://snl.no/Mj%C3%B8sa>
[Accessed 18 03 2022].

Thue, J. V., 2020. *Store Norske Leksikon*. [Online]

Available at: <https://snl.no/karbonatisering>
[Accessed 23 03 2022].

Tranøy, K. E., 2019. *Store norske leksikon*. [Online]

Available at: <https://snl.no/metode>
[Accessed 07 03 2022].

Tønnesen, M., 2021. *Stavanger Aftenblad*. [Online]

Available at: <https://www.aftenbladet.no/meninger/debatt/i/rE9Kr8/om-10000-aar-hvem-tar-regningen-for-vaar-karbonfangst-og-lagring>
[Accessed 27 05 2022].

Vegvesen, 1939. *Vegvesen*. [Online]

Available at: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2488070/Meddelelser%20-%201939%20%282%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
[Accessed 30 05 2022].

Veidekke, 2021. *Veidekke*. [Online]

Available at: <https://www.veidekke.no/contentassets/90b89365451740929631c7aca18701a4/stord-helsepark.jpg?fbclid=IwAR1LC7Hrc6HTCNM8JmZHKJEIP-CB06l7Ye6ysCOQIPpLnj9pdXMB4sgs9ZM>
[Accessed 18 05 2022].

Vikeså, M., 2012. *Er det bedre å bruke elementer enn plasstøpt betong?*, Stavanger : UIS.

ØlenBetong, 2019. *ØlenBetong*. [Online]

Available at: <https://www.olenbetong.no/nyheter/setter-standard-i-norsk-betongbransje>
[Accessed 20 05 2022].