Bacheloroppgave

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Christopher Irving Lykke Madsen og Kjetil Henrik Sydow

Miljøvurdering av Mjøstårnet

Bacheloroppgave i Bygg
Veileder: Lizhen Huang
Mai 2019

NTNU
Kunnskap for en bedre verden

Christopher Irving Lykke Madsen og Kjetil Henrik Sydow

Miljøvurdering av Mjøstårnet

Bacheloroppgave i Bygg
Veileder: Lizhen Huang
Mai 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

NTNU
Kunnskap for en bedre verden

NTNU
Institutt for vareproduksjon
og byggteknikk

Oppgavens tittel: Miljøvurdering av Mjøstårnet	Dato: 16. mai 2019 Antall sider: 35			
	Masteroppgave:		Bacheloroppgave	x
Navn: Christopher Irving Lykke Madsen og Kjetil Henrik Sydow				
Veileder: Lizhen Huang				
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Moelven Limtre AS, ved Rune Abrahamsen				

Mjøstårnet, som ruver 85,4 meter over bakken, er til dags dato verdens høyeste trebygg. Det er i denne bacheloroppgaven gjennomført en miljøvurdering av deler av bygget hvor det også er sett på noen mulige forbedringstiltak. Det er i denne oppgaven satt særlig fokus på CO_2-utslipp som følge av økende engasjement i verden for å redusere CO_2-utslippet, blant annet for å nå 2-gradersmålet. Bruk av treprodukter er i denne sammenheng gunstig på grunn av stor biogen lagringskapasitet. Hovedbæringen i bygget er av limtre og det anslås at 1 m^3 limtre lagrer 608 kg CO_2.

Oppgaven har bestått i å hente ut mengden materialer fra en virtuell modell av bygget, og legge verdiene i et program for å foreta miljøvurderinger. Miljøvurderingene omhandler kun produksjon av materialer og transport til byggeplassen. Mjøstårnet er unikt og var alltid tiltenkt å være i treverk, det finnes derfor ingen versjon av bygget i andre materialer. Dette har gjort at det umulig å sammenligne forskjellige byggemetoder for bygget. For å få et mer helhetlig bilde er det i tillegg sett på andre klimautslipp. Dette er med på å gi et mer nyansert bilde av hvilke bidrag de forskjellige materialene har.

Resultatene viser at selv om limtre er gunstig med tanke på CO_2, bidrar det i stor grad til andre klimautslipp, spesielt når det kommer til svevestøv. Dette viser at man ikke kun kan se på én form for utslipp for å avgjøre om et materiale er mer gunstig for miljøet, enn andre materialer. Samtidig viser det også at bruk av treprodukter har negativ klimapåvirkning selv om det er gunstig med tanke på CO_2. LCA analysen hentyder at materialer og transport har et CO_2 utslipp på 3 393,8 tonn og en biogen lagring på 3 309,7 tonn. Dette gir en CO_2 påvirkning på 83,1 tonn, noe som er veldig lavt for et så stort bygg.

Stikkord:

LCA
Miljøvurdering
Trehus
CO_2-lagring

(sign.)

Abstract

Mjøstårnet towering 85,4 meters above the ground is the world's tallest wooden building to date. In this bachelor's thesis, an environmental assessment has been carried out with a focus on only certain parts of the building, while having possible improvements in mind. Considering the growing attention to reducing CO_2 emissions especially with the "2-degree Celsius limit" in mind, this bachelor thesis task has a main focus on CO_2 emissions. The use of wood products in this context is favourable due to its large biogenic storage. The structural frame in the building consists of glulam and it has been estimated that 1 m^3 of laminated glulam-timber stores 608 kg of CO_2.

This assignment has consisted of extracting values from a virtual model of Mjøstårnet and added the values into an environmental impact assessment program. Due to lack of information, the environmental assessment deals only with the production of materials and transport to the construction site. Mjøstårnet was always intended to be constructed only in wooden materials, therefore there is no other versions of the building in other materials. Because of this it has not been possible to compare different building methods for constructing the building. To get a more complete picture the assignment also takes other climate emissions into consideration. This gives a more nuanced picture of how different materials contribute to emissions.

The results show that although glulam is favourable with regard to CO_2, it contributes largely to other climate emissions, especially regarding particulate pollution. This shows that one can not only have one form of emissions in mind when determining if one sort of material is favourable compared to another form of material. At the same time, it also shows that unnecessary use of wood products leads to emissions even though it is favourable with regards to CO_2. The LCA analysis indicates that materials and transport have a CO_2 emission of 3 393,8 tonnes and a biogenic storage of 3 309,7 tonnes, this gives a CO_2 impact of 83,1 tonnes, which is very low for such a large building.

Forord

Denne oppgaven er et avsluttende ledd ved byggingeniørstudiet ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, avdeling Gjøvik. Oppgaven tilsvarer 20 studiepoeng og er skrevet etter forslag fra Moelven Limtre AS. Oppgaven følger IMRoD struktur og det er anbefalt å lese oppgaven i rekkefølgen som er gitt.

Vi har mange å takke for hjelp i forbindelse oppgaven. Først og fremst vår veileder Lizhen Huang, som har hjulpet oss i arbeidet med LCA rapporten. Moelven Limtre AS, ved Rune Abrahamsen, som presenterte forslaget til oppgave og har bidratt med informasjon om bygget. Representant fra HENT som har svart på spørsmål angående fundament og betongdekker. Videre har representanter fra Ringsaker Vegg- og Takelementer AS, Kynningsrud Fundamentering AS, Lian, Celsa Steel Service AS og Voll arkitekter vært til god hjelp og gitt informasjon om deres bidrag til bygget.

Innholdsfortegnelse

Abstract ii

Forord iii

Innholdsfortegnelse iv

Figurliste vii

1 Innledning 1

1.1 Bakgrunn 1

1.2 Avgrensning 2

1.3 Formålet med bacheloroppgaven 3

2 Metode 4

2.1 Sentrale begreper 4

2.1.1 LCA 4

2.1.2 EPD 4

2.1.3 Solibri Modell Checker 5

2.1.4 SimaPro 5

2.2 Allokering 6

2.3 Krav til datakvalitet 9

2.4 Tabeller 11

2.4.1 Fordeling av mengder 11

2.4.2 Enheter i SimaPro 12

2.5 Miljøkategorier 14

2.5.1 CO2 14

2.5.2 Ozonlaget 16

2.5.3 Human toxcity, cancer effects 16

2.5.4 Svevestøv 16

2.5.5 Forsuring 17

2.5.6 Eutrofiering i ferskvann 17

2.6 Usikkerhetsanalyse 17

2.7 Betongbygg 18

3 Resultater 19

3.1 Miljøkategorier 20

3.1.1 Klimaendring pga. CO_2 i Mjøstårnet 20

3.1.2 Nedbrytning av ozonlaget 21

3.1.3 Human toxcity, cancer effects 22

3.1.4 Svevestøv 24

3.1.5 Forsuring 24

3.1.6 Eutrofiering i ferskvann 25

3.2 “Det grønne stålet” 25

3.3 Bidrag fra transport 26

3.4 Usikkerhetsanalyse 27

3.5 Betongvegg 27

3.6 Isolasjon 28

4 Diskusjon 29

4.1 Sammenligning av vinduer og veggkonstruksjon 29

4.2 Sammenligning av kertodekker og betongdekker 30

4.3 Avvik mellom utslipp i SimaPro og faktiske utslipp 32
4.4 “Det grønne stålet” 32
4.5 Usikkerhetsanalyse 33
4.6 Betongvegg 33
4.7 Treisolasjon 34
4.8 Sammenligning av CO_2-lagring i SimaPro og teoretisk lagring 34
5 Konklusjon 35
6 Litteraturliste 36
Vedlegg 40

Figurliste

Figur 1: Allokering av elementene. 6

Tabell 1: Mengden av hver gruppering. 11

Tabell 2: Elementer valgt i SimaPro. 12

Figur 2: Bidragsytere i tårnet sortert etter klimapåvirkning i prosent. For utskift uten farger, se vedlegg 1«bidragsytere utskrift uten farger» 19

Tabell 3: Viser totalt utslipp for alle elementer 19

Tabell 4: Biogen lagring for elementer i bygget 20

Figur 2: CO_2-utslipp for materialene i fundamentene2 pr. m^2 20

Figur 3: Bidragsytere til CFC-11 i pr. m^2 fundamentene. 21

Figur 4: Utslipp kg CFC-11 eq for alle elementer i bygget 22

Figur 5: Bidrag til CTUh pr. element i bygget 23

Tabell 5: Forsuring pr. element i bygget 24

Tabell 6: Sammenligning av generisk og grønt stål. 25

Tabell 7: Utslipp pr. m^3 limtre pga. transport 26

Tabell 8: Utslipp etter gjennomført usikkerhetsanalyse og prosentvis forandring fra tidligere verdi. 27

Tabell 9: Sammenligning av betongvegg og limtrebæring. 28

Figur 7: Betongdekker sammenlignet med kerto-dekker pr. m^2. Inkludert biogen lagring. 30

Figur 8: Betongdekker sammenlignet med kertodekker uten biogen lagring pr. m^2 31

Tabell 10: Prosentvis sammenligning av grønt stål og generisk. 33

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Det er nå bred enighet om at utslipp av klimagasser har betydning for klimaet og global oppvarming. Virkningen av global oppvarming kan føre til blant annet hetebølger, tørkeperioder og havstigning (Haines *et al.*, 2006). Jean-Yves Huwart skriver i boken «Economic globalisation : origins and consequences» at klimaforandringer er hovedutfordringen for miljøet. Han mener at klimaforandringer kommer av drivhuseffekten, med opphopning av CO_2 i atmosfæren som drivkraft (Huwart og Verdier, 2013).

I Norge stod næringen «bygge- og anleggsvirksomhet» for 3,5 % av det totale CO_2-utslippet, som vil si totalt 2 049 millioner tonn CO_2-ekvivalenter i 2017 (Statistisk Sentralbyrå, 2018). Gjennom den første internasjonale klimaavtalen, Parisavtalen, er Norge bundet til å arbeide for miljøet ved å redusere utslipp av CO_2. Målet er at gjennomsnittstemperaturen på jorda ikke skal overstige gjennomsnittstemperaturen fra førindustrielt nivå med mer enn 2 grader celsius, og helst skal økningen være under 1,5 grader (Klima- og miljødepartementet, 2016). Interessen for klimaet har økt betydelig de siste årene. Det er derfor interessant å se på hvordan ulike bygg har innvirkning på klimaet. I forbindelse med oppgaven ble det gitt tilgang til flere modeller og informasjon om Mjøstårnet. Bygget ble åpnet 1. mars 2019, og er med sine 18 etasjer og en høyde på 85,4 meter verdens høyeste trebygning. Mjøstårnet er på grunn av sine egenskaper naturligvis en unik konstruksjon (Bjørheim, 2019). En tidligere masteroppgave konkluderte med at det gir en klimagevinst å bygge trekonstuksjoner framfor betongkonstruksjoner. Gevinsten vil variere med størrelsen på bygget, og effekten viste seg å være særlig god på bygg på over 12 etasjer (Skullestad og Bohne, 2016).

Moelven Limtre AS, heretter kalt Moelven Limtre, har mottatt forespørsler om det foreligger en miljøvurdering av Mjøstårnet. Det ble under planleggingsfasen av bygget vurdert at en miljøvurdering ikke var nødvendig. Som begrunnelse ble det sagt at å bygge med tre måtte gi bedre miljøgevinst enn anvendelse av mer tradisjonelle materialer for høye bygninger. Moelven Limtre har valgt å sende inn denne oppgaven som et tema til bacheloroppgave ved

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet avdeling Gjøvik, NTNU. Ønsket fra Moelven Limtre var å beregne utslippene fra bygget slik det er oppført og se etter forbedringspunkter. Oppgaven ble valgt av flere grunner. Blant annet har miljø, miljøperspektiver og bærekraft i bygg vært representert i flere fag gjennom studiet ved NTNU. Dette har økt både forståelsen og interessen for videre studie innenfor emnet. Selv om massivtre har vært benyttet som bærende konstruksjon i flere år er det kun de siste årene det er benyttet i høye bygg på over 4-6 etasjer. At dette kan være et nytt bruksområde for heltrekonstruksjoner har gjort det spennende å utrede. Det er i tillegg spennende å jobbe med et unikt og banebrytende bygg som har lokal forankring.

Det ble tidlig i prosessen bestemt at det var hensiktsmessig å gjennomføre en LCA av «tårnet», hvor tilgang til informasjon ville bli styrende for prosessen. Mer om LCA kommer under punkt 2.1.1 og «tårnet» blir definert i avgrensning. Ettersom dette er et eksisterende bygg, er det enkelte forretningshemmeligheter som setter begrensninger. Dette gjelder både informasjon som det ble gitt tilgang til som grunnlag for utarbeidelse av oppgaven, samt informasjon som tillates å gjengis i denne bacheloroppgaven.

Oppgaven har kun sett på bygget som har blitt satt opp, og enkelte forslag til forbedringspunkter. Først etter en sammenligning med et bygg med tilsvarende anvendelsesområde, men annen byggemetode, vil man kunne si om det er en fordelaktig byggemetode.

1.2 Avgrensning

I bacheloroppgaven er bygget avgrenset til å gjelde kun selve tårnet. Med tårnet menes arealet som er benyttet til hotelldrift og overliggende etasjer. Definisjonen utelater blant annet arealet som blir benyttet som svømmehall. Avgrensningen ble foreslått av oppdragsgiver. Punkter som støtter en slik avgrensning er blant annet at det er Mjøstårnet i seg selv som utfordrer de allerede etablerte byggemetodene. Samt at den gjør det enklere å kunne sammenligne bygget med andre bygninger med lignende bruksområde. I teksten som følger vil Mjøstårnet være ensbetydende med de delene av bygget som faller under denne avgrensningen.

Innvendige ikke-bærende elementer, som ventilasjon, innredning, dører og innervegger er utelatt ettersom det manglet utfyllende informasjon. Disse elementene vil også kunne variere over tid og vil ikke være direkte sammenlignbart med et lignende bygg.

Ved forespørsel om energiforbruk, til produksjon av elementer, i byggefasen og i drift, har det ikke foreligget informasjon. Dette medfører at det ikke finnes grunnlag til utarbeidelse av et fullt og nøyaktig energiregnskap. Det foreligger ikke informasjon om bygget fremover med tanke på forventet levetid, vedlikehold eller hva som skal skje etter endt levetid. Det mangler dermed informasjon om byggefasen, bruksfasen og avhending. Oppgaven er derfor begrenset til å omhandle perioden «vugge til port». Dette innbefatter råmateriale, produksjon og transport til anleggsplassen.

1.3 Formålet med bacheloroppgaven

I tråd med ønsket fra Moelven Limtre er problemstillingen i denne bacheloroppgaven «Miljøvurdering av Mjøstårnet». Denne problemstillingen har resultert i følgende forskningsspørsmål:

- Hvor stor er klimapåvirkningen fra Mjøstårnet?
- Er det en klimagevinst ved å benytte treprodukter fremfor elementer i betong?
- Er det forbedringspotensialer i Mjøstårnet?

For å svare på forskningsspørsmålene ble det foretatt LCA analyser av eksisterende bygg, enkelte materialer og elementer i bygget. Analysene ble brukt til å sammenligne eksiterende byggemetode og materialer, med alternative materialer og byggemetoder.

2 Metode

2.1 Sentrale begreper

I dette avsnittet er de mest sentrale begrepene definert. Resterende begreper blir forklart under avsnitt 2.5.

2.1.1 LCA

LCA står for Life Cycle Assessment. På norsk benyttes gjerne forkortelsen LCA eller ordet livsløpsanalyse. Dette er en analyse av et produkt, et helt bygg eller enkelte deler av bygget, gjennom en gitt periode. Når man lager en LCA kan man blant annet velge å snakke om prinsippet «fra vugge til grav». Det vil si at man regner på klimaavtrykket helt fra råvareutvinning og frem til avfallshåndtering er utført. Her kan man analyserer flere faktorer som har påvirkning på klima, for eksempel CO_2-utslipp, forsuring og svoveldioksid ($S0_2$) (Dramstad *et al.*, 2015).

Man kan bruke LCA-resultatene til å sammenligne med tilsvarende bygg, eller forskjellige byggemetoder og materialvalg for å se byggets miljøbelastning. Dette kan videre gi grunnlag for å ta miljøbevisste valg i konstruksjonen. For å lage en LCA trengs god innsikt i prosessene som har foregått og som skal skje i fremtiden. Ettersom man ikke kan si hvordan blant annet avfallshåndteringen vil foregå om 60 - 100 år, vil det være vanskelig å lage en nøyaktig LCA som går fra vugge til grav i prosjekteringsfasen.

2.1.2 EPD

EPD står for Envirmental Product Declatation. På norsk brukes gjerne betegnelsen miljødeklarasjon. En EPD er et dokument, verifisert av en tredjepart, som oppsummerer produktets miljøprofil. Den brukes for å sammenligne et produkts miljøegenskaper og bruk av ressurser gjennom hele produktets levetid, eller så lenge EPD-en gjelder. EPD-er er basert på internasjonale standarder. En EPD kan gjøre det enklere å ta et bevisst og begrunnet miljøvalg

i prosjektet. Når man skal sammenligne ulike produkter ved hjelp av deres EPD-er, er det viktig å beregne hvor mye som trengs av hvert produkt. Det vil blant annet ikke være korrekt å sammenligne CO_2-utslipp fra ett tonn stål og ett tonn betong, og ta en vurdering kun på grunnlag av dette (SINTEF Certification, u.å.).

Det kan oppstå utfordringer når en skal benytte klimagassutslipp direkte fra en EPD i en ILCD-metode. Årsaken er at ikke alle miljøkategoriene er i begge metodene. I tillegg er det forskjell på enhetene i noen av kategoriene som er felles for de to ulike metodene.

2.1.3 Solibri Modell Checker

Solibri Modell Checker, SMC, er et program som brukes for å samle flere elementer i en helhetlig konstruksjon. Det finnes også funksjoner som kan kollisjonsteste komponenter i tilfeller der flere aktører er inne i samme modell. I denne oppgaven er Solibri Modell Checker brukt for å hente ut mengder av de forskjellige materialene. Programmet har i tillegg gjort det lettere å bli kjent med bygget og forstå utleverte tegninger. Videre blir Solibri brukt om programvaren.

2.1.4 SimaPro

SimaPro er et dataprogram utviklet av PRé Sustainability. I bacheloroppgaven er versjonen SimaPro 8 benyttet. Programmet er verdens mest brukte dataprogram for å foreta livsløpsvurderinger, LCA. SimaPro benyttes for analysering av miljøbelastning fra flere ulike produkter, prosesser, prosjekter og tjenester. Det er flere databaser tilgjengelig i SimaPro. Databasen benyttet i dette prosjektet er Ecoinvent, som inneholder data på over 10 000 elementer. Både enhetsprosesser og systemprosesser er inkludert (PRÉ CONSULTANTS, 2019).

En enhetsprosess er en spesifikk del av prosessen, mens systemprosesser er en sammensetning av flere enhetsprosesser. Et eksempel på en systemprosess er passasjertransport med tog. Her kommer blant annet enhetsprosessene: konstruksjon av togsviller, produksjon og vedlikehold av toget samt forbruk av energi. Derfor er det gunstig å benytte seg av enhetsprosesser der det er mulig, ettersom man kan styre prosessen mer

detaljert. Systemprosesser skal derimot være en god tilnærming når man ikke selv sitter på nøyaktig data. Prosesser kan være geografisk plassert, for eksempel CH - Kina (China) og CA - Kanada (Canada), mens andre kan være GLO - Global eller RoW - Resten av verden (Rest of World). Om en sitter på mer spesifikk data kan man selv endre verdier man ønsker. Verdiene kan blant annet bli hentet ut fra EPD-en til produktet om denne er tilgjengelig. EPD er tidligere forklart i avsnitt 2.1.2. Tallene man kan hente ut fra analysen er blant annet CO_2-utslipp, eutrofiering i ferskvann og utarming av mineraler.

2.2 Allokering

I tråd med oppdragsgivers ønske omhandler hoveddelen av prosjektet eksiterende bygg. En stor del av arbeidet med prosjektet har derfor vært å finne informasjon, type og mengder, om materialene. For å fordele materialbruken i bygget ble det etablert grupperinger. Inndelingen følger en naturlig struktur, der både funksjon og materialbruk er tatt hensyn til. Se figur under. Denne grupperingen er i tillegg funksjonell når transport skal beregnes.

Tårnet	Limtre
	Vinduer
	Terrassedører
	Betongdekker
	Fundamenter
	Stålkomponenerter
	Kertodekker
	Veggelementer
	Tak

Figur 1: Allokering av elementene.

Limtre

Mengden limtre ble hentet ut direkte fra en utlevert modell. Funksjonen «Information takeoff» i Solibri ble benyttet til å skille ut limtre fra de andre komponentene. Videre ble informasjonen eksportert fra «Information takeoff» til et Excel-dokument, hvor summeringsfunksjonen i Excel ble brukt for å finne totalt volum av limtre.

Vinduer

Prosjektet mottok aldri spesifikk informasjon eller materialdata på alle de forskjellige vinduene brukt i Mjøstårnet. Det er derfor benyttet informasjon fra EPD-en, «2-veis innadslående åpningsvindu», til Lian (Lian Trevarefabrikk AS, 2015a). Denne ligger tilgjengelig på databasen EPD-Norge (EPD-Norge, u.å.-a). Vinduet i EPD-en ble benyttet som en mal, og oppbygning av vinduer i bygget ble beregnet med utgangspunkt i dette. Tallene ble deretter lagt sammen for alle vinduene. Materialene ble beregnet ved hjelp av omkrets for alle materialene, med unntak av glass, der arealet på vindu ble benyttet. Det ble forsøkt å kontakte leverandøren av glassfasaden, men som følge av at svar uteble ble det bestemt å beregne glassfasaden på samme måte som vinduene. Vinduet som er beregnet i EPD-en har ulike dimensjoner fra vinduene benyttet i tårnet. Resultatet kan derfor avvike noe i forhold til hva det ville vært med mer spesifikke data.

Terrassedører

Terrassedørene ble beregnet med en lignende fremgangsmåte som vinduene. Her ble modellen benyttet for å hente ut dimensjoner. EPD-en, «Heve-/skyve terrassedør», fra Lian ble anvendt for å hente ut mengden materialer. Resultatet kan variere noe, da terrassedøren som er beregnet i EPD-en har ulike dimensjoner fra terrassedørene benyttet i (EPD-Norge; Lian Trevarefabrikk AS, 2015b).

Betongdekker

Informasjon om volum og areal ble hentet ut av dekkeelementene i Solibri, og supplert med info fra Con-Form. Informasjon mottatt fra HENT om at det er 37 kg stål per m^2 betongdekke, ble brukt til å beregne mengde armering i dekkene, og hvor mye betong som gikk bort til armering.

Fundamenter

Mengden betong ble hentet fra en egen IFC-fil som kun omfatter fundamenter. Armering er ikke lagt inn i modellen. For mer strukturert gjennomgang av tallene, ble alt som var utenfor avgrensningsområdet slettet fra modellen. Deretter ble betongvolumet hentet ut med Information-takeoff og eksportert til Excel hvor det ble summert. HENT opplyste om at det i

snitt var 95 kg armering pr. m³ betong. Informasjonen ble benyttet for å beregne mengden armering, og betongen som gikk bort til armering. EPS og XPS var lagt inn som større elementer, og gikk utenfor oppgavens rammer. Mengden er derfor tilpasset til å gjelde under tårnet. Informasjon om stålpeler ble innhentet direkte fra modellen. Betongen som er mellom stålpelene og kjernen ble utregnet.

Celsa Steel Service står for leveranse av armeringsstålet til fundamentene. Til dette prosjektet har de levert 347 tonn med «det grønne stålet» (Celsa Steel Service, 2016). Fra EPD-en kan man lese at utslippet CO_2 pr. tonn stål er 360 kg. Stålet får et lavt utslipp grunnet blant annet resirkulering av skrapmetall og bruk av vannkraft i produksjonen. I følge produsenten leverer de armeringsstålet med det laveste utslippet i Europa (Celsa Steel Service, u.å).

Stålkomponenter

Stålmengder ble hentet ut ved hjelp av Solibri. Informasjon om mengde knutepunkter ble hentet ut ved å begrense Solibri til å kun vise komponenter i stål i modellen. Stål som befant seg utenfor avgrensnings-området ble fjernet. I stålkomponenter inngår ikke armering i dekkene.

Kertodekker

Kertodekke er bygd opp av forskjellige materialer. Solibri ble brukt til å hente ut materialdata og mengder. Informasjon om kertodekkene ble gitt av Moelven Limtre, og brukt til å lese modellen samt dobbeltsjekke verdiene fra modellen.

Veggelementer

Informasjon om en 56,8 kvadratmeter stor solid vegg ble mottatt av Ringsaker Vegg- og Takelementer AS (RVT). Dette ble brukt til å beregne hele fasaden på bygget. Veggelementet inneholdt ikke vinduer. Anvendte informasjonen for å lage en gjennomsnittlig kvadratmeter for veggelementene med innhold av treverk, gips, plast, isolasjon og utvendige spiler. Deretter ble det regnet ut en total mengde med de forskjellige materialene, og fordelt ut over det totale arealet vegg. På enkelte av veggene er det flere lag gips, der ble de ekstra lagene lagt til manuelt i beregningene.

Tak

Har benyttet informasjon fra plantegninger for å finne mengder av de brukte materialene i taket. Spesifikke mengder med generiske materialer er lagt inn i SimaPro. Informasjon om transport er ikke mottatt, så transportmetode og avstand er antatt.

Transport

For å måle energibruk ved transport er det vanlig å bruke tonnkilometer (Statens Vegvesen, u.å.). Måleenheten er også benyttet i denne bacheloroppgaven. Det er benyttet lastebiler som følger Euro standard 6 til all transport. Det er kun tatt hensyn til transport fra fabrikklokalet til anleggsplassen, med 100 % utnyttelse av kapasiteten. Kjørelengden ble anslått etter kontakt med leverandørene. Det var med ett unntak mulig å verifisere produksjonslokalet. Deretter ble tjenesten Google Maps benyttet, med avstandsberegning fra oppgitt lokasjon til «Mjøstårnet, Nils Amblis veg, Brumunddal». Det ligger også generisk transport inne i enhetsprosessene i SimaPro. Transporten skal gjenspeile frakt av råmaterialer til fabrikker.

Ønsket om «lokalt og kortreist» (Norsk rikskringkasting, 2019) stod sentralt for byggherren, AB Invest, i planleggingen av bygget. Det er derfor benyttet flere lokale bedrifter i arbeidet med Mjøstårnet, som gir en kort transportetappe for de ferdige produktene. Et av de involverte selskapene er RVT, som er lokalisert i Brumunddal. Samtidig er det eksempler på lengre kjørelengde, som stål levert av Celsa Steel Service AS med produksjonslokaler i Mo i Rana.

2.3 Krav til datakvalitet

For å få et resultat som gjenspeiler virkeligheten er oppgaven avhengig av korrekt og detaljert bakgrunnsinformasjon. Det ble gitt tilgang til fire digitale modeller som kunne benyttes under arbeidet med prosjektet. I hovedmodellen er Mjøstårnet, svømmehall, en nærliggende garasje og uteområder gjengitt. Som følge av at det kun er tårnet som er relevant for denne oppgaven måtte det under innhenting bli lagt opp grenser for hvilke elementer som skulle være med i analysen.

Hovedmodellen manglet informasjon om materialbruk ved flere elementer. Det går på manglende informasjon om hvilke materialer som er benyttet, mengden av hvert materiale og feilregistrering av materialtypen. Mindre elementer som dybler, armering og skruer er heller ikke medregnet i flere av elementene. Dette gjorde seg tydelig ved beregning av kerto-dekkene. Her er dimensjonene i modellen ulike fra dimensjonene som er benyttet i konstruksjonen, samt at isolasjon, gips og båndstål ikke er innbefattet i modellen.

For å innhente nok informasjon, der modellen ikke har vært tilstrekkelig, har det vært kontakt med flere av partene som har bidratt i prosjektet. Kommunikasjonen har i all hovedsak foregått per e-post og innholdet er i stor grad konfidensielt. Verdiene som er brukt i analysen er derfor bygd på modellen, men har korrigeringer der det er gitt tilgang til mer utfyllende informasjon. Ved ett tilfelle var det ikke mulig å komme i kontakt med leverandøren, og forenklinger måtte gjennomføres.

I sum gir dette lavere pålitelighet enn ønskelig. Samtidig blir det vanskeligere å etterprøve svaret uten tilgang til nøyaktig samme data benyttet i denne oppgaven. Videre påvirkes reliabiliteten av det endelige resultatet. En følsomhetstest ble foretatt for å se i hvor stor grad antagelsene har betydning for de endelige resultatene. Mer om denne analysen kommer under avsnitt 2.6 «Usikkerhetsanalyse».

2.4 Tabeller

2.4.1 Fordeling av mengder

Nedenfor vises oppdelingen av bygget og utregnet mengden av hver gruppering. Mengdene er utelukkende hentet fra tilgjengeliggjorte modeller.

Tabell 1:
Mengden av hver gruppering.

Limtre	1 328,90 m^3
Vinduer	1 829,86 m^2
Verandadører	253,21 m^2
Betongdekker	3 717,43 m^2
Fundamenter	639,00 m^2
Stålkomponenter	106 916,00 kg
Veggelementer	5 069,98 m^2
Tak	573,20 m^2

2.4.2 Enheter i SimaPro

Tabellen nedenfor viser en oversikt over verdier som er benyttet i SimaPro, i forhold til materialet som er brukt i bygget.

Tabell 2:
Elementer valgt i SimaPro.

Materiale	SimaPro	Mengde	Enhet
Glass	Glazing, triple, U<0,5 W/m2K {GLO}| market for | Cut-off, U	1 669	m^2
Maling	Alkyd paint, white, without water, in 60 % solution state {GLO}| market for | Cut-off, U	809	kg
Aluminium	Aluminium, cast alloy {GLO}| market for | Cut-off, U	3 754	kg
Strøm	Electricity, medium voltage {NO}| market for | Cut-off, U	228 291	kWh
Varme	Heat, central or small-scale, other than natural gas {GLO}| market group for | Cut-off, U	52 465	MJ
Plast/termoplast	Polypropylene, granulate {GLO}| market for | Cut-off, U	282	kg
Treverk	Sawnwood, softwood, dried (u=10 %), planed {RoW}| production | Cut-off, U	660	m^3
Stål	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}| market for | Cut-off, U	1 532	kg
Tetningslist	Synthetic rubber {GLO}| market for | Cut-off, U	344	kg
Treverk	Bundle, energy wood, measured as dry mass {RoW}| softwood forestry, pine, sustainable forest management | Cut-off, U	15 950	kg
Messing	Brass {RoW}| market for brass | Cut-off, U	13	kg
Silikon	Silicone product {GLO}| market for | Cut-off, U	29	kg
Takpapp	Bitumen adhesive compound, cold {GLO}| market for | Cut-off, U	3 475	kg
Glassisolasjon	Glass wool mat {GLO}| market for | Cut-off, U	2 837	kg
Kerto	Plywood, for outdoor use {RoW}| market for | Cut-off, U	215	m^3
Diffusjonssperre	Extrusion, plastic film {GLO}| market for | Cut-off, U	1 155	kg
Limtre	Limtre production | Cut-off, U Mjøstårnet prosess - Spesifikk for dette prosjektet	54	m^3

Stål	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}| market for | Cut-off, U	126 914	kg
Varme	Heat, central or small-scale, natural gas {Europe without Switzerland}| market for heat, central or small-scale, natural gas | Cut-off, U	42	kWh
Varme	Heat, central or small-scale, natural gas {Europe without Switzerland}| market for heat, central or small-scale, natural gas | Cut-off, U	2 773 842	MJ
Diesel	Diesel, burned in building machine {GLO}| market for | Cut-off, U	42 283	MJ
Lim	Melamine formaldehyde resin {GLO}| market for | Cut-off, U	19 096	kg
Treverk	Sawnwood, beam, softwood, raw, dried (u=10 %) {GLO}| market for | Cut-off, U	1 727	m^3
Treverk	Wooden board factory, organic bonded boards {GLO}| market for | Cut-off, U	4,19E-05	p
Betong	Concrete, 30-32MPa {NOR}| market for | Cut-off, U	2 516	m^3
XPS	Polystyrene, extruded {RoW}| polystyrene production, extruded, CO2 blown | Cut-off, U	697	kg
EPS	Polystyrene, expandable {GLO}| market for | Cut-off, U	4 138	kg
Peler	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}| market for | Cut-off, U	613 812	kg
Steinullisolasjon	Stone wool {RoW}| stone wool production | Cut-off, U	190 235	kg
Grus	Gravel, crushed {RoW}| market for gravel, crushed | Cut-off, U	360 238	kg
Grønt stål	Celsa steel service MJØS - Spesifikk for dette prosjektet	118 834	kg
Gips	Gypsum plasterboard {GLO}| market for | Cut-off, U	127 581	kg
Transport	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 {GLO}| market for | Cut-off, U	1 717 412	tkm
Armeringsstål	Reinforcing steel {RoW}| production | Cut-off, U	137 544	kg

2.5 Miljøkategorier

I metoden «ILCD 2011 Midpoint+ V1.10» er det flere forskjellige miljøkategorier som blir analysert. Det er i denne oppgaven valgt å se nærmere på seks av dem, CO_2, nedbrytning av ozonlaget, «human toxcity, canser effects», svevestøv, forsuring og eutrofiering i ferskvann. Under følger en kort innføring i hver av kategoriene.

2.5.1 CO2

Klimaendring, *Climate change*, er endring i hvor ofte værforhold blir målt over en lang periode. Kan eksempelvis måles i gjennomsnittstemperatur over en lengre periode. Endring av partikler og drivhusgasser som CO_2 i atmosfæren er viktige årsaker til klimaendringene. Utslipp av CO_2 kommer i stor grad fra bruk av fossilt brensel. CO_2 legger seg i atmosfæren og er med på å gjøre at atmosfæren holder bedre på varmen (Store Norske Leksikon, 2019c). Totalt i Norge ble det i 2017 sluppet ut 43 760 000 tonn CO_2 og totalt 52 700 000 CO_2-ekvivalenter (Statistisk Sentralbyrå, 2018). Gjennomsnittlig utslipp per person i Norge lå på 8,4 tonn CO_2 i 2017 (Energi og Klima, 2019).

Andre klimagasser som CFC-11 bidrar også til global oppvarming. Disse sammenlignes ofte med CO_2 med en enhet som kalles GWP, Globale oppvarmingspotensialer. GWP er et mål på hvor stor effekt de forskjellige drivhusgassene har på atmosfæren sammenlignet med CO_2. Eksempelvis så vil 1 tonn metan tilsvare 21 tonn CO_2 sluppet ut i atmosfæren (Store Norske Leksikon, 2017b)

Biogen lagring

Som følge av at treverket kun lagrer CO_2 midlertidig, er det mye omdiskutert om biogen lagring skal tas hensyn til i en LCA. Når et bygg har nådd avhendings-fasen og blir revet, vil den lagrede mengden karbondioksid slippes ut i atmosfæren, enten treet brennes eller legges for å råtne. I bacheloroppgaven er biogen lagring inkludert, da det i hele byggets levetid vil redusere mengden CO_2 i atmosfæren med tilsvarende mengde CO_2 lagret i bygget.

Treverk tar opp CO_2 gjennom fotosyntesen. Fotosyntese foregår i de grønne delene av treet, hvor det dannes glukose med kjemisk formel $C_6H_{12}O_6$. Glukosen fraktes til andre deler av

treet der det kan omdannes til cellulose. Fotosyntesen lagrer energi fra sola i veden i treet sammen med karbon. Fotosyntesen binder karbonet fra CO_2 i treet og slipper ut oksygenet (Skogsnorge, 2013).

Den generelle formelen for fotosyntesen er:
$6\ CO_2 + 12\ H_20 + Lys \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6\ H_20$ (Store Norske Leksikon, 2019a).

Veden i et tre består av ca. 40 % cellulose. Resterende deler av treet er hemicelluloser, lignin, harpiks, garvesyrer og fett (Store Norske Leksikon, 2017a).

Ved bruk av metoden «ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 / EC-JRC Global, equal weighting» i SimaPro blir CO_2-lagring 1 378 kg CO_2 per m^3 limtre. Limtreet brukt i denne oppgaven er laget av generiske materialer i SimaPro. Materialene er satt sammen av andre generiske materialer. Flere av disse materialene inneholder svinn som blir medregnet i videre prosesser. SimaPro benytter den totale mengden materialer, medberegnet svinn, som er benyttet i produksjon for utregning av CO_2-lagring. I hvilken grad svinnet faktisk bidrar til CO_2-lagring er avhengig av hva som skjer med svinnet. Dersom svinnet blir brukt i produksjon av andre produkter, vil mengden CO_2 lagres i de nye produktene. Om svinnet brennes, vil den lagrede mengden CO_2 slippes ut i atmosfæren igjen.

SimaPro regner 1 m^3 med uprosessert treverk til å lagre 779 kg CO_2. I Moelven sin EPD om limtre oppgis det at lagringen pr. m^3 er 608 kg CO_2 (Moelven, 2018). Andre kilder oppgir at limtre lagrer 750 kg CO_2 pr. m^3 (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015) og at 1 m^3 trevirke lagrer 800 kg CO_2 (Treteknisk, 2004).

Karbonatisering

Under betongproduksjon vil det bli sluppet ut CO_2 grunnet brenning av kalkstein og videre bearbeiding av produktet. Betongen i fundamentene og i dekkene står for en stor andel av CO_2-utslippet. Noe av utslippene vil i løpet av betongens levetid kunne bli tatt opp i betongen. Prosessen kalles karbonatisering, og vil påvirkes av type bruk, betongkvalitet, hva materialet er eksponert for og især tilgang til vann. (Norsk Betongforening, 2018).

2.5.2 Ozonlaget

Ozonlaget har som funksjon å beskytte jordoverflaten mot stråling fra solen. Ozonmolekylene i ozonlaget hindrer deler av UV-strålingen (Ultrafiolett stråling) fra solen i å nå jordoverflaten ved å absorbere energi fra strålingen, samt omdanne deler til varme (Store Norske Leksikon, 2019b). For store mengder UV-stråling kan være kreftfremkallende og mulig ha negativ innvirkning på vegetasjon (National Geographic, 2019).

Mennesker har i industrien produsert produkter som er med på å slippe ut gasser som bryter ned ozonlaget. Noen av disse gassene kalles KFK-gasser (CFC-gases). KFK-gasser ble tidligere brukt i spraybokser og kjølemiddel til kjøleskap, men bruken av slike gasser er betydelig redusert. I tillegg til nedbrytende effekt på ozon, er KFK-gasser med på å øke drivhuseffekten.

Et KFK-molekyl kan ha 25 000 ganger så stor påvirkning som et CO2 molekyl på drivhuseffekten. KFK-gasser slippes ut ved produksjon av byggematerialer som limtre, stål og betong (Store Norske Leksikon, 2018).

2.5.3 Human toxcity, cancer effects

Istedenfor å bruke et bestemt utslipp tilhørende en bestemt kategori, eksempelvis CO_2 sin effekt på global oppvarming. CTUh er et mål på toksiske enheter (CTU) pr. kg av et stoff eller kjemikalie sluppet ut. CTUh kan også utrykkes som «forventet økning i sykdom i total menneskelig populasjon pr. enhetsmengde for kjemikaler sluppet ut» eller «sykdomstilfelle pr. kg utslipp = CTUh pr. kg utslipp» (PRe sustainability, 2019).

2.5.4 Svevestøv

Svevestøv, på engelsk particulate matter (PM), er partikler som blir hengende i luften over lengre tid. Svevestøv blir definert etter størrelse på partiklene, målt i mikrometer, µm. Særlig finkornede partikler som er mindre enn 2,5 µm, $PM_{2,5}$, har en påvist negativ effekt på helsen. Noen av de kjente effektene er økt fare for lungekreft og astma, lavere forventet levealder og forhøyet blodtrykk (Brokamp *et al.*, 2018). De største kildene til utslipp av $PM_{2,5}$ er veitrafikk, vedfyring og langtransportert forurensning. Grensen for god luftkvalitet er for $PM_{2,5}$ satt til å

inneholde mindre enn 15 µg/m³ i døgnmiddel og 8 µg/m³ i årsmiddel (Folkehelseinstituttet, 2017).

2.5.5 Forsuring

Forsuring, acidification på engelsk, er en prosess som kan innbefatte både vann og mark. Forsuring er gitt i hydrogen molekyler, H+. Vannet vil ha en senkning i pH- nivået som følge av CO_2 opptak. Ved for lav pH, surt vann, vil det påvirke organismene som lever i vannet. Blant annet kan yngelproduksjonen opphøre.

Sur nedbør vil løse opp næringsstoffer i jorden, blant annet kalsium og kalium, og utløser metaller som aluminium og kvikksølv. Det har dermed en dobbel negativ påvirkning på jorden og plantelivet. Dette fører til redusert tilgang på nødvendige mineraler og økt tilgang på uønskede mineraler (Petersson, 2008).

2.5.6 Eutrofiering i ferskvann

Eutrofiering er en prosess hvor det ved tilførte næringsstoffer fører til en høyere planteproduksjon. Det blir delt opp i naturlig og påtvungen eutrofiering. Naturlig eutrofiering skyldes at næringssalter som har vært lagret i jordmassene blir tilbakeført til vannet. Stoffene blir sluppet ut svært langsomt og vil derfor vanligvis ikke skape problemer. Derimot kan utslipp fra byer, industri, kloakk og jordbruk føre til en tvungen eutrofiering. Forhøyede verdier av næringsstoffer vil føre til produksjon av planktonalger (Dag Hongve, 2018; Juan Rocha *et al.*, 2017). Eutrofiering kan bidra til at dyreliv i og rundt vannet svekkes og medføre problemer med lukt og smak. Dette fører til ekstra kostnader for å kunne benytte vannet (Wingo, 2001).

2.6 Usikkerhetsanalyse

Informasjonen som er benyttet for mengdeberegning stammer fra forskjellige kilder med ulik grad av reliabilitet. Derfor har elementene blitt inndelt i tre ulike kategorier. Det ble utført en enkel usikkerhetsanalyse for å teste påvirkning fra de forskjellige kategoriene.

Mengder innhentet direkte fra modellene klassifiseres som høykvalitetsdata. Det ble ved utdeling av modellen sagt at modellen viste realiteten i hva som var bygd. Det er lagt til en 10 % sikkerhetsmargin på elementene som klassifiseres som høykvalitetsdata. I denne rapporten er det kun mengden limtre som har en tilgjengelig EPD og kunne hentes direkte ut fra modellen.

Middelskvalitetsdataen omfatter elementer hvor informasjon er gitt etter forespørsel. Det ilegges mer usikkerhet i denne kategorien ettersom informasjonen ikke har vært mulig å etterprøve i ønsket grad. Et eksempel er at det på forespørsel om mengde armering ble oppgitt at det i snitt er 37 kg armering pr. m^2 for fundamentene. Som følge av at Google Maps er benyttet, og standardisert transportmiddel brukes ved alle transportetapper, med unntak av transport for tak, beregnes transport som middelskvalitetsdata. Sikkerhetsmarginen for middelskvalitetsdataen er satt til 30 %. Alle elementer med unntak av limtre og tak er beregnet som middelskvalitetsdata.

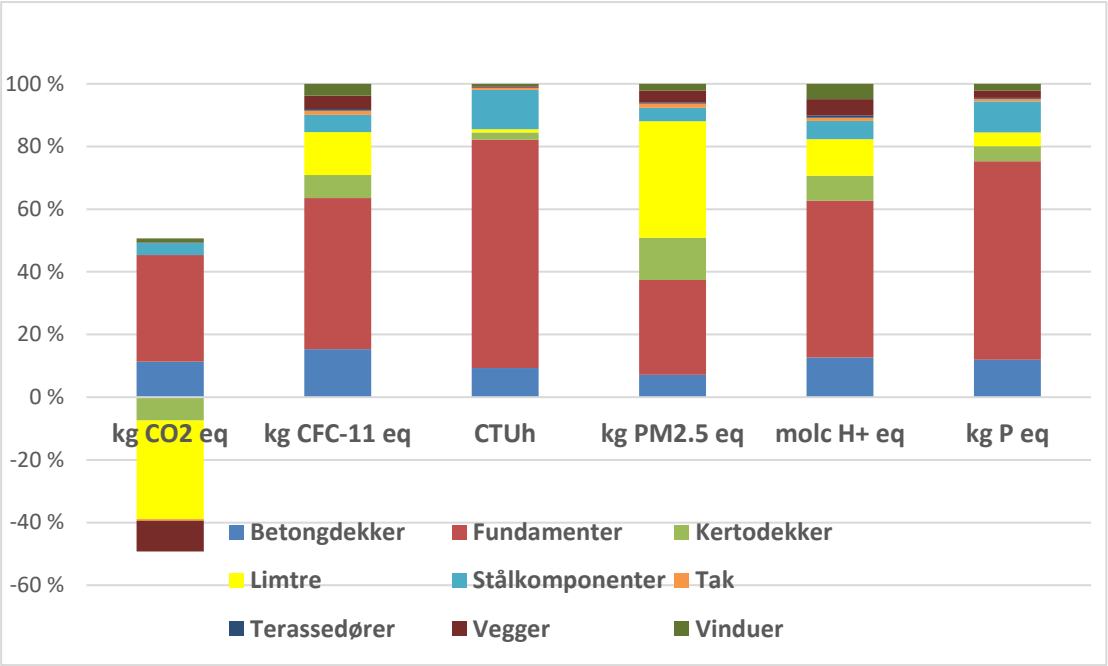
Lavkvalitetsdata er benyttet i elementet tak, med transport. Dette er et element hvor det er beregnet mengder ut fra arbeidstegninger og modell av bygget, da det ikke var mulig å få oppgitt tilstrekkelig informasjon. Det er lagt til en 50 % sikkerhetsmargin for lavkvalitetsdata.

2.7 Betongbygg

I forbindelse med bachelorprosjektet er det gitt informasjon om et 17 etasjes betongbygg i Stavanger fra tiltakshaver Selvaag Bolig ASA (Byggeindustrien, 2016). Bygget er utført med bærende vegger med dimensjon 400 mm og i snitt 150 kg stålarmering per m^3, som tilsier at det er brukt 382,4 liter betong per kvadratmeter vegg, uten vinduer. Mjøstårnet har ikke bærende vegger, men bærende søyler i limtre. For å kunne sammenligne to de forskjellige materialvalgene ble derfor bæringen i gavlveggene i Mjøstårnet erstattet med den bærende betongveggen. I sammenligningen ble det sett på en av gavlveggene, mellom dekkene i tredje og fjerde etasje. Fasaden har et areal på 61,3 kvadratmeter, og inneholder vinduer, som samlet har et areal på 20,88 m^2. Vinduenes areal ble fjernet når betongveggen skulle beregnes. Dimensjonene på limtreet og stål i knutepunkt ble hentet fra modellen og beregnet videre i Excel. Alle mål ble innhentet fra modellen.

3 Resultater

Figur 2 viser hvor mye de forskjellige elementene i bygget bidrar til de ulik klimapåvirkning. Ut fra tabellen kan en se at betongfundamentene er det elementet i bygget som bidrar mest i alle miljøkategorier. Tabell 3 gjengir samme resultater gitt med verdier.



Figur 2: Bidragsytere i tårnet sortert etter klimapåvirkning i prosent.
For utskift uten farger, se vedlegg 1«bidragsytere utskrift uten farger»

Tabell 3:
Viser totalt utslipp for alle elementer

Elementer	kg CO_2 eq	kg CFC-11 eq	CTUh	kg $PM_{2,5}$ eq	molc H+ eq	kg P eq
Limtre	-1 830 135	0,0333	0,019481	2 062,96	2 398,40	85,25
Vinduer	77 956	0,0092	0,014396	117,94	1 001,93	40,86
Terassedører	12 362	0,0013	0,001999	16,44	144,08	6,44
Betongdekker	662 143	0,0374	0,175262	396,1	2 610,34	228,01
Fundamenter	1 977 987	0,1179	1,381802	1 678,42	10 329,69	1 212,61
Stålkomponenter	219 103	0,0136	0,237151	239,52	1 204,62	189,34
Kertodekker	-435 826	0,0182	0,043844	744,47	1 655,51	90,42
Veggelementer	-574 140	0,0105	0,008139	217,78	1 089,32	43,98
Tak	-26 333	0,0032	0,012802	69,06	204,07	15,83

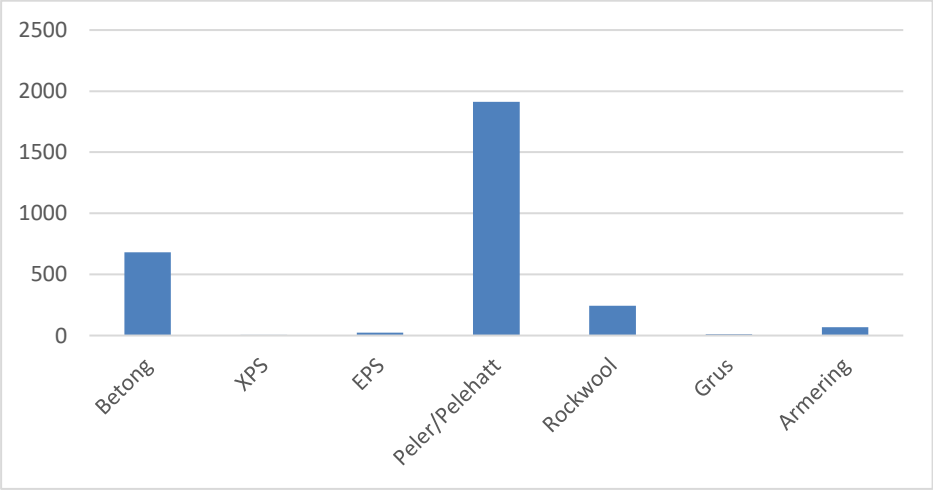
3.1 Miljøkategorier

3.1.1 Klimaendring pga. CO_2 i Mjøstårnet

Totalt har tilvirkning og transport av materialer til Mjøstårnet et utslipp på 3392,8 tonn CO_2. Alle treproduktene i Mjøstårnet bidrar til en CO_2-lagring på 3 309,7 tonn. Dette fører til at Mjøstårnet har et CO_2-utslipp på 83,12 tonn. Fundamentene er den største bidragsyteren til CO_2-utslippet, og står for utslipp av 1 977,99 tonn CO_2. Dette tilsvarer 58,3 % av mengden CO_2 som blir sluppet ut fra Mjøstårnet. Betongdekkene bidrar til utslipp av 662,14 tonn CO_2, 19,52 % av det totale utslippet. I betongdekkene kommer 52,5 % av utslippene fra betongen, 47,36 % fra armeringen og 0,08 % fra transport. Vinduene i bygget bidrar til utslipp av 77,96 tonn CO_2, 2,3 %. Hovedbærekonstruksjon i limtre er det elementet som står for mest CO_2-lagring. Under følger en oversikt over CO_2 lagring per element.

Tabell 4:
Biogen lagring for elementer i bygget

Element	Tonn CO_2
Total	-3 309,71
Limtre	-2 025,23
Vinduer	-49,64
Terassedører	-5,68
Kertodekker	-528,64
Vegger	-654,84
Tak	-45,68



Figur 2: CO_2-utslipp for materialene i fundamentene2 pr. m^2

Fundamentene står for den største delen av CO_2 utslippet, men betongen har ikke hovedskylden for utslipp av CO_2. Pelene og pelehattene står for 65 % av CO_2-utslippet i fundamentene. Betongen står for 23,1 % og armeringen 2,3 % av utslippet.

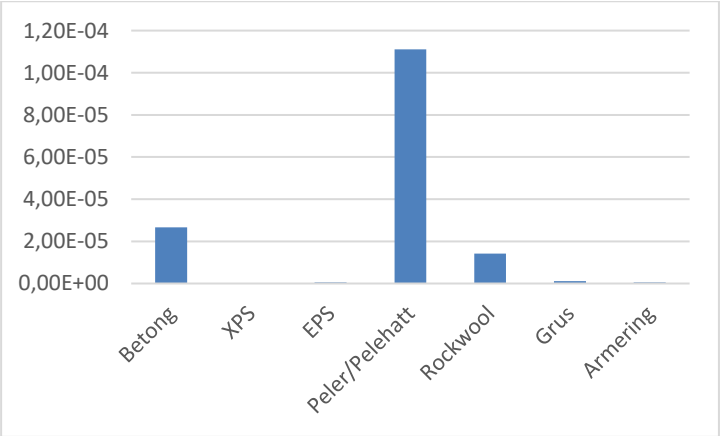
Den biogene lagringen fra hovedbæringen, med bruk av tall fra Moelven på 608 kg CO_2 pr. m^3, blir 807,9 tonn CO_2. Beregningen i SimaPro hentyder at lagringen for hovedbæringen er 2 025,23 tonn CO_2, som tilsvarer en lagring på 1 523 kg CO_2 pr. m^3. Lagring for totalt treverk, med bruk av Moelven sine verdier for limtre og 800 kg CO_2 for resterende trevirke, gir en lagring på 1 815,6 tonn CO_2. SimaPro beregner en total lagring på 3 309,71 tonn CO_2.

Det er ved forsøk vist at 11 % av utslippene av CO_2 i norsk betongproduksjon blir tatt opp igjen av betongen (Jacobsen og Jahren, 2001). Et enkelt estimat viser at om man regner med at 11 % av utslippene fra produksjonen blir tatt opp tilsvarer det 83,8 tonn CO_2 for Mjøstårnet.

3.1.2 Nedbrytning av ozonlaget

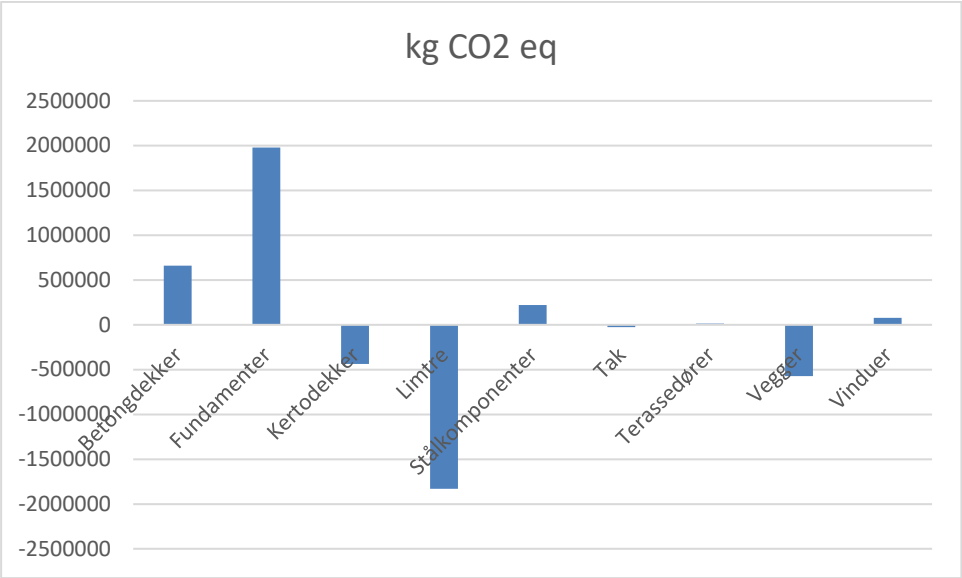
I Mjøstårnet slippes det totalt ut 0,24458 kg ozonlagnedbrytende stoffer. Den største bidragsyteren til utslippet er fundamentene. Fundamentene står for utslipp av 0,11179 kg ozonlag-nedbrytende stoffer, og tilsvarer 48,22 % av totalt utslipp.

Inne i fundamentene er det pelene og pelehattene som står for størsteparten av bidraget. Pelene og pelehattene står for 72,1 % av utslippet. Betongen står for 17,2 % av utslippet og armeringen står kun for 0,3 %.



Figur 3: Bidragsytere til CFC-11 i pr. m^2 fundamentene.

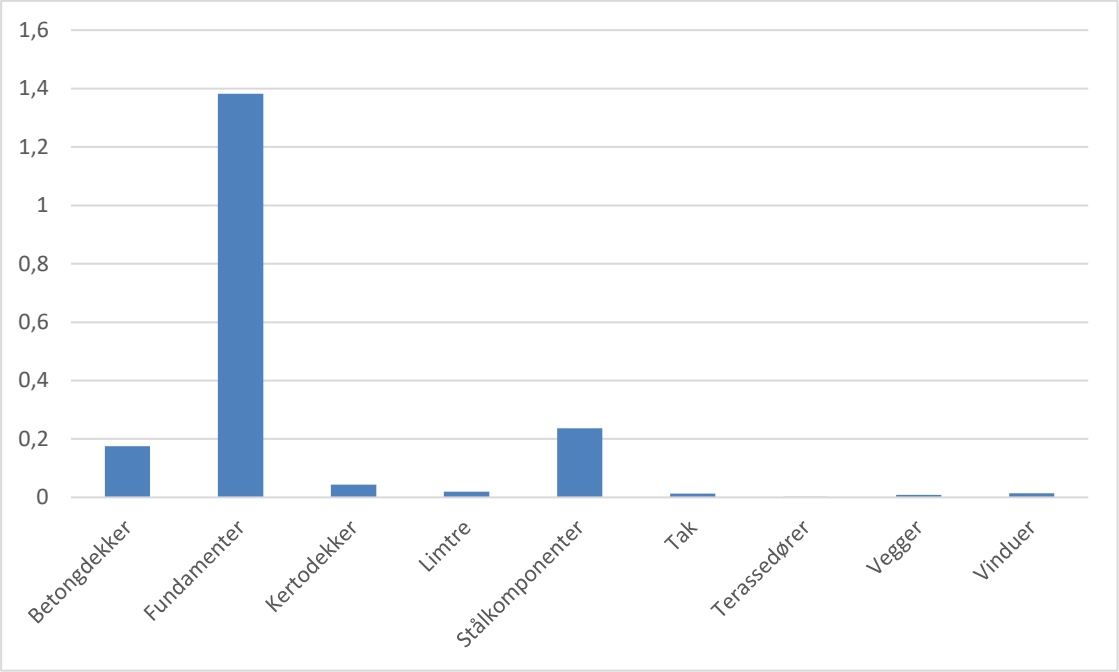
Hovedbæringen i limtre består av 1 328,9 m^3 limtre. Limtreet bidrar til utslipp av 0,0333 kg ozonlag-nedbrytende gasser. Det er 13,62 % av totalt utslipp. Betongdekkene i bygget består av 2 788,1 tonn betong totalt med gjennomsnittlig 123 kg armering pr. m^3 betong. Disse dekkene bidrar til et utslipp på 0,0374 kg ozonlag-nedbrytende gasser, 15,28 % av totalt utslipp.



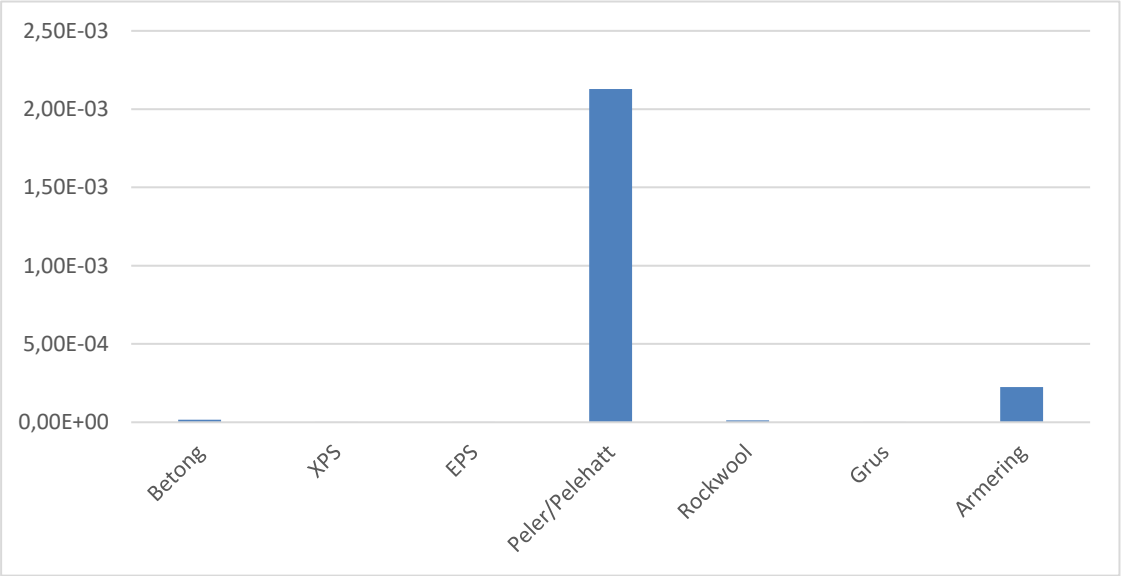
Figur 4: Utslipp kg CFC-11 eq for alle elementer i bygget

3.1.3 Human toxcity, cancer effects

Total CTUh for hele Mjøstårnet er 1,902. Fundamentene er de elementene som står for størsteparten av bidraget. Fundamentene står for 72,66 % av bidraget til CTUh. Stålkomponentene i bygget brukt over bakkenivå, sett bort ifra armering, er det som bidrar med mest forurensning etter fundamentene. Disse bidrar med 0,237 CTUh, som tilsvarer 12,52 % av total CTUh.



Figur 5: Bidrag til CTUh pr. element i bygget



Figur 6: CTUh pr. element i fundamentene

Inne i fundamentene er det peler, pele-hattene og armeringene som er de største bidragsyteren. Pelehattene og pelene står for 89,3 % av fundamentenes bidrag til CTUh. Armeringen i fundamentene står for 9,5 % av bidraget. Resterende komponenter står for i underkant av 1 % hver.

3.1.4 Svevestøv

I denne konstruksjonen tilsvarer det totale utslippet tilnærmet 5,5 tonn $PM_{2,5}$. Det er to hovedkomponenter som fører til mye utslipp av svevestøv, nemlig limtre og fundamentene. Limtre med et utslipp på 2 063 kg $PM_{2,5}$ utgjør 37,2 % av det totale utslippet, hvor 57,35 % av svevestøvet fra limtre stammer fra varmen forbundet med tørking av treverket. Totalt bidrar treverket i Mjøstårnet med 28 % av svevestøvet. Fundamentene, som har et utslipp tilsvarende 1 678 kg $PM_{2,5}$, tilsvarer tilnærmet 30,28 % av svevestøvet fra hele konstruksjonen. I fundamentene er det stålet i armering og peler som fører til høye verdier. Stålet bidrar med 95 % av svevestøvet fra fundamentene, med henholdsvis 15 % fra armeringen og 80 % fra pelene. Armeringen har i denne kategorien generiske data fra SimaPro, og gjenspeiler nødvendigvis ikke der verdiene som ville vært gitt fra stålet som er benyttet. Mer om dette kommer under avsnitt 4.7 «Det grønne stålet». Videre bidrar transport kun med 5,7 % av $PM_{2,5}$ utslippet for betongdekket tross flere transportetapper som overstiger 1 100 km.

3.1.5 Forsuring

Fundamentene bidrar til 50,05 % av det totale utslippet på 20 637,9 H+. Resterende elementer utgjør alle under 13 % hver seg. Også i denne kategorien bidrar stålet i pelene i vesentlig grad, pelene står for 33 % av det totale utslippet av H+ fra konstruksjonen.

Tabell 5:
Forsuring pr. element i bygget

Element	% av utslippet
Limtre	11,62
Vinduer	4,85
Terassedører	0,7
Betongdekker	12,65
Fundamenter	50,05
Stålkomponenter	5,84
Kertodekker	8,02
Vegger	5,28
Tak	0,99

3.1.6 Eutrofiering i ferskvann

I bygget utgjør utslipp fra fundamentene tilnærmet lik 63,4 % av det totale utslippet på 1 912,7 kg P eq. Pelene står her for 65,8 %. Betongdekkene står for utslipp av 228 kg P eq, ca. 12 % av totalt utslipp. Hovedbæringen i limtre står for 4,46 %, stålet brukt over bakken ekskludert armering i betongdekkene står for 9,9 % og kertodekkene bidrar med 4,73 %. Resterende ligger på mellom 2,3 % og 0,34 %.

3.2 "Det grønne stålet"

Armeringen i fundamentene fører med spesifikt stål til et utslipp på 42,7 tonn CO_2, med generisk data fra SimaPro ville utslippet vært på 259,8 tonn CO_2. Dette tilsier at armeringen som er benyttet slipper ut tilnærmet ⅙ av det generisk stål ville gjort. Dette reduserer CO_2-utslippet fra fundamentene med 217,1 tonn CO_2, 11 %.

Verdier for nedbrytning av ozonlaget ble også hentet fra EPD-en til stålet. For resterende klimaklasser er det ikke mulig å hente ut verdier i SimaPro. Det er benyttet tilsvarende armeringsstål som i betongdekkene. Nedenfor kan man se at verdiene for de ulike ståltypene vil variere når det benyttes EPD-analyse av begge elementene.

Tabell 6:
Sammenligning av generisk og grønt stål.

Impact category	Unit	Reinforcing steel {GLO}| market for | Cut-off, U	Celsa Steel
Acidification (fate not incl.)	kg SO_2 eq	9,59E-03	7,10E-04
Eutrophication	kg PO_4--- eq	4,80E-03	1,60E-04
Global warming (GWP100a)	kg CO_2 eq	2,2346	0,3600
Photochemical oxidation	kg C_2H_4 eq	1,32E-03	6,10E-05
Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	1,28E-07	2,90E-09
Abiotic depletion (optional)	kg Sb eq	9,11E-06	1,40E-07
Abiotic depletion, fossil fuels (opt.)	MJ	22,6248	1,9140

3.3 Bidrag fra transport

Det slippes ut totalt 148,47 tonn CO_2 som følge av transporten til byggeplassen. Transport av betongfundamentene står for 66 % av dette utslippet. Transport av henholdsvis limtreet står for 0,883 % og betongdekkene for 27,1 % av totalt CO_2 utslipp fra transporten.

Totalt er fundamentene til Mjøstårnet regnet til 639 m^2 i denne oppgaven. Produksjon av 1 m^2 av fundament, med peler, bidrar i gjennomsnitt til utslipp av 2 942,3 kg CO_2 pr. m^2. Totalt utslipp for 1 m^2 fundament, med frakt, er 3 095,44 kg CO_2. Altså en økning på 153,14 kg CO_2 pr. m^2. Transporten knyttet til fundamentene bidrar totalt med et utslipp på 97,56 tonn CO_2. Store deler av transportutslippet i fundamentene er tilknyttet stålpelene og stålkjernepelene. Stålpelene er fraktet 1 106 km og stålpelekjernene 1 961 km.

Stålpelene i fundamentene står for størsteparten av utslippene i fundamentene. Utslipp knyttet til transport står for 4,95 % av totalt utslipp fra fundamentene. Transporten av pelene og pelekjernene står for 84,27 % av totalt utslipp knyttet til transport av fundamentene. Totalt bidrar pelene og pelekjerner til utslipp av 82,45 tonn CO_2 knyttet til transport. Utslippet kunne vært redusert dersom transportavstanden hadde blitt redusert. Transporten står for 12,04 % av totalt utslipp av CFC-11 gass i fundamentene. De resterende klimagassene ble lite påvirket av transporten til fundamentene.

Transporten av limtre hadde liten innvirkning på utslipp klimagassene, fordi Mjøstårnet kun ligger 24 km fra Moelven Limtre. Transporten av limtre bidro til et utslipp på 0,986 kg CO_2 pr. m^3 eller totalt 1 310,4 kg CO_2. Den korte avstanden limtreet er transportert, gjør at limtreet i veldig liten grad bidrar til utslipp av klimagasser knyttet til transport.

Tabell 7:
Utslipp pr. m^3 limtre pga. transport

Enhet for utslipp	Total	Transport
kg CO_2 eq	-1377,1772	0,98609811
kg CFC-11 eq	2,5069E-05	1,955E-07
CTUh	1,4659E-05	2,7866E-08
kg $PM_{2.5}$ eq	1,5523787	0,00055255
molc H+ eq	1,8047996	0,00322884
kg P eq	0,06414909	7,7519E-05

3.4 Usikkerhetsanalyse

For å utføre usikkerhetsanalysen med tanke på CO_2 vil det i denne oppgaven ikke være hensiktsmessig å se på Mjøstårnets totale utslipp, ettersom dette innebærer både utslipp og biogen lagring. CO_2-nivåene er derfor delt opp i to deler, en med utslipp og en med biogen lagring. Fra tabellen av usikkerhetsanalysen under kan man lese at forandringen fra opprinnelige beregninger varierer mellom 18,04 % og 31,47 % avhengig av hvilken kategori man ser på. Den største forandringen på 31,47 % omhandler CO_2 utslipp.

Tabell 8:
Utslipp etter gjennomført usikkerhetsanalyse og prosentvis forandring fra tidligere verdi.

Impact category	Unit	Total	Forandring
Climate change	kg CO_2 eq	4 460 523	31,47 %
Biogen lagring	kg CO_2 eq	-3 906 714	18,04 %
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,31954	30,65 %
Human toxicity, cancer effects	CTUh	2,46787	30,24 %
Particulate matter	kg $PM_{2.5}$ eq	6 838,21	23,37 %
Acidification	molc H+ eq	26 895,19	30,32 %

3.5 Betongvegg

Ved å benytte en bærende betongvegg kunne man fjernet limtresøylene. I tabell 9 vises klimaregnskapet dersom det hadde vært benyttet en betongvegg fremfor eksisterende bæresystem i limtre. Veggen som er beregnet har et areal på 61,37 m^2, men inneholder 20,88 m^2 vindu. Limtreet og knutepunktet, som i tabellen er skrevet i kursiv, tilsvarer elementer som ville blitt erstattet om bygget skulle hatt betongvegger. I bygget er det 5 507,78 m^2 vegg. Det totale utslippet for veggene ville blitt 2 750 tonn CO_2, dersom det hadde vært benyttet bærende betongvegger fremfor bærende limtrekonstruksjon.

Tabell 9:
Sammenligning av betongvegg og limtrebæring.

Unit	Total	Betong	Armering	Limtre	Knutepunkt
kg CO_2 eq	30666,36	7291,99	7893,92	15481,23	-0,78
kg CFC-11 eq	4,51E-04	2,85E-04	4,45E-04	-2,79E-04	-4,56E-08
CTUh	4,46E-03	1,66E-04	4,46E-03	-1,64E-04	-8,73E-07
kg $PM_{2.5}$ eq	-7,806	1,865	7,763	-17,432	-0,001
molc H+ eq	41,873	21,138	40,977	-20,237	-0,004
kg P eq	5,089	1,049	4,760	-0,720	-0,001

3.6 Isolasjon

Som isolasjonsmateriale i bygget er det benyttet både glassull fra Glava og steinull fra Rockwool. Det ble fra oppdragsgiver oppgitt at isolasjonen i kertodekkene ikke hadde direkte sammenheng med isolasjonsevne, det er derfor kun regnet på isolasjonen i tak og vegger. I fasene A1 - A3 står en m^3 Glava for 21 kg CO_2 og Rockwool for 34,32 kg CO_2 (Glava, 2019; ROCKWOOL, 2013). Det totale CO_2 utslippet fra isolasjonen i taket og veggene blir tilnærmet 50 tonn CO_2.

Ved å ta hensyn til isolasjonsevnen til materialet vil man trenge en større mengde treisolasjon fra fabrikanten Steico (Steico, 2016). I fasene A1 - A3 binder Steico sin isolasjon 173 kg CO_2 pr. m^3. Det totale utslippet av CO_2 blir dermed tilnærmet - 280 tonn. Forskjellen på isolasjonen blir dermed 330 tonn CO_2. Å hente verdier fra treisolasjonen til Steico ble valgt på grunnlag av deres posisjon i markedet.

4 Diskusjon

Dersom biogen lagring i tre utelates og kun utslippet beregnes, slipper Mjøstårnet ut 3 392,8 tonn CO_2, som tilsvarer 0,007753 % av totalt CO_2-utslipp i Norge i 2017. Dersom biogen lagring medregnes, blir Mjøstårnets totale klimapåvirkning med tanke på CO_2 83,11 tonn. Til sammenligning var årlig utslipp pr. person i Norge 8,4 tonn CO_2 i 2017.

4.1 Sammenligning av vinduer og veggkonstruksjon

Mjøstårnet har totalt 7 337,7 m^2 fasade. Omtrent ¼ av fasaden er vinduer eller terrassedører. Den høye andelen skyldes blant annet store glassfasader i nedre del av bygget og doble verandadører i leilighetene. En gjennomsnittlig kvadratmeter vindu i Mjøstårnet har et utslipp på 4,75 ganger så mye klimagasser som det en kvadratmeter veggkonstruksjon.

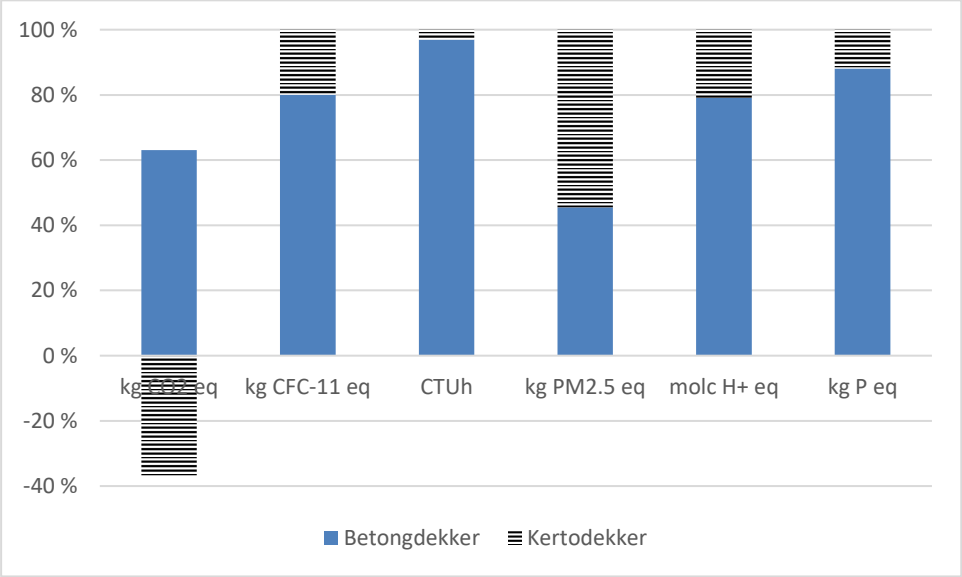
Både vinduene og veggene inneholder treverk som bidrar til lagring av CO_2. Derimot er det ikke nok treverk i vinduene til å binde opp CO_2-utslippene fra de øvrige materialene. Totalt slippes det ut 127,6 tonn CO_2 ved produksjon av vinduene, hvor treverket lagrer ca. 50 tonn CO_2. Produksjon av en kvadratmeter vindu slipper ut 69,7 kg CO_2, mens produksjon av 1 m^2 veggelement slipper ut 14,65 kg CO_2. Dersom en regner med biogen lagring, gir dermed 1 m^2 med vindu et utslipp på 42,6 kg CO_2 og veggelementet en lagring på 104 kg CO_2.

Som et tiltak for å redusere utslipp av klimagasser kunne det vært aktuelt å erstatte deler av vinduene eller glassfasaden med vegger. Gjennomsnittlig hadde det å erstatte 1 m^2 vindu med 1 m^2 vegg, redusert klimautslippet med ca. 147 kg CO_2, 3,1 kg CFC-11, 0,025 kg $PM_{2,5}$ eq og 0,01435 kg p eq.

Det er selvsagt ikke naturlig å fjerne alle vinduene, en må ta med i vurderingen at vinduer har en tilleggsfunksjon som et veggelement ikke har. Blant annet sier paragraf «13-8. Utsyn» i TEK 17 (Direktoratet for byggkvaitet, 2017, s. under § 13-18. Utsyn.) at «Rom for varig opphold skal ha vindu som gir tilfredsstillende utsyn.» Derimot kunne en sett på om bygget kunne vært utformet annerledes for å få ned arealet med vinduer.

4.2 Sammenligning av kertodekker og betongdekker

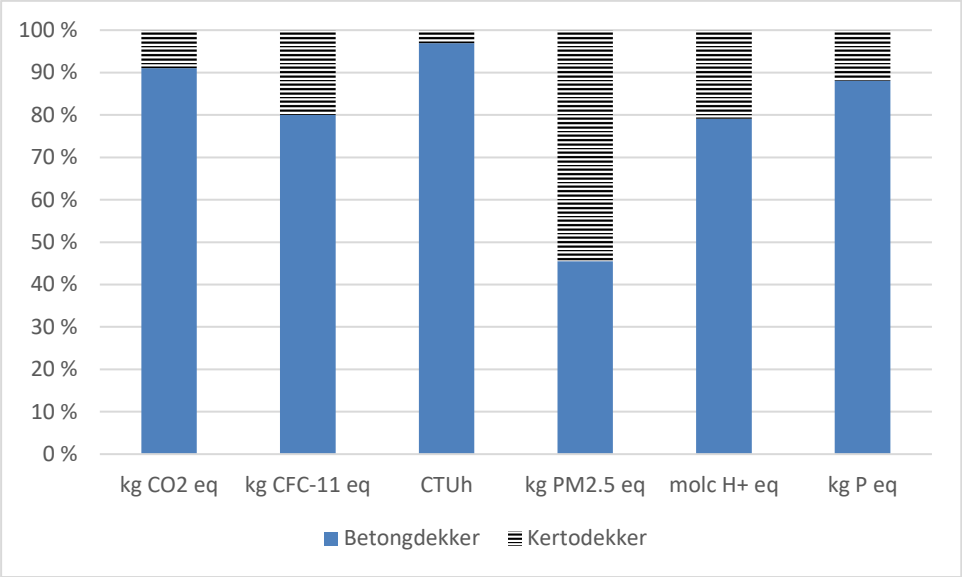
I Mjøstårnet er de 7 øverste etasjeskillene bygget i betong for å øke tyngden og dermed tregheten til bygget. De 10 underliggende etasjeskillene er kertodekker. Kertodekker er dekker laget av limtre, kerto og konstruksjonsvirke. Totalt i hele bygget er det 5 089 m^2 kertodekker og 3 717,4 m^2 betongdekker. I betongdekkene er det brukt 1 115,23 m^3 betong med et gjennomsnittlig armerings-innhold på 123,3 kg pr. m^3. Betongdekkene bidrar til utslipp av 662,14 tonn CO_2, mens det totalt lagres 528,6 tonn CO_2 i kertodekkene. Kertodekkene inneholder i tillegg materialer og prosesser som slipper ut CO_2 slik at utslippet for elementet blir – 435,8 tonn CO_2.



Figur 7: Betongdekker sammenlignet med kerto-dekker pr. m^2. Inkludert biogen lagring.

Selv om man utelukker biogen lagring vil dermed kertodekkene komme gunstig ut i forhold til betongdekkene med tanke på CO_2-utslipp. Betongdekkene har et utslipp pr. m^2 på 186 kg CO_2 og kertodekkene et utslipp, pr. m^2, på 18,3 kg CO_2

Utslippsdataene pr. m^2 for betongdekkene sammenlignet med kertodekkene vil se slik ut dersom biogen lagring utelukkes:



Figur 8: Betongdekker sammenlignet med kertodekker uten biogen lagring pr. m²

Dersom kun CO_2-utslipp blir tatt i betraktning ser 1 m² kertodekke mer miljøvennlig ut enn hva 1 m² betongdekkene gjør på grunn av kertodekket sin store biogene lagring. Selv når den biogene lagringen til kertodekket utelukkes, slipper produksjon av betongdekkene ut over 10 ganger så mye CO_2 pr. m² som kertodekkene gjør. For å få et mer helhetlig bilde av miljøpåvirkningen til et element i bygget er det viktig å se på mer enn kun én klimapåvirkning. 1 m² kertodekke står for lavere utslipp i alle utslippsklassene enn hva 1 m² betongdekkene gjør, utenom utslipp av svevestøv. En kvadratmeter kertodekke står for utslipp av 2,1 gram mer svevestøv enn hva 1 m² betongdekkene gjør, og tilsvarer et 19,7 % høyere utslipp. Imidlertid er det ikke mulig å kun benytte seg av kertodekker i konstruksjonen slik den fremstår i dag, som kommer av at betongdekkene har en ekstrafunksjon med å tilføre vekt.

4.3 Avvik mellom utslipp i SimaPro og faktiske utslipp

Å lage en LCA som tilsvarer virkeligheten fullt ut vil være vanskelig å gjennomføre. For å få til dette må man blant annet sitte på nøyaktig og konkret data som beskriver alle ledd. Det har i denne oppgaven vist seg vanskelig som følge av at innsamlingen av data både har kommet sent inn i prosessen med bygget, og samtidig for tidlig. Med for sent menes at personer som har vært med i prosjektet nå har gått videre til nye prosjekter, og ikke lenger har tilgang til detaljert informasjon om Mjøstårnet. Dermed er det lett for at svar blir gitt ut ifra antagelser og det man kommer på. Det gjenspeiler nødvendigvis ikke de korrekte dataene i bygget. Derimot har antagelsene relativt lite å si på sluttverdien. Kun 8,69 % av utslippene stammer fra elementet med størst usikkerhet, armering i betongdekkene. Det er videre naturlig å anta at verdiene som ble oppgitt har en forankring i virkeligheten. At det fortsatt er tidlig i prosessen blir tydelig med tanke på at energiregnskap ikke er på plass, hverken i byggeprosessen eller i driftsfasen. Dette har ført til bruk av generisk data og innskrenkinger når det kommer til hvilke faser som et tatt med i oppgaven.

Mengder og beregninger bygger på informasjon gitt ut fra modeller av bygget, dokumenter, e-post, enkelte antagelser og EPD-er. Modellene og noe av innholdet i dokumentene og e-post er konfidensielt. Dermed er det ikke mulighet til å utlevere hele grunnlaget benyttet i denne analysen. Dette fører til at det blir vanskelig å utføre en ny LCA av Mjøstårnet og få samme resultat.

4.4 “Det grønne stålet”

Som følge av at det er benyttet stål med et lavere CO_2-utslipp enn vanlig, er det totale CO_2-utslippet fra bygget betraktelig redusert. Om generisk stål hadde vært benyttet ville utslippet, ekskludert biogen lagring, økt med 6,4 %. Inkludert biogen lagring ville resultatet for bygget endt med et utslipp på 300 tonn CO_2.

I og med at det er brukt verdier fra generisk stål for flere av miljøfaktorene, er det rimelig å anta at resultatene fra beregningen av utslippene ville vært annerledes med spesifikke data. Nedenfor viser tabellen at verdiene hentet fra «det grønne stålet» tilsvarer fra 2 % til 16 % av

verdiene til stålet som er i SimaPro. Det blir derfor besluttet at beregningene som er foretatt er på sikker side.

Tabell 10:
Prosentvis sammenligning av grønt stål og generisk.

Impact category	
Acidification (fate not incl.)	7 %
Eutrophication	3 %
Global warming (GWP100a)	16 %
Photochemical oxidation	5 %
Ozone layer depletion (ODP) (optional)	2 %
Abiotic depletion (optional)	2 %
Abiotic depletion, fossil fuels (opt.)	8 %

4.5 Usikkerhetsanalyse

Forandringer som ligger på rundt 30 % viser en stor påvirkning fra middelskvalitetsdataen. Dette er ikke unaturlig da de fleste kategoriene ligger på rundt 30 %, ettersom de fleste elementene er kvalifisert som middelskvalitetsdata. Det er den biogene lagringen som har den minste prosentvise forandringen, dette er naturlig ettersom den store bidragsyteren til biogen lagring er limtre, som er klassifisert som høykvalitetsdata. Om man skal beregne på trygg side kan en i tillegg fjerne karbonlagringen i bygget. Utslippet vil da ende på 4 460 tonn CO_2.

4.6 Betongvegg

Ved bruk av betongvegger ville utslippene av samtlige klimakategorier, med unntak av CO_2 og svevestøv, blitt økt med mellom 0,1 % og 0,5 %. CO_2-utslippet ville i forhold til nåværende totale utslippet for hele bygget, økt med 87,7 %. Svevestøvet ville vært redusert med 0,1 % av nåværende utslipp. Dette understøtter tidligere beregninger der det er kommet frem til at betong står for utslipp av CO_2, mens treverk binder CO_2 og slipper ut svevestøv. Det er mengden bærende limtre, i den bærende konstruksjonen i gavlveggen, som er benyttet for hele fasaden. Beregningene er derfor kun et overslag for å sammenligne klimapåvirkning fra bruk av limtre og betong. Det er ikke gjort beregninger på innvendig bærende elementer.

4.7 Treisolasjon

Forbedringen på 330 tonn CO_2 er kun et overslag, da det ikke er tatt høyde for andre egenskaper fra materialene som kan endre kravene til konstruksjonen. Densiteten er blant annet dobbelt så høy som for Rockwool og nesten tre ganger densiteten til Glava. Dette kan føre til at man kan trenge en kraftigere konstruksjon, som fører til økt materialbruk. Andre egenskaper som akustiske- og branntekniske egenskaper er ikke vurdert. Annet utslipp enn CO_2 er heller ikke tatt hensyn til. Mottatt informasjon utelukker ikke muligheten for at treisolasjon kunne vært brukt i veggene i Mjøstårnet.

4.8 Sammenligning av CO_2-lagring i SimaPro og teoretisk lagring

Metoden benyttet i SimaPro tar hele tiden vare på svinnet som er benyttet i tidligere prosesser, fra råvare til ferdig produkt. Det blir derfor en særlig stor biogen lagring som følge av at mye av treet går bort før en sitter igjen med ferdig konstruksjonsvirke. For å underbygge en slik fremstilling må en ha visshet om at treverket blir liggende ubrukt gjennom hele byggets levetid. Ved beregning av faktisk mengde treverk i bygget, uten svinn, og bruke verdier på limtreet oppgitt fra leverandøren og verdier fra Treteknisk for resterende trevirke senkes lagringen med 1 494 tonn CO_2. Dette utgjør en reduksjon på 45 % fra opprinnelig verdi. Utslippet til Mjøstårnet ville da endt på 1 577 tonn CO_2.

5 Konklusjon

I bacheloroppgaven er det gjennomført LCA analyse av Mjøstårnet, som inkluderer produksjon av materialer og transport til byggeplassen. Det er gjennomført flere beregninger for å se på hvordan enkeltkomponenter bidrar, hvordan usikkerheten av mengder påvirker resultatet, hvordan biogen lagring spiller inn og hvordan enkelte endringer ville påvirket bygget. Avgrensningene på hvilke komponenter som har vært med i analysen har vært lik for alle beregningene. Etter gjennomført usikkerhetsanalyse og vurdering av utslipp fra armeringen, vises det at utslippene er relativt stabile, med en gjennomsnittlig forandring på 28,18 %. Gjennomført analyse av materialet med størst usikkerhet viser at det har en liten påvirkning på sluttresultatene for Mjøstårnet samlet.

- Hvor stor er klimapåvirkningen fra Mjøstårnet?

Med en klimapåvirkning på kun 83,1 tonn CO_2 er det tydelig at Mjøstårnet kommer positivt ut i forhold til CO_2-regnskap. Den lave verdien stammer fra bruk av store mengder treverk og dermed biogen lagring. LCA analysene viser at CO_2-utslippene er 3 393,8 tonn og biogen lagring er 3 309,7 tonn.

- Er det en klimagevinst ved å benytte treprodukter fremfor elementer i betong?

Resultater fra analysene konkluderer med at er det en fordel å benytte seg av produkter i tre med tanke på CO_2-utslipp. Noe som tallfestes blant annet ved sammenligning av kertodekker med betongdekker, og limtrebæring med betongvegg. Her viser resultatene at treverket står for biogen lagring, og dermed negativt utslipp, mens elementer som inneholder mye stål og betong bidrar til et høyt CO_2. Pr. m^2 bidrar betongen med tilnærmet 4 ganger, eller mer, så mye utslipp for klimakategoriene som er analysert, unntaket er for svevestøv der treverket har et tilnærmet likt utslipp.

- Er det forbedringspotensialer i Mjøstårnet?

Oppgaven har sett på forbedringspotensialer i fasaden og i valget av isolasjon. Konklusjonen er at det ville vært gunstig å redusere mengden med glass, spesielt glassfasaden. Enkle estimater viser at bruk av treisolasjon ville vært gunstig med tanke på CO_2.

6 Litteraturliste

Bjørheim, K. (2019) *Verdens høyeste trehus er åpnet – se de nyeste bildene*. Tilgjengelig fra: https://www.tu.no/artikler/verdens-hoyeste-trehus-er-apnet-se-de-nyeste-bildene-br/459983 (Hentet: 4. mars 2019).

Brokamp, C. *et al.* (2018) Predicting Daily Urban Fine Particulate Matter Concentrations Using a Random Forest Model, *Environmental science & technology*, 52(7), s. 4173. doi: 10.1021/acs.est.7b05381.

Byggeindustrien (2016) *Lervig Brygge Pluss*. Tilgjengelig fra: http://www.bygg.no/article/1278954 (Hentet: 15. mai 2019).

Celsa Steel Service (2016) *Steel reinforcement products for concrete*. Tilgjengelig fra: https://www.epd-norge.no/getfile.php/138647-1519641284/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-434-305-EN_Steel-reinforcement-products-for-concrete_1.pdf (Hentet: 9. mai 2019).

Celsa Steel Service (u.å). Tilgjengelig fra: https://celsa-steelservice.no/ (Hentet: 3. mai 2019).

Dag Hongve, J. K. (2018) Eutrofiering *Store norske leksikon.* Tilgjengelig fra: https://snl.no/eutrofiering (Hentet: 14. april 2019).

Direktoratet for byggkvaitet (2017) *Byggteknisk forskrift § 13-8. Utsyn.* Tilgjengelig fra: https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/13/v/13-8/ (Hentet: 5. mai 2019).

Dramstad, W. *et al.* (2015) Livsløpsanalyser (LCA), *Fakta fra Skog og landskap*, (09). Tilgjengelig fra: https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/2437126/SOL-Fakta-2015-09.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Energi og Klima (2019) *Norges utslipp*. Tilgjengelig fra: https://energiogklima.no/klimavakten/norges-utslipp/ (Hentet: 23. april 2019).

EPD-Norge (u.å.-a) *Hjemmeside EPD-Norge*. Tilgjengelig fra: https://www.epd-norge.no/?lang=no_NO (Hentet: 8. mai 2019).

EPD-Norge (u.å.-b). Tilgjengelig fra: https://www.epd-norge.no/ (Hentet: 5. februar 2019).

Folkehelseinstituttet (2017) *Svevestøv*. Tilgjengelig fra: https://www.fhi.no/nettpub/luftkvalitet/svevestov/svevestov/ (Hentet: 5. mai 2019).

Glava (2019) *Glava glassull*. Tilgjengelig fra: https://www.epd-norge.no/getfile.php/139857-1548836091/EPDer/Byggevarer/Isolasjon/NEPD-1696-683_Glava-Glassull.pdf (Hentet: 01. mai 2019).

Haines, A. *et al.* (2006) Climate change and human health: impacts, vulnerability, and mitigation, *The Lancet*, 367(9528), s. 2101-2109. doi: 10.1016/S0140-6736(06)68933-2.

Huwart, J.-Y. og Verdier, L. c. (2013) *Economic globalisation : origins and consequences*. OECD. Tilgjengelig fra: https://www.oecd-ilibrary.org/economics/economic-globalisation/what-is-the-impact-of-globalisation-on-the-environment_9789264111905-8-en.

Jacobsen, S. og Jahren, P. (2001) *Binding of CO2 by carbonation of Norwegian Concrete*. Upublisert paper presentert på CANMET/ACI three day symposium on sustainable development and concrete technology. San Francisco, USA.

Juan Rocha *et al.* (2017) *Freshwater Eutrophication*. Tilgjengelig fra: https://regimeshifts.org/component/k2/item/55-freshwater-eutrophication (Hentet: 24. april 2019).

Klima- og miljødepartementet (2016) *Parisavtalen – en ny global klimaavtale*. Tilgjengelig fra: https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/internasjonale-klimaforhandlinger/innsiktsartikler-klimaforhandlinger/forhandlingene-om-ny-klimaavtale-i-paris/id2457656/ (Hentet: 29. april 2019).

Lian Trevarefabrikk AS (2015a) *2-veis innadslående åpningsvindu*. Tilgjengelig fra: https://www.epd-norge.no/dorer-og-vinduer/2-veis-innadslaende-apningsvindu-article1093-319.html (Hentet: 21. februar 2019).

Lian Trevarefabrikk AS (2015b) *Heve-/skyve terrassedør*. Tilgjengelig fra: https://www.epd-norge.no/getfile.php/135729-1468928585/EPDer/Byggevarer/D%C3%B8rer%20og%20vinduer/NEPD-330-212-NO_Heve--skyve-terrassed--r.pdf (Hentet: 21. februar 2019).

Moelven (2018) *Standard limtrebjelke*. Tilgjengelig fra: https://www.epd-norge.no/getfile.php/139068-1530528866/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-1576-605_Standard-limtrebjelke.pdf (Hentet: 8. mai 2019).

National Geographic (2019) *Ozone depletion, explained*. Tilgjengelig fra: https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/ozone-depletion/ (Hentet: 9. mai 2019).

Norsk Betongforening (2018) *Betong og miljø – karbonatisering*. Tilgjengelig fra: https://betong.net/wp-content/uploads/6-NBweb-Betong-og-milj%C3%B8-%E2%80%93-karbonatisering.pdf (Hentet: 4. mai 2019).

Norsk rikskringkasting (2019) *Norge nå*. Tilgjengelig fra: https://tv.nrk.no/serie/norge-naa/201901/ENRK10012419/avspiller (Hentet: 1. mai 2019).

Norske Limtreprodusenters Forening (2015) *Limtreboka*. Norske Limtreprodusenters Forening,. Tilgjengelig fra: https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtreboka_2015_el2.pdf.

Petersson, G. (2008) Försurning. s. 1-11.

PRÉ CONSULTANTS (2019) *About SimaPro*. Tilgjengelig fra: https://simapro.com/about/ (Hentet: 5. april 2019).

PRe sustainability (2019) *How to Use USEtox® Characterisation Factors in SimaPro*. Tilgjengelig fra: https://www.pre-sustainability.com/news/how-to-use-usetox-characterisation-factors-in-simapro (Hentet: 18. april 2019).

ROCKWOOL (2013) *ROCKWOOL® isolering*. Tilgjengelig fra: https://www.epd-norge.no/getfile.php/139441-1556614285/EPDer/Byggevarer/Isolasjon/NEPD-00131E_rev1_ROCKWOOL-isolering_4_1.pdf (Hentet: 1. mai 2019).

SINTEF Certification (u.å.) *Miljødeklarasjon (EPD)*. Tilgjengelig fra: https://www.sintefcertification.no/portalpage/index/61 (Hentet: 4. februar 2019).

Skogsnorge (2013) *Hva er fotosyntese?* Tilgjengelig fra: http://www.skogsnorge.no/artikkel.cfm?Id_art=13448&Tema_id=6&Id_kanal=6 (Hentet: 3. mai 2019).

Skullestad, J. L. og Bohne, R. A. (2016) *Bygging av høyhus i tre som et klimatiltak - En sammenliknende LCA av bæresystemer i tre og betong for bygg med varierende antall etasjer*. NTNU. Tilgjengelig fra: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2407885/14670_FULLTEXT.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Hentet: 9. mai 2019).

Statens Vegvesen (u.å.). Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/fag/trafikk/Nokkeltall+transport/Definisjoner (Hentet: 5. april 2019).

Statistisk Sentralbyrå (2018) *Utslipp til luft*. Tilgjengelig fra: https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/klimagassn (Hentet: 23. april 2019).

Steico (2016) *Wood fibre insulation materials STEICO SE*. Tilgjengelig fra: https://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Certificates_-_Documents/English__multiple_markets_/STEICO_EPD-STE-20150327-IBD1-EN.pdf (Hentet: 1. mai 2019).

Store Norske Leksikon (2017a) *Tre - plante*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/tre_-_plante (Hentet: 3. mai 2019).

Store Norske Leksikon (2017b) *Globale Oppvarmingspotensialer*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/globale_oppvarmingspotensialer (Hentet: 11. april 2019).

Store Norske Leksikon (2018) *Klorfluorkarboner*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/klorfluorkarboner (Hentet: 12. april 2019).

Store Norske Leksikon (2019a) *Fotosyntese*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/fotosyntese (Hentet: 3. mai 2019).

Store Norske Leksikon (2019b) *Ozonlaget*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/ozonlaget (Hentet: 12. april 2019).

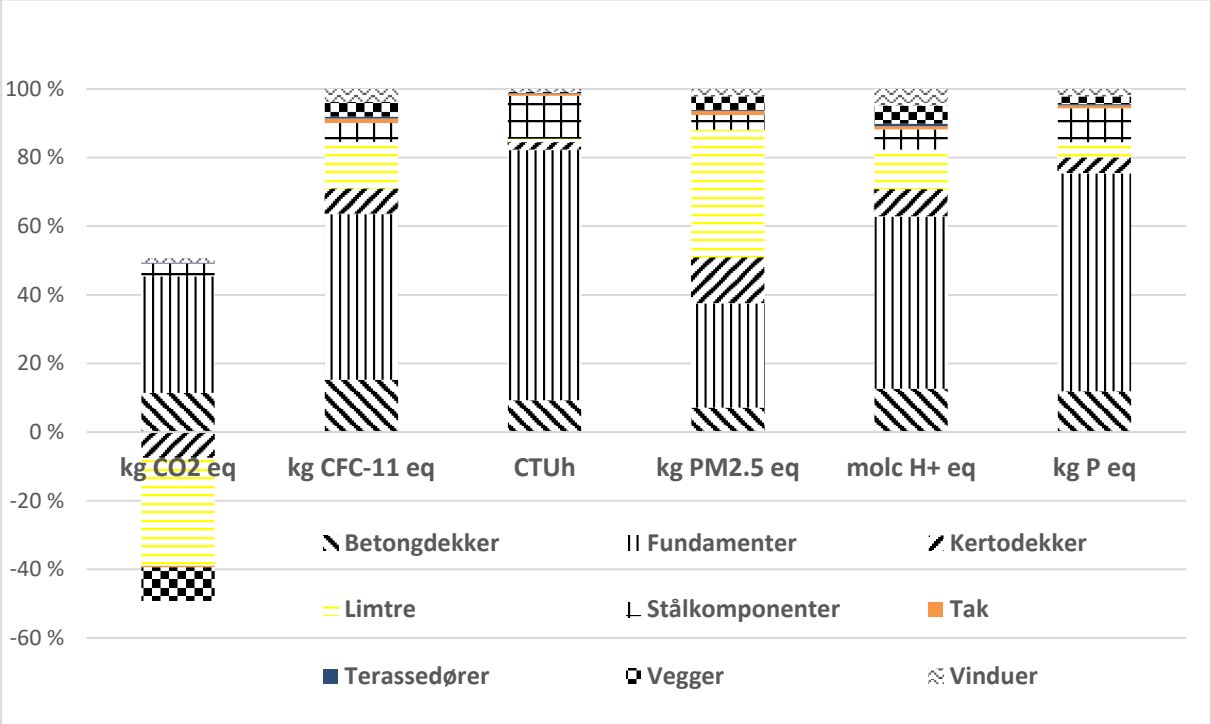
Store Norske Leksikon (2019c) *Klimaendringer*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/klimaendringer (Hentet: 26. april 2019).

Treteknisk (2004) *Tre og miljø*. (FOKUS på tre 8): Treteknisk. Tilgjengelig fra: http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-8.pdf (Hentet: 08. mai 2019).

Wingo, A. (2001) *Problem: Eutrophication*. Tilgjengelig fra: https://wingolog.org/projects/water/html/node27.html (Hentet: 24. april 2019).

Vedlegg

Vedlegg 1



Bidragsytere utskrift uten farger

Total overiskt over LCA analysen

		CO2 Total Utslipp 3 392 827,04 Total Lagring -3 309 710,80	m2 betong 3717,4298 tonn 2788,07235	m3 betong 1436,0325 tonn 3590,081249	m2 Kertodekke 5069,982581	m3 limtre 1328,902866 tonn 624,584347	tonn 106,9168901			m2 Vegger 5507,7804	m2 glass 1829,8675 tonn 41,615312	
Impact category	Unit	Total	**Betongdekker**	**Fundament**	**Kertodekker**	**Limtre**	**Stålkomponenter**	**Tak**	**Terassedører**	**Vegger**	**Vinduer**	Test om ok
Climate change	kg CO2 eq	83 116,244	662 142,63	1 977 986,60	-435 826,26	-1 830 134,70	219 102,90	-26 332,93	12 361,92	-574 139,86	77 955,95	
%			19,52 %	58,30 %	13,17 %	55,30 %	6,46 %	0,80 %	0,36 %	17,35 %	2,30 %	1,74
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,24458	0,03738	0,11793	0,01816	0,03331	0,01361	0,00318	0,00134	0,01050	0,00916	
%			15,28 %	48,22 %	7,43 %	13,62 %	5,56 %	1,30 %	0,55 %	4,29 %	3,75 %	1,00
Human toxicity, cancer e	CTUh	1,89488	0,17526	1,38180	0,04384	0,01948	0,23715	0,01280	0,00200	0,00814	0,01440	
%			9,25 %	72,92 %	2,31 %	1,03 %	12,52 %	0,68 %	0,11 %	0,43 %	0,76 %	1,00
Particulate matter	kg PM2.5 eq	5 542,690	396,105	1678,416	744,466	2062,961	239,517	69,064	16,437	217,779	117,945	
%			7,15 %	30,28 %	13,43 %	37,22 %	4,32 %	1,25 %	0,30 %	3,93 %	2,13 %	1,00
Acidification	molc H+ eq	20 637,972	2610,343	10329,688	1655,510	2398,403	1204,625	204,066	144,084	1089,319	1001,933	
%			12,65 %	50,05 %	8,02 %	11,62 %	5,84 %	0,99 %	0,70 %	5,28 %	4,85 %	1,00
Freshwater eutrophicati	kg P eq	1 912,742	228,013	1212,608	90,423	85,248	189,338	15,834	6,436	43,978	40,863	
%			11,92 %	63,40 %	4,73 %	4,46 %	9,90 %	0,83 %	0,34 %	2,30 %	2,14 %	1,00

Transport

Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 {GLO}| market for | Cut-off, U								
Element	Produkt	Leverandør	Fra	Avstand (KM)	T/m2	TKM	I SimaPro	
Bærende limtre	Limtre	Moelven	Lundemovegen 1, 2390 Moelv	24,3		11,42	11,421000	m3
finduer, ink glassfasad	Viduer	Lian	Industriveien 10, 7200 Kyrksæterøra	426	0,0298151	12,70	12,773113	m2
	Glassfasde	Profilteam	Elvesletta 25, 2323 Ingeberg	12,4	0,005798	0,071895	0,071895	
Verandadører	Dører	Lian	Industriveien 10, 7200 Kyrksæterøra	426	0,0359215	15,30	15,302573	m2
Betongdekker, m armering	Dekker	Con-Form	Furumoen 27, 7310 Gjølme	384	0,2760662	106,01	106,009430	m2
	Støpebetong	Betong Øst	Sveumvegen 13, 2382 Brumunddal	8,8	0,4739338	4,17	4,170617	m2
	Armering	Con-Form		384	0,037	14,21	14,208000	m2
	Isolasjon		Varehus innenfor 25 km	25	0,03	0,75	0,750000	m2
Fundament, m stål og armering	Støpebetong	Betong Øst	Sveumvegen 13, 2382 Brumunddal	8,8	5,6182805	49,44	49,440869	m2
	EPS/EXS + bolt	MJØS	Varehus innenfor 25 km	25	0,0779909	1,95	1,949772	m2
	Stålkjerne	Kynningsrud		1961	0,5425895	1064,02	1064,0180939	m2
	Stålrør/Peler	Kynningsrud		1106	0,3892967	430,56	430,562200	m2
	Pelehatt	Kynningsrud		387	0,0286703	11,10	11,095406	m2
	Pukk/singhel		Nærmeste pukkverk	20	0,5637532	11,28	11,275064	m2
	Armering	Celsa Steel Service AS		1104	0,1859695	205,31	205,310362	m2
Stålkomponenter over	Stål	Nordic Steel	Orstadvegen 128A, 4353 Klepp stasjon	675	0,001	0,68	0,675000	pr kg
Kerto dekker	Kerto Dekker	RVT	Brennerivegen 3, 2380 Brumunddal	8,5	0,076995	0,65	0,654457	m2
Vegg-elementer	Vegg elemter	RVT	Brennerivegen 3, 2380 Brumunddal	8,5	0,054976	0,47	0,466614	m2
Tak		MJØS	Varehus innenfor 25 km	25	0,0292158	0,996	0,996234	m2

Vegger

Materiale	Tykkelse	m3	m3
panel	21	115,66339	115,663
Plast	0,2	1,1015561	1,10156
Isolasjon	200	1101,5561	1365,93
Isolasjon	48	264,37346	
Hovedgips	9	49,570024	75,8469
Gips lag 2	13	24,52385	
Gips lag 3	9	1,75302	

Materiale	Total mengde m3	Totale areal	Kg/m2	Tetthet Kg/	Total kg	Total tonn
Panel	115,6633884	5507,7804	9,87	470	54361,8	54,361793
Plast	1,10155608	5507,7804	0,2		1101,56	1,1015561
Isolasjon	1101,55608	5507,7804	6	30	33046,7	33,046682
Isolasjon	264,3734592	5507,7804	1,44	30	7931,2	7,9312038
Gips	75,8468936	5507,7804	12,3938	900	68262,2	68,262204
Treverk	409,4763217			470	192454	192,45387

Tak

Plan 17						
Treverk	0,028	1	1	0,028		
Treverk	0,123	0,048	0,6	0,00984		
Treverk	0,028	0,048	0,6	0,00224		
Treverk	0,048	0,098	0,6	0,00784		
			Totalt	0,04792	m3	
Treverk	0,04792		350	kg/m3	0,0552353	kg/m2
Isolasjon	0,3	m	16,5	kg/m3	4,95	kg/m2
Asfaltbelegg	0,005	m	6	kg/m2	6	kg/m2
	Energi:	0,2		1 kvm pr min	11,0052353	
Øvre tak	Areal:	57,9477				
	Tykkelse	Kg/m3	Kg/M2		Kg/m2	
Minerallull	0,3	16,5	4,95		4,95	
Dampsperre/	0,005		0,2		0,2	
Massivtre	0,16	470	75,2		75,2	
Takpapp	0,0012		6		6	
			86,35			
Nedre tak	Areal m2:	211,651				
	Tykkelse	Kg/m2	m3/m2	tetthet kg/m3		kg/m2
200mm TRP		23,55				23,55
Mineralull	0,3	4,95				4,95
Limtre		28,64063	0,0609375	470		28,640625
Takpapp	0,0012	6				6
Dampsperre		0,2				0,2
		63,34063				

Kertodekker

TREVERK					
Kerto dekker, toppplate					
Top elevation	Volum			Limtre og Kubbing	
168,2390 m	15,782083			Etasje	Liter
164,4390 m	15,767204		132.2940 m	2	
160,6390 m	15,762135		136.2940 m	3	33957,24604
156,8190 m	15,776104		140.4940 m	4	33897,39831
152,8850 m	15,92708		144.4940 m	5	33884,15039
148,8850 m	15,915697		148.4940 m	6	33919,65348
144,8850 m	15,743187		152.4940 m	7	33760,36705
140,8850 m	15,72358		156.4280 m	8	37598,12036
136,6850 m	15,89354		160.2480 m	9	37646,41793
132,6850 m	14,87885		164.0480 m	10	37738,39999
Totalt på dekkene	157,16946		167.8480 m	11	37672,3461
Areal	5069,982581			Sum m3	320,0740996
Volum pr areal	0,031			Pr areal	0,0631312030

Planker i underkant					
Top elevation	Volum			Isolasjon	
167,8480 m	10,012236			Brøk	0,90
164,0480 m	10,00712			Høyde	0,2
160,2480 m	9,994466			Areal	4562,98
156,4280 m	9,994061			Volum	912,60
152,4940 m	9,398813			Densitet	30,00
148,4940 m	9,289025			kg / areal	6,00
144,4940 m	9,398687				
140,4940 m	9,398889		Plank	415,694814	
136,2940 m	9,385918			0,08199137	
132,2940 m	8,741499		Gips		
Totalt	95,620714			Høyde	13mm
Pr areal	0,018860166				

Betongekker

BETONG		
Top elevation	Areal	Volum
195,3100 m	553,4105	164,767543
191,1140 m	527,6221	156,838472
187,3140 m	527,219	155,225655
183,5140 m	527,219	155,225655
179,7140 m	527,4864	155,305001
175,9140 m	527,2364	155,230001
172,1140 m	527,2364	155,230001
	3717,4298	1097,822328
Kg stål	137544,9026	37kg/m^2
Liter	17521,64364	
m3 (betong) går m	17,52164364	
Totalt, volum		/m2
Betong	1080,300684	0,290604192
Stål	17,52164364	37

Fundamentene

Areal	639					
	Kubikk	Kubikk pr m2	Densitet	I	Vekt, kg	Vekt pr m2 (kg)
Fundament						
Betong	1436,0325	2,24731221	2500		3590081,25	5618,280515
Isolasjon, EPS	129,3226975	0,20238294	32		4138,32632	6,476254022
Isolasjon, XPS	21,806238	0,03412557	32	h	697,799616	1,092018178
Bolter	0,002195	3,4351E-06	7850		17,23075	0,02696518
Stålkjerne pel	44,16748	0,06911969	7850		346714,718	542,589543
Stålpel	31,689251	0,04959194	7850		248760,62	389,2967455
Pukk	257,313064	0,40268085	1400	h	360238,29	563,7531919
Pelehatt	2,333799	0,00365227	7850		18320,3222	28,6703007
Armering	15,13815672	0,02369039	7850	"	118834,53	=F664/B653
	1937,805381				3594934,61	5625,875752
	78,19053				Tonn ->	5,625875752

Beregning av isolasjon

Sted	Isolasjon	Dybde	Areal	m3	Densitet	Kg	Varmekonduktivitet		Varmekondukti	m3 tre	Densitet	Kg
Vegg	RockWool	0,248	5612,59	1391,922	29	40365,74728	0,037	37619,52216	0,038	1429,541842	60	85772,51
Tak 17	Glava	0,3	303,6464	91,09392	17,5	1594,1436	0,035	2602,683429	0,038	98,90197029	60	5934,118
Tak 18 ø	Glava	0,3	57,9477	17,38431	17,5	304,225425	0,035	496,6945714	0,038	18,87439371	60	1132,464
Tak 18 N	Glava	0,3	211,6508	63,49524	17,5	1111,1667	0,035	1814,149714	0,038	68,93768914	60	4136,261
Betongdekker	RockWool	0,2	3717,4298	743,486	29	21561,09284	0,037	20094,21514	0,038	763,5801751	60	45814,81
Kertodekker	RockWool	0,2	4562,984323	912,5969	29	26465,30907	0,037	24664,78012	0,038	937,2616447	60	56235,7
						91401,68492						
			Totalt Rockwool	1391,922						1616,255895		96975,35
			Totalt Glava	171,9735								

Wood isolasjon		A1	A2	A3	A1-A3	Mengde	Utslipp
GWP	[kg CO2-Eq.]	-221	0,367	47,5	-173,133	1616,255895	-279827,2319
	https://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Certificates_-_Documents/English__multiple_markets_/STEICO_EPD-STE-20150327-IBD1-EN.pdf						

Rockwool		A1	A2	A3	A1-A3	Mengde	
GWP	[kg CO2-Eq.]				34,32432432	1391,92232	47776,79315
	https://www.epd-norge.no/getfile.php/139441-1551091696/EPDer/Byggevarer/Isolasjon/NEPD-00131E_rev1_ROCKWOOL-isolering_4_1.pdf						

Glava		A1	A2	A3	A1-A3	Mengde	
GWP	[kg CO2-Eq.]				12,64705882	171,97347	2174,958591
	http://www.glava.no/sitefiles/1/dokumenter/ProdDok_2025_1.pdf						

Nåværende	49951,75174
Kunne vært	-279827,2319
Besparelse	329778,9837

Stål

A	D	E	F	H	K	M	O	R	T	V	Y	AA	AC	AF	AH	AJ	AM	AO	AQ	AT	AV
Compone	Volume	I	Count	Object	0,30113	2	Object	0,01416	4	Object	0,08719	2	Object	0,07651	2	Object	0,10578	6	Object	0,02959	5
Beam	0,01444	I	1	Object	0,03626	2	Object	0,00703	2	Object	0,27156	2	Object	0,02976	8	Object	0,24854	21	Object	0,03983	6
Beam	0,01097	I	2	Object	0,44248	2	Object	0,00703	2	Object	0,03734	2	Object	0,02106	8	Object	0,05857	3	Object	0,02255	4
Object	0,24354		6	Object	0,03717	2	Object	0,00438	2	Object	0,44906	2	Object	0,01197	1	Object	0,17112	6	Object	0,02042	2
Object	0,11014		4	Object	0,07425	6	Object	0,02456	10	Object	0,0377	2	Object	0,19166	2	Object	0,05038	2	Object	0,01114	2
Object	0,29273		2	Object	0,13662	12	Object	0,00357	1	Object	0,07394	6	Object	0,03579	2	Object	0,04171	2	Object	0,00345	6
Object	0,05464		2	Object	0,18551	2	Object	0,00357	1	Object	0,12478	11	Object	0,45555	2	Object	0,0112	1	Object	0,01226	2
Object	0,53662		2	Object	0,03251	8	Object	0,00611	1	Object	0,17205	2	Object	0,0801	2	Object	0,04828	2			
Object	0,13995		2	Object	0,06421	2	Object	0,01228	2	Object	0,03251	8	Object	0,02465	2	Object	0,02458	1			
Object	0,07738	I	2	Object	0,06445	2	Object	0,55405	132	Object	0,06242	2	Object	0,08986	8	Object	0,01294	1			
Object	0,01771	I	2	Object	0,03844	8	Object	0,1115	12	Object	0,03686	8	Object	0,08875	4	Object	0,01936	1			
Object	0,30479		24	Object	0,01933	2	Object	0,03296	8	Object	0,02762	3	Object	0,15783	8	Object	0,23462	2			
Object	0,18896		24	Object	0,01774	2	Object	0,02472	4	Object	0,00887	1	Object	0,17371	2	Object	0,28577	2			
Object	0,06931		8	Object	0,00277	2	Object	0,05562	6	Object	0,00282	2	Object	0,01626	4	Object	0,0802	2			
Object	0,06751		15	Object	0,06391	16	Object	0,05562	6	Object	0,04585	12	Object	0,06244	2	Object	0,06532	2			
Object	0,02077		6	Object	0,01124	2	Object	0,02382	6	Object	0,01124	2	Object	0,06416	2	Object	0,07898	2			
Object	0,03119		8	Object	0,01546	5	Object	0,02459	6	Object	0,12866	12	Object	0,04607	10	Object	0,08646	4			
Object	0,05695		8	Object	0,02516	11	Object	0,00611	1	Object	0,3635	18	Object	0,00921	1	Object	0,23394	12			
Object	0,05966		10	Object	0,04985	24	Object	0,26176	24	Object	0,08129	12	Object	0,01911	2	Object	0,07517	2			
Object	0,06171		10	Object	0,05794	20	Object	0,16257	24	Object	0,10578	6	Object	0,00282	2	Object	0,02957	2			
Object	0,07665		2	Object	0,01071	3	Object	0,06091	8	Object	0,03046	4	Object	0,02429	6	Object	0,03686	8			
Object	0,01003		2	Object	0,01071	3	Object	0,07504	2	Object	0,21304	18	Object	0,00956	1	Object	0,0103	1			
Object	0,08303		2	Object	0,19728	86	Object	0,01478	3	Object	0,07511	2	Object	0,00897	1	Object	0,02987	1			
Object	0,0095		2	Object	0,03498	10	Object	0,08375	2	Object	0,06972	2	Object	0,12181	2	Object	0,02429	6			
Object	0,07726		2	Object	0,03498	10	Object	0,0053	1	Object	0,0224	2	Object	0,0355	6	Object	0,0103	1			
Object	0,05952		16	Object	0,00438	2	Object	0,05952	16	Object	0,08068	2	Object	0,06113	16	Object	0,00897	1			
Object	0,04212		16	Object	0,01416	4	Object	0,04212	16	Object	0,01018	2	Object	0,3635	18	Object	0,01502	1			

Fundamenter, med grønt stål og med gerisk stål

Nytt stål, uten transport										
Impact category	Unit	Total	Mjøstårnet fun	Concrete, 30-32	Polystyrene, ext	Polystyrene, exp	Steel, low-alloy	Stone wool {RoW}|	Gravel, crushe	Celsa steel servic
Climate change	kg CO2 eq	1880131,1	0	434860,86	2936,7204	14373,02	1222102,9	156410,6	6664,855	42782,068
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,098533379	0	0,016989096	7,23E-05	0,000298381	0,071029476	0,009090834	0,00070872	0,00034462
Human toxicity, cancer effects	CTUh	1,3790368	0	0,009924261	0,000121343	0,000452356	1,3604812	0,007517426	0,0005403	0
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1623,5831	0	111,2085	1,5035826	5,435447	1355,0311	144,80024	5,6041592	0
Acidification	molc H+ eq	10009,273	0	1260,5785	12,553377	55,778113	6798,6518	1451,4464	48,563874	381,70126
Freshwater eutrophication	kg P eq	1204,9155	0	62,58314	0,411055	0,50946471	1084,183	55,142604	2,0862102	0
								0,022754832		

Gammelt stål, uten transport										
Impact category	Unit	Total	Mjøstårnet fun	Concrete, 30-32	Polystyrene, ext	Polystyrene, exp	Steel, low-alloy	Stone wool {RoW}|	Gravel, crushe	Reinforcing steel
Climate change	kg CO2 eq	2097165	0	434860,86	2936,7204	14373,02	1222102,9	156410,59	6664,855	259815,98
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,11338407	0	0,016989096	7,23E-05	0,000298381	0,071029475	0,009090834	0,00070872	0,015195317
Human toxicity, cancer effects	CTUh	1,5232878	0	0,009924262	0,000121343	0,000452356	1,3604812	0,007517426	0,0005403	0,14425099
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1877,676	0	111,2085	1,5035826	5,435447	1355,0311	144,80024	5,6041592	254,09294
Acidification	molc H+ eq	10994,69	0	1260,5785	12,553377	55,778113	6798,6517	1451,4464	48,563874	1367,1183
Freshwater eutrophication	kg P eq	1359,2235	0	62,583141	0,411055	0,50946471	1084,183	55,142603	2,0862102	154,30799

Endringer			For stålet	For fundamente	Totaltsett
Impact category	Unit	Total	%	%	
Climate change	kg CO2 eq	217033,9	1/6	11 %	261,12 %
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,014850691	2,267936 %		
Human toxicity, cancer effects	CTUh	0,144251	0,000000 %		
Particulate matter	kg PM2.5 eq	254,0929	0,000000 %		
Acidification	molc H+ eq	985,417	27,920134 %		
Freshwater eutrophication	kg P eq	154,308	0,000000 %		

Biogen lagring

	Biogen lagring							
Calculation:	Analyze							
Results:	Impact assessment							
Product:	1 p Mjøstårnet A1-A3 k/tre (of project Mjøstårnet)							
Method:	ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 / EC-JRC Global, equal weighting							
Indicator:	Characterization							
Skip categories:	Never							
Exclude infrastructure processes:	No							
Exclude long-term emissions:	No							
Sorted on item:	Impact category							
Sort order:	Ascending							
Impact category	Unit	Total	Kertodekker k/	Limtre k/tre	Tak k/tre	Terassedører k	Vegger k/tre	Vinduer Mjøstårnet p
Climate change	kg CO2 eq	-3309710,8	-528636,53	-2025229,7	-45683,58	-5683,8457	-654839,09	-49638,065
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,037747522	0,012740903	0,017790096	0,001047333	3,62E-05	0,005803465	0,000329557
Human toxicity, cancer effects	CTUh	0,025353545	0,007611311	0,012590741	0,000603216	2,11E-05	0,004326059	0,000201126
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1560,1017	646,56493	718,6774	49,845525	0,88202317	135,4972	8,6346209
Acidification	molc H+ eq	2568,5017	941,04593	1146,0102	77,782268	2,0361646	382,52948	19,097589
Freshwater eutrophication	kg P eq	109,63611	42,046656	47,927465	3,0765889	0,078362424	15,751238	0,75580245

Usikkerhetsnalayse

Usikkerhetsalyse	
01.mai	
Calculation:	Analyze
Results:	Impact assessment
Product:	1 p Mjøstårnet A1-A4 Usikkerhetsanalyse (of project Mjøstårnet)
Method:	ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 / EC-JRC Global, equal weighting
Indicator:	Characterization
Skip categories:	Never
Exclude infrastructure processes:	No
Exclude long-term emissions:	No
Sorted on item:	Impact category
Sort order:	Ascending

Impact category	Unit	Total	Betongdekker	Betongfundam	Kertodekker	Limtre	Stålkomponen	Tak	Terassedører	Vegger	Vinduer
Climate change	kg CO2 eq	4460523,244	860785,419	2571382,58	123 431,87	290 676,91	284833,77	35 171,98	23 459,49	104 909,01	165 872,22
		-99,87 %	19 %	58 %	3 %	7 %	6 %	1 %	1 %	2 %	4 %
CO2 lagring	kg CO2 eq	- 3 906 714,83			- 687 227,49	- 2 227 752,67		- 68 525,37	- 7 389,00	- 851 290,82	- 64 529,48
		18,04 %									
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,319542102	0,048592398	0,153314421	0,023608891	4,43E-02	0,017689927	0,004773252	0,00173994	0,013650788	0,011913116
		30,65 %	15 %	48 %	7 %	14 %	6 %	1 %	1 %	4 %	4 %
Human toxicity, cancer effects	CTUh	2,467865122	0,227841133	1,79634273	0,05699695	2,73E-02	0,308296625	0,019202373	0,0025988	0,010581346	0,018714362
		30,24 %	9 %	73 %	2 %	1 %	12 %	1 %	0 %	0 %	1 %
Particulate matter	kg PM2.5 eq	6838,212671	514,935876	2181,94028	967,80632	2,30E+03	311,372633	103,596705	21,3685134	283,112492	153,32811
		23,37 %	8 %	32 %	14 %	34 %	5 %	2 %	0 %	4 %	2 %
Acidification	molc H+ eq	26895,19342	3393,44616	13428,5944	2152,16274	3,14E+03	1566,01237	306,099705	187,309369	1416,11418	1302,51342
		30,32 %	13 %	50 %	8 %	12 %	6 %	1 %	1 %	5 %	5 %
Freshwater eutrophication	kg P eq	2547,350448	296,417121	1576,39053	117,5500404	1,68E+02	246,139491	23,751036	8,36743258	57,1718082	53,1214801
		33,18 %	12 %	62 %	5 %	7 %	10 %	1 %	0 %	2 %	2 %

Transport

Transport											
Climate change	kg CO2 eq	148 472,38	40 165,04	97 855,49	286,49	1 310,43	6 231,12	49,31	334,56	221,90	2 018,05
% det totalte utslippet		4,376 %	1,184 %	2,884 %	0,008 %	0,039 %	0,184 %	0,001 %	0,010 %	0,007 %	0,059 %
% av transporten		100 %	27,052 %	66 %	0 %	0,883 %	4 %	0 %	0 %	0 %	1 %
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,029436	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
%		12,04 %	3 %	8 %	0 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Human toxicity, cancer effects	CTUh	0,0042	0,0011	0,0028	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
%		0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Particulate matter	kg PM2.5 eq	83,20	22,51	54,83	0,16	0,73	3,49	0,03	0,19	0,12	1,13
%		2 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Acidification	molc H+ eq	486,15	131,51	320,41	0,94	4,29	20,40	0,16	1,10	0,73	6,61
%		2 %	1 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Freshwater eutrophication	kg P eq	11,67	3,16	7,69	0,02	0,10	0,49	0,00	0,03	0,02	0,16
%		1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Klimagevinst ved å bytte ut vindu med vegg

ruksjon.

	m2 Vegger	m2 glass
	5507,7804	1829,8675
		tonn
		41,6153123

	Vegger	Vinduer
kg CO2 eq	-574139,86	77955,951
kg CFC-11 e	0,010500606	0,00916394
CTUh	0,008139497	0,01439566
kg PM2.5 eq	217,77884	117,9447
molc H+ eq	1089,3186	1001,9334
kg P eq	43,978314	40,862677

per m2

Enehet	Vegger	Vinduer		Klimagevinst per m2
kg CO2 eq	-104,2416	42,601965		146,8435683
kg CFC-11	1,907E-06	5,008E-06	263 %	3,10147E-06
CTUh	1,478E-06	7,867E-06	532 %	6,38923E-06
kg PM2.5 ec	0,0395402	0,0644553	163 %	0,024915104
molc H+ eq	0,1977781	0,5475442	277 %	0,349766088
kg P eq	0,0079848	0,0223309	280 %	0,014346187

Uten biogen lagring

	Vegger	Vinduer
kg CO2 eq	80 699,23	127 594,02
kg CFC-11 e	0,010500606	0,00916394
CTUh	0,008139497	0,01439566
kg PM2.5 eq	217,77884	117,9447
molc H+ eq	1089,3186	1001,9334
kg P eq	43,978314	40,862677

	Vegger	Vinduer	
kg CO2 eq	14,65186	69,728555	4,759
kg CFC-11	1,907E-06	5,008E-06	
CTUh	1,478E-06	7,867E-06	
kg PM2.5 ec	0,0395402	0,0644553	
molc H+ eq	0,1977781	0,5475442	
kg P eq	0,0079848	0,0223309	

Betongdekker sammenlignet med kertodekker

Areal	3717,4298	5069,98258
	Betongdekker	Kertodekker
kg CO2 eq	662 142,63	-528636,53
kg CFC-11 e	0,04	0,0127409
CTUh	0,18	0,00761131
kg PM2.5 eq	396,10	646,56493
molc H+ eq	2 610,34	941,04593
kg P eq	228,01	42,046656

Dekker /m2

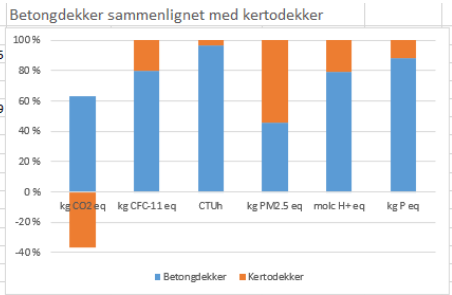
	Betongdekk	Kertodekker	
kg CO2 eq	178,1184	-104,3	282,3863135
kg CFC-11 e	1,006E-05	3E-06	
CTUh	4,715E-05	2E-06	
kg PM2.5 eq	0,1065533	0,1275	2,09747089
molc H+ eq	0,7021903	0,1856	
kg P eq	0,0613362	0,0083	

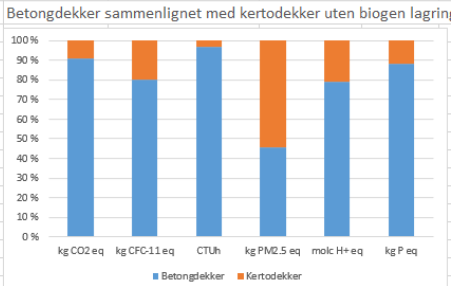
Total utslipp uten biogen lagring
92 810,27
Utslipp per m2 uten bogen lagring
18,305836 kg CO2

0,020974709

	Betongdekk	Kertodekker	
kg CO2 eq	186,01542	18,306	
kg CFC-11 eq	1,006E-05	3E-06	
CTUh	4,715E-05	2E-06	
kg PM2.5 eq	0,1065533	0,1275	54,48 %
molc H+ eq	0,7021903	0,1856	
kg P eq	0,0613362	0,0083	

1,1968471 19,7 %





Prosentvis klimapåvirkningsbidrag i present i fundamenter

	Betong	XPS	EPS	Peler/Peleha	Rockwool	Grus	Armering
kg CO2 eq	23,1 %	0,2 %	0,8 %	65,0 %	8,3 %	0,4 %	2,3 %
kg CFC-11 eq	17,24 %	0,1 %	0,3 %	72,1 %	9,2 %	0,7 %	0,3 %
CTUh	0,7 %	0,0 %	0,0 %	89,3 %	0,5 %	0,0 %	9,5 %
kg PM2.5 eq	5,9 %	0,1 %	0,3 %	72,17 %	7,7 %	0,3 %	13,5 %
molc H+ eq	12,6 %	0,1 %	0,6 %	67,9 %	14,5 %	0,5 %	3,8 %
kg P eq	4,6 %	0,0 %	0,0 %	79,8 %	4,1 %	0,2 %	11,4 %

E-poster

Under kommer enkelte eksempler på kommunikasjonen som har vært under arbeidet med prosjektet.

Spørsmål fra forfatterne i oppgaven: «Vi ønsker informasjon om armering brukt i betongkonstruksjonene (dekker og fundamenter)?» Svaret er fra entrepenøren.

Her kommer det du spør om og det jeg enkelt kan finne i farten.
Vedlegg 4966_001 er tak på svømmehall/garderober og inngangs partier. Det er samme type isolasjon på tak plan 18 og 19 som for plan 2 og 3.
Uten at jeg kan si helt eksakte mengder på armering så er det ca 290 ton, ca 95 kg armering per m3 betong i snitt. For selve tårnet uten svømmehall og garderober så er det ca 50/50 deling så da har vi 145 ton på tårnet fundamenter og gulv. + dekker fra plan 12 til 18 som er de 7 øverste etg skiller 7x650m2=4550m2x0,3=1365m3 betong Regnet ut fra at det er 4550m2 betong flate med 37 kg m2 i snitt så blir det 168 ton med armering.

Spørsmålene ble sendt av forfatterne i oppgaven, svarene, i rødt, er fra entrepenøren.

Hei

Takk for tidligere hjelp, vi har noen nye spørsmål som vi håper du kan hjelpe oss med.

Vi ønsker å vite:
Hvor mye energi som ble brukt på byggeplassen gjennom byggeprosessen (strøm, drivstoff)? (Har ikke tall)
Hvor mye energi det er beregnet at bygget skal bruke per år når det står ferdig? (Har ikke tall)
Foreligger det noen plan for hva som skal skje med materialene etter byggets levetid? (Regner med det er vanlig resirkulering)
Finnes det bærende elementer i innerveggene, sett bort ifra hovedbærende limtresøyler? (Nei)
Er heis- og trappesjaktene brukt til avstiving? Hvis de er brukt til avstiving, har du informasjon om oppbygning og hvem som er leverandør?(Nei og trappe sjakt er ikke avstivning)
Vet du hva trappen består av, og hvem som er leverandør? (Stål og betong Stokke Stål som har produsert levert montert)

NTNU

Kunnskap for en bedre verden