



CHALMERS

Hållbara lösningar mot klimatneutralitet 2045: En fallstudie med Veidekke

Hur man minskar CO₂ inom betong och stål

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik

Abdirahman Duaale

Kamal Said

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Hållbara lösningar mot klimatneutralitet 2045: En fallstudie med Veidekke

Hur man minskar CO2 inom Betong och stål

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Duaale Abdirahman

Said Kamal

© DUAALE ABDIRAHMAN/ SAID KAMAL, 2024

Examensarbete ACEX2024

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2024

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Byggnadsteknologi

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola Göteborg 2024

Förord

Detta examensarbete har utförts som ett avslutande moment på högskoleingenjörsprogrammet för samhällsbyggnadsteknik vid Chalmers tekniska högskola. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng vilket i sin tur motsvarade ungefär 9 kursveckor. Vi vill med detta arbete tacka bygg och anläggningsföretaget Veidekke för förtroendet till detta arbete där vi undersöker möjliga hållbara tekniker som resulterar i en minskning av koldioxidavtrycket via referensprojektet RYA VBK. Vi vill även tacka samtliga handledare, Fredrik Indevall, Pia Hildes, Kristina Hansson och Rikard Wallén och slutligen vår examinator samt handledare från Chalmers, Bijan Adl-zarrabi. Vi tackar för det stora stödet och orienteringen under arbetets gång.

Vidare vill vi även tacka samtliga som deltagit och ställt upp på intervjuer och webinarium som bidragit till arbetets framgång.

Göteborg, juni 2024

Duaale Abdirahman &
Said Kamal

Beteckningar:

GWP – Global warming Potentials

VCT - Vattencementtal

GGBS - Ground Granulated Blast-furnace Slag

CCS – Carbon Capture and Storage

DACCS – Direct Air Carbon Capture and Storage

CEM V- Cement variant Portland

CEM VI- Byggcement

SAMMANFATTNING

Sverige har inom åren satt upp mål om ett långsiktigt klimatmål om att nå nettoutsläpp inom bygg och anläggningsbranschen senast året 2045. Därav har byggbranschen utfärdat färdplaner för klimatneutral betonganvändning inom branschen för att uppnå målen och förändringen om att reducera växthusgaserna som i dagsläget ligger på cirka 11,1 miljoner ton CO₂-ekvivalenter som i sin tur motsvarar 22% av landets totala utsläpp. Byggnationen har därav en betydande påverkan på utsläppen i flera av dess sektorer däribland cement, betong och stål.

Arbete har gjorts tillsammans med Veidekke anläggning väst och syftar till att analysera samt undersöka möjliga lösningar som kan tas fram och är effektiva att använda för företaget veidekke i sina projekt för att minska koldioxidutsläppen samt fortsatt uppnå de uppställda kraven gällande Hållfasthet, bärighet och formgivning. Tillsammans med de lösningarna och klimatneutralt Idag har man framställt klimatförbättrade bindemedel som tillsätts i cementen och ersätter kalkstenen med dess höga förbränning av kalk som bidrar till en hög utsläpp av CO₂. Bindemedlen som ersätter kalkstenen i portlandklinkern som diskuteras i arbetet är dels slagg (GBBS), dels flygaska (FA). Detta gör att betongen blir grönare och får en lägre påverkan på klimatet. Vidare har det undersökts alternativa klimatförbättrade recept, pilotprojektet CCS-tekniker för cementindustrin som krävs för att få klimatneutral betong i branschen. Vidare kommer behovet av användningen av de klimatförbättrade bindemedlen att öka vilket i sin tur kan resultera i att brist på de uppstår som ett framtida hinder. Arbetet har i sin tur även analyserat stålindustrin och alternativ grönarmering som finns tillgänglig i den svenska marknaden. Vidare har det påträffats att det finns grönarmering tillgänglig som medför en reduktion upp till 70% mindre är traditionell stål. Framtida planer finns även på fossilfritt stål som produceras med hjälp av vätgas (H₂ green Steel) som resulterar i stål med en CO₂ reduktion upp till 95% jämfört med traditionell ståltillverkning som planeras att ta i drift 2024.

Resultatet har visat att det finns tekniska lösningar som inom branschen har använts såsom CEM III, återbruk av tidigare betong, samt ändring av bindemedel genom att tillsätta slagg och flygaska i olika volymer. Detta tillsammans med den tekniska lösningen CCS som planeras att sättas i drift inom snar tid kommer målen att uppnås.

Veidekkes projektet RYA Biokraftvärmeverk gjuter 3500 m³ med de klimatförbättrade betongsorten Thomasgrön 3 C30/37 och 800 m³ med Thomas grön 4 C35/45. Det har gjorts en jämförelse mellan den gröna betongen och den vanliga typen av varje sort. Det har även gjorts en klimatdataanalys av den klimatförbättrade CEM II, en typ som har använts i ett av Veidekkes projekt i Trondheim i Norge. Denna typ har inte implementerats i Sverige ännu. Det har även gjorts klimatdata analys av hur mycket CO₂ som kan bespara vid användning av Thomas grön 3 samt Thomas grön 4. Swrocks Eco-betong är en ytterligare miljövänlig sort som finns i marknaden, den sorten förväntas minska utsläppen upp till 50 % med sitt extra tillsatta bindemedel.

Nyckelord: Cement, betong, Stål, Portland Klinker

Sustainable Solutions for Climate Neutrality by 2045: A Case Study with Veidekke

How to Reduce CO₂ within steel and concrete

Degree Project in the Engineering Programme

Civil and Environmental Engineering

Duaale Abdirahman

Said Kamal

Department of Architecture and Civil Engineering

Division of Building technology

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Sweden has set a long-term climate goal to achieve net-zero emissions within the construction and civil engineering industry by the year 2045. Therefore, the construction industry has issued roadmaps for achieving climate-neutral concrete use within the sector to meet these goals and reduce greenhouse gas emissions, which currently stand at approximately 11.1 million tons of CO₂ equivalents, representing 22% of the country's total emissions. Construction significantly impacts emissions across various sectors including cement, concrete, and steel.

Efforts have been made in collaboration with Veidekke Anläggning Väst to analyze and investigate possible solutions effective for Veidekke in its projects to reduce carbon dioxide emissions while continuing to meet requirements for strength, load-bearing capacity, and design. Alongside these solutions, climate-neutral binders have been developed, which are added to cement to replace limestone, known for its high CO₂ emissions from calcination. Binders replacing limestone in Portland clinker, as discussed in the work, include ground blast furnace slag (GBBS) and fly ash (FA), making concrete greener with a lower climate impact.

Additionally, alternative climate-enhanced formulations have been explored, including pilot projects for carbon capture and storage (CCS) techniques in the cement industry necessary to achieve climate-neutral concrete in the sector. The need for the use of climate-enhanced binders is expected to increase, potentially resulting in the use of climate-enhanced binders is expected to increase, potentially Resulting in resulting infuture shortages as a hurdle. The study has also analyzed steel industry and available alternative green reinforcement in the Swedish market, noting that green reinforcement can reduce emissions by up to 70% compared to traditional steel. Furthermore, plans are in place for fossil-free steel produced using hydrog (H₂ Green Steel), resulting in steel with a CO₂ reduction of up to 95% compared to traditional steel production, scheduled to commence in 2024.

The results have demonstrated that technical solutions used within the industry, such as CEM III, concrete reuse, and modifying binders by adding slag and fly ash in varying volumes, combined with the imminent implementation of CCS technology, will enable the goals to be achieved.

Veidekke's RYA Biokraftvärmeverk project involved casting 3500 m³ of the climate-enhanced concrete type Thomasgrön 3 C30/37 and 800 m³ of Thomas grön 4 C35/45. A comparison has been made between the green concrete and the standard type of each grade. A climate data analysis has also been conducted on the climate-enhanced CEM II, a type used in one of Veidekke's projects in Trondheim, Norway, but not yet implemented in Sweden. Additionally, a climate data analysis has been performed to assess the CO₂ savings achievable with the use of Thomas grön 3 and Thomas grön 4. Swrocks Eco-concrete is another environmentally friendly type available in the market, expected to reduce emissions by up to 50%.

Key Words:

Cement, Concrete, Portland clinker, steel

1.1 INLEDNING	3
1.2 Bakgrund	4
1.3 Syfte och frågeställning	6
1.4 Avgränsningar	7
1.5 Metod	7
1.5.1 Litteraturstudier	7
1.5.2 Analys av data samt uppföljning av projekt	8
1.5.3 Intervjuer	8
2.0 VAD ÄR BETONG	9
2.2 Betongens historia	9
2.2.1 Betongen idag	10
2.3 Tillverkning av Betong	11
2.3.1 Betong konsumtionen	11
2.3.2 Betongens hållfasthetsklasser	11
2.3.3 Betong och cement	12
2.4 Cementtyper	13
2.4.1 Cement och dess beståndsdelar	14
2.5 Klimatpåverkan av materialet cement	16
3.0 Tekniska lösningar för att minska klimatavtrycket	17
3.1 Förslag på bindemedel med betydligande mindre avtryck	18
3.2 Återbruk av betong	20
3.3 Klimatoptimera design vid projekteringsstadiet	20
3.4 Cement framställt genom CCS- metoden	21
3.5 CEM III Betong	22
3.6 ECO Betong (Swerocks-Variant)	23
4.0 STÅL OCH ARMERINGSJÄRN	25
Detta avsnitt i examensarbetet beskriver stålets produktion samt hållbara lösningar samt vilka miljövänliga stålarmeringar som är aktuella i branschen men även vilka som förväntas att komma i framtiden.	25
4.1 Framställning av stål	25
4.2 Armeringsstål	26
4.3 Klimatförbättrat 4.4 stål	26
4.4 Jämförelsestudie	29
5.0 RESULTAT OCH ANALYS AV DATA	30
6.0 DISKUSSION & SLUTSATS	33
7.0 Förslag för kommande examensarbete inom hållbara tekniken	35

7 REFERENSER	36
8 BILAGOR	39
8.1 Intervjufrågor	45

1.1 Inledning

Till följd av en ökad befolkning har byggnationer samt urbaniseringen runt om världen ökat. Detta leder till att nya infrastrukturer planeras samt byggs samtidigt som hållbarhetsutmaningarna ökar. Enligt FN:s agenda om hållbarhetsmålen är det planerat att den globala uppvärmnings nivån skall bibehållas vid 2°C, vidare ska samtliga hållbarhetsutmaningar bearbetas. I Sverige pågår arbetet för fullt med att hitta lösningar som kan bidra till en grönare omställning inom byggsektorn som i dag står för en betydande del av världens totala utsläpp (FN, 2024). Förslag på lösningar kan bli att bygga mindre med traditionell betong och ersätta bindemedel som orsakar i höga utsläppsnivåer, resurseffektivt använda sig av cirkulära materialflöden samt tillföra klimatneutral betong till marknaden. Eller att helt och

Det här examensarbetet kommer att diskutera och analysera Veidekkes koldioxidutsläpp av Betong och Stål. Betongen används i näst intill alla projekt och är idag ett behov för att producera hållbara och kvalitativa bostäder och infrastruktur. Arbetet ser närmare på projektet RYA BKV som Veidekke är entreprenör för. Vidare kommer att projektets användning av betong att analyseras. Veidekke har Thomas Betong som leverantör som levererar betong till företagets olika projekt. Thomas Betong hämtar sin cement från Cementsa som har den norska moderbolaget Heidelberg Cement. Bolaget ska under 2024 börja med första anläggningen som producerar cement med användning av metoden CCS för att minimera utsläppen vid produktion. Anläggningen Brevik ska ligga i Norge. Det förväntas att metoden ska finnas även i Sverige senast 2030 med tanke på att den svenska cementindustrin har en vision om cement för klimatneutrala betong (Thomas Betong, 2024).

1.2 Bakgrund

Det har under väldigt länge och än idag diskuterats allt som berör klimatfrågor, hur de flesta valen som görs av samhället påverkar klimatet och om det skulle kunna finnas förslag på åtgärder som kan vidtas för att minimera utsläppen. Det mesta av klimatpåverkan som drabbar jorden kommer bland annat ifrån koldioxidutsläpp via förbränning av fossila bränsle, utsläpp av andra växthusgaser men även från andra faktorer så som markanvänd och skogsavverkning.

Koldioxidutsläppen sker via industrier och fabriker som har uppstått på grund av ökad befolkning. Det ökade befolkningen leder till ökad efterfrågan och behov av bostäder, skolor, sjukhus samt infrastrukturer som är menat att göra livet enklare. Det är här byggbranschens roll spelas eftersom det mesta av samhällsutvecklingen utförs i branschen. Det är även här byggnadsmaterial som skall användas för att kunna täcka det ovanstående behovet kommer in, exempel på materialen kan vara Betong, Stål och Cement (Belaid, 2022).

Det har visats i analyser och undersökningar från SCB i uppdrag av Boverket att nästan 75 % av all betong som tillverkas i Sverige används bland annat till husbyggnad och bostadshus medan 25 % används till annat som Infrastrukturer (Boverket 2022).

Betongen blir det mest attraktiva byggnadsmaterialet på grund av dess hållfasthet och prestigefulla egenskaper, vilket resulterar att det konsumeras så pass mycket. Trots dess positiva så är dess negativa också effektiv, i och med att det resulterar bland annat högt utsläpp av växthusgaser. Detta gör att materialet effekter väcker så mycket uppmärksamhet i branschen.

Diskussionen har lett till att byggföretag som Veidekke och andra har som mål att bli klimatneutrala år 2045. Detta bevisar å andra sidan att det arbetas väldigt hårt för att det ska ske förändring samtidigt som det fortsatt byggs i samhället och att projekten ökat. Det har även tagits fram färdplaner av Fossilfritt Sverige, Svensk Betong och Betonginitiativet om att utsläppen som orsakas av branschen ska åtminstone kunna halveras år 2023. Det har tagits hänsyn till målet och det har arbetats hårt för att nå detta. Det har även tagits fram klimatförbättrade betong, dock har det inte skett stora

förändringar som direkt kan påpekas. Idag går det alltså att nå åtminstone hälften av målet genom att använda Klima förbättrad betong.

-Hållbarhet och Miljö inom byggsektorn: I enlighet med FN Agenda 2030 har det primära syftet för byggsektorn varit att minimera eller halvera utsläppen som under 2021 utgick till hela 11,1 miljoner ton under året 2021. Utsläppen motsvarade i sin tur ett utsläpp på hela 21,7% av landets totala utsläpp av växthusgaser. Växthusgasernas påverkan kan därmed leda till uttunning av ozonskiktet vilket kan medföra otroliga konsekvenser. Ozonskiktet uppstår när en del av luftens syra omvandlas till ozon med bidraget av solljus, Därmed bildas det skyddande lagret som vi kallar ozon. Ozonlagret hittar vi i stratosfären och fungerar som ett skyddande lager från UV-B-strålningar som kommer från solen. (Naturvårdsverket,2023). Ozonlagret fångar därmed upp strålningen så att det inte når oss i jorden, Om det därmed inte skulle absorberas av ozonskiktet skulle detta medföra skador på levande organismer, människor samt växter.

Vidare orsakar människan med sina behov enorma utsläpp som påverkar globala klimatet enormt negativt. Sverige ingår i det så kallade parisavtalet som trädde i kraft 2015 och är ett juridiskt bindande avtal mellan 296 länder där syftet med denna är att hålla den globala uppvärmningen runt 1,7°C. Genomförandet av denna åtgärd kräver att man arbetar väldigt hårt med att reducera mängden CO₂ som släpps ut genom att människan vill uppfylla sina behov. IPCC skriver i sin rapport om källor till CO₂ utsläpp att mer än hälften av den totala utsläppen kommer ifrån industri-sektorn. (byggkoll,2023). En omställning mot ett hållbarare samhälle kräver därmed en förändring i industri-sektorn där förändringen i stort sett sker i framställning av material samt produkter.

Långsiktigt ska Sverige även uppnå klimatmålen om netto noll utsläpp av koldioxid 2045. Detta kommer innebära att allt fler striktare åtgärder samt regler behöver fattas samt verkställas för att möjliggöra netto noll utsläppen. Där till finns även målet om att halvera utsläppen tills 2035 som allt fler byggföretag därtill Veidekke har infört för att uppnå upp spåret mot det stora netto noll. Detta medför en minskning med hela 40% mellan åren 2010–2030. Med riktlinjer och färdplaner som är satta i

byggbranschen, kommer att även beröra inblandade aktörer så som politiker, leverantörer såsom betongtillverkaren, även byggherren samt fler viktiga aktörer i samhället. För att då nå målen så måste flera insatser och verktyg implementeras, så som utbildningar, riktlinjer, krav men även metoder eller tillämpbara tekniker för att succesivt arbeta med betongen ur ett hållbart perspektiv. Vidare har det arbetats väldigt hårt med att man ska ta fram nya metoder samt lösningar såsom att ändra receptet på betong och byta ut ingredienser mot mer miljövänligare lösningar såsom aska från biomassa samt gruvavfall eller metallurgisk slagg (byggkoll,2023).

1.3 Syfte och frågeställning

Syftet med detta examensarbete är att öka kunskaper om hur hållbara tekniker kan användas för att minska koldioxidutsläppet av materialet betong. Vidare kommer examensarbetet bidra med att kunna studera, utvärdera resultat samt dra slutsatser på hur miljöpåverkan kan minskas genom att välja rätt betongtyp.

Vidare kommer arbetet att undersöka möjligheten till armering som är klimatförbättrad där vi utför en marknadsanalys samt utvärderar hur det framöver kan komma att se ut med utbudet av det.

Precisering av Frågeställning:

Nedan följer frågeställningen som har preciserats i mindre frågeställningar som löpande besvaras under arbetets gång.

1. Hur stora koldioxidutsläpp medför byggandet med betong under året 2022.
2. Hur kan företaget minska sina växthusgaser genom rätt val av betongrecept.
3. Hur bör veidekke klimatkompensera för att nå klimatneutrala målet
4. Vilka typer av klimatförbättrat stål finns, hur kommer marknaden se ut framöver?

1.4 Avgränsningar

Examensarbetet kommer att enbart undersöka materialen betong samt stål. Arbetet kommer att utgå ifrån referensprojektet RYA nya biokraftvärme verk som Veidekke är entreprenör för. Studien är därmed avgränsad till förfrågan samt inblandade aktörer påverkan såsom Thomas betong. Vi kommer att utvärdera underlag från Veidekke däribland klimatkalkyler, och se hur det med nya betongtyper sätter vägen för en omställning i företaget mot hållbarare mål. Rapporten kommer inte att inskrida ett betongrecept utan studien bygger på jämförelse av dagens miljövänliga betong med förbättrade tillsatsmedel i jämförelse med traditionell betong

Detta arbete kommer enbart att beakta klimatpåverkan av materialen vid produktion som avgränsas inom modulen A1-A3 i analyser som beräknas enligt GWP-värden genom EPD:er som tillhandhålls av Veidekke ur referensprojektet RYA nya verk.

Vidare kommer arbetet inte att diskutera eller framföra några ekonomiska aspekter inom den valda tekniken eller huruvida ekonomin förändras genom att tillämpa de hållbara teknikerna

1.5 Metod

Nedan följer metoden som tillämpas under arbetets gång för att på bästa sätt, öka förståelse om materialen, utvärdera resultat och slutligen dra slutsatserna om vad som är möjligt eller ej.

1.5.1 Litteraturstudier

Det har utförts litteraturstudier för att kunna förstå om materialet om betongen, tillverkningen av betong, dess historia genom tiden och hur det påverkar miljön framför allt genom koldioxidutsläppen. Det är menat att litteraturstudien blir faktabaserat så att läsaren får en full förståelse för rötterna till problemet. Den grundläggande informationen ska exempelvis beröra materialets tillverkning och vilka egenskaper samt aktiviteter som bidrar med klimatfrågan.

Med hjälp den teoretiska informationssamlingen så kan metoder hämtas genom olika analyser av studierna från vetenskapliga källor, myndigheter samt rapporter om branschen eller liknande.

1.5.2 Analys av data samt uppföljning av projekt

Refrensprojektet RYA BKV uppföljdes i samband med det här projektet och mätdata om projektet användes som underlag. Det ska gjutas 800m³ med Thomasgrön C35/45 och 3500m³ med Thomasgrön 3 C30/37. Dessa typer av betong är klimatförbättrade betong. Det har även framgått i underlagen, en tydlig skillnad mellan användning av dessa klimatförbättrade betongen kontra den vanliga betongen av de sorterna. I bilaga [1] och [2] redovisas betongrecepten.

1.5.3 Intervjuer

För att även se hur olika aktörer i branschen ser på klimatfrågan gällande betongproduktionen och vilka tillvägagångsätt som finns för att nå målet klimatneutralitet så utfördes intervjuer digitalt. De olika respondenterna har olika bakgrunder samt positioner i branschen, det ger alltså mer varierade svar på hur olika respondenter ser på klimatpåverkan som betongtillverkningar har orsakat. Det är olika roller från byggbranschen som har intervjuats; tillverkare, projektledare, miljöledare och platschef.

2.0 Vad är Betong

Betong är kompositmaterial som består av både grov samt fin ballast, som är sammanbundet av cementpasta (cement + vatten). När de ingående bindemedel samt material blandas fås en massa som härdar sedan över tid. Efter att massan härdat så fås en hållfasthet beroende på dels vattencementtalet (vct), dels sammansättning av de ingående delmaterialen. Betongens hållfasthet är en viktig egenskap som avgör senare användningsbara områden (M.N. BYGG, u,å).

2.2 Betongens historia

Genom historien så har betongen använts på flera olika sätt av olika mängder, hur mycket materialet har använts varierade mellan tiden. Detsamma gäller med lokaliseringen, vissa ställen /länder brukar använda betong medan andra använde annat, det berodde på framför allt att det inte var lika känt.

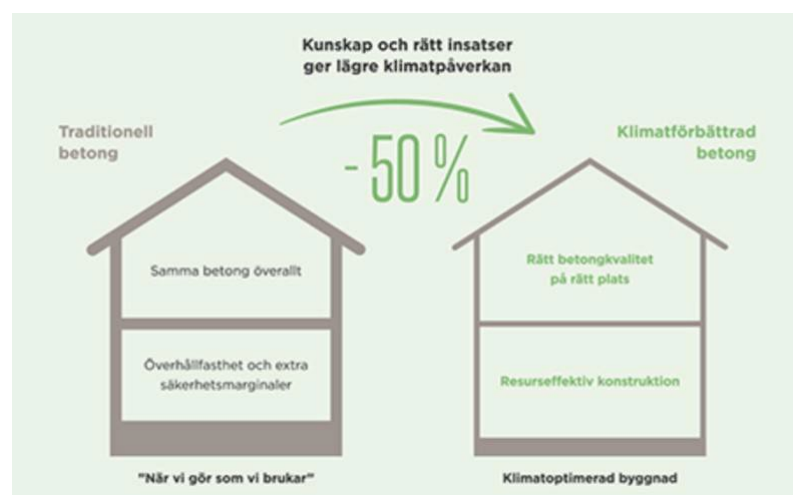
Första gången betong användes var 500 år f.kr, av etrusker i Italien. Dock var det inte riktigt betong som dagens utan ett liknande material tillverkat av klak. Sedan inspirerades romarna och började använda liknande material, tillverkat av till exempel krossat tegel och aska från vulkanen Pozzuli utanför Neapel. Under de sista åren f.kr och de första åren e.kr så började materialet användas enorm och växte inom fler olika samhällen runt om i världen. Det användes bland annat till broar, hamnar, teatrar och bostadsbyggnader.

Än idag så är det möjligt att dessa gamla byggnader från den tiden, med deras unika egenskaper. Efter romarikets fall så minskade användandet av materialet under många år tills i början av 1700-talet då det börjades att återanvända betongen. Under den tiden forskades även vilka olika tillsatts material som skulle kunna vara användbara (Betongföreningen, u, å). Fler olika genombrott har skett under betongens utveckling och en av de inleddes år 1824 när en engelsman, Joseph Aspdin, uppfann en förfinad variant av cement som användes till betongens tillverkning (Betongsdesign, u, å).

2.2.1 Betongen idag

Betongen som används idag skiljer sig ifrån den som användes under och efter romarriket, dagens anses vara mycket mer avancerat både när det gäller produktionstekniken och konstruktionen. Även om förbrukningen av materialet är inom byggbranschen så används även betong för mindre föremål såsom krukor, fontäner och möbler.

Materialet är en av det mest populäraste i byggbranschen och kommer att fortsätta vara det. Materielat är så pass attraktiv på grund av dess egenskaper, beständigheten, hållbarheten samt hållfastheten hos materialet. Cementen är den avgörande produkten vid betongtillverkningen, som resulterar den stora koldioxidutsläppen. Studier visar enligt Orozco, m.fl. (2024) att cementproduktionen kommer att stiga i framtiden till fyra miljarder ton per år 2030. Därför är det viktigt att använda cement med hållbara och låg energiförbrukbara tillsatts material vid betongproduktionen.



Figur 1: visar skillnaden som kan uppstå vid användning av rätt betong på rätt plats (Svensk betong)

2.3 Tillverkning av Betong

Betong består av cement, ballast och vatten. Egenskaperna som Betongen sedan får beror på sambandet mellan vattnet, typen av ballast samt typen av cement som används. Det beror även på val av kornstorleken på ballasten. När vattnet blandas med cement sker kemiska reaktioner som sedan härdar betongen. Det senaste tiden har det använts olika tillsatts material som har gett betongen en förbättring samt önskad egenskap. Totalt tillverkades 14–15 miljoner ton betong i Sverige år 2020 motsvarande 277 kg cement per person och år (SGU, 2023).

Cement är det bindemedlet som förvandlar materialet från flytande till fast under härdningen. Det består framför allt av kalciumoxid eller bränd kalk genom att man har hettat upp kalkstenen (kalciumkarbonat) till 1450 grader Celsius. Det är under upphetningen som det släpps ut mest koldioxid. Sedan kvarstår kalciumoxid, som sedan stelnar till kalciumhydroxid när cementen har blandats med vatten. Man kan med andra ord uttrycka det som att brända kalken släcks med vatten.

2.3.1 Betong konsumtionen

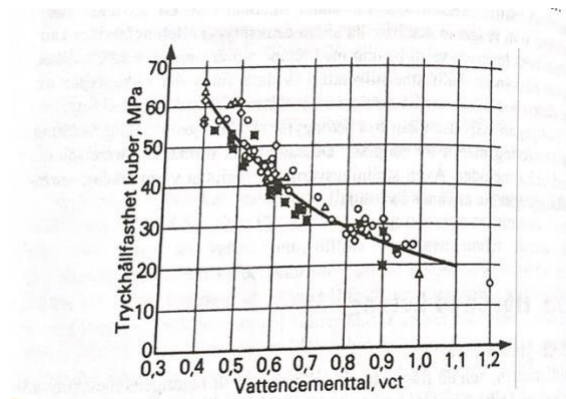
Enligt Boverkets analys om uppdraget som SCB har blivit tilldelad, så delas betong i två kategorier. Betong till husbyggnad, som avser sjukhus, idrottshallar, skolor, fängslar samt bostäder. Den andra kategorin är betong för infrastrukturer liksom järnvägar, vägar, broar och tunnlar. Enligt uppdraget så har man uppskattat betongindikatorer från år 2013 till 2020, utifrån användningen för de olika kategorierna. Enligt betongindikatorn så tillverkades cirka 6,2 miljoner kubikmeterbetong, det uppskattades att cirka 4,6 miljoner av den volymen har använts till bostadsbyggen som motsvarar cirka 75 % av det hela tillverkade, medan resterande 1,6 miljoner användes till infrastrukturer (Boverket, 2022).

2.3.2 Betongens hållfasthetsklasser

En viktig egenskap hos betongen är dess hållfasthet. Det är en av de viktigaste egenskaperna hos materialet som avgör kvalitén på materialet. Hållfastheten hos materialet delas in i olika klasser. Hållfastheten handlar om vilken tryckhållfasthet som materialet har. Hållfasthetsklasserna benämns med standarder till exempel C25/30, där siffran 25 representerar hållfastheten för en cylinder av betong medan 30 är hållfastheten för en kub av betong. Hållfastheten är i enheten MPa. De olika

cementtyperna som nämns nedan bestämmer vilken hållfasthetsklass som betongen får.

Betongen består av hårdnad cementpasta, vilket gör så att dess hållfasthet är beroende av cementpastans hållfasthet. Cementpastan däremot består av cement och vatten och dess egenskap består av förhållandet mellan cementet och vattnet, det så kallade vattencementtalet (vct). Detta innebär att betongens hållfasthet bestäms av vattencementtalet.



Figur 2: visar sambandet mellan vct och tryckhållfastheten för betongen (Burström,2006)

2.3.3 Betong och cement

Cement tillsammans med vatten, grus samt sand binder samman till betong som är. Detta gör att cementen blir ett så kallat bindemedel till byggmaterialet betong som möjliggör byggnation av samhällen samt infrastrukturer med hög beständighet samt kvalitet, på grund av materialets kostnadseffektiva förutsättning. Egenskapen betongen har styrs mestadels av förhållandet mellan mängden vatten och cement som tillsätts. Man brukar säga att normal betong består till 85% av sand, grus och vatten och det resterande 15% av bindemedlet cement.

Cementen framställs genom uppvärmning av en blandning av materialen kalksten samt lera som därav värms upp till en temperatur på 1500°C. Detta orsakar i att kalkstenen frigör koldioxid som står för större del av CO2-ekvivaleterna som frigörs av materialet cement. Cementen står i dagsläget för 7% av koldioxidutsläppen i världen och måste därmed produceras på ett mer miljövänligare sätt (Burström,2006).

2.4 Cementtyper

Boverket (2022) redogör att i den svenska cementbranschen finns det fem olika typer av cement. Utav de är endast de tre första typerna de vanligaste och mest använda i branschen.

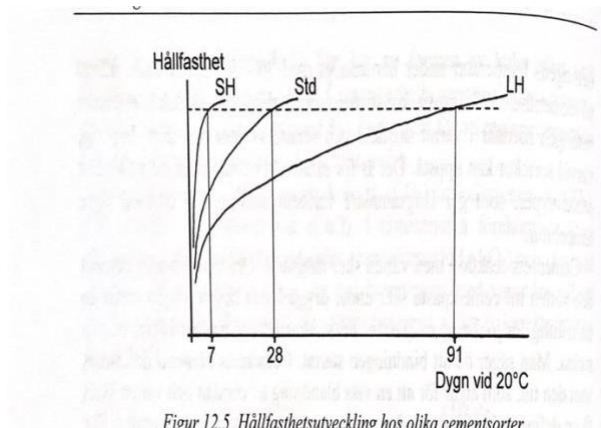
- CEM I: portlandcement.
- CEM II: Sammansatta portlandcement.
- CEM III: Slaggcement.
- CEM IV: Puzzolancement
- CEM V: Kompositcement

Portlandcement är det mest användbara produkten i hela världen. Dock har det under senaste tiden ersatts med ett så kallat byggcement av miljö skäligena faktorer. Denna kvalitet är av typ CEM II (Burström, 2015). Produktionen av typen baseras på de råmaterial som används som tillsatsmedel, som då finns lokalt tillgängliga.

Då skiljer sig portlandcement som produceras i Sverige från en som produceras i ett annat land, på grund av råmaterialen alltså (Boverket,2024).

Specifikt de typerna som produceras i Cementas fabriker är bascement, anläggningscement samt anläggningscement FA.

Bascement är det svenska sammansatta portlandcementet bestående av portlandsklinker och flygaska. Anläggningscement är av typen CEM I som har en långsam värmeledning och används ofta för medelgrova till grova konstruktioner. Anläggningscement FA är också av typen CEM II. Den typen innehåller 20 % mindre klinker, i stället ersätts andelen med kalksten och flygaska. CEM II måste alltså innehålla minst 65 % Portland klinker, medan CEM III innehåller minst 20 % och 65 % portlandklinker och resten masugnsslagg



Figur3; visar hållfasthetsutvecklingen hos de olika cementtyperna (Burström,2006)

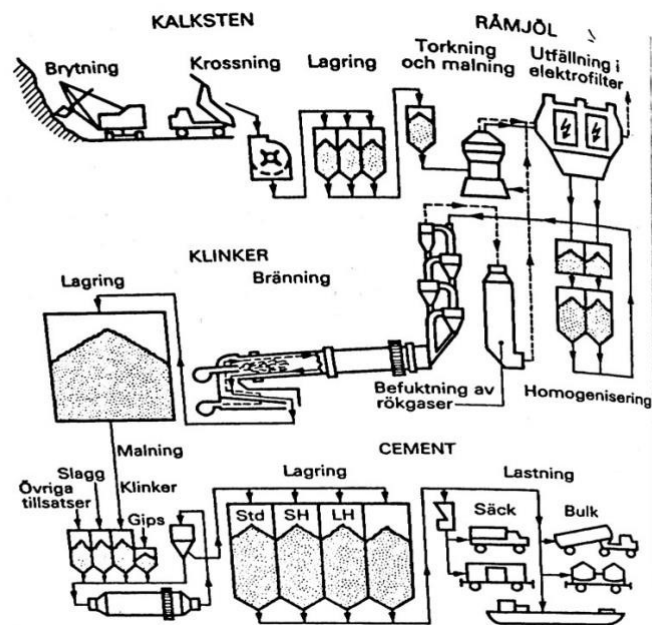
Puzzolancement delas in i två kategorier, A samt B beroende på dess innehåll av puzzolant material. CEM IV/A innehåller 11–35% puzzolant material medan, CEM IV/B innehåller 36–55 %. Den här typen av cement produceras genom att det tillsätts en mängd puzzolant material med slagg i cementpastan. Materialet bidrar till stark och stabil cement som kan vara användbar till olika typer av anläggning och konstruktioner. Den femte typen av cement kallas för kompositcement, CEM V. Denna typ av cement innehåller fördelningsvis Puzzolan, flygaska samt masugnsslagg i portlandklinkern. I denna del används mindre mängd kalksten än den vanliga cementtypen. Här delas även cementet i A respektive B. CEM V/A innehåller 18–30 % slagg och 18–30 % puzzolaner medan CEM V/B innehåller 31–49 % slagg och 31–49 % puzzolaner (Betongföreningen, 2022).

2.4.1 Cement och dess beståndsdelar

Cement är produkt som genom alla åren har används för husbyggen, infrastrukturer men också för tillverkning av betong. Bindemedlet fungerar på så sätt att det härdar i kontakt med vatten. Den består till exempel av kalksten som brutits ner, lera, kiseljärn och Gips. Dessa två bindemedel blandas och bränns till cementkulor i roterande värma ungar upp med 1450 grader värme. Sådana uppvärmningar kräver en hel del energi. I Sverige har det funnits nästan elva kalkstenstäkter år 2020, dock finns det endast två fabriker i Sverige där cement produceras, i Slite på Gotland och i Skövde. En stor del av den del cement som tillverkas i fabriker används i sammanlagt 341 betongfabriker som utsprider sig runt om landet.

Var kalkstenen produceras påverkar kvalitén samt användningsområden hos stenen. Exempelvis Kalksten från Västra brottet och Filehajdar i Slite och Våmb i Skövde

användes till cement år 2020 (SGU,2023). Cementen står för cirka 80–90 % av betongens koldioxidutsläpp, detta sker vid förbränningen av kalksten i cementugnarna medan resterande utsläppen kommer från transport och exempelvis krossning av ballast. För att minska det stora utsläppet vid cementtillverkningen använd andra bindemedel såsom flygaska och slagg.



Figur 12.4 Cementtillverkning enligt torrmetoden [2].

Figur4: visar hur cementproduktionen går till, allt från kalkbrytning till pålastning av cement (Burström,2006)

Cementtillverkningen kan göras med hjälp av två metoder, våt eller metoden. Våt metoden var vanligaste förr i tiden, men nu är den torra metoden mer vanligare eftersom det kräver minder energi. Dagens cementtillverkning så dominerar kalkstenen tillsammans med lera. Det börjar med att kalkstenen finmåls och bränns därefter i roterande ugnen. Materialet matas in ständigt i ugnens övre del i form av ett tort pulver (torr metoden) eller som en slam (våt metoden). Materialen bränns i roterande ugnen med en temperatur på cirka 1450 °C som sedan efter bränningen kyls ned. Efter att materialet kyls ned så har klumpar bildats och då kallas för cementklinker. För att reglera på cementklinkers bindning så malas det in med gips. Under råmaterialets förbränns sker det en del olika reaktioner. Vid första förbränningen så bildas det kolsyra (CO₂) ur kalkstenen som sedan övergår till kalciumoxid (CaO). Det kan även finnas oxider som vid förbränningen förenar sig till ett antal kemiska reaktioner så kallade klinkermineral. Exempel på dessa oxider är kiseloxid, järnoxid och små mängder av aluminiumoxid (Burström,2006).

2.5 Klimatpåverkan av materialet cement

Vid tillverkning av byggnadskomponenten cement bränns kalkstenen, som vid förbränningen frigör CO₂ i kalkstenen. I processen där förbränningen av kalk sker så påverkas växthusklimatet. Det sägs att vid produktion av ett ton cement så leder det till koldioxidutsläpp på cirka 700–800 kilogram koldioxid, där en bidragande faktor är de fossila bränslena som används vid produktion (naturskyddsföreningen, 2023). Enligt faktabladet Cement, klimat och miljö så hävdas att cirka 2/3 av de totala utsläppen vid produktion av cement kommer från förbränningen av kalk medan resterande delen kommer från användningen av fossila bränslen i cementfabriken.

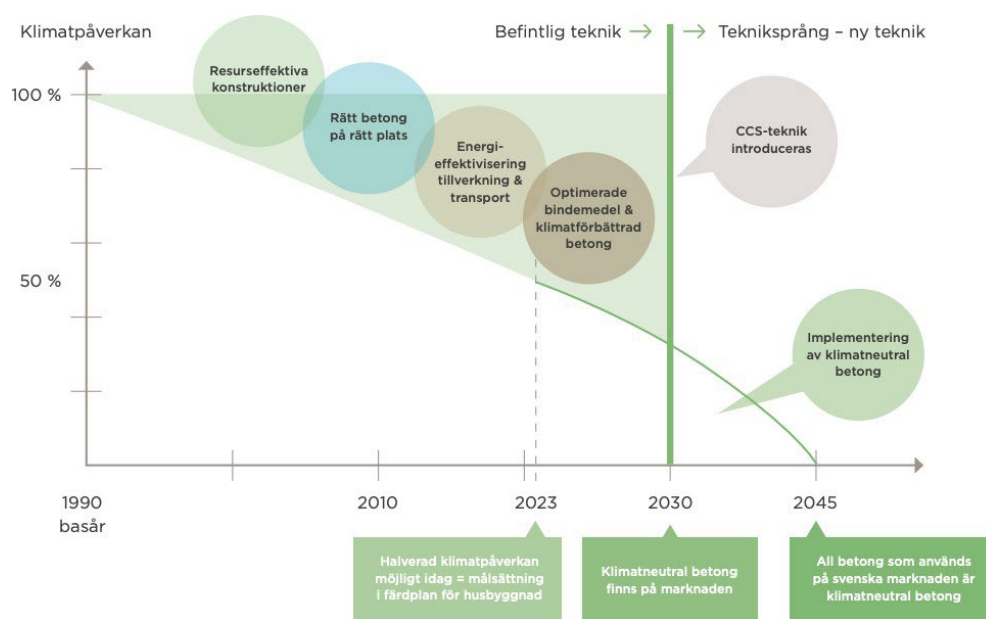
Nästan 90 % av den mängd cement som används i Sverige produceras i landet, medan ungefär 10 % importeras in. Enligt Boverkets (2022) insamling av data av cementproduktionen i landet, så låg det nästan på 2,9 miljoner ton år 2019. Knappt 2,2 miljoner producerades i Slite medan resterande är från Skövde. Det ingår även i mindre nivåproduktion från Degerhamn på Öland som lades ner av Cementa för några år sedan. Enligt Cementas uppgivna data så var produktionen på samma nivå även vid år 2021, dock producerades 2,3 miljoner i Slite medan endast 600 000 ton producerades i Skövdes cementfabrik. År 2020 producerades cirka 2,8 miljoner ton cement i Sverige, som då har det lett till ett utsläpp på cirka 1,9 miljoner ton koldioxid. Å andra sidan produceras drygt 4,5 miljarder ton cement per år runt om i världen som motsvarar ett utsläpp på cirka 2,7 miljarder ton koldioxid, det är ungefär 8% av de totala koldioxidutsläppen i hela världen. Cementtillverkningen har börjat öka sedan 1950, då det har dubblats mer än 30 gånger. Mellan år 2000 och 2018 så ökade produktionen av cement med cirka 2,5 miljarder ton. Dock på grund av världens omständigheter har siffrorna påverkats sedan dess på grund av exempelvis coronapandemin men uppskattas att återhämtas de kommande åren.

3.0 Tekniska lösningar för att minska klimatavtrycket

I detta kapitel framförs de tekniska lösningarna som företaget kan använda sig av för ett minskat avtryck. Lösningarna är

Lösningarna för att arbeta hållbarare med betong kan delvis vara att bygga ingenting och undersöka alternativa sätt att nå det förväntansfulla resultatet. I detta avsnitt framkommer potentiella lösningar för att bygga smartare samt effektivare för att slutligen reducera koldioxidutsläppen av materialen och dels projektet i sin helhet.

I byggbranschen så läggs mycket vikt på att sänka koldioxidutsläppen som verkar från betongen, speciellt från cementtillverkningen. Detta görs genom att exempelvis ersätta bindemedel i cementtillverkningen. I Sverige är det brist på alternativa bindemedel, de två mest primära bindemedel är Flygaska och masugnsslagg. Dessa bindemedel kan importeras in men kan även tillverkas här i Sverige.



Figur 5: Visar på åtgärder som behöver vidtas för att den svenska betongproduktionen skall uppnå målen enligt färdplanen, (Svensk betong).

3.1 Förslag på bindemedel med betydligande mindre avtryck

Kapitlet nedan beskriver vilka bindemedel som kan ersätta de traditionella och resulterar i ett avtryck som är betydligt mindre.

- Slagg GGBS:

Med hjälp av restprodukter vid framställning av järn så bildas masugnsslagg. Det sker genom att syre frigörs från järnmalm med hjälp av kol och koks. Genom att tillsätta salggbildare som kalksten samt dolomiter kan järnoxider och andra mineraler avskiljas. Efter avskiljningen så avkyls materialet med vatten fås granulerad masugnsslagg. Sedan mals slaggen ned som resulterar GGBS (*Ground granulated blast furnace slag*). GGBS kan användas på två olika sätt med specifika standarder vardera. Antigen så används det som ett tillsättsmaterial i betongen typ II eller som en större andel i cementen. Vid det tillfället materialet används i betongen typ II så har det standardiserats i SS-EN 15167-1. I standarden tillkommer även specifika krav på bland annat reaktivitet och kemisk sammansättning. Därmed har det standardiserats med två specifika standarder vid användning av GGBS för cement. I dess cementsstandarder tydliggörs kraven i SS-EN 197-1 och SS-EN 197-5. Cement som innehåller masugnsslagg består av mindre mängd alkalier och mer kvarts samt aluminium än den vanliga traditionella cementen (portlandcement). Å andra sidan gällande betong som innehåller masugnsslagg så visas bättre hållfasthet samt arbetbarhet än den vanliga betongen (Mortensen m.fl.,2023).

-Flyg aska från kolkraftverk:

Flygaska uppstår vid rester av koleldad produktion av elektricitet. Det bildas andra askor vid koleldad produktion, upp till 85 % av mängden är flygaska. Det är alltså den mängd mineraler som inte är brännbar under produktionen som blir till flygaska. Flygaskan består av små partiklar som är ungefär lika små som partiklarna i cement, den utgörs av amorfa och kristallina faser. Beroende på vilken kol som har blivit eldad i processen så kommer askan bestå av olika oxider såsom kisel, aluminium, järn men även kalciumoxider.

Flygaskan består utöver det av så kallad rest kol, en mängd oförbränt bar kol. De vanligaste klasserna av flygaska är kiselrika och kalciumrika. Skillnaden mellan

de två klasserna är att den kiselrika innehåller puzzolana egenskaper medan den kalciumrika har även hydrauliska egenskaper. Det sätts begränsningar på innehåller i både typerna av flygaska.

Den reaktiva kalciumoxiden får högst vara 10 % i den kiselrika samtidigt som den reaktiva kalciumdioxiden inte får vara lägre än 25 %. Anledningen är att det är endast den kiselrika flygaskan som får innehålla som tillsatts material typ II i betongen enligt standarden SS-EN 450-1. Det är därmed standardiserat vid användning av materialet som huvudbeståndsdel i cement enligt SS-EN 197-1 samt SS-EN 197-5. I dessa standarder anges specifika krav som exempelvis ersättningsnivån på bindemedlet, det anges exempelvis att det får högst vara 50 % av bindemedelshalten.

Dock accepteras inte allmänt kalciumrika flygaska som tillsatts material typ II i betong exempelvis, då anges det specifika produktkrav i standarderna för det ska vara tillämbart. Däremot accepteras Naturliga samt kalcinerade puzzoloner i de ordinära cement enligt standarderna SS-EN 197-1 samt SS-EN 197-5. Kraven är exempelvis att naturliga och kalcinerade puzzolanerna ska vara finfördelade och får minst innehålla 25 % reaktiv kiseloxid samt försumbar mängd av kalciumoxid. Naturliga puzzoloner består av pyro klastiska material eller sedimentära bergarter, det får dock vara med lämpliga kemiska samt mineralogiska sammansättningar. Pyroklastisk vulkanaska som bindemedel är en vanlig och användbar metod i byggbranschen. De naturliga kalcinerade puzzoloner är däremot material av vulkaniskt ursprung, leror, skifferar eller sedimentära bergarter som vid värmebehandling aktiveras som puzzolant. Dessa två typer av puzzoloner brukar användas som bindemedel i CEM V och CEM VI (Mortensen m.fl.,2023). Det pågår ett arbete om puzzolanaskor som bindemedel i samtliga cementtyper och målet är att det under de kommande åren ska ingå i den kommande versionen av den svenska tillämpningsstandard SS 1370043.

3.2 Återbruk av betong

Liksom andra byggmaterial är betong ett material som även denna går att återbruka i nya konstruktioner till fullo. De fossila bränslena är ett oerhört viktigt mål för att lokalisera de möjliga lösningarna. Detta utförs med hjälp av cirkulära flöden som underlättar användning av naturligt material. Återbruk av betongprodukter såsom prefabricerat element och marksten är även möjlig i dagsläget. Vid tillverkning av betong har ett förslag varit att återbruka tidigare konstruktions betong och retur betong från tidigare konstruktioner. Detta utförs genom att betongproduktionen byter ut stenkross mot rivningsmaterial från projekt där man exempelvis river ner en gammal byggnad eller utför renoveringsprojekt. Ur rivningsmaterialet urskiljs alla föroreningar såsom trä och armering för att få ett så rent och fint betongkross som möjligt, Vidare beskrivs det i doktorsavhandlingen RE: Concrete att sortering av betong är en oerhört viktig processdel för att betongens kvalitet uppfyller de ställda kraven. Vidare beskriver även avhandlingen att okända ämnen kan blandas in i betongen vilket därmed påverkar egenskapen betongen har och försämrar därav kvalitén på betongens hållfasthet och kan resultera i att beständigheten försämras (Sadagopan & Malaga, 2017).

3.3 Klimatoptimera design vid projekteringsstadiet

Ytterligare metoder som kan tillämpas och som det diskuteras kring en hel del är att minska slipp samt optimera designen på olika projekt för att minska påverkan projektet gör i klimatet. Optimeringen innebär att man minskar onödigt användande av anläggningsbetong och har som mål att använda rätt betong på rätt plats så att det därmed minskar spill.

I mycket av projekten används mer betong än nödvändig dels för att påskynda uttorkningstiden, dels en betong med betydligt högre hållfasthet samt bärighet för att hålla sig på den säkra sidan enligt projektets konstruktörer samt projektledare. Vidare kan detta även bero på att byggnaden skall dimensioneras för att klara av olika väder och förhållande. Det kan även bero på kraven som ställts på uttorkningstiden. Forskning och intervjuer har påvisat att mängden betong som används som en försiktighetsåtgärd kan minskas med ungefär 15% (Svensk betong,2024).

3.4 Cement framställt genom CCS- metoden

Infångning och lagring av koldioxid (Carbon Capture and Storage) är en teknik som går ut på att man fångar in och lagrar koldioxid från fabriker och kraftverk. I och med att dessa fabriker som exempelvis cementfabriker släpper ut mycket så kan den här tekniken vara lämplig samt användbar. Dock innebär det inte att utsläppen inte kommer att fortsätta, utan att den mängd utsläpp som sker lagras och fångas in med olika tekniker. Metoden anses vara vägen till klimatenutralitet.

- Till en början fångas koldioxiden in, sedan avskiljs den från andra gaser som är med i koldioxiden från fabriken. Avskiljningen sker på olika sätt men vanligtvis sker det med att det används katalysatorer i kemiska reaktioner eller så kan även membran användas för att urskilja gaser från koldioxiden.
- Efter infångningen så måste det infångade koldioxiden sammanpressas under hög tryck för att minska den i volym. Efter komprimeringen transporteras till lagringsplatsen via rör och ledningar eller via fartyg.
- I det sista steget så pumpas koldioxiden djupt ner i berggrund för att det ska lagras där. Sedan diskuteras andra förslag i Sverige och andra länder i Norden, att koldioxiden pumpas ner i tömda olje- och gasfyndigheter i Nordsjön strax utanför Norge (Naturskyddsföreningen, 2021). Koldioxiden som lagras omvandlas över tiden och blir en del av berget.

Hela denna process och steg kräver mycket energi som är väldigt kostsamt. Därmed finns det en metod som även diskuteras som kallas för DACCS (Direct Air Carbon Capture and Storage) som också är möjlig väg till klimatenutralitet. Den här metoden innebär att man avskiljer koldioxiden direkt ur luften, dock är denna metod ännu energikrävande.

Dock finns det fördelar och nackdelar med tekniken. En av riskerna med tekniken kan vara att man inte vet exakt när man kommer att sluta med koldioxidutsläppen, så länge metoden finns som ett alternativ så kommer det ske utsläpp. Att giftiga kemikalier bildas i samband med infångningen är en ytterligare risk som diskuteras. Dessa kemikalier kan spridas till resterande av samhället genom läckage, genom att lagringsplatserna spricker i berggrunden. Därmed är metoden väldigt dyr, dubbelt så dyr som en ny vindkraft.

Å andra sidan kan koldioxidlagringen vara en fördel då det anses vara en väg mindre användning av fossila bränslen till exempel el, då cirka 2/3 av all el i världen produceras med fossilbränslen. Koldioxidlagringen kommer alltså kunna ersättas med fossila bränslen och då kommer det kunna användas till produktion av el framför allt. Därför anses tekniken vara en bra investering i förnybar energi (Naturskyddsföreningen, 2021).

3.5 CEM III Betong

Ytterligare kan användning av en extrem lågkarbon betong användas vid byggnation för att minimera utsläppen rejält vid de olika projekten. Orsaken av att betongen står för så stor del av utsläppen kommer genom bindemedlet cement som finns i betongen. Extrem lågkarbon betong (CEM III) är en anläggningsbetong som endast släpper ut en tredjedel så mycket koldioxid vid framställning som en helt vanlig byggbetong gör. Detta då en större andel av utsläppen kommer till följd av cementen och i CEM III har det möjliggjorts att utsläppen drastiskt har minskat. Denna miljövänliga betongsammansättning minskar utsläppen koldioxid men leder även till att hela projektets klimattryck minskar. Veidekke Norge har antagit detta och byggt flera projekt dels i Trondheim i den kalla miljön som med hjälp av teknisk expertis har kunnat lösas och resulterat i ett projekt med ett minskat avtryck.(Veidekke Norge, 2024).

Vidare har CEM III på projekten i Norge uppvisat goda tecken på krav samt föreskrifterna som ställts i dels AMA. Vid gjutning i kallare miljöer kan härdningen genomföras med hjälp av att tillföra värme till betongen. Betongen har därmed uppvisat samma egenskaper som traditionell anläggningsbetong för projekt såsom byggnation av industrilokaler, anläggningskonstruktioner och även i skolor. Betongen uppfyller de tekniska kraven för hållfasthet och har även uppvisat flera fördelar jämfört med den normala betongen. Denna typ har dels visat lika bra på hållfasthet och i flera fall bättre, en bättre beständighet mot kemiska problem (Frostäthet). Detta gör att den extrem lågkarbonerade betongen i det långa draget har en längre livslängd än normal betong, minskat problem vilket medför att betongen inte behöver underhållas särskilt ofta men även att den är starkare över tid (Veidekke Norge, 2024).

Produktionen av den extremt låga betongen går till på samma sätt som vanligt miljöbetong i Sverige där bindemedlen ersätts mot miljövänligare alternativ. I detta fall ersätt exempelvis kalkstenen mot naturliga råvaror som innehåller mycket mindre klinker eller inget alls. Därmed stryps de större källorna till de stora koldioxidutsläppen i cementen. Som referens har den här metoden använts i en byggnation av en skola i Trondheim i Norge.

Vid byggnationen har det först börjat med att använda cirka 65 % av CEM III, som har resulterat en reduktion på cirka 2575,9 ton CO₂-ekv.

Liksom allt annat har även den extrem lågkarbonerade betongen sina potentiella nackdelar när det kommer till användning. Dels är CEM III ganska ny i marknaden har i sistone använts mycket i Norge vilket kan medföra att yrkesarbetarna och personalen här i Sverige inte är så insatta i materialet. Men kräver även att man följer upp projekten samt vidtar försiktighetsåtgärder vid bearbetning.

3.6 ECO Betong (Swerocks-Variant)

Ytterligare betong som kan användas är Swerocs förbättrade betong som kallas för Eco betong, med en CO₂- reduktion på som kan minskas upp till 50 %. ECO-

betongens cement del som står för 90 procent av betongs klimatpåverkan med bindemedel som har en mindre påverkan på klimatet. Ecobetongen uppkommer med en sten storlek mellan 8-32mm, Betongen har påträffats vara lättare att arbeta med samt med en längre öppethållande (Swerock,2024).

ECO-Betongen finns i samtliga hållfasthetsklasser och exponeringsklasser. Vidare har betongen. Under härdningen påträffats vara en betong med en mycket mindre värmeutveckling och hållfasthetsutvecklingen har visats vara långsammare än den traditionella betongen som inte har något extra/nytt bindemedel. 60 – 80 % av cementet reagerar medan flygaskan / Masugnsslaggen reagerar 5–20%. I bilaga [7] som diskuteras i resultat avsnittet visas klimatpåverkan vid användning av cement eller Meriter som bindemedel i Swerocks Eco-betong (Swerock, 2024).

4.0 Stål och armeringsjärn

Detta avsnitt i examensarbetet beskriver stålets produktion samt hållbara lösningar samt vilka miljövänliga stålarmeringar som är aktuella i branschen men även vilka som förväntas att komma i framtiden.

4.1 Framställning av stål

Stål utgörs av grundämnet järn som omfattas av cirka 4,5 % av den fasta jordskorpan. Det största delen av ämnet är bunden till kemiska reaktioner, en kemisk förening som är rik på järn så kallad malm. Det utvinns två typer av malmer i Sverige, svartmalm (oxidiska malmerna) och blodstensmalm. I dessa malmer finner man föreningar som kan ge stålet sämre egenskaper, så som fosfor och svavel. Det läggs även stort fokus på en särskiljning mellan malmerna beroende på deras fosforinnehåll vid utvinningen. Eftersom malmen består av mer än 40 % gråberg så måste den vid utvinningen direkt anrikas genom att de krossas i gruvorna och malmer som är icke järnhaltiga sorteras bort. Efter denna process blir slutprodukten *slig* som kan bearbetas på två olika sätt. Antingen så värmer man produkten till ca 1250 °C och sedan skicka de till masugn för reduktion eller så blandar man sligen med bind eller tillsatsmedel och forma de till små kulor innan de sintras vid ca 1250 grader Celsius (Burström,2006).

Den andra metoden för framställning av järn är den skrotbaserade tillverkningen, där skrot smälts i en ljusbågsugn. Vid ståltillverkningen krävs det mycket energi och därför behöver effektivisering samt optimering av processerna. Det är även här klimatfrågan kommer in som det läggs mycket fokus och satsningar på. Det är alltså vid användning av kol och bränsle vid tillverkningen av stål som leder till stora mängder koldioxidutsläpp. Det har tagits fram en klimatfärdsplan av den svenska järn-och stålindustrin för en koldioxidfri samt en fossilfri bransch år 2045. (Burström,2006)

4.2 Armeringsstål

Armeringsstål används inom betongkonstruktioner för att förhindra sprickbildning och förbättra hållbarheten. Armeringen har viktiga egenskaper som kan vara användbara i betongkonstruktioner. Förutom att armeringen förhindrar sprickor och fördelar belastning så tar den även upp skjuv- och dragspänningar i byggnadens olika delar. Det finns olika typer och kvalitéer av stål som kan användas som armering. I Sverige är det lagfört att använda just sorten med kvalité K500C-T eftersom det har märkliga egenskaper. Hur stålet är uppbyggd och hur stålet är sammansatt av olika legeringar avgör dess egenskaper. Exempelvis mängden kolhalt i stålproduktionen påverkar dess seghet samt mjukhet. Stålet kammar (upphöjningar) som gör att betongen fäster bättre runt om armeringen. På kammaren är tillverkaren noterad specifikt samt märket till verkaren (Stena Stål, u, å).

4.3 Klimatförbättrat 4.4 stål

Armering behövs för att stärka betongkonstruktioner samt upprätthålla en stark och koncis hållfasthet. Genom att använda sig av armeringstränger eller armering i form av trådar kan man därmed öka betongkonstruktionernas förmåga att förhindra eventuella sprickbildningar samt att det uppstår deformation under belastningen. Traditionell armering Genom att välja rätt armering med lågt klimatavtryck kan man därmed succesivt minska projektets fotavtryck. Detta kan bland annat gör

-Undersökning och analys av marknadens Klimatförbättrad Armeringsjärn:

I detta avsnitt följer typer på Armeringsjärn med minskad klimatpåverkan som finns ute i marknaden att köpa i mängder.

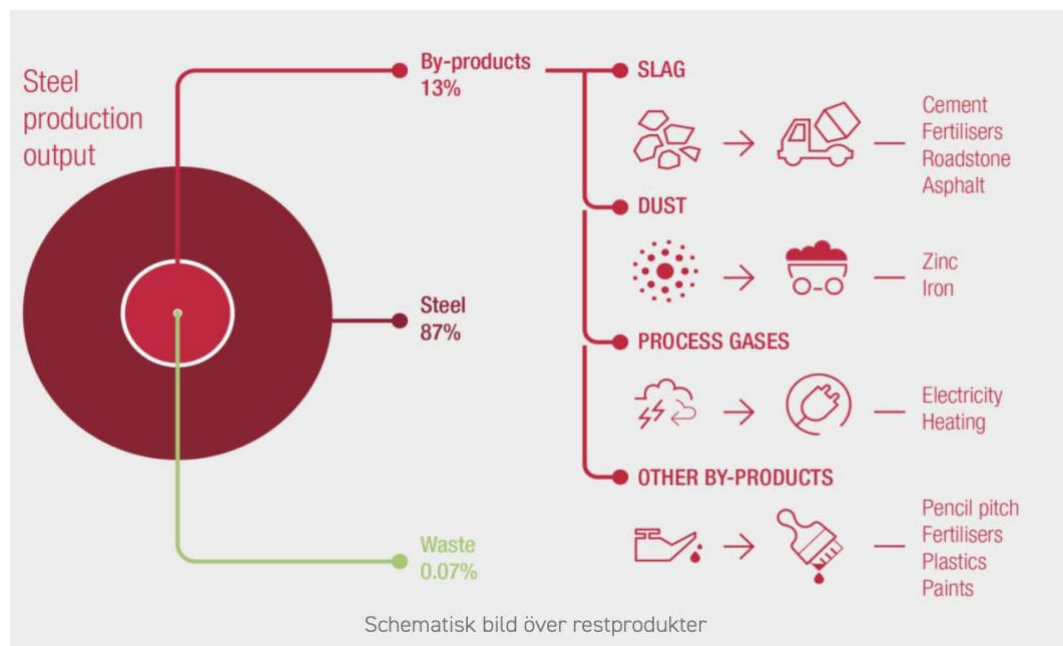
1. *Tibnor variant SSAB Zero*

Tibnor erbjuder variant SSAB Zero för plåt och hålprofiler. Vidare erbjuder företaget numera även en ytterligare variant från den spanska tillverkaren megasa (megasa, 2024). Varianten mättes i den senaste klimatdeklarationen upp till ett avtryck på 182 CO₂- ekvivalenter/tonn. Detta medför att varianten från den spanska företaget megasa har påvisats vara armeringen med lägst CO₂- ekvivalenter per ton ute i dagens marknad (Tibnor, 2024). Armeringen finns i dagens marknad och finns i de flesta storlekarna.

2. Celsa Steel service

Celsa erbjuder även en miljöförbättrad armering med ett minskat avtryck, till följd av sin jämförelse mellan genomsnittliga utsläppet ett ton tillverkat stål medför som ligger på strax under 1000kg CO₂-ekvivalenter. Genom användning av skrotbaserat järnskrot i tillverkningen, användning av fossil energi för att minska behovet av hög energianvändning samt att återanvända restprodukter från tidigare tillverkning har företaget minskat CO₂-ekvivalenterna totalt till endast 398 kg CO₂- eq per ton.

Vidare har företaget infört nyare tekniska lösningar för att bevara hetta hos de varma valsämnena. Vidare förvärms järnskrotet i förväg via överskottsvärme som därav minskat energiförbrukningen med ca 17%. Val av energikällor har även möjliggjort att celsa kunnat minska energiförbrukningen och öka energieffektiviteten (Celsa- steelservice, 2024)



Figur 6: visar stålproduktionens process samt fyra hållbarhetsutmaningar med dess hållbarhetsmål (Celsa,2024)

- *Planerad ståltillverkning med betydande mindre avtryck:*

Inom åren planerar det att en hel del ståltillverkning ska Kunnas göra med Grönare anläggningar runtom Europa:

- H2 Green Steel

Under ett år produceras ungefär 2 miljoner ton stål där $\frac{3}{4}$ av all energi som går åt stålproduktionen kommer från kol. Kolen skickar på sin tur ut ungefär 1,9 ton CO2 ekvivalenter vilket är oerhört stort och inte möjliggör att det på så sätt klimatkompenseras. H2 Green Steel anläggning i Boden planeras att tas i drift 2024 och kommer möjliggöra stål med en reduktion på hela 95% av koldioxidutsläppen jämfört med produktion av icke-grönt stål eller så kallad traditionell masugnsstål. Produktionen går till på sådan att vatten bryts ner med hjälp av elektricitet till syre samt väte. Järnmalmen kommer därav att exponeras av väte, vilket i sin tur reagerar med syret och utgående kommer ånga bildas. Järnmalmen kommer därmed reduceras till stål utan att det sker något utsläpp av koldioxid (H2greensteel, 2024).

- *Cirkel Green:*

Cirkel green som har sin stålproduktion i Finland Outokumpu och har i det senaste hållit på med klimatförbättrat stål. Den gröna stålens tillverkningsprocess görs därmed på ett hållbarare samt grönare sätt genom att använda sig av energisnål produktion, återanvändning av restprodukter av stål. Denna gröna variant kommer att finnas ute i marknaden redan 2026 och med nära tillgång till de svenska bolagen då produktionen äger rum i Finland. Outokupu rostfria stål har upp till 70% mindre CO2-ekvivalenter än helt vanlig ståltillverkning globalt.

4.4 Jämförelsestudie

Genom att analysera och studera de olika materialens tillsatsmedel, bindemedel samt ersättningsmedel har man kunnat se vad de olika materialen medför i utsläpp.

Analysen har påvisat att klimatförbättrad betong jämfört med vanlig standardbetong har mindre klimatpåverkan. Vidare har arbetet även jämfört arbetssätt och minskat spill som ett alternativ i produktionsskedet. För att möjliggöra jämförelserna har ett referensprojekt RYA VBK studerats där vi använt oss av betongrecept samt insamlade data från projektet. Därpå studerar vi hur ersättning av total klimatförbättrad betong vid gjutning påverkar avtrycket. Detta möjliggörs med hjälp av att man utgår ifrån betongens mängd för att sedan se klimatpåverkanspotentialen (GWP) som illustreras i diagrammen under resultat & diskussion.

5.0 Resultat och Analys av data

Betongens stora klimatpåverkan har lett till att det undersöks om alla möjliga lösningar till problemet. Efter analyser av olika metoder som kan används i branschen så kan det konstateras att det finns både bra och mindre bra metoder som är användningsbara inom området. Vidare har det utförts en analys av företagets användning av de klimatförbättrade materialet från Thomas Betong. Nedan på diagram [1] visas det GWP beräkning vid användning av de klimatförbättrade betongen jämfört med den vanliga betongen. Eftersom det här projektet har endast produktion som fokus så gjordes beräkningen för A1-A3 av materialen. Det innebär klimatpåverkan som materialen har under produktion, transport och råvaruutvinningen. Resultatet efter att 3500 m³ och 800m³ gjuts med Thomasgrön 3 C30/37 respektive Thomasgrön 4 C35/35 visar en GWP mått på ungefär 475 600 kgCo2ekv, det är hur mycket den gjutningen kommer att resultera i koldioxidutsläpp.

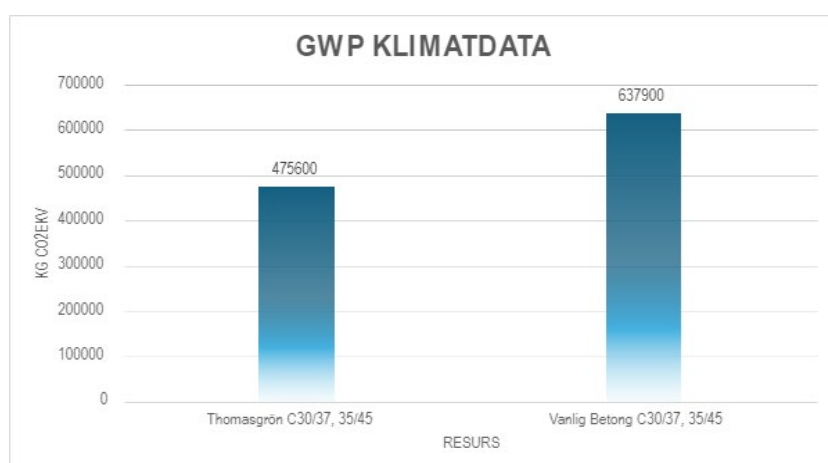
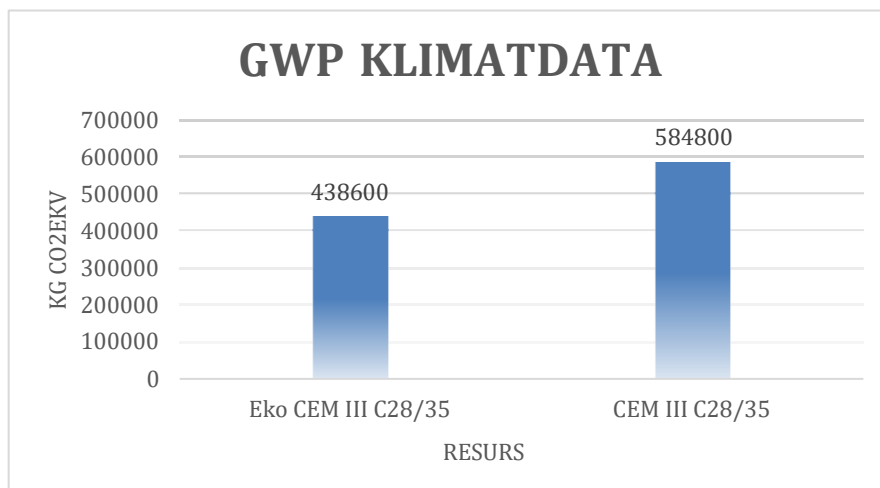


Diagram [1] visar beräkning av klimatpåverkan som gjutning med Thomasgrön och vanlig betong resulterar.

En annan möjlig metod med ett briljantresultat som har funkat för skolprojektet i Trondheim är CEM III. Det har resulterat i cirka 57% reduktion i CO₂ och 35 % av det hela CEM III är återvinningsbar. Dock har den här metoden inte hunnit tillämpas i Sverige än. I det här projektet har det gjorts en GWP klimatdata av en liknande typ av sorten CEM III i Norge med samma hållfasthetsklass C28/35 enligt diagram [2]. Det framgår även i diagrammet en jämförelse med den vanliga betongen av samma typ.

Jämförelsen visar att man med klimatförbättrade betongen (CEM III) reducerar cirka 146,2 ton CO₂-ekv jämfört med den vanliga betongen. Enlig bilaga [3] redovisas hur mycket som Veidekke Entreprenad sparar i CO₂ vid gjutning av de olika två olika klimatförbättrade betongen, vid användning av Thomasgrön 3 så sparas 80 kgCO₂/m³ än vid användning av den vanliga betongen. Därmed vid gjutning med Thomasgrön 4 sparas 125 kgCO₂/ m³ i jämförelse med den traditionella betongen. I och med att volymen som gjuts med respektive betongsort är olika så kommer det att resultera olika besparingar också. Som det visas i bilaga [6] så sparas cirka 344 ton CO₂ vid gjutning med 3500m³ Thomasgrön 3 C30/37. Å andra sidan sparas 584,4 ton CO₂ vid gjutning med 800m³ Thomasgrön 4 C35/45.



Diagrammet [2] visar hur mycket klimatpåverkan gör när hela volymen (4300m³) gjuts med sorten klimatförbättrade betongen C28/25 respektive med den vanliga betongen av samma typ.

Klimatoptimerad och återbruk av betong är även metoder som kan vara cirkulära och miljövänliga och oftast något som projektören i ett första stadie. Genom att exempelvis använda sig klimatoptimerade betong så kan det minska spillgenom att man redan i början av projektet planerar och söker efter miljövänliga lösningar. Det innebär att man planerar in vilken sort som är mest miljövänlig samt den rätta mängden betong som behöver gjutas exempelvis. Därmed är även användningen av återbruk av betong en lösning, genom användningen behöver man exempelvis inte tillverka ny betong. Den här metoden minskar både energiförbrukningen då och utsläppen av koldioxid.

Förutom de metoderna som redan har använts i Sveriges byggbransch, så finns det även andra metoder som kan resultera bra i byggbranschen. Nämligen CCS-tekniken, med hjälp av den här tekniken så kan man nå de målen som är uppsatta för både cementindustrier byggbranscher för att bli klimatneutrala. Tekniken innebär att koldioxiden ska fångas in, transporteras och sedan lagras. Med hjälp av den här tekniken tros det att det kan minska Sveriges hela koldioxidutsläpp med 4 % i ett slag. Tekniken som redan har påbörjats i Norge, planeras det att det även ska driftsättas i Sverige. Det sägs att färdplanen för år 2045 kan möjligen nås med CCS-tekniken med enorm koldioxidreduktion som resultat.

När det kommer till att välja miljövänligare armeringsstål så finns det redan några i branschen även om de har olika klimatpåverkan i CO₂-eq. Några av de är Celsas gröna variant, Tibnor variant SSAB zero. Sedan finns det planerade varianter som förväntas ha lägre utsläpp än de som redan finns på marknaden, nämligen Cirkel green och H2 Green Steel. I bilaga [8] visas en jämförelse mellan Celsas miljövänliga variant och den vanliga typen, det visar att den grönare varianten halverar nästan den vanliga varianten i CO₂- eq/ ton. Sedan har det även gjorts en jämförelse mellan de två gröna stålmaterialen, Tibnor variant SSAB zero och Celsa green. I bilaga [9] visas det att Tibnor varianten har ännu lägre utsläpp i kg CO₂/ ton än Celsas, alltså är denna typ mer hållbarare val.

Med de varianterna H2 green Steel och Cirkel green som är planerade att tillträda i branschen förväntas att ha ungefär upp till 70 % mindre CO₂-eq än de som redan finns i marknaden idag. Cirkel green har sin stålproduktion i Finland och planerar att varianten kommer in i marknaden senast under kommande två åren. Detsamma gäller för den andra typen H2 green, den planeras även komma in i marknaden under kommande åren. Alltså kan dessa två typer vara ännu valbara miljövänligare stål som kan användas för att nå målet klimatneutralitet 2045.

6.0 Diskussion & Slutsats

I bilaga [10] visas företagets utsläpp i Scope 3 från tidigare år, 2021, 2022 samt 2022. Av de siffrorna står betongen för majoriteten medan 8–10 % är utsläpp från stål respektive transport. Dock är siffrorna för år 2020 samt 2021 inte faktiska då de är fördelade efter projektnummer som antingen var från Veidekkes regionanläggning väst och Region anläggning Sydmitt, medan siffran för 2022 är endast från Veidekke Region Väst. Det här projektet har visat med hjälp av fakta och analys av data hur viktigt material betongen är för dagens konstruktioner, vilket kan förklaras av dess massgenskap som andra material inte har. Hållbarhet och formbarhet är de egenskaper hos betongen som är avgörande i dagens moderna konstruktioner, detta gör att materialet ofta är det enda praktiska alternativet. Därmed är det tydligt att produktionen samt användningen av materialet är en betydande källa till koldioxidutsläppen och kräver tillämpbara åtgärder för att minska det.

I projektet RYA så gjuts det mesta massan med betongen Thomasgrön 3 C30/37, eftersom den anses vara den bästa i marknaden, medan resterande volymen gjuts med Thomasgrön 4 C35/45. Det har redovisats analys av hur mycket både typerna kan resultera vad gäller koldioxidutsläppen i ovanstående avsnittet. Detta gjordes med GWP med endast A1-A3 i livscykeln, det är på grund av detta arbete är avgränsad till produktionskedet.

Det har även gjorts en beräkning av klimatdata om hela volymen hade gjutits med samma typ av betong i projektet. Enligt bilaga [5] visas det en beräkning av klimatpåverkan vid användning av typen Thomasgrön 3 i jämförelse med den icke miljövänliga typen av det. Å andra sidan har det även gjorts en beräkning som visar om det hade gjutits med Thomasgrön 4 i stället, som det visas i bilaga [4]. Det visar alltså att Thomasgrön 3 är miljövänligare vilket förklarar varför det mesta av volymen används i projektet.

Analysen av samtliga metoder och tekniker anses vara betydande för problemet som betongen orsakar. CCS tekniken anses vara den mest väsentliga lösningen som kan lösa problemet i de kommande åren. Dock anses det även att det inte är bra att endast förlita sig på den tekniken, och att andra tekniker behöver betonas lika mycket. Det som kan hända om CCS-tekniken används allt för mycket i industrier är att de geologiska lagringarna kan bli begränsade. En annan utmaning som kan uppstå med den här tekniken är hur det ska finansieras här i Sverige. Det har rapporterats svensk klimatpolitisk som framställt förslagen om att den här tekniken kan finansieras via en statlig lagringspeng. Det anses alltså att det ska sättas pris på koldioxidutsläppen och att det även ska kosta för att få en klimatneutral cement med den här tekniken. Genom dessa prissättningar kan tekniken alltså finansieras. För att samhället ska kunna nå de färdplanen som är satta så ska det bidra tillsammans. Därmed kan det även behövas styrmedel som kan resultera i att målen nås. Därmed kan det även finnas hinder enligt FoU chefen Ingemar Löfgren som kan uppstå, nämligen otillräckligt med kunskaper gällande ämnet samt hur branschen kan motverka detta. Lika så gäller vid gjutning av klimatförbättrade betong under vintertider, det kan vara svårt på grund av långsammare hållfasthetstillväxt. Detta kan dock lösas med hjälp av acceleratorer som även har använts i Trondheim skolprojektet i Norge samt täckning och värmning.

Branschen satsar även på att sänka utsläppen som kommer från stålproduktionen samt användningen av det i byggbranschen. Veidekke får sitt armeringsstål från Celsa som har en grön variant med hela 397 kgCO₂-eq/ton. Det är mycket jämfört med Tibinors variant som släpper ut endast 182 kgCO₂-eq/ton, det kan alltså vara ett bättre val. Här är det även viktigt att ta hänsyn till att transport inte inkluderas men genom miljövänliga transportmedel kan produkten fortsatt vara lägst i marknaden, Med det sagt kan bättre val som företaget gör leda till minskning i siffrorna enligt *bilaga [10]*. Därmed kan till och med bättre stål med ännu lägre koldioxidutsläpp som Cirkel green hämtas in från utomlands inom snar framtid. Dock kan det även orsaka ett utsläpp från transporten beroende på vilket som materialet exporteras från. Exporteras det in från Finland så orsakar det inte lika stort utsläpp som om det hade exporterats från andra länder utanför Europa.

7.0 Förslag för kommande examensarbete inom hållbara tekniker

Examensarbetet har bevisat att miljövänligare alternativ som genom teknologin har kunnat möjliggöras genom åren. Hållbara lösningar samt bindemedel finns ute i marknaden vilket företaget kan nyttja för ett minskat avtryck i det totala projektets avtryck. Genom att undersöka Stålet och betongen under produktionen (A1-A3) har det visat sig att resurs och tillgång är mycket viktigt. Bindemedel kan ersättas mot exempelvis Slagg eller flygaska men att det inte är en tillgång som vi har oändligt mycket av. Detta gör att andra alternativ blir aktuella att se efter. Därför kan exempelvis en blandning av olika miljövänliga lösningar i ett och samma projekt både minska avtrycket samt spara resurser.

I detta examensarbete fanns inte möjligheten att se hur valet av ett hållbart alternativ kan påverka projektets ekonomi. Därmed skulle ett kommande examensarbete vara att visa hur betong som framställts genom Carbon capture and storage (CCS) och vanligt traditionell betong eller Klimatförbättrad betong skiljer sig i pris. Det man redan nu kan fastställa är att priset är högre för en betong-typ med mindre utsläpp men inte hur mycket och hur projektet i såg minskar i utsläpp genom lite dyrare betong. Genom den snabbt växande teknikutvecklingen inom betong och cement-industrin kommer betongen att nå sitt netto-noll utsläpp någon gång inom snar tid. Framtida projekt kan därmed bestå av

7 Referenser

- [1] Belaid, F (2022). *How does concrete and cement industry transformation contribute to mitigating climate change challenges?*, Hämtad från <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667378922000220>
- [2] Betongföreningen (2022), *Guide för reduktion av betongkonstruktioners klimatpåverkan*, Hämtad från <https://energiforsk.se/media/31065/guide-for-reduktion-av-betongkonstruktioner-richard-mccarthy.pdf>
- [3] Betongföreningen, (u, å). *Materialbetong*, Hämtad från <https://betongforeningen.se/materialbetong/>
- [4] Burström, P.G (2006). Betong. I Burström (Red) *Byggnadsmaterial: Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper* (ss.207–214) Studentlitteratur.
- [5] Burström, P.G (2006). Stål. I Burström (Red) *Byggnadsmaterial: Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper* (ss.302–308) Studentlitteratur.
- [6] Boverk (2022), *Efterfrågan på cement och möjliga klimateffekter av ökad import*, hämtad från <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2022/efterfagan-pa-cement-och-mojliga-klimateffekter-av-okat-import-tillg.pdf>
- [7] Byggkoll (2023-03-10), *Bindemedel som kan ersätta cement i betong*, Hämtad från <https://byggkoll.byggstjanst.se/artiklar/2023/mars/bindemedel-som-kan-ersatta-cement-i-betong/>
- [8] Cementa Heidelberg Cement Group, (2022), *Cementtyper, sammansättning och fordringar för ordinära cement*, Hämtad från: <https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sites/default/files/2022-05/Cementtyper%20och%20applikationer%20Anders%20B%C3%A4ckman.pdf>

[9] Cementa Heidelberg Materials (u, å), *Nya Cementrecept för minskad klimatpåverkan*, hämtad från <https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sv/nya-cementrecept-for-minskad-klimatpaverkan>

[10] Cementa Heidelberg Materials (u, å), *Betydelsen av Cement*, hämtad från <https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sv/Betydelsen-av-cement>

[11] Mortensen, Tarrass.H, Göransson.M, Sandström.O, Malaga, Helsing, Utgennant.P, Sundling.E.(2023). *Alternativa bindemedel till betong*, hämtad från https://www.researchgate.net/publication/368895113_Alternativa_bindemedel_till_betong_En_sammanfattning_av_kunskapslaget_i_ett_hallbarhetsperspektiv_februari_2023/link/63ffa74a0d98a97717caa6b8/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19

[12] Naturskyddsföreningen (2023), *Cement, klimat och miljö*, hämtad från <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/cement-klimat-och-miljo/>.

[13] Naturskyddsföreningen (2021), *CCS- Infångning och lagring av koldioxid* hämtad från <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/ccs-infangning-och-lagring-av-koldioxid/>

[14] NCC (2022-06-13), Hur minskar vi klimatpåverkan från betong-Världens vanligaste material? hämtad från <https://www.ncc.se/media/nyheter/hur-minskar-vi-klimatpaverkan-fran-betong---varldens-vanligaste-material/>

[15] Nobel, M. (U, Å). *Betong - vad är det?* (BYGG) hämtad från <https://bygg.se/betong-vad-ar-det/>


[16] Sadagopan, M., Nagy, A. and Malaga, K. (2017), RE: Concrete- study on Recycling of concrete in sweden, hämtad från: <https://hb.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1184901&dswid=1501>

[17] Stena Stål (u,å), Armeringsstål, Hämtad från <https://www.stenastal.se/vad-vi-erbjuder/armering/armeringsstal/>

- [18] Svensk betong (u, å), *Hållfasthet och slitstyrka*, hämtad från <https://www.svenskbetong.se/om-betong/platsgiutet/betongens-egenskaper/hallfasthet-och-slitstyrka>
- [19] Svensk Betong (u, å), *klimatförbättrad betong*, hämtad från: <https://www.svenskbetong.se/hallbarhet/klimatforbattrad-betong>
- [20] Sveriges Geologiska Undersökning (2023), *Cement och betong*, hämtad från <https://www.sgu.se/mineralnaring/industrimineral/cement-och-betong/>
- [21] Swerock (2024), *Eco-Betong blir vår nya standard*, hämtad från <https://swerock.se/om-oss/nyheter/swerock-storsatsar-for-miljon--eco-betong-blir-ny-standard/>.
- [22] TIBNOR (u, å), *Tibnor levererar armering med marknadens lägsta CO₂-avtryck*, hämtad från <https://www.tibnor.se/om-tibnor/nyheter/2024/tibnor-levererar-armering-med-marknadens-lagsta-co2-avtryck>
- [23] Thomas Betong (2024), *Betong och koldioxid*, hämtad från <https://thomasbetong.se/hallbarhet/betong-och-koldioxid>
- [24] Veidekke Norge (u,å). *Innovationer i en betong*, hämtad från <https://www.veidekke.se/tjanster/miljotjanster/betonginnovation/>

8 Bilagor

I detta avsnitt finner ni Bilagorna som använts som underlag under projektet.

Fabrik Vikan Vikans Industriväg 418 78 Göteborg		Receptutskrift											
Fabrik		Recept		Kortbeteckning		Beskrivning							
1018 Vikan		2503725130-3		V3725S3		Thomagrön 3 C 30/37 25 S3 Vct 0,50 Std. Cem 44%Slagg							
Betongdata													
Betongtyp		Grupp		Kvalitetskontroll		Provålder		Exponeringsklasser					
Gammal standard				Ja		28		XC4, XF1					
Hållfasthetsklass	Mål-fast (MPa)	Hållfasthetsutv.		Lufthalt (%)		Konsistens Klass		Målkonsistens	Kloridklass	Övervakningsklass			
C30/37	43,0			2,0		S3		150	0,1				
Skrymden-klass	Målkompaktensitet (kg/m ³)	Korn typ		D-max (mm)		Siktcurv område		Siktcurvennr	Max-restvatten (%)				
				25					40				
Användning					Egenskaper								
Std. Cem , , , 180-156					Std. Cem, Miljöbetong med föreskrivet VCT Varumärkesprodukt , V								
Efterbehandlingstid (dagar)		Bearbetningstid (h)		Min-cement (kg/m ³)		Min-bindemedel (kg/m ³)		Max-VCTekv		Betongtemperatur (°C)			
								0,50		Min Max			
Mängd													
Typ	Nummer	Beskrivning		Tillverkare		Börvärde	Enhet	Vol (m ³)	k-värde	O-torr (kg/m ³)	F (%)	Vatten (kg)	Vät (kg/m ³)
BA	1001B	0/4 mm Bakkesand		Eurosand		34,00	%	0,233		620	6,17	36,3	656
BA	1002	0/6 mm		Skanska Industrial Solutions AB		22,00	%	0,151		415	5,21	19,9	434
BA	1008	8/16 mm		Skanska Industrial Solutions AB		9,00	%	0,062		170	0,64	0,4	170
BA	1011	16/25 mm		Skanska Industrial Solutions AB		35,00	%	0,240		660	1,00	4,6	664
BA	----	Summa		----				0,685		1864		61,2	1925
BM	2000	Byggoement Skövde CEM II/A-LL 42,5 R		Heidelberg Materials		203,80	kg	0,066		204			204
BM	2500	GGBS - Slagg Bremen		Thomas Cement AB		160,20	kg	0,055	0,90	160			160
VA	3000	Vatten				173,00	kg	0,171		171		110,3	110
TM	4012	MasterGlenium 51/18 VR		Master Builder Solutions		0,90	%	0,002		1,83		1,5	1,83
Vatten för VCTekv (kg/m ³)		Bindemedel för VCTekv (kg/m ³)		VCTekv		Kompakt densitet (kg/m ³)	Bindemedel (kg/m ³)	Aktiv pasta volym (m ³)	Finmaterial (kg/m ³)	Extra fin sand (kg/m ³)		Kloridhalt (%)	
173		348		0,50		2401	364	0,289	449	553		0,06	

Bilaga [1] visar receptutskriften vid användning av Thomagrön 3 C 30/37 för projektet RYA Biokraftvärmeverk. En klimatförbättrad betong typ med 44% slagg.

Fabrik Vikan Vikans Industriväg 418 78 Göteborg	<h2 style="margin: 0;">Receptutskrift</h2>	
---	--	---

Fabrik	Recept	Kortbeteckning	Beskrivning
1018 Vikan	2604525130-4	V4525S3	Thomagrön 4 C 35/45 25 S3 Vct 0,45 Anl. Cem 50%Slagg

Betongdata							
Betongtyp	Grupp	Kvalitetskontroll	Provålder	Exponeringsklasser			
Gammal standard		Ja	28	XC4, XS2, XD2, XF1			
Hållfasthetsklass	Mål-fast (MPa)	Hållfasthetsutv.	Lufthalt (%)	Konsistens Klass	Målkonsistens	Kloridklass	Övervakningsklass
C35/45	51,0		2,0	S3	150	0,1	
Skrymden-klass	Målkompaktensitet (kg/m³)	Korn typ	D-max (mm)	Siktcurv område	Siktcurvennr	Max-restvatten (%)	
			25			0	
Användning				Egenskaper			
Anl. Cem , ,				, Miljöbetong med föreskrivet VCT Anl.Cem , Varumärkesprodukt , V			
Efterbehandlingstid (dagar)	Bearbetningstid (h)	Min-cement (kg/m³)	Min-bindemedel (kg/m³)	Max-VCTekv	Betongtemperatur (°C)		
				0,45	Min	Max	

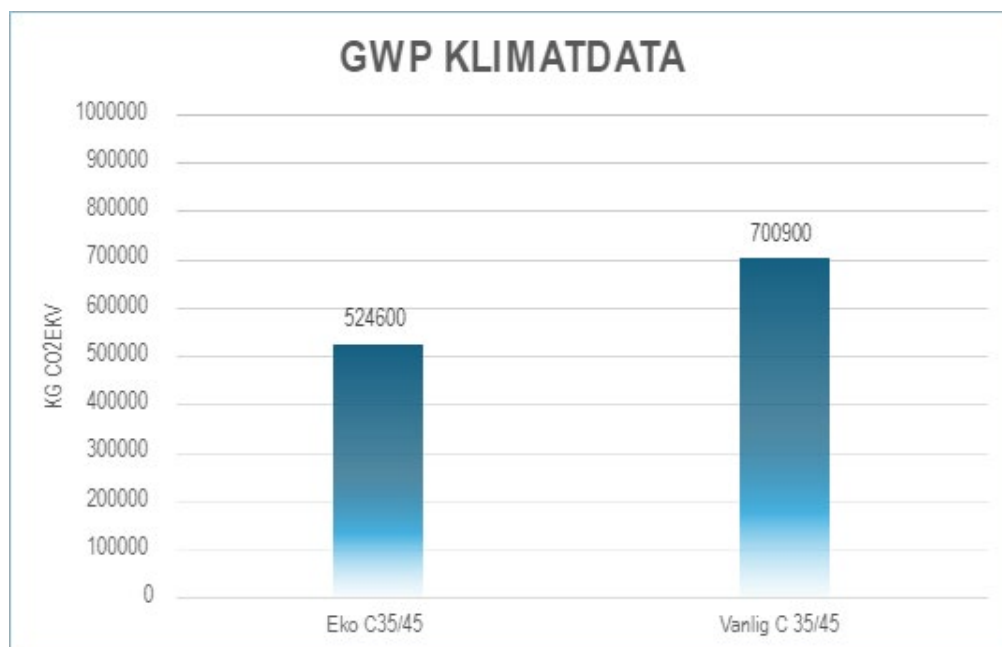
Mängd											
Type	Nummer	Beskrivning	Tillverkare	Börvärde	Enhet	Vol (m³)	k-värde	O-torr (kg/m³)	F (%)	Vatten (kg)	Vät (kg/m³)
BA	1001B	0/4 mm Bakkesand	Eurosand	33,00	%	0,225		598	6,17	35,0	633
BA	1002	0/6 mm	Skanska Industrial Solutions AB	20,00	%	0,136		374	5,21	17,9	392
BA	1008	8/16 mm	Skanska Industrial Solutions AB	10,00	%	0,068		187	0,64	0,5	188
BA	1011	16/25 mm	Skanska Industrial Solutions AB	37,00	%	0,252		693	1,00	4,8	698
BA	-----	Summa	-----			0,681		1852		58,2	1910
BM	2012	Anläggningscement Brevik CEM I 42,5 N - SR 3 MH/LA	Heidelberg Materials	197,70	kg	0,062		198			198
BM	2500	GGBS - Slagg Bremen	Thomas Cement AB	197,70	kg	0,068	0,90	198			198
VA	3000	Vatten		169,00	kg	0,167		167		109,0	109
TM	4012	MasterGlenium 51/18 VR	Master Builder Solutions	1,10	%	0,002		2,17		1,8	2,17
		Vatten för VCTekv (kg/m³)									
		Bindemedel för VCTekv (kg/m³)									
		VCTekv									
		Kompakt densitet (kg/m³)									
		Bindemedel (kg/m³)									
		Aktiv pasta volym (m³)									
		Finmaterial (kg/m³)									
		Extra fin sand (kg/m³)									
		Kloridhalt (%)									
		169									
		376									
		0,45									
		2417									
		395									
		0,292									
		475									
		573									
		0,06									

Bilaga [2] visar receptutskriften vid användning av Thomagrön 4 C 35/45 för projektet RYA Biokraftvärmeverk. En klimatförbättrad betong typ med hela 50% slagg.

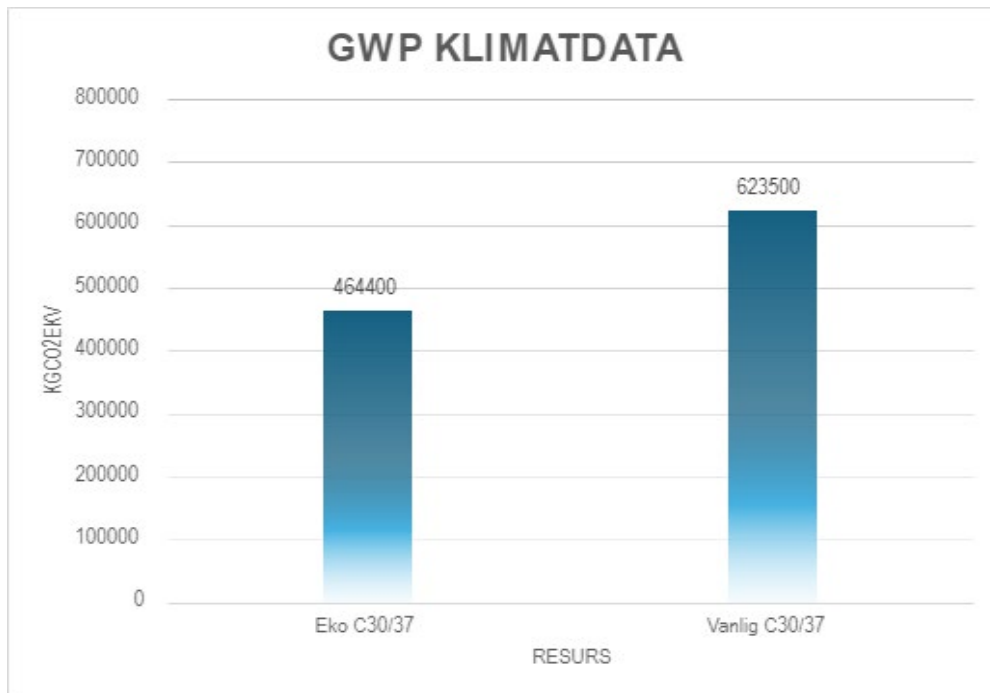
Klimatberäkningar och klimatbesparingar för Biokraftvärmeverk Veidekke

Bygghel	Krav	Produkt	Mängd (kg)	CO ₂ besparing (kg)
	XC2,XC3,XC4 XF1,	Thomagrön 30/3725S3 0,50 Byggcement Nivå 3	185 kg/co2	80 kg/m3
		V30/3725S3 0,55 Byggcement (Ej miljöbetong)	265 kg/co2	
	XA2 XC3	Thomagrön 35/4525S3 0,45 Anlccement Nivå 4	180 kg/co2	125 kg/m3
		35/4525S3 0,45 Anlccement (Ej miljöbetong)	305 kg/co2	

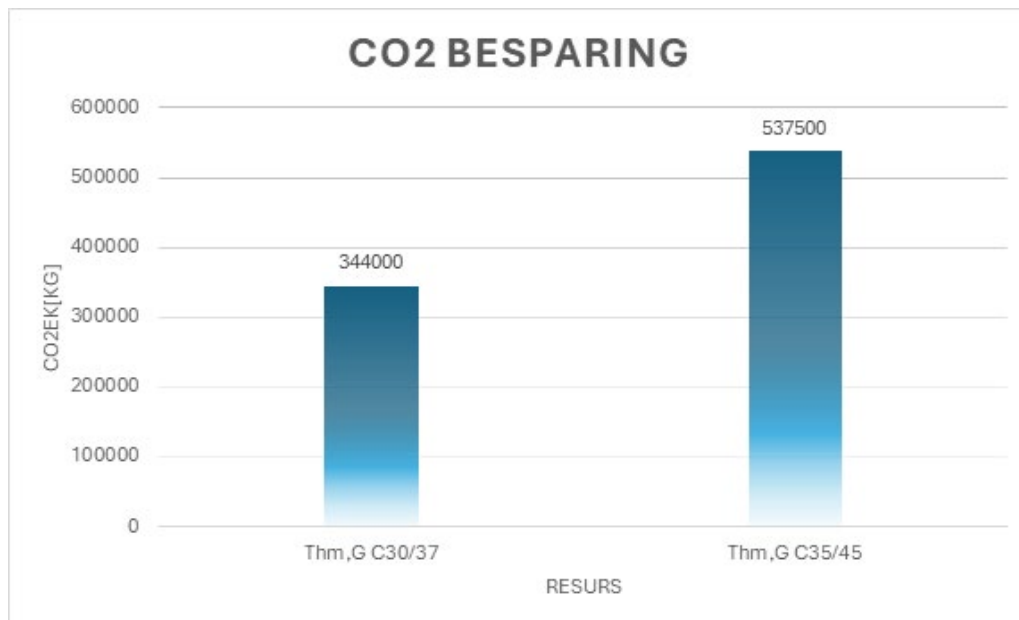
Bilaga [3] visar klimatbesparingen som företaget Veidekke gör vid val av de klimatförbättrade betongen i jämförelse med de icke miljövänliga betongen samt vilka krav som ställs inför användningen av dessa material.



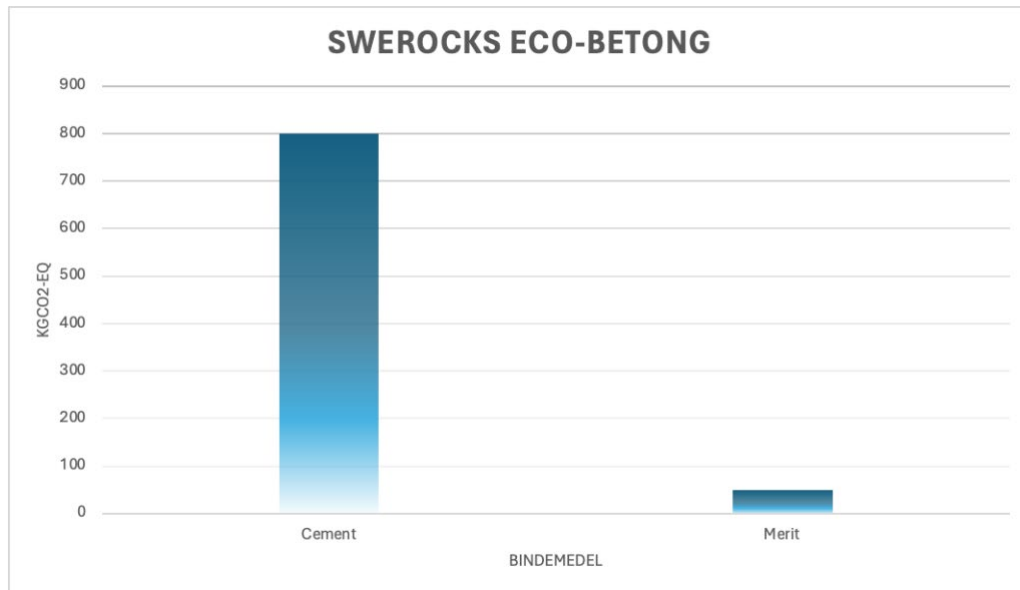
Bilaga [4] Visar en GWP klimatdata analys av Thomasgrön C35/45 jämfört med den icke miljövänliga typen av samma sort.



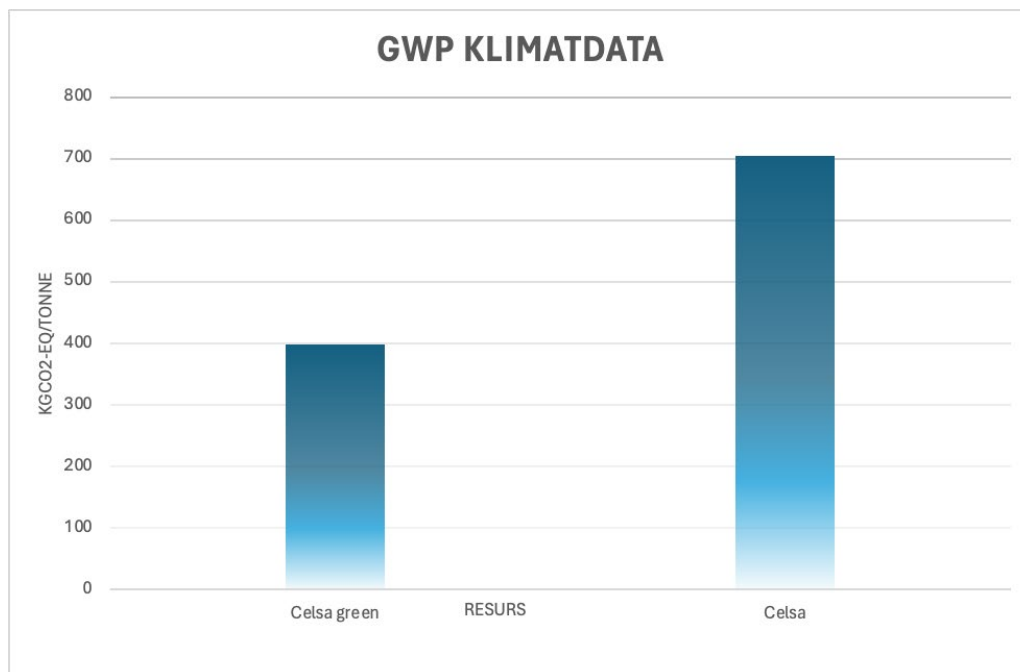
Bilaga [5] Visar en GWP klimatdata analys av Thomasgrön C35/45 jämfört med den icke miljövänliga typen av samma sort.



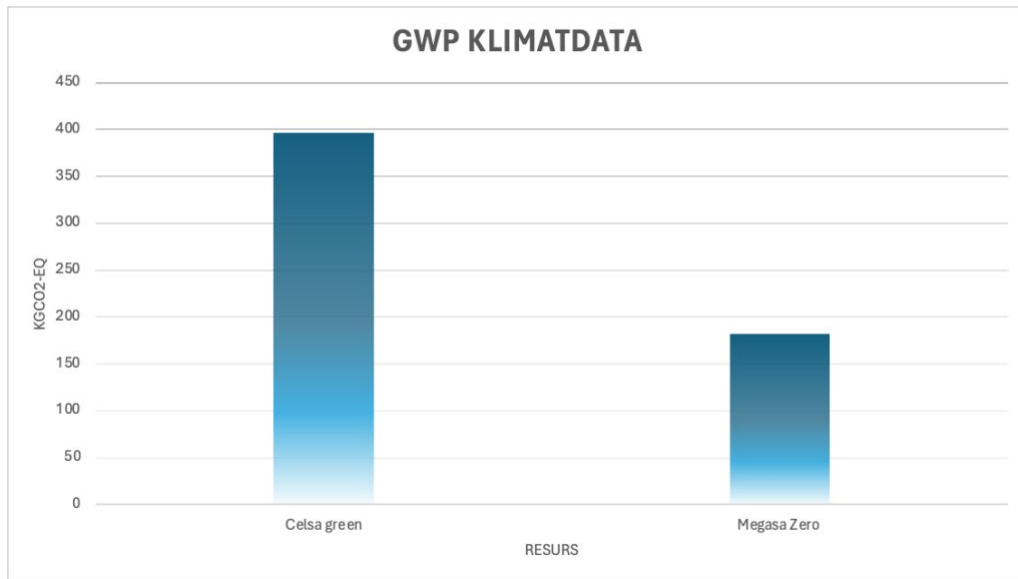
Bilaga [6] visar klimatbesparingen som Veidekke Entreprenad kan göra med tillval av Thomasgrön 3 och Thomasgrön 4.



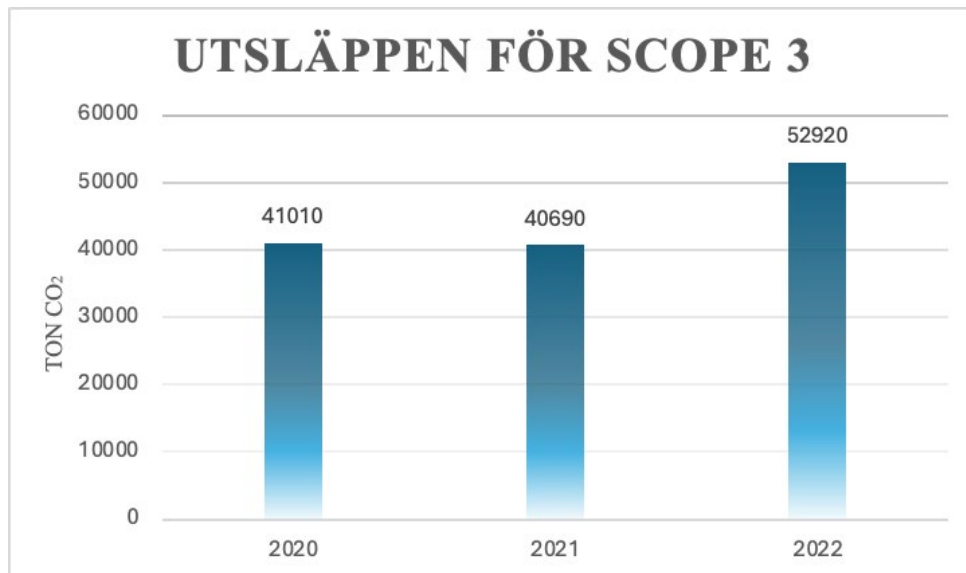
Bilaga [7] visar hur Swerocks Eco-variant påverkar klimatet beroende på cement kontra cementliknande bindemedel



Bilaga [8] visar en jämförelse på klimatpåverkan mellan Celsa Steel och den miljövänliga varianten



Bilaga [9] visar jämförelse mellan Celsas gröna stålmaterial och Megasas



Bilaga [10] visar Veidekkes utsläpp för scope 3 för år 2020,2021 och 2023

8.1 Intervjufrågor

Respondent 1: Thomas Betong levererar betong till många byggföretag i Sverige, Veidekke är en av de. Ingemar Löfgren som representerar bolaget är en FoU på Thomas Concrete Group AB.

Respondent 2: Kristina Hansson som är en projektledare på Veidekke Entreprenad.

Respondent 3: Rikard Wallén som är en platschef på Veidekke Entreprenad, som även leder projektet RYA Biokraftvärmeverk som arbetet analyserar.

Respondent 4: Tom Bergström

Respondent 5: Hampus Jakobson

1. Vilka är de viktigaste tekniska innovationerna eller processförbättringarna som gör klimatförbättrad betong möjlig idag och vilka förväntas i framtiden? vilka används av Thomas Betong?

R1: Det man kan säga är att det är flera olika åtgärder som vidtas för att minska miljöbelastningen och tillverka ”klimatförbättrad” betong:

- Det viktigaste är att ersätta portlandklinker med alternativa bindemedel, som idag är mald granulerad masugnsslagg och flygaska.

Vi tittar på andra material som kan komma att användas lite längre fram.

- Andra viktiga åtgärder är att minimera cement och bindemedelsinnehållet i betongen, vilket kan åstadkommas genom att proportionera betongen väl, använda bra ballastmaterial och utnyttja de senaste innovationerna inom tillsatsmedel (flyttillsatsmedel/superplasticerare och acceleratorer).
- Att inte använda onödigt höga betongkvalitéer där det inte behövs, t.ex. i bjälbetongbjälklag där uttorkningskrav leda till onödigt höga cementhalter.
- Sedan arbetar givetvis cementtillverkarna med processoptimeringar och alternativa biobränslen för att minska miljöbelastningen. Även och infångning av koldioxiden (CCS) vilket kommer att ske vid cementfabriken i Brevik (Heidelberg)

2. Nuvarande praxis: Vilka åtgärder eller strategier används för att optimera klimatprestandan i betongprojekt inom er organisation eller projekt?

R2: Vi köper alltid grön armering (har ramavtal med Celsa). Vi ska alltid ha ”gröna möten” med beställaren för att diskutera i varje projekt hur vi skulle kunna klimatoptimera projekten. Har vi en totalentreprenad försöker vi ha detta i focus och aktivt hitta lösningar.

3. Vilka utmaningar eller begränsningar möter Thomas Betong /branschen vid tillverkningen av miljövänlig betong? Iså fall hur kan de övervinnas för att nå klimatneutralitet?

R1: Utmaningarna har varit att byggbranschen, entreprenörer och konsulter, ibland inte har haft tillräcklig kunskap vilket har lett till osäkerheter och misstänksamhet.

Sedan är det så att det vintertid kan vara en utmaning att gjuta med klimatförbättrad betong p.g.a. långsammare hållfasthetstillväxt, men detta går att lösa med t.ex. accelerationer och arbetsplatsåtgärder (täckning, värmning, mm). En stor utmaning framöver är att säkerställa tillgång på kvantiteter av alternativa bindemedel som kommer att krävas samt att det för klimatneutralitet kommer att fodras infångning av koldioxid vid tillverkningen av portlabdklinker.

4. Utmaningar och hinder: Vilka specifika utmaningar har ni stött på eller troligen kommer att stöta på vid implementering av klimatoptimeringsåtgärder i betongprojekten? Finns det några tekniska eller organisatoriska hinder som har varit särskilt utmanande?

R2: Svårt. Kostnad och tidsåtgång kanske.

5. Vilka miljövänliga cementtyper trender idag i branschen samt vilka använder Thomas Betong?

R1: Det är olika cement och bindemedel som används:

- För husbyggnation används främst CEM II/A-LL i kombination med slagg, men även CEM II/B-M (S LL) (t.ex. Viridis från Schwenk) samt CEM I 52,5 R med slagg
- För anläggningskonstruktioner är det CEM II/A-V (flygaska) samt CEM I, där båda kan levereras med inblandning av slagg.

6. Bästa praxis: Kan du dela med dig av exempel på åtgärder eller strategier som har varit mest effektiva för att minska klimatpåverkan i era betongprojekt? Finns

det några specifika tekniker eller samarbetspartnerskap som har visat sig vara framgångsrika?

R2: Tidiga samarbeten med beställare och konstruktörer.

7. Vid användningen av dessa cementtyper, ändras betongens egenskaper på något sätt?

R1: Det som främst sker när portlänklinter ersätts är att hållfasthetstillväxten sker långsammare och värmeutvecklingen blir lägre. Detta kan som sagt kompenseras med accelerators och/eller att använda ett snabbt hårdnande cement (CEM I 52,5R). Vad gäller beständighet så påverkas detta, men där det kommer att bero på vilken miljö och exponeringsklass som är gällande och hur mycket portlänklinter som ersätts.

8. Framtida trender: Vilka framtida trender ser ni inom klimatoptimering av betongprojekt inom anläggningsbranschen? Finns det nya innovationer, regleringskrav eller marknadstrender som ni tror kommer att påverka hur betongprojekt planeras och genomförs med tanke på klimatet?

R2: Betongbranschen jobbar aktivt med nya metoder för att reducera klimatpåverkan. En del är att hitta andra bindemedel än cement. En annan till att hitta bättre sätt att framställa armering. Rätt betong på rätt plats. Stora problem med betongen är att inte regelverket hänger med, men även detta arbetas det aktivt med.

9. Vad gör Thomas betong för insatser för att hantera klimatfrågan?

R1: Vi jobbar aktivt med att hitta alternativa bindemedel och har sedan 2006 importerat alternativa bindemedel till Sverige och redan 2012 lanserades klimatförbättrad betong med minskad miljöpåverkan. Vi jobbar aktivt med att optimera betongrecept samt att arbeta med våra tillsatsmedelsleverantörer för att hitta effektiva och bättre produkter. Vi arbetar även aktivt med design och konstruktionsarbete för att också minimera de betongvolymerna som används och att rätt betong används på rätt plats.

Vad anser du är viktigt att beakta för att företaget och branschen ska kunna nå målet klimatneutralitet 2045?

Vilka tekniker samt strategier har företaget implementerat i sina projekt för att minska CO₂? Vilka har funkat och vilka har inte?

Vilka utmaningar och hinder kan både företaget och branschen möta för att nå mer hållbar praxis? Hur kan dessa övervinnas?

10. Hur ser det ut för Veidekke gällande hantering av klimatfrågan som orsakas av betong och stål?

R3: Det har blivit mer fokus på klimatfrågan de senaste åren. I år har krav från ledningen tydliggjort för att sätta press på våra projekt att göra mer för att reducera klimatpåverkan. Där är både betong och stål har stor påverkan.

11. Vad anser du är viktigt att beakta för att företaget och branschen ska kunna nå målet klimatneutralitet 2045?

R3: Att det fokuseras på hela leveranskedjan inte bara slutanvändningen på byggarbetsplatsen, tex var sker tillverkning, hur levereras produkten osv. Viktigt att ställa krav på leverantörerna som tillverkar och levererar produkten så att det blir lägre påverkan.

12. Vilka tekniker samt strategier har företaget implementerat i sina projekt för att minska CO₂? Vilka har funkat och vilka har inte?

R3: Gröna kundmöten har använts där klimatfrågan lyfts, har tyvärr inte insikt i resultatet av det dock. Nu behöver alla nya projekt göra minst 3 klimatförbättrande åtgärder för att personalbonus ska falla ut nästa år.

13. Vilka utmaningar och hinder kan både företaget och branschen möta för att nå mer hållbar praxis? Hur kan dessa övervinnas?

R3: I dagsläget är produkter som är bättre för klimatet dyrare, men om fler ställer krav på klimatreducering vid inköp så kommer det pressa leverantörerna till att ta fram bättre produkter.