

Betongpålars miljöpåverkan



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Institutionen för teknik och samhälle/Miljö och energiavdelningen

Examensarbete:
Jacob Johansson
Martin Wallett

© Copyright Jacob Johansson, Martin Wallett

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2014

Sammanfattning

Behovet att utföra grundförstärkningar växer hela tiden då det i våra större städer redan är byggt på de flesta platser. Den orörda marken som det inte finns någon bebyggelse tidigare på är på grund av dåliga geologiska förhållanden. Detta gör att pålning blir idag mer vanligt och att i framtiden kommer behovet att växa.

Det vanligaste materialet för pålar är betong som länge varit ett av Sveriges vanligaste konstruktionsmaterial. Materialet har goda hållfasthetsegenskaper samt en bra beständighet vilket har gjort materialet fördelaktigt i jämförelse med andra material.

Denna rapport avser att undersöka och jämföra klimatpåverkan mellan två olika typer av betongpålar. Bakgrunden till detta ligger i att miljöfrågorna blir allt viktigare i samhället och insikten om jordens begränsade resurser visar tydligt att människan måste ta ansvar och agera för att ta hand om miljön. Byggnadssektorn tillhör idag en av de större miljöbelastningarna i samhället.

Dagens standardpålar vid grundläggning består av cement, armering, tillsatsmedel och ballast i olika storlekar. Den vanligaste betongpålen har en dimension av 275x275 mm. Den nya fiberpålen med dimension 235x235 mm har en halverad mängd armering där stålfiber tillsätts för att ge en ökad bärförmåga. Denna nya fiberpåle kan direkt ersätta en 275x275 mm påle då den har samma bärförmåga. Detta leder till en direkt minskning av betong vilket ger mindre materialåtgång och minskade transportutsläpp vilket betyder en minskad klimatpåverkan.

Storleken på minskningen beror på ett antal olika parametrar. De största faktorerna till minskningen av klimatpåverkan är en minskad materialåtgång till följd av att fiberpålen är av ett mindre tvärsnitt. Det mindre tvärsnittet leder även till minskade transportutsläpp vid leverans till kunden då lastbilarna kan frakta fler av den mindre pålen.

Rapporten redovisar klimatpåverkan mätt i koldioxidekvivalenter för både produktion och transport av betongen.

Resultatet visar att om man ersätter standardpålar med fiberbetongpålar under ett år i Sverige blir fördelen en minskning på ungefär 2600 ton koldioxidekvivalenter. Resultatet i rapporten är en direkt siffra på pålarnas klimatpåverkan i form av växthusgasutsläpp. Det skall dock nämnas att det även finns andra miljömässiga fördelar såsom ett minskat utsläpp av försurande gaser och en minskad användning av naturgrus.

Nyckelord: Betong, Pålning, Grundläggning, Miljö, Koldioxidekvivalenter

Abstract

The need to perform basic construction reinforcements is growing all the time because in our larger cities they have already built in most places. The untouched land where there is no settlement is due to poor geological conditions. This makes piling more common today, and in the future the usage will grow even more.

Concrete is now and has long been one of Sweden's most common construction materials. The material has outstanding traits with a good durability that has made the material valuable in comparison with many others.

This report aims to examine and compare the impact of two different types of concrete piles. The reason for this is that environmental issues are becoming increasingly more important in society and the realization that the earth's limited resources clearly shows that humans must take responsibility and act to take care of the environment. The construction sector is today one of the major environmental pressures in society.

Today's standard piles consist of cement, reinforcement additives and aggregates of various sizes. The most common concrete pile has a dimension of 275x275 mm. The new fiber pole with dimension 235x235 mm has a halved amount of reinforcement and where steel fiber is added to provide a greater load carrying capacity. This new fiber pole can directly replace a 275x275 mm pole as it has the same load capacity. This leads to a direct reduction of concrete resulting in less material usage and reduced transportations, which means a reduced CO₂ emission.

The size of the decrease is due to a number of different parameters. The main factors for the decline of the carbon footprint is reduced material consumption due to the fiber pile is of a smaller cross section. The smaller cross section also leads to lower transport emissions upon delivery to the customer when trucks can carry more of the smaller piles. This case study is based on carbon dioxide equivalents to investigate any impact on the climate for the production of concrete.

The results show that if one replaces all standard piles for fiber concrete piles for a year in Sweden, The gain is roughly 2600 tons of carbon dioxide that are reduced and is not released into the atmosphere.

The results of the report are a direct figure of piles climate impact in terms of greenhouse gas emissions. It should be mentioned that there are other environmental benefits such as reduced emissions of acid gases and a reduced use of gravel.

Keywords: Concrete, Piling, Environment, Carbon dioxide equivalents

Förord

Detta examensarbete är utförts under våren 2014 och är en avslutande del i vår utbildning till högskoleingenjör i byggt teknik på Lunds Tekniska Högskola Campus Helsingborg. Examensarbetet har utförts vid miljö- och energiavdelningen vid LTH i samarbete med Miljöbron och Peab grundläggning.

Stort tack till:

Dick Christianson och hela personalen på Tollarps betong och pålning, för erfarenhet och stöd under rapporten.

Malin Planander, Miljöbron, för råd och tips under hela arbetet.

Charlotte Retzner handledare vid LTH, för all hjälp med strukturen på rapporten.

Författare:

Martin Valett, Jacob Johansson 23 Maj 2014

Innehållsförteckning

| | |
|---|-----------|
| 1 Inledning | 1 |
| 1.1 Bakgrund | 1 |
| 1.2 Syfte | 1 |
| 1.3 Frågeställning | 1 |
| 1.4 Metod | 2 |
| 1.5 Avgränsningar | 2 |
| 2 Miljö och geologiska förutsättningar | 4 |
| 2.1 Vad är koldioxidekvivalenter? | 4 |
| 2.2 Miljö i byggsektorn | 5 |
| 2.3 Geologiska förutsättningar i Sverige | 7 |
| 3 Grundläggning | 9 |
| 3.1 Pålning | 9 |
| 3.2 Betongpålar | 10 |
| 4 Betong | 12 |
| 4.1 Material i betong | 12 |
| 4.2 Ballast | 13 |
| 4.3 Cement | 13 |
| 4.4 Vatten | 14 |
| 4.5 Tillsatsämnen och material | 14 |
| 4.6 Armering | 15 |
| 4.7 Egenskaper | 16 |
| 5 Beräkningar | 18 |
| 5.1 Materialinnehåll för betongpålar | 18 |
| 5.2 Produktionsutsläpp | 19 |
| 5.2.1 Cement..... | 19 |
| 5.2.2 Ballast..... | 19 |
| 5.2.3 Armering..... | 19 |
| 5.2.4 Bergsko | 20 |
| 5.2.5 Pålskarv | 20 |
| 5.2.6 Stålfiber | 20 |
| 5.2.7 Flytmedel..... | 20 |
| 5.2.8 Produktions sammanfattning | 21 |
| 5.3 Transport | 21 |
| 5.3.1 Cement..... | 21 |
| 5.3.2 Armering..... | 23 |
| 5.3.3 Bergsko samt Pålskarv | 24 |
| 5.3.4 Stålfiber | 25 |
| 5.3.5 Flytmedel..... | 26 |
| 5.3.6 Ballast..... | 27 |

| | |
|--|-----------|
| 5.3.7 Distribution..... | 27 |
| 5.3.8 Sammanfattning av transporter | 28 |
| 5.4 Produktion av betong..... | 28 |
| 5.5 Sammanställning av växthusgasutsläpp..... | 29 |
| 6 Diskussion..... | 30 |
| 7 Slutsats | 32 |
| 8 Källförteckning..... | 34 |
| Elektroniska källor: | 34 |
| Tryckta källor:..... | 35 |
| Bilagor..... | 36 |

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Vid grundläggning idag blir det allt vanligare att man tvingas göra en grundförstärkning på djupet. Detta då man numera på grund av det begränsade utrymmet, är tvungen att bygga på markområden med dålig bärighet som man tidigare undvikit. En bidragande faktor till detta är förtätningen av våra städer som är en förutsättning för att kunna hantera framtidens krav för en hållbar stad till följd av en ökad folkmängd.

Den vanligaste metoden för djupgrundläggning sker idag med hjälp av prefabricerade betongpålar. Betongpålarna som slås ner i jorden tar upp laster från överliggande byggnad och förstärker jordens bärighet för att undvika sättningar.

Betong har fördelen att det kan bära stora trycklaster samt att livslängden är mycket lång. Betong har emellertid även nackdelar. Det är en resurskrävande tillverkningsprocess och transportererna som sker främst med fraktfartyg och lastbil utgör en belastning på miljön. Forskning och utveckling sker ständigt för att skapa nya mer miljövänliga metoder inom bygg- och anläggningssektorn. En ny teknik som utvecklats är användandet av stålfibertillsats i betong vilket ger en ökad hållfasthet och möjliggör tunnare konstruktioner. För just betongpålar till grundläggning medför detta att en påle av fiberbetong med måtten 235x235 mm kan bära upp samma last som en påle av vanlig betong med måtten 275x275 mm. Dimensionsminskningen leder till en minskad materialåtgång samt reducerade transportutsläpp vilket är fördelaktigt ur miljösynpunkt. Hur stor miljövinst som faktiskt kan göras med fiberpålen är emellertid fortfarande okänt.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att genomföra en undersökning för att beräkna hur stora skillnaderna är i klimatpåverkan mellan en stålfiberbetongpåle jämfört med en traditionell betongpåle.

Resultatet av studien skall kunna ge en vägledning om fiberbetongpålen är värd att fortsätta att satsa på ur miljösynpunkt.

1.3 Frågeställning

Hur stor är skillnaden i klimatpåverkan mellan en fiberbetongpåle och en vanlig betongpåle?

1.4 Metod

Arbetet inleds med en litteraturstudie för att samla bakgrundsfakta och ge en djupare förståelse om pålgrundläggning och klimatpåverkan. Genom Peab Grundläggning AB har produktspecifika data såsom betongrecept för betongpålarna erhållits. För att kunna genomföra en datainsamling för produktionsutsläpp av de olika ingående materialen har information sökts direkt från leverantörerna. I enstaka fall har utsläppsdata inte funnits hos leverantörerna och då har uppgifter från tidigare gjorda livcykelanalyser använts. Kontakten med de olika leverantörerna har skett via telefon samt mejlkorrespondens.

Resultatet av datainsamlingen kommer sammanställas och jämförelsen presenteras i koldioxidekvivalenter som är en enhet för att kunna beräkna den totala klimatpåverkan för olika växthusgaser. Resultatet kommer även presenteras i ett större sammanhang och där översättas till en vardaglig situation för att siffrorna ska bli lätta att relatera till.

1.5 Avgränsningar

Detta arbetes avgränsningar är baserade på syftet med rapporten, en miljömässig jämförelse mellan två olika betongpålar med avseende på utsläpp av växthusgaser vid transport och produktion. Anledningen att endast växthusgaser beaktas i rapporten är att miljöpåverkan är ett väldigt komplext och omfattande område med många olika parametrar att ta hänsyn till. Valet att fokusera på klimatpåverkan grundar sig i att det är ett av våra största miljöhot idag. I rapporten tas inte hänsyn till arbetsmiljö, energiförbrukning vid pålning och påverkan på jorden av pålen efter slagning.

Rapporten avser att det geografiska läget är Sverige med normala förhållanden och transporter genomförs med standardlastbil. För tillverkningsutsläpp på de ingående materialen används generella uppgifter hämtade från respektive tillverkare. Avståndsberäkning för transport till och från fabriken görs genom rimlighetsantagande med avseende på fabriken geografiska läge och ett genomsnittligt avstånd till kund.

Rapporten kommer endast behandla pålar med standardcement och bortse från pålar för svårare förhållanden av anläggningscement då denna cementtyp har andra utsläppsvärden.

För att utföra rapporten används Peab grundläggning i Tollarp som ett exempelföretag. En undersökning genomförs med avseende på deras fabrikstillverkade betongpålar och dess miljöpåverkan sett till produktion och transporter av material med fabriken i Tollarp som utgångspunkt.

2 Miljö och geologiska förutsättningar

Miljön har under de senaste 30-40 åren blivit en allt viktigare fråga och allmänhetens miljömedvetenhet har utvecklats mycket. Även för industrin har miljöfrågorna blivit allt viktigare. Tidigare skedde bara kontroller av stora företagsutsläpp medan miljöfrågorna idag har blivit mer omfattande och det har bildats en djupare förståelse för dess storlek och komplexitet (Ammenberg, 2012). Internationellt har FN jobbat med miljöfrågor genom olika tillvägagångssätt för att minska och eliminera de miljöproblem som finns. FN har bland annat tagit fram en gemensam miljöstrategi för både I- och U-länder. År 1987 arrangerade FN den så kallade Brundtlandkommissionen som även skapade uttrycket ”*sustainable development*”. I Brundtlandkommissionens rapport ”Vår gemensamma framtid” menar man att en hållbar social utveckling och ekonomisk tillväxt är omöjligt att uppnå om miljön ödeläggs och naturresurserna överexploateras. Utveckling och tillväxt måste äga rum på miljöns villkor (Brandt & Gröndahl 2005).

Följande förklaring gjordes:

"En hållbar utveckling är en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov" (Miljödepartementet, 2014)

Miljöfrågor och förståelsen om jorden och dess begränsade resurser blir allt viktigare. Att våra miljöbelastningar inte får öka är i dagens samhälle mer eller mindre en självklarhet. Miljön och vår omgivning har alltid påverkats av oss människor på olika sätt. De miljöproblem som skapats är till exempel klimatförändringar, minskning av den biologiska mångfalden och uttunning av ozonskiktet. En av de viktigaste miljöfrågorna idag är klimatförändringen genom den globala uppvärmningen som kan leda till en markant temperaturökning. Med denna temperaturökning följer en mängd olika förödande konsekvenser bland annat en stigande havsnivå vilket i sin tur leder till översvämningar och då miljontals hemlösa (Brandt & Gröndahl 2005).

2.1 Vad är koldioxidekvivalenter?

För att kunna beskriva hur mycket olika växthusgaser bidrar till den globala uppvärmningen används en omräkningsmetod till koldioxidekvivalenter. Anledningen till detta är att olika gaser har olika stark bidragande effekt till växthuseffekten. Metoden att räkna i koldioxidekvivalenter har valts då det är en allmänt vedertagen metod som tagits fram av FN:s klimatpanel (Naturvårdsverket 2014b).

Koldioxidekvivalenter motsvarar den mängd av en växthusgas exempelvis metan (CH₄) uttryckt som den mängd koldioxid som ger samma växthuseffekt. Det blir då en allmän måttenhet som gör att det går att jämföra samt addera klimatpåverkan från olika växthusgaser. Omräkningsfaktorerna som används är baserade på uppvärmningseffekten under ett hundraårsperspektiv (Naturvårdsverket 2014b).

Anledningen till att de olika växthusgaserna bidrar olika mycket till den globala uppvärmningen beror på ämnets egenskaper. Parametrar som spelar in för hur effektiv en växthusgas verkar är bland annat relativa utsläppsvolymer, förmågan att absorbera värmestrålning i olika våglängder och uppehållstid i atmosfären. (UNFCCC, 2014)

Tabell 2.1 Koldioxidekvivalenter

| Ämne: | Omräkningsfaktor: |
|--------------------------------|-------------------|
| CO ₂ (Koldioxid) | 1 |
| CH ₄ (Metan) | 21 |
| N ₂ O (Dikväveoxid) | 310 |

Respektive ämnes utsläppsvärde multipliceras med omräkningsfaktorn för att få fram värdet för ämnet i koldioxidekvivalenter. För betong kommer det huvudsakliga utsläppet av växthusgaser från koldioxid i samband med tillverkningen av cement.

2.2 Miljö i byggsektorn

Produktionen och brukandet av byggnader är en av de största enskilt bidragande miljöbelastningsfaktorerna i samhället. Bygg- och fastighetssektorns klimatpåverkan i form av koldioxidutsläpp är enligt beräkningar från forskare på KTH, Stockholm 16 procent av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser. Om värme och drift räknas in står byggsektorn för 20 procent av hela landets koldioxidutsläpp (Baltscheffsky 2011).

Betong

Betongen som är ett av våra viktigaste byggmaterial kan betraktas som ett naturmaterial då ingredienserna huvudsakligen utgörs av cement (kalksten), sand/sten/grus och vatten. Betongens beständighet mot nedbrytning leder till att ekosystem endast påverkas marginellt i jämförelse med andra material som efter en tid bryts ner och riskerar läcka ut främmande ämnen i naturen. En annan aspekt med betong är att materialet går att återanvända dels spillbetong från produktion och även rivningsbetong. Den härdade betongen kan krossas för att återanvändas som ballast till ny betong och armeringen kan tas tillvara som stålskrot och användas för tillverkning av nytt stål. Den finns även

möjlighet att återanvända hela betongelement till nyproduktion av byggnader (Gillberg, Fagerlund, Jönsson & Tillman 1999).

Miljöbelastningen för betong uppkommer vid produktionen av materialet. Det är framförallt produktionen av cement och effekterna av denna energikrävande process där brukande av fossila bränslen som kol och olja bidrar till stora koldioxidutsläpp. Andra former av bränsle såsom biobränslen är på sikt en lösning för att minska utsläppet av växthusgaser, dock innebär det en merkostnad för cementfabrikerna i form av odling av energiskog som tar upp stora arealer (Gillberg et al. 1999).

En annan alternativ energikälla som potentiellt kan användas är avfallsbränsle såsom bildäck. Varje år deponeras stora mängder bildäck runt om i Europa. Bildäckens sammansättning leder till en hög jämn värme vid förbränning vilket lämpar sig väl vid produktion av cement. Rökgaserna som bildas vid förbränningen innehåller en viss mängd tungmetaller som kan fångas upp via en filteranläggning. Övriga utsläpp som sker i form av växthusgaser hade släppts ut även vid deponi och därför kan man säga att detta utsläpp tas tillvara på jämfört med en förbränning av kol och olja. Vid cementproduktionen uppkommer en stor del spillvärme som kyls bort. Med dagens teknik finns möjlighet att ta vara på denna spillvärme och koppla samman cementfabriker med fjärrvärmenät. Värmen som tas tillvara har bortsett från att de är en fördel för miljön även ett stort ekonomiskt värde (Gillberg et al. 1999).

I betong används sten, grus och sand som hämtas från naturen. Naturgruset hämtas ur bland annat rullstensåsar och isälvsdeltan, som bildats ur den senaste inlandisen samt ur mäktiga svallgruslager som avsatts längs dåvarande havs- och sjöstränder.

Det finns flera skäl att minska vår naturgrusanvändning i samhället. Några exempel på detta är att, det inte kommer bildas några nya grusåsar, isälvsdeltan eller svallgrusområden inom en överskådlig framtid. Naturgruset kommer ta slut, och därför bör vi minska användningen och hushålla med materialet. Ofta har även områden rika på naturgrus stort värde ur en kultur- och naturmässig synvinkel (Gillberg et al. 1999).

Alternativ till naturgrus i ballast kan vara återanvändning av material, bergkross och morän. Åtgärder som riksdagen infört för att minska användningen av naturgrus är krav på tillstånd för täkt, regionala materialförsörjningsprogram och en naturgrusskatt. Hittills har detta dock inte varit tillräckligt för att uppnå de mål som satts upp gällande en minskning av det årliga maximala uttaget (Naturvårdsverket 2014a).

Armering

Vid tillverkningen av armeringsstål sker det en rad aktiviteter som belastar miljön. Järnmalmsframställning genom gruvindustrin, transporter av råmaterial, energiåtgång vid gjutning och utsläpp från stålverket till följd av bearbetningen av stålet är exempel på några av de bidragande utsläppsfaktorerna. För ett modernt stålverk är miljöpåverkan en viktig faktor där utveckling hela tiden sker för att effektivisera produktionen och minska utsläppsmängderna. Exempel på åtgärder som kan vidtas är att spara in utsläpp genom återanvändning av produkter och innovativa lösningar. Genom att enbart använda sig av el från förnybara energikällor till stålverket minskar man utsläppen av växthusgaser från förbränning av fossila bränslen vilket i sin tur ger en minskad miljöpåverkan, friskare luft samt en minskad försurningseffekt. Genom att filtrera utsläppen genom en reningsanläggning innan de når ut i naturen kan man minimera andelen miljöfarliga ämnen som kommer ut. En annan åtgärd är att ta vara på spillvärme från ugnen för att förvärma stålskrotet innan det smälts och på så vis göra energibesparingar. Vid tillverkningen av armering återanvänds förbrukat stålskrot som transporteras till stål fabriken. Att återanvända stålskrot medför dels ekonomiska fördelar och det är även en viktig åtgärd för att miljön då man sparar nytvinning av råmaterial. Då stålskrotet når fabriken sorteras det för att få rätt blandning när det sedan skall in i stålverket. Därefter transporteras skrotet in i en ugn där det smälts ner och gjuts i längder med kvadratisk tvärsnitt så kallade "billets". Dessa billets får sedan svalna av under kontrollerade former för att inte deformeras. I nästa steg sker en varmvalsning av billetsen till armeringsjärn i raka stänger därefter kapas dem i rätt längder och buntas ihop redo att transporteras iväg från fabriken (Armering-Celsa Steel Service 2013).

2.3 Geologiska förutsättningar i Sverige

Sveriges geologiska förutsättningar präglas av spår från den senaste istiden. Effekterna av den stora ismassans framfart var att den tryckte ner landmassorna och drog med sig all löst material. De nertryckta landmassorna resulterade i att det bildades stora innanhav och sjöar och den högsta marina gränsen nådde högre än tidigare (Holm & Olsson 1993).

Det lösa materialet som sveptes med av isen blev hårt packat och sammantryckt av isen varvid hårda moränlager bildades. Det fanns även stora mängder löst material som transportades under isen via stora isälvar. Där isälven mynnade ut från ismassivet lagrades stenar, block, grus och sand vilket resulterade i att rullstensåsar bildades. Vid isälvar som mynnade ut över havsytan, så kallade suprakvatiska rullstensåsar lagrades även mer finkorniga partiklar inne i rullstensåsen. Vid isälvar som mynnade ut under havsytan,

subakvatiska rullstensåsar, kunde det mer finkorniga materialet transporteras längre bort innan det kunde sedimentera och bilda ler- och siltlager (Holm & Olsson 1993).

När isen började försvinna flyttade den sig sakta norrut och därmed även mynningen av isälven. Den långsamma förflyttningen av isälvmynningen bidrog till att rullstensåsarna kunde bli långa och utdragna över stora sträckor. Det fanns också perioder under istiden som var kallare och isen kunde då växa i sydlig riktning för att sedan åter vända norrut då en varmare period kom (Holm & Olsson 1993).

Däriigenom kan det på vissa platser finnas friktionsjord och morän som lagrats ovanpå lerjordar och detta kan vara förrådiskt i samband med pålningsarbeten. Tyngden av ismassorna ledde till att marken på sina ställen pressades ner med ett antal hundra meter. Landmassorna har sedan isen försvann sakta återgått mot normalläget genom en landhöjningsprocess. Landhöjningen verkar med så mycket som 1 cm per år uppe i norra Sverige medan det i Skåne sker en liten sänkning av marknivån. Landhöjningen har medfört att grundvattennivån sjunkit på vissa ställen exempelvis runt Stockholm och Sundsvall vilket har lett till problem då rustbäddar och träpålar hamnat ovanför vattenytan och då börjat ruttna (Holm & Olsson 1993).

Landhöjningen har också bidragit till att tidigare sjöar vuxit igen och istället har torvmark bildats. Vid bygg och anläggningsarbeten på sådan typ av mark krävs stora åtgärder för att göra marken tillräckligt hållfast.

I de stora inlandhav och sjöområdena som blev till efter istiden kunde finkorniga partiklar sedimentera och bilda lerlager. Lerlagerna som bildades i saltvatten längs västkusten har på vissa ställen urlakats och fått sämre hållfasthetsegenskaper. Detta har resulterat i att slänter kan vara mycket instabila och en stor risk för skred finns även vid en ytterst liten yttre påverkan (Holm & Olsson 1993).

För att få en blick över ett områdes markegenskaper används en kvartärgeologisk karta som visar vilka områden som varit under högsta marina gränsen. Ofta är det i ler och finsedimenterade områden under denna högsta marina gräns som kräver grundläggning med pålar.

Ett jordlager eller en bergart som varaktigt håller för laster med god säkerhetsmarginal utan sättningsproblem är lämpliga att bygga på utan djupgrundläggning. Till dessa hör vanligen berg, moräner, samt fasta friktionsjordar av sand och grus i rullstensåsar (Holm & Olsson 1993).

3 Grundläggning

Grundläggning förekommer i olika former. Vid ytlig grundläggning gjuts en platta av betong för att ge en stabil och massiv stomme till en byggnad. I fall då marken har god hållfasthet eller vid mindre byggnader kan det räcka med en ytlig grundläggning.

Det är dock inte alltid som marken har den hållfasthet som krävs för att bära en tung byggnadskonstruktion och i dessa fall måste man vidta åtgärder för att förstärka marken.

3.1 Pålning

Den vanligaste typen av grundförstärkning på djupet sker med hjälp av pålar som bär vikten av byggnaden. Förr var det vanligt att man använde träpålar dessa är dock känsliga och kan ruttna om de används över grundvattennivån. Användningen av träpålar är idag därför ytterst begränsad. Det vanligaste materialet för pålning är idag betong och dessa pålar är oftast prefabricerade. Användningen av betongpålar motsvarar 64 % (2011) av den totala mängden pålar som används i Sverige. Resterande mängd som används består av olika former av slagna och borrade stålspålar. Den totala mängden pålar som årligen slås ner i Sverige motsvarar 1 407 000 meter (2011) (Pålkommissionen 2012).

Behovet att utföra grundförstärkningar växer hela tiden då det i våra större städer redan är byggt på de flesta platser och ofta är den orörda mark som finns inte bebyggd tidigare just på grund av dåliga geologiska förhållanden. Ett exempel på ett projekt där pålning kom att bli viktigt var byggandet av Friends Arena i Solna utanför Stockholm. Området var sedan tidigare väldigt tätbebyggt utom just marken där man nu valt placera arenan. Vid bygget visa det sig att man skulle komma behöva 7 910 stycken betongpålar av olika typer motsvarande 118 726 meter för att förstärka marken tillräckligt för att kunna bära lasterna från arenan (Peab grundläggning 2012).

Mark med dålig hållfasthet kan bestå av kohesionsjord med väldigt finkorniga partiklar till exempel lera och torvjordar och även somliga finsandhaltiga jordar. I lerjordar binds kornen ihop genom friktion och vidhäftningskrafter *kohesion* (Holm & Olsson 1993).

3.2 Betongpålar

Att man använder betongpålar så ofta beror på betongens goda hållfasthetsegenskaper, en bra beständighet samt att det är ett förhållandevis prisvärt alternativ. Beroende av vilka geologiska förutsättningar som föreligger kan pålarna bära lasten på olika sätt. Dels kan pålarna slås ner tills dess att de når berggrund eller annan jordart av fast typ. Denna form av påle benämns som *spetsburen påle* och är den vanligaste typen. En annan form av påle är *mantelburen påle*, dessa bär lasten med hjälp av den skjuvkraft som bildas av friktionen mellan jorden och pålens mantelarea. Denna metod används främst på platser där leran går ner mycket djupt (Holm & Olsson 1993).

Nerslagningen av pålarna görs med hjälp av en påslagningsmaskin som lyfter och riktar in pålen på slagningspunkten. Därefter lägger påslagningsmaskinen tryck på pålen som pressas ner i marken då den möter kraftigare motstånd börjar den hamras ner med hjälp av hejarvikter i pålkranen. Pålen slås till den når berget och inte kommer djupare och förankras där i berget.

Då pålar bergförankras skall dessa förses med en bergsko som gjuts in i spetsen av pålen. Denna bergsko hjälper till att centrera kraften av slagen vilket minskar risken för skador på grund av excentriska laster (Holm & Olsson 1993).



Figur 3.1 Bergsko för förankring till berggrund (Johansson 2014)

Betongpålarna armeras med längsgående armeringsjärn denna typ av armering verkar som tryckarmering och verkar som en förstoring av betongtvärsnittet. Armeringen omsluts av en spiralbygel där bygelns har till uppgift att motverka utknäckning av den längsgående armeringen. Spiralbygeln hjälper även till att hålla armeringsjärnen på plats vid tillverkningen av pålen. Spiralbygeln har en ur miljösynpunkt liten påverkan och kommer därför inte behandlas i rapporten. (Almgren, Holmgren & Sköld 2009)

Kraven för hållfastheten har sedan införandet av Eurokod i Sverige ändrats från att vara ett fast värde för varje påle till att variera med avseende på en rad olika faktorer i miljön där pålen skall användas. Kriterier som spelar in är bland annat geotekniska förhållanden och stoppslagsdjup. För att avgöra den geotekniska bärförmågan genomför man en dynamisk provning genom en stötvågsmätning (Alheid, Axelsson, Berggren, Berglars, Hermansson & Sarvell, 2014).

Med hjälp av stötvågsmätningen kan man kontrollera sprickbildning och defekter i pålen. Mätningen görs genom att man skickar en tryckvåg genom pålen vid slagningen. Påslagningsmaskinen förses med sensorer som samlar mätdata genom att tryckvågen från slaget når ner till spetsen och reflekteras tillbaka. Resultaten analyseras sedan med datorprogram. Provningsen ger också vilka hejarvikter som har är lämpliga samt vilken fallhöjd som bör användas (Alheid et al. 2014).

4 Betong

Betongen har lång historia som sträcker sig tusentals år bakåt i tiden faktiskt så tidigt som några hundra år f.Kr. användes betongen som ett byggnadsmaterial av greker och romare. Under några hundra år användes det flitigt i områdena kring Grekland och Italien bland annat för att bygga hus, amfiteatrar, broar och akvedukter. Flera av de gamla byggnadsverken finns kvar än idag kanske det mest imponerande är Pantheon i Rom där taket består av en kupol med spännvid på hela 45 meter. Betongtekniken föll i glömska i samband med romarrikets fall och förblev bortglömt fram till 1400-talet då man upptäckte betongen på nytt. Man har sedan dess utvecklat och förfinat materialet till det som vi har idag (Burström 2007).

Idag är betong ett mycket vanligt byggnadsmaterial som utmärker sig genom att ha goda beständighetsegenskaper, hög hållfasthet samt att det går att gjuta i den form man önskar. Ofta använder man betong i stomkonstruktioner som bärande material och utsätts där ofta för hårda påfrestningar i form av mycket fukt och slitage (Burström 2007).

4.1 Material i betong

Betong består av olika material som blandas, huvudbeståndsdelarna består av cement, vatten och ballast som utgörs av sten, grus och sand. Därutöver tillsätts ibland tillsatsmedel exempelvis flyttillsatsmedel för att påverka betongens egenskaper.

Vid användning blandar man de olika materialen, proportionerna varierar efter vilka egenskaper man önskar få. När man sedan gjuter den färdigblandade betongmassan är det viktigt att få bort eventuella luftbubblor som kan ha en negativ inverkan på hållfasthetsegenskaperna. Genom att vibrera betongen drivs eventuella luftbubblor till ytan. Det finns även självkompakterande betong som endast behöver en liten mängd vibrering för driva bort luft (Burström 2007).

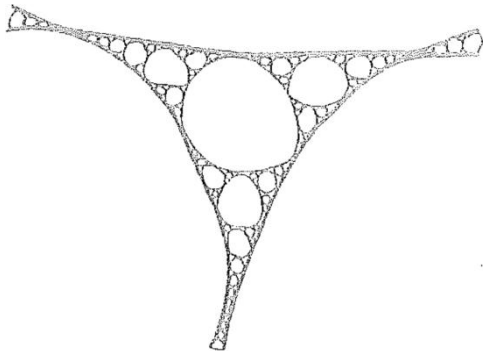
Efter gjutningsprocessen är färdig får betongen vila för att härda detta sker igenom en kemisk process, *hydratation*, mellan vattnet och cementen. I det första härdningsstadiet är betongen känslig för uttorkning och temperaturpåverkan. För att skydda betongen för uttorkning kan man exempelvis täcka den nygjutna betongen med plastfolie för att hindra avdunstning alternativt genomföra kontinuerlig bevattning. Vintertid kan det vara aktuellt att isolera och eventuellt även tillföra värme för att skydda betongen mot frysning. Allt eftersom betongen härdat några dagar blir den stabilare och hållfasthetsegenskaperna ökar (Carlsson & Tuutti 1996).

4.2 Ballast

Ballast är ett samlingsnamn för de olika bergartsfraktioner som används vid betongtillverkning. Vanligtvis består ballasten av naturligt förekommande bergarter där man bryter dessa ur grustag. I Sverige finns goda möjligheter till bra ballast eftersom de flesta bergarter som förekommer går att använda.

De fraktioner som används är sand, grus och sten (makadam, singel) där dimensionen på kornen avgör vilken beteckning materialet får. Målet man vill uppnå med ballasten är att den ska fylla upp alla hålrum så effektivt som möjligt och därför är det av stor vikt att man har med alla kornfraktioner.

Kornen omsluts av cementpastan som fungerar som ett bindemedel och knyter samman de olika kornen. En viktig detalj med ballasten är att den bör vara så ”ren” som möjligt från organiska material som kan förekomma i naturen, om så inte är fallet sker en fördröjning i härdningsprocessen samt att hållfastheten minskar (Burström 2007).



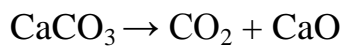
Figur 4.1 Idealballasten fyller upp samtliga hålrum (Burström 2007)

4.3 Cement

Den vanliga cementen som används idag är av typen *portlandcement*. Namnet kommer från en typ av byggsten vid namn Portland stone vars färg är samma som cementens. Den moderna portlandcementen började användas i mitten av 1800-talet och hade en större hållfasthet och kortare härdningstid än tidigare cementvarianter (Burström 2007).

Cementen är en av huvudbeståndsdelarna i betongen och fungerar som ett hydrauliskt bindemedel. Det innebär att cementpulvret efter en reaktion med vatten blir beständigt mot just vatten. Cementen tillverkas genom att man finmaler huvudingrediensen kalksten (*kalciumpkarbonat*) för att därefter bränna det fina pulvret i ugnar. Det som händer vid förbränning är att koldioxid avges

från kalkstenen och det bildas *kalciumpoxid* istället. Denna kemiska process kallas för *kalcinering* och förekommer även vid upphettning av gips tills kristallvatten helt eller delvis avgått (Burström 2007).



Det fina pulvret byter struktur under förbränningen klumpar ihop sig till klinkerkulor som efter det fått svalna återigen mals till pulver. Man tillsätter även gipspulver för att minska hastigheten i cementens bindningsprocess. Det som sker sedan när man skall blanda betongen är att det sker en exoterm reaktion mellan cementen och vattnet följden av detta är att värme avges. Värmeutvecklingen som bildas kan i vissa fall ha en negativ påverkan då sprickbildning kan ske då betongen svalnar. Detta gäller främst större betongkonstruktioner då värmeutveckling kan ske väldigt kraftigt. I fall då det finns en sådan risk väljer man vanligtvis en cement med långsammare reaktionstid då värmeutvecklingen inte blir lika intensiv (Burström 2007).

4.4 Vatten

Vattnet har som funktion i betongen att reagera med cementen och utgöra bindningsmedel. Vattnet som används bör inte vara av för dålig kvalitet då detta kan påverka betongens hållfasthet och hållbarhet negativt. Saker som kan påverka vattenkvaliteten kan bland annat vara salt eller organiskt innehåll, rent generellt kan man säga att drickbart vatten går bra att använda (Burström 2007).

4.5 Tillsatsämnen och material

Med olika former av tillsatsmedel och material kan man påverka betongens egenskaper på olika sätt. Metoden att använda tillsatsmedel i betongen är något som har växt sig stark under senare år och är idag väldigt vanligt.

Genom att tillsätta olika typer av tillsatsmedel kan man ändra egenskaperna hos betongen. Ofta används flyttillsatsmedel för att påverka viskositeten hos betongen och få en ökad flytförmåga vilket gör den mer lättarbetad.

Det finns även *acceleratorer* för att ge en snabbare härdningsprocess och det finns också *retarderande* medel som bromsar tillstyvningen av betongen vilket kan vara användbart vid långa gjutningsprocesser och vid längre transporter där det annars kan vara en risk att betongen börjar stelna (Carlsson & Tuutti 1996).

Man kan även tillsätta olika material för att uppnå nya egenskaper. Ett vanligt sådant tillsatsämne är silikastoft som är ett pulver av finmald kiseloxid och

uppkommer som en restprodukt vid ståltillverkning. Silikastoftets egenskaper leder till ökad stabilitet och en större sammanhållning i betongen. Dock så ökar behovet av vatten och därför används det ofta i kombination med andra vattenreducerande tillsatsmedel (Burström 2007).

Ett annat material som kan blandas in i betong för att ge minskat behov av armering i konstruktioner samt en ökad hållfasthet är stålfibrer. Detta är en relativt ny och innovativ metod som främst används vid gjutning av golv i industrihallar men man har även börjat se andra användningsområden för denna typ av betong till exempel för pålar till grundläggning (Carlsson & Tuutti 1996).

Betong med fiber gör att betongens töjbarhet och slagtlighet ökar. Det medför även att sprickbildning som kan ske under härdningsstadiet motverkas. Det ger bättre möjligheter att tillverka tunnare betongkonstruktioner med samma förmågor. Stålfiber har hög elasticitetsmodul och kan användas för att delvis ersätta kraftupptagande armering i betong. Stålfibern kan dock inte ersätta vanlig armering fullt ut utan används på bästa vis genom en kombination av dem båda (Carlsson & Tuutti 1996).

4.6 Armering

Betong används för sina höga tryckhållfasthetsegenskaper (~15-80MPa beroende på sammansättning). Materialet har dock en låg draghållfasthet som endast motsvarar 5-10% av tryckhållfastheten (Almgren, Holmgren & Sköld 2009).

I oarmerad betong som utsätts för dragspänningar uppkommer snabbt sprickor i betongen. Sprickorna leder till ett så kallat sprött brott i betongen vilket uppkommer snabbt och utan förvarning. För att motverka spröda brott gjuter man in armeringsjärn i betong som dimensioneras för att kunna hantera dragspänningar. Vid brott i armerad betong sker en tydlig deformation i tvärsnittet innan brottet uppkommer och dessutom krävs det betydligt större last. Brottet som uppstår blir ett så kallat segt brott (Almgren, Holmgren & Sköld 2009).

Armeringsstålen får fäste i betongen genom kemisk vidhäftning samt friktion som görs starkare genom att stålen profileras med kammar. För att skydda armeringen från korrosion täcks den med ett skyddande lager av betong och i det höga pH-värdet är armeringen skyddad mot rostangrepp.

En armering som utsätts för rostangrepp får dels minskad hållfasthet och dels sker en volymökning vilket leder till ett inre tryck och en risk för sprickbildning (Burström 2007).



Figur 4.2 Armeringstål för pålar (Johansson 2014)

4.7 Egenskaper

Betongens hållfasthet kan variera beroende på hur de olika ingredienserna är proportionerade samt av vilken kvalitet dessa är därför delas betongen in i olika hållfasthetsklasser beroende på vilken tryckhållfasthet den har.

Betongens tryckhållfasthet kan bestämmas genom en provtagning av en kub med sidan 150mm. Denna kub utsätts för tryck tills sprickbildning sker och därefter kan man läsa av hur stor kraft just den prövade betongen klarar. Tryckhållfasthetsegenskaperna varierar beroende på sammansättning av betongen. Ballasten har i regel högre hållfasthet än cementpastan som binder ihop partiklarna. Det som avgör betongens hållfasthet är således cementpastans hållfasthet under förutsättning att betongen är väl sammantryckt och inga luftfickor har bildats. Cementpastans hållfasthet kan beskrivas med vattencementtalet som ges av proportionerna mellan vatten och cement. Generellt gäller att en högre andel vatten ger sämre hållfasthet i betongen (Burström 2007).

Egenskaperna för betongen står direkt i relation till proportionen mellan vatten och cement. Denna proportion beskrivs med ett vattencementtal (vct) som beräknas enligt:

$$vct = \frac{W}{C}$$

W= Vattenmängd kg, kg/m³ eller l/m³

C= Cementmängd kg eller kg/m³

Generellt gäller att ett lägre vattencementtal ger en högre hållfasthet och därmed en högre hållfasthetsklass (Burström 2007).

Hållfasthetsklasserna för betong benämns med C följt av klassnummer där den främre siffran anger vilket cylindertryck och den bakre vilket kubtryck som betongen klarar. Klasserna sträcker sig från C 16/20 som har ett vattencementtal på ca 1,0 med en kubhållfasthet på 20MPa upp till klass C50/60 med vattencementtal 0,38 som ska klara 60 MPa vid tryck. Betongens draghållfasthet är dock betydligt sämre där jämförelsevis betong C50/60 endast har en draghållfasthet på 4,1 MPa (Burström 2007).

Under tillverkningsprocessen av cement frigörs stora mängder koldioxid genom kalcineringsprocessen. Den frigjorda mängden koldioxid tas åter upp av betong under dess livstid. Denna kemiska process benämns som *karbonatisering* och sker under väldigt lång tid (tusentals år). En effekt av karbonatiseringen är att pH-värdet i betongen sänks från att vara kraftigt basiskt $\text{pH} > 12,5$ till ett mer neutralt $\text{pH} < 9$. En följd av det sänkta pH-värdet är att armeringsjärn i betongen kan börja rosta. Det är vanligt att man beräknar ett täckskikt i betong tillräckligt tjockt för att skydda armeringen under en tidsperiod om cirka 100 år innan karbonatiseringsprocessen når in till armeringen. Karbonatiseringsprocessen är miljö och omgivningsberoende där aspekter som fukt och temperatur spelar in. Vid en mer fuktutsatt miljö sker reaktionen snabbare och även vct har betydelse där ett högt vct ger en snabbare process. (Almgren, Holmgren & Sköld 2009).

5 Beräkningar

I följande avsnitt beräknas en fiberbetongpåle och en standardbetongpåles miljöpåverkan. Pålarna jämförs sedan med varandra för att bedöma vilken som är bäst miljömässigt. För informationskällor se bilaga 1.

5.1 Materialinnehåll för betongpålar

En standardbetong påle på 1m^3 har samma recept som en fiberbetong med 1m^3 förutom att armeringsmängden halveras och stålfiber blandas i. Antal armeringsjärn minskas då från 8st Ø12 till 4st Ø12.



Fibermängden i pålen är inte redovisad på grund av sekretess skäl. Standardpålen görs i storleken 275X275 och fiberbetongen görs i storleken 235X235. Av 1m^3 betong blir då standardpålen 13,22 meter lång och fiberpålen blir 18,11 meter lång.

Figur 5.1 Pålar 275X275 mm respektive 235x235 mm.

Tabell 5.1 Recept för en kubikmeter betong (Christiansson, 2014)

| Material | Mängd |
|--------------------|-----------------------|
| 0-8 Naturgrus | 880 kg |
| 8-16 Krossat grus | 125 kg |
| 16-22 Krossat grus | 760 kg |
| Cement | 400 kg |
| Vatten | 156 l |
| Flytmedel | 2,7 kg |
| Armeringsjärn | 8st Ø12 eller 4st Ø12 |

5.2 Produktionsutsläpp

För detaljerade beräkningar se bilaga 2.

5.2.1 Cement

Energikällan för att tillverka cement är idag huvudsakligen fossila bränslen som kol och olja. För varje ton cement som produceras används cirka 120kg kol där 98 % går åt till driften av cementugnen och resterande bränslemängd används vid kalkbrytning. Därtill går det åt 100 kWh el för att producera ett ton cement.

Vid produktion av 1 ton cement går ungefär 800 000 g koldioxid till atmosfären.

Av dessa 800 000 g koldioxid kommer hälften från bränslet och den andra hälften från kalcineringsprocessen. (Gillberg et al, 1999)

Vid vår beräkning för cementproduktionen använder vi en livscykelanalys från 1997. Utsläppet blir då 780g koldioxidekvivalenter för 1kg cement och således blir det 780 000 g koldioxidekvivalenter för 1 ton cement. Svaret blir följaktligen rimligt då boken beskrev att 800 000 g skulle gå åt vid produktion av 1 ton.

För 1 m³ av vår fiber och standardbetong blir utsläppet 312 000 g CO₂-ekv.

5.2.2 Ballast

Energianvändning och utsläpp vid framställning ballast kommer i form av El och diesel. Det uppstår vid brytning och hämtning i grustagen. I receptet för betongen används 880 kg naturmaterial och 885 kg krossat material.

Beräkning visar att vid produktion blir utsläppet från ballast 2949 g CO₂-ekv för 1 m³ standard och fiberbetong.

5.2.3 Armering

De processer vid ståltillverkningen som leder till mest miljöpåverkan är behandlingen av råmaterialet och smältningen av detta.

Den totala miljöpåverkan till följd av armeringstillverkningen är 360 kg koldioxidekvivalenter per ton armering. (Celsa steelservice AB, 2012)

Armeringen sträcker sig genom hela pålen. Längden och antal armeringsjärn varierar i pålen, i Standardbetongen finns 8 Ø12 järn på 13,22m och i fiberbetongen finns 4 Ø12 järn på 18,11m. Utsläppet från framställningen av armering blir då för 1 m³ fiberbetong 23 000 g CO₂-ekv och för 1 m³ standardbetong 33 579 g CO₂-ekv.

5.2.4 Bergsko

Bergskon har till uppgift att skydda pålen mot bristningar då den slås ner i bergig jordmån samt förankra pålen i berggrunden. Tillverkningsprocessen av bergskon sker i en automatiserad produktionscell i en fabrik vilket ger en hög precision och kvalitet. Bergskon tillverkas av plattjärn och rundstänger som svetsas och monteras ihop.

Finska statens forskningscentral (VTT) har gjort en miljörapport för Leimet bergsko och där fått fram följande värden för utsläpp för produktionen av bergskon. För fiberbetongen blir utsläppet 3 193 g CO₂-ekv och för standardbetongen 3677 g CO₂ -ekv (Leimet OY, 2005).

5.2.5 Pålskarv

Pålskarven används för att koppla samman två eller flera pålar då djupen är så stora att en påle inte räcker till. Pålskarvarna monteras på respektive ände av pålarna och sammankopplas med låsbultar för att uppnå en momentstyv skarv.

Finska statens forskningscentral (VTT) har gjort en miljörapport för Leimet pålskarv och där fått fram följande värden för utsläpp för produktionen av bergskon. För fiberbetongen blir utsläppet 5 366g CO₂-ekv och för standardbetongen 5988g CO₂-ekv (Leimet OY, 2005)

5.2.6 Stålfiber

Fibermängden i pålen är sekretessbelagd därför redovisas inga beräkningar. För att uppskatta koldioxidekvivalent utsläppet för fibern används ett riktvärde från Celsa för ståltillverkning. Detta värde multipliceras med andelen fiber i pålen. Utsläppsvärdet uppskattas till 610g koldioxidekvivalenter per meter påle. (Celsa, 2012)

5.2.7 Flytmedel

Flytmedel som används vid påtillverkningen är av fabrikat Sikament HD100 och produceras av Sika Sverige AB. Utsläppet för 1 kg flytmedel blir 736g CO₂-ekv. I receptet används 2,7kg flytmedel. Utsläppet blir då 1987,2g CO₂-ekv.

5.2.8 Produktions sammanfattning

Tabell 5.2 Cement produktionens utsläpp(ecotransit, 2014)

| Material | Energislag | Råvaror | CO ₂ utsläpp till luft (kg)per m ³ | |
|---|----------------------|-----------------|--|--------------|
| | | | Standardbetong | Fiberbetong |
| Ballast: Brytning, grävning samt krossning. | El, Fossila bränslen | Naturgrus | 2,95 | 2,95 |
| Cement tillverkning | El, Fossila bränslen | Kalksten | 312,03 | 312,03 |
| Armering | El, Fossila bränslen | Återvunnet stål | 33,58 | 23,00 |
| Bergsko | Fossila bränslen, El | Stål | 3,68 | 3,19 |
| Pålskarv | Fossila bränslen, El | Stål | 5,99 | 5,37 |
| Flytmedel | | | 1,98 | 1,98 |
| Stålfiber | | | - | 11,08 |
| TOTALT | | | 366,2 | 359,6 |

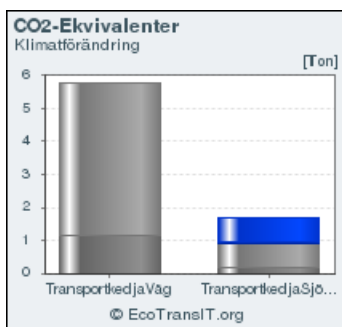
5.3 Transport

För att beräkna transportens utsläpp används en transport och miljö kalkylator (ecotransit.org). Alla transporter räknas med en last på 30 ton för en standard lastbil eller ett miljöklassat fartyg. För detaljerade beräkningar se bilaga 3.

Ecotransit är det första beräkningsverktyget som kan visa energiförbrukning och CO₂-utsläpp på en världsomfattande nivå och för transporter med samtliga transportslag. Vid användning skriver man in valfritt antal utgångspunkter, destinationer och tillfälliga stopp för att visualisera olika transportkombinationer och jämföra utsläppen. Det blir då lätt att avgöra vilken transportkedja som inte bara är den mest ekonomiskt fördelaktiga utan också vilken som har minst miljöpåverkan (Ecotransit 2014).

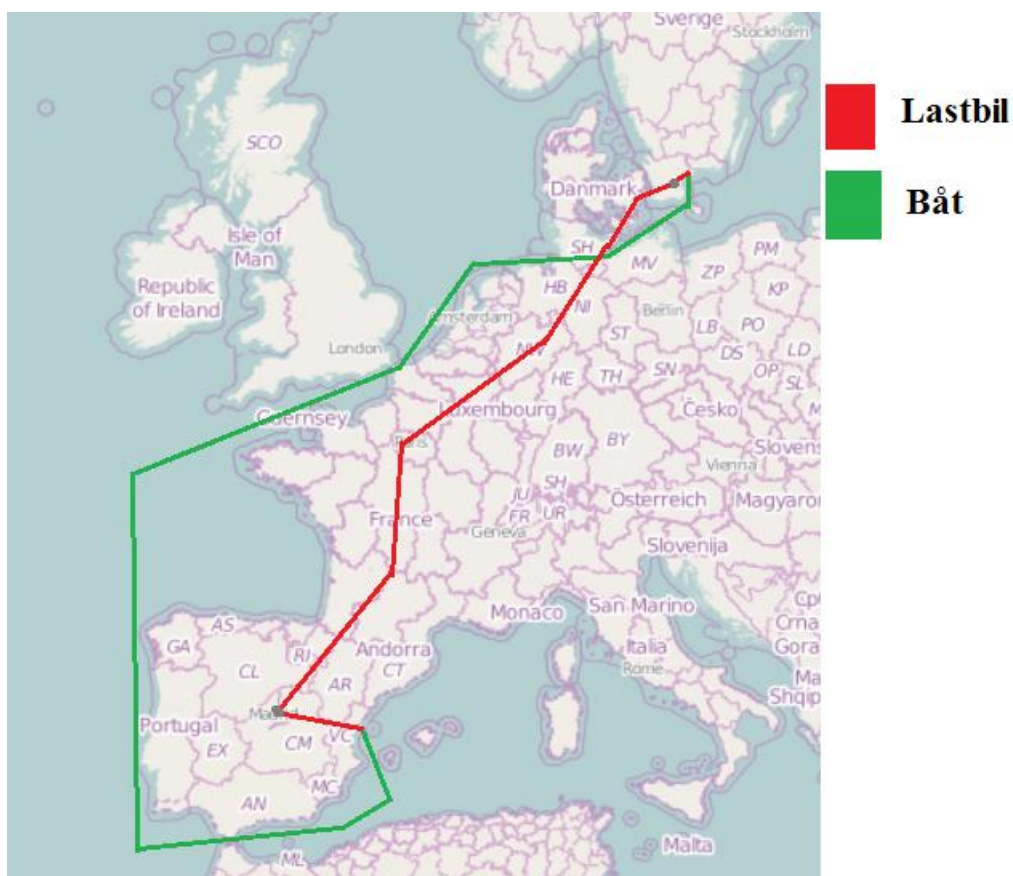
5.3.1 Cement

Cementen produceras i Spanien och fraktas med båt till Tollarp. Eftersom uppgifter saknas på exakt var produktionen förs i Spanien räknas sträckan från centrala Spanien (Madrid). Transport sker med båt från Spanien till Kristianstad och sedan lastbil till Tollarp.



Figur 5.2 Diagram över cementens transportutsläpp

Cementens transportväg ger ett utsläpp på 0,87ton CO₂-ekv för lastbilstransport och 0.78 ton CO₂-ekv om fraktfartyg används (ecotransit, 2014).



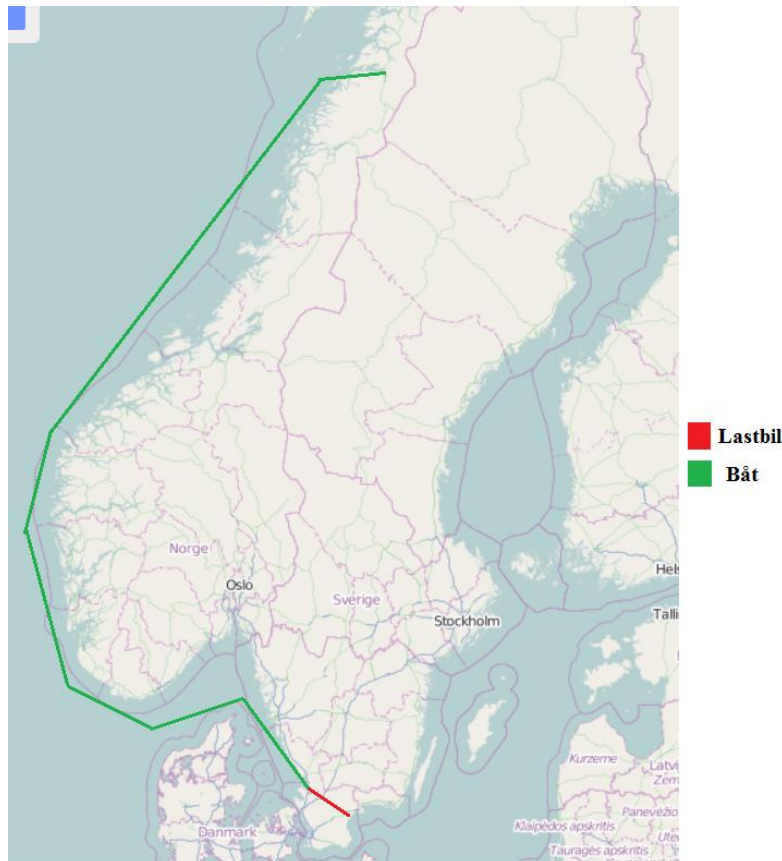
Figur 5.3 Karta över cementens transport

För att kontrollera fördelarna med fartyg jämfört med lastbil görs en resväg utan fartyg direkt till Tollarp. Vid undersökning om vad som är bäst miljömässigt, blev båttransport enligt beräkningar 3,5 gånger bättre än lastbilstransporten. Detta visar att transport med ett miljöklassat fartyg är bättre än lastbil även om fartyget transporteras en längre sträcka. En Standardlastbil släpper ut 2,10 kg/km jämfört med ett miljöklassat fartyg som

släpper ut 0,17 kg/km. Ur miljösynpunkt ska ett fartyg användas om vid alla sträckor med undantag på sjösträckor som är 12gänger längre än lastbilsväg.

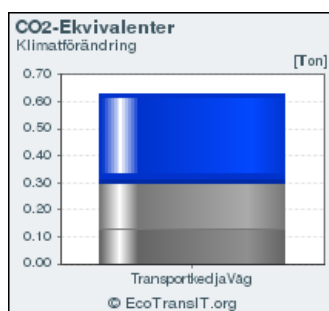
5.3.2 Armering

Armeringen produceras av Celsa från Mo i rana, Norge och fraktas därefter via båt till Halmstad och därefter med lastbil till Tollarp.



Figur 5.4 Karta över Armeringens transport (ecotransit, 2014)

Transporter av armering genomförs med fraktfartyg ger ett utsläpp på 0,311 ton CO₂-ekv och lastbilstransporten som ger ett utsläpp på 0,340 ton CO₂-ekv vilket ger ett totalt transportutsläpp på 0,651 ton CO₂-ekv.



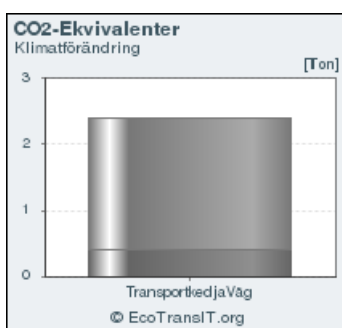
Figur 5.5 Diagram över armeringens transportutsläpp

5.3.3 Bergsko samt Pålskarv

Bergskon samt pålskarvar tillverkas av Leimet OY och fabriken ligger i Lappi, Finland. Transporterna från fabriken sker med lastbil vilket ger ett utsläpp på 2,33 ton CO₂-ekv.



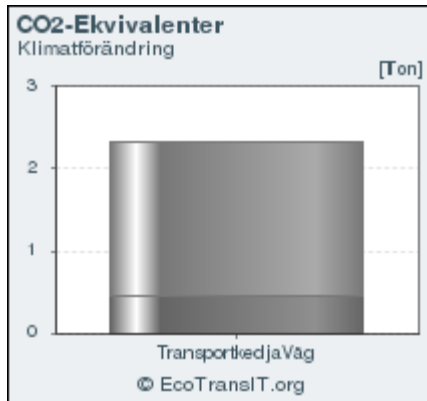
Figur 5.6 Karta över Bergskos & pålskarvstransport



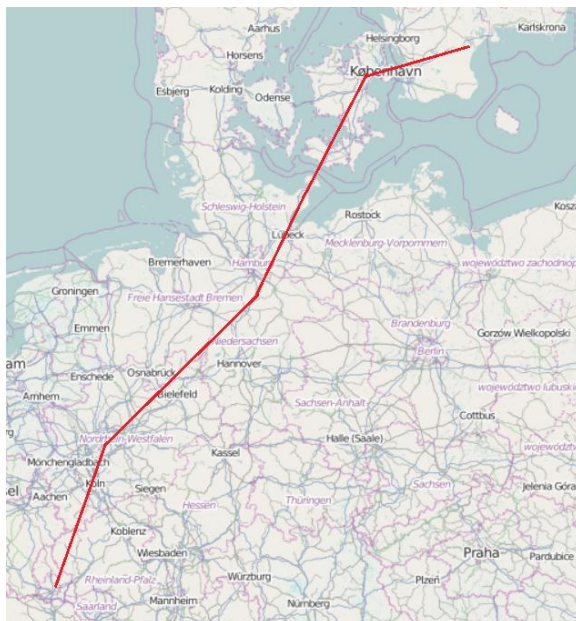
Figur 5.7 Bersko & Pålskarv transport utsläpp

5.3.4 Stålfiber

Stålfibern tillverkas av Arcelormittal och produktionen ligger i Bissen, Luxemburg. Lastbilstransporten ger ett utsläpp 2,24 ton CO₂-ekv.



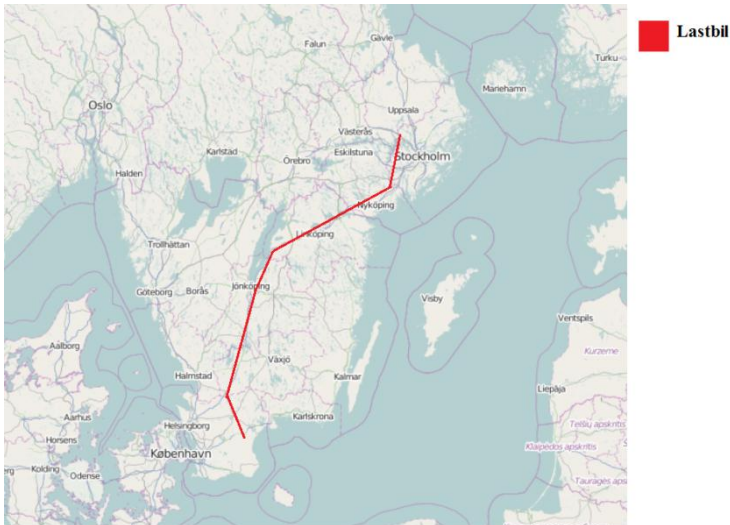
Figur 5.8 Stålfibers transport utsläpp



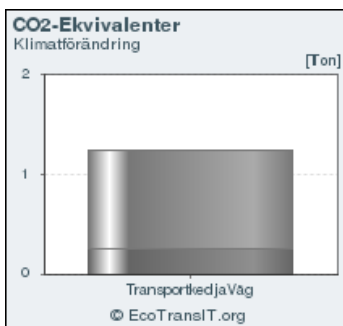
Figur 5.9 Karta över transport av stålfiber

5.3.5 Flytmedel

Flytmedlet Sikament HD100 tillverkas av Sika Sverige AB och tillverkningsorten är Spånga. Lastbilstransporten ger ett utsläpp på 1,20 ton CO₂-ekv.



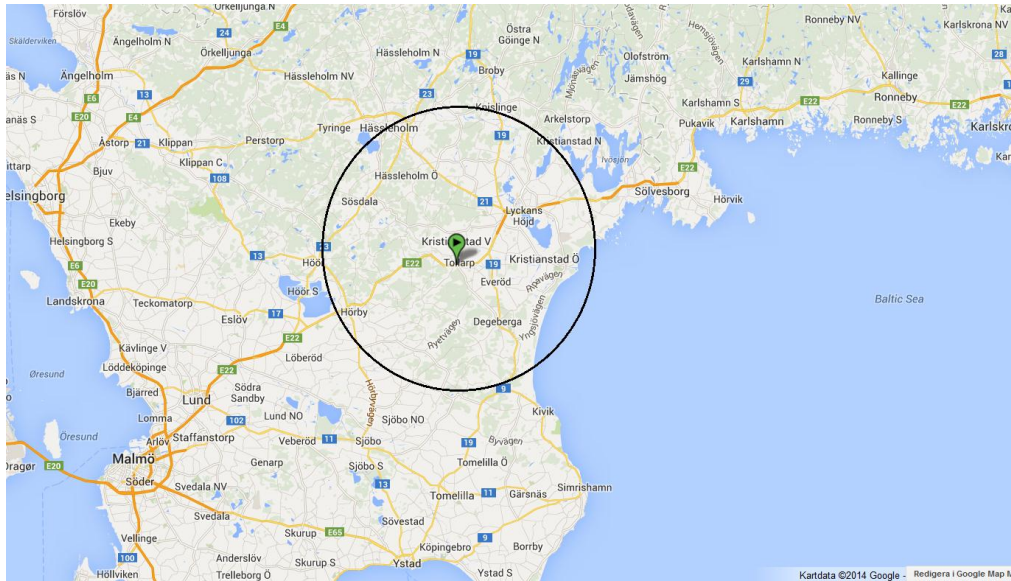
Figur 5.11 Karta över transport av flytmedel



Figur 9.11 Flytmedels transport

5.3.6 Ballast

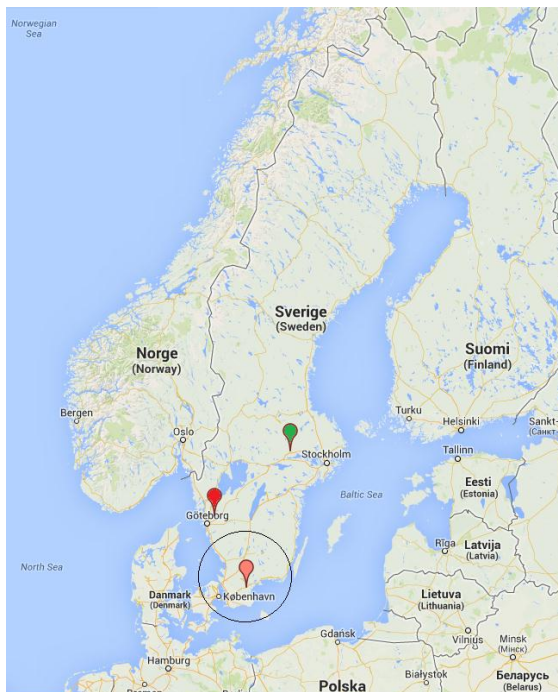
Naturgrusen som används i Tollarps betongproduktion hämtas inom ett område på 30km (Christiansson, 2014).



Figur 5.12 Produktionsområde för ballast till Tollarp

5.3.7 Distribution

Då pålarna är färdigproducerade sker en transport till kunden. Sträckan till kunden kan variera därav antas ett medelvärde på 125km baserat på övriga pålfabrikers geografiska läge och tidigare erfarenheter. Andra pålfabriker ligger i Hallstahammar och Sjövik (Christiansson, 2014).



Figur 5.13 Distributionskarta

Tollarp i förhållande till Peab grundläggnings övriga påtillverkningsfabriker. Cirkeln påvisar det genomsnittliga kundområdet.

Utsläppet för distributionen är 270kg koldioxidekvivalenter.

5.3.8 Sammanfattning av transporter

Transporter beräknas med en standard tung lastbil eller ett miljöklassat fartyg till/ifrån Tollarp med last på 30 ton.

Tabell 5.3 Transport sammanfattning

| Material | Ort | Sträcka (km) | CO ₂ Utsläpp (kg) | CO ₂ ekvivalenter kg per m ³ | |
|-----------------------|-------------------|--------------|------------------------------|--|--------------|
| | | | | Standardbetong | Fiberbetong |
| Cement | Madrid (Spainen) | 4610 | 1660 | 22,13 | 22,13 |
| Armering | Mo i rana (Norge) | 2132 | 474 | 1,47 | 1,01 |
| Bergsko samt pålskarv | Lappi (Finland) | 939 | 2233 | 3,41 | 2,98 |
| Flytmedel | Spånga (Sverige) | 566 | 1200 | 0,108 | 0,108 |
| Fiber | | 1030 | 2240 | - | 2,24 |
| Ballast | Omkring Tollarp | 30 | 61 | 3,61 | 3,61 |
| Kund | Omkring Tollarp | 125 | 270 | 21,6 | 21,6 |
| Totalt | | | | 52,33 | 53,68 |

Tabell 5.3 visar samtliga transporter av material till Tollarp samt leveranstransport till kund med avstånd och utsläppsmängd för 1 m³ betong. Sammanställningen av utsläppen ger vid omräkning från kubikmeter betong till utsläpp per meter påle följande värde:

Fiberbetongpåle (235x235) 2,96kg koldioxidekvivalenter/meter

Standardpåle (275x275) 3,96 kg koldioxidekvivalenter/meter.

5.4 Produktion av betong

Betongfabrikens växthusgasutsläpp är relativt litet med hänsyn till övriga fabriker i betongproduktionskedjan. De koldioxidutsläpp som uppkommer är från maskiner och transporter inne på området. Mängden växthusgas från maskiner och transporters utsläpp är 25kg CO₂/ m³ betong. Från betongfabriken finns inget spill då biprodukterna används till att testa nya pelare för framtiden.

5.5 Sammanställning av växthusgasutsläpp

I tabell 5.4 sammanställs samtliga utsläppsparametrar för standardpålen och fiberpålen.

Tabell 5.4 Slutjämförelse

| Nr | Ingående delar | Energislag | Råvaror | CO ₂ utsläpp till luft (kg)per m ³ | | CO ₂ per påle meter (kg) | | Inverkan på mark |
|----|--|----------------------|-----------------|--|-------------|-------------------------------------|-------------|--------------------------|
| | | | | Standardbetong | Fiberbetong | Standardbetong | Fiberbetong | |
| 1 | Färdiga råvaror | | | | | | | |
| | Ballast: Brytning, grävning samt krossning. | El, Fossila bränslen | Naturgrus | 2,95 | 2,95 | 0,22 | 0,16 | Grus respektive bergtäkt |
| | Ballast transport (inom 30km) | Fossila bränslen | | 3,61 | 3,61 | 0,27 | 0,20 | |
| | Cement tillverkning | El, Fossila bränslen | Kalksten | 312,03 | 312,03 | 23,60 | 17,23 | Kalkbrott |
| | Cement transport från produktion till betongfabrik | Fossila bränslen | | 22,13 | 22,13 | 1,67 | 1,22 | |
| | Armering | El, Fossila bränslen | Återvunnet stål | 33,58 | 23,00 | 2,54 | 1,27 | |
| | Armerings transport | Fossila bränslen | | 1,47 | 1,01 | 0,11 | 0,06 | |
| | Bergsko | Fossila bränslen, El | Stål | 3,68 | 3,19 | 0,24 | 0,20 | Järnmalmgruva |
| | Pålskarv | Fossila bränslen, El | Stål | 5,99 | 5,37 | 0,41 | 0,33 | Järnmalmgruva |
| | Bergsko och skarv transport | Fossila bränslen | | 3,41 | 2,98 | 0,26 | 0,16 | |
| 2 | Tillsatser | | | | | | | |
| | Flytmedel | | | 1,98 | 1,98 | 0,15 | 0,11 | |
| | Stålfiber | | | - | 11,08 | - | 0,61 | |
| | Stålfiber Transport | Fossila bränslen | | - | 2,24 | - | 0,12 | |
| | Flytmedel transport | Fossila bränslen | | 0,108 | 0,108 | 0,01 | 0,01 | |
| 3 | Produktion | | | | | | | |
| | Betongproduktion (Spill återanvänds) | Fossila bränslen | | 25 | 25 | 1,89 | 1,38 | |
| 4 | Distribution | | | | | | | |
| | Transport med element till bygge (inom 125km) | Fossila bränslen | | 21,6 | 21,6 | 1,63 | 1,19 | |
| | TOTALT | | | 433,18 | 476,23 | 33,00 | 24,25 | |

6 Diskussion

Syftet med denna rapport var att beräkna och jämföra en standardbetongpåles klimatpåverkan med en nyframtagen fiberbetongpåle. Då stålfiber tillsätts i betongen ökar hållfastheten vilket leder till en fiberpåle med dimension 235x235 mm kan ersätta en standardpåle med dimension 275x275 mm. I rapporten beskrivs de olika utsläppsparametrarna vid produktionen av betong samt hur betongen används för pålning med exempel och erfarenheter från Peab grundläggning.

Rapporten jämför utsläppsmängder av växthusgaser omvandlat till koldioxidekvivalenter. Detta ger ett resultat som värderar betongens påverkan på miljön sett till utsläpp av växthusgaser som i sin tur påverkar den globala uppvärmningen. Utsläppet av växthusgaser är ett av de största miljöhoten och därför ger rapporten också en bra vägledning till betongpålarnas miljöpåverkan trots flera andra påverkansområden bortses från i rapporten.

Om man undersöker vidare i betongens livscykelanalys och studerar hela pålens miljöpåverkan blir skillnaden större genom att även annan miljöpåverkan minskar. Mindre materialåtgång och minskade transporter ger ett reducerat utsläpp av försurande gaser. En mindre andel undanträngda jordmassor till följd av påslagningen innebär en minskad omgivningspåverkan. Ett annat exempel är det minskade användandet av naturgrus. Naturgrus som är en begränsad naturresurs där det ligger krav från riksdagen om ett minskat användande.

Metodval

Metodvalet att söka information om utsläppsmängder hos materialleverantörer har gett skiljande kvalitet på uppgifterna. I bästa fall kommer siffrorna från miljövarudeklarationer gjorda av en tredje part. I fallet för stålfibern fanns inga uppgifter att tillgå vilket ledde till att utsläppet uppskattades genom ett utsläppsvärde för stålproduktion taget från armeringstillverkaren Celsa Steel Service AB. Vissa siffrorna i beräkningarna inom produktionen är föråldrade och är tagna från äldre betonglivscykelanalyser. Vid noggrannare undersökning bör nyare siffror användas. De siffror som är föråldrade är cementproduktionen, ballastproduktionen och betongproduktionen. Antaganden har gjorts vid brist av fakta men med rimlighet och erfarenhet från sakkunnig personal från Peab grundläggning. Sträckor och val av transportvägar från underleverantörer och till kunder är bestämda genom medelvärde.

Utsläppsmängderna av växthusgaser vid produktion respektive transport av varje material hade kunnat räknas ihop. I rapporten gjordes dock valet att hålla siffrorna var för sig för att enkelt kunna göra ändringar genom att bara ersätta det gamla värdet exempelvis ifall tillverkningsorten skulle flyttas.

Vidare studier

Rapporten belyser endast en liten del av det totala miljöarbetet som sker i byggbranschens totala miljöpåverkan och det finns flera områden där forskning och utveckling krävs.

Författarna av rapporten ser möjligheter till vidare studier dels gällande fördjupning i pålning och även stålfiberbetong i sig. Vidare studier kan till exempel analysera djupare de olika ingående materialen i betong med uppdaterade livscykelanalyser och alternativa metoder vid framställning av dessa.

En annan aspekt är att undersöka vilka övriga miljömässiga fördelar som ges vid användning av fiberbetongpålar i jämförelse med vanliga betongpålar såsom exempelvis påverkan på ekosystem, utsläpp av försurande gaser, arbetsmiljöaspekter och ekonomiska skillnader.

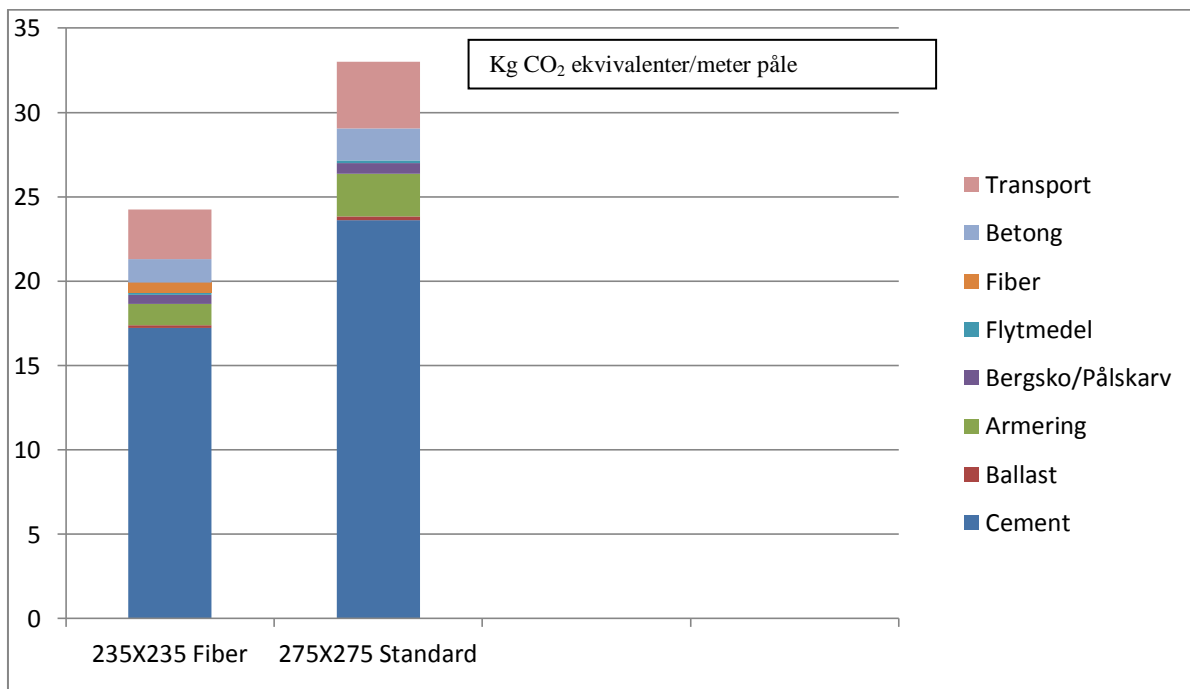
Vidare undersökningar skulle kunna göras för att hitta andra användningsområden där stålfiberbetongen fördelaktigt skulle kunna ersätta andra material.

7 Slutsats

I rapportens genomförs ett flertal beräkningar där utsläpp från olika produktionskällor räknas om till koldioxidekvivalenter som visar den totala klimatpåverkan från källan till den slutgiltiga produkten.

Undersökningen visar på att den största fördelen klimatmässigt med fiberbetongpålen är den stora utsläppvolymen från cement som sparas in till följd av att en mindre mängd används. Cementproduktionen bidrar till 71 % (tabell 5.4) av det totala koldioxidutsläppet för betongproduktion.

Rapportens jämförelse (tabell 5.4) av de två påltyperna visar på att fiberbetongpålen sparar in växthusgasutsläpp med 8,75 kg CO₂ ekvivalenter per meter påle vilket motsvarar 36 % av fiberbetongpålens utsläppsmängd. Den minskade cementmängden och det reducerade transportbehovet är en stor fördel för klimatet.



Figur 7.1 Stapeldiagram av utsläpp av Standard- och fiberpåle.

I Sverige används ungefär 1,4 miljoner meter påle om året. Hälften av dessa utgörs av standardpålen med mått 275x275 mm. Det blir 750 000 meter påle; en del av dessa är så kallade mantelburna pålar och kan då inte bytas mot en mindre dimension.

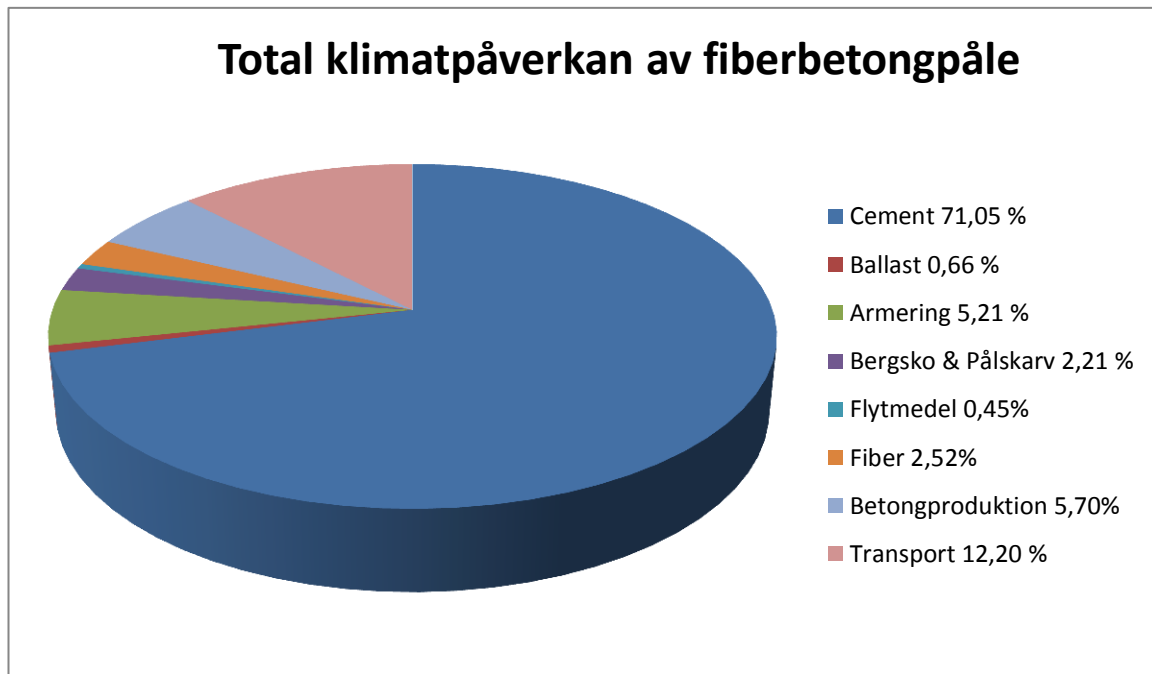
En stor del av dessa pålar är emellertid spetsburna pålar som bär last genom att de slås ner till berggrunden. Denna typ går att ersätta med fiberpåle av mindre dimension 235x235 mm.

Man kan med god säkerhet bedöma att 300 000 meter av dessa pålar kan ersättas vilket ger en årlig minskning av 2 625 ton CO₂.

Om detta sätts i perspektiv kan man jämföra det med en svensk genomsnittspersons utsläpp som under ett år motsvarar 4,75 ton CO₂.

Mängden koldioxid som kan sparas in vid användning av fiberbetongpålen motsvarar då 552 personers koldioxidutsläpp under ett år.

Det kan också jämföras som 1 161 enkelresor till Thailand för en 4 personers familj (IEA, 2011);(ICAO, 2014).



Figur 7.2 Cirkeldiagram av fiberbetongpålens produktionsutsläpp i procent baserat på tabell 9.27

8 Källförteckning

Elektroniska källor:

Alheid, Axelsson, Berggren, Berglars, Hermansson & Sarvell. (2014). Rapport 106. <http://www.palkommissionen.org/web/page.aspx?refid=217> [2014-05-20]

Armering-Celsa Steel Service (2013)[Video]. Celsa Steel service AB. <https://www.youtube.com/watch?v=WOYU9y3sbg8> [2014-06-18]

Baltscheffsky, S. (2011). Byggtransporter en glömd energibov http://www.svd.se/nyheter/inrikes/byggtransporter-en-glomd-energibov_5911957.svd_ [2014-05-11]

Celsa Steel service. (2012). Miljövarudeklaration. <http://celsa-steelservice.se/kvalite-och-miljo/miljon-i-fokus/> [2014-05-23]

Ecotransit. (2014). Calculation. <http://www.ecotransit.org/> [2014-07-04]

FN. Svenska FN-förbundet: *FN och klimatförhandlingarna* <http://www.fn.se/fn-info/vad-gor-fn/utveckling-ochfattigdomsbekampning/hallbar-utveckling-/> [2014-04-15]

International civil aviation organization (2014) Flygresors utsläpp <http://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Pages/default.aspx> [2014-05-20]

International Energy Agency (2011) <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=SWEDEN&product=indicators&year=Select> [2014-06-05]

Naturvårdsverket. (2014a). Grus användning. <http://www.miljomal.se/Miljomalen/Alla-indikatorer/Indikatorer/?iid=62&pl=1> [2014-06-13]

Naturvårdsverket. (2014b) Beräkna utsläpp av växthusgaser och luftföroreningar. <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Luft-och-klimat/Berakna-utslapp-av-vaxthusgaser-och-luftfororeninga/> [2014-06-13]

UNFCCC. (2014). Global warming potentials. http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php [2014-04-21]

Pålkommisionen. (2012). Pålstatistik för Sverige 2011.
<http://www.palkommissionen.org/web/page.aspx?refid=200> [2014-04-23]

Peab grundläggning. (2012). Friends Arena.
<http://www.peabgrundlaggning.se/sv/Referenser/Betongpalning/Swedbank-Arena/> [2014-05-04]

Miljödepartementet. (2014). Hållbar utveckling.
<http://www.regeringen.se/sb/d/1591> [2014-06-13]

Tryckta källor:

Björklund, T. och Tillman, A.M. (1997) *LCA of Building Frame Structures Environmental Impact over the Life Cycle*. Chalmers University of Technology, Uppsala

Almgren, T. Holmgren, L. Martinsson, J. Sköld, M. (2009). *Betong och armeringsteknik*, Byggentreprenörerna

Ammenberg, J. (2012). *Miljömanagement*. Studentlitteratur AB. Upplaga 1:1

Brandt, N. och Gröndahl, F. (2005). *Som man sår... Miljökunskap*. Bokförlaget Natur och kultur. Upplaga 1:2,

Burström, P. (2007). *Byggnadsmaterial- Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Studentlitteratur Upplaga 2:8

Carlsson, C. och Tuutti, K. (1996). *Betongteknik*, Byggentreprenörerna 4 rev. Upplagan

Gillberg, B. Fagerlund, G. Jönsson, Å. Tillman, M. (1999). *Betong och miljö*, AB Svensk byggtjänst

Vold, M. och Rønning, A. (1995). *LCA of cement and concrete –Main report*. Stiftelsen Østfoldforskning, Fredrikstad.

Olsson, C. och Holm, G. (1993) *Pålgrundläggning*. AB Svensk byggtjänst

Bilagor

Bilaga 1 informationskällor och recept

Informationskällor

| | |
|-----------------------------|--|
| Cement | Cementproduktion (Björklund T. & Tillman A.M, 1997) |
| Ballast | Stenmaterial (Vold & Rønning, 1995) |
| Armering | Data för armering har hämtats från Celsa. (Celsa, 2012) |
| Bergsko samt pålskarv | Miljörapport från Leimet utförd av VTT Finland (Vuorinen, 2014) |
| Tillsatsmedel | Miljödata för produktion av tillsatsmedel är hämtade från EFCA (<i>European federation of concrete admixtiures, 2014</i>) |
| Transporter | Ecotransit (ecotransit, 2014) |
| Produktion | Betongproduktion (Gillberg et al, 1999) |
| El-energi | El-energis CO ₂ utsläpp enl. Svensk energi Nordiskt perspektiv. (Svensk energi, 2014) |

Recept för en kubikmeter betong (Christiansson, 2014)

| Material | Mängd |
|--------------------|-----------------------|
| 0-8 Naturgrus | 880 kg |
| 8-16 Krossat grus | 125 kg |
| 16-22 Krossat grus | 760 kg |
| Cement | 400 kg |
| Vatten | 156 l |
| Flytmedel | 2,7 kg |
| Armeringsjärn | 8st Ø12 eller 4st Ø12 |

Bilaga 2 Produktionsberäkningar

Cement

Produktion av 1kg cement (Björklund T. & Tillman A.M, 1997)

| Energi | Kalksten | Sand | Gips | Produktion av cement | Produktion av kol | Produktion av koks | Produktion av El | Totalt |
|------------------------------|---|------------|------------|----------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------|
| Kol (MJ) | | | | 1,88 | | | | 1,88 |
| Koks (MJ) | | | | 0,50 | | | | 0,5 |
| Fossilt bränsle (MJ) | 0,025 | Försumbart | Försumbart | | | | | |
| EL (MJ) | 0,046 | Försumbart | Försumbart | 0,43 | Försumbart | Försumbart | | 0,48 |
| Utsläpp till luft | | | | | | | | |
| Direkt CO ₂ (g) | 2,260 | Försumbart | | 704,00 | 6,02 | 1,6 | | 711,62 |
| CH ₄ (g) X21 | 0,002 | Försumbart | | | 2,07 | 0,55 | | 2,62 |
| Koldioxidekvivalenter | | | | | | | | |
| CO ₂ (g) | | | | 704,00 | 49,49 | 13,15 | 13,44 | 780,08 |
| | Summa koldioxidekvivalenter; 780,08g | | | | | | | |

Beräkning av 1 kg cement

Produktion av 1MJ kol/koks (Vold & Rønning, 1995)

| Ämne | Utsläpp till luften (g) |
|-----------------|-------------------------|
| CO ₂ | 3,2 |
| CH ₄ | 1,1 |

Nordiskt perspektiv (svensk energi, 2014)

| Elenergi | Utsläpp CO ₂ ekvivalenter (g) |
|----------|--|
| 1Kwh | 100 |
| 1MJ | 28 |

$\text{Kol CO}_2 = 1,88 \cdot 3,2 = 6,016 \approx 6,02$ $\text{Kol CH}_4 = 1,88 \cdot 1,1 = 2,068 \approx 2,07$
 $\text{Koks CO}_2 = 0,5 \cdot 3,2 = 1,6$ $\text{Koks CH}_4 = 0,5 \cdot 1,1 = 0,55$ $\text{EL: } 0,48 \cdot 28 = 13,44$
 $\text{Koldioxid ekvivalenter Kol} = 6,02 + (2,07 \cdot 21) = 49,49$
 $\text{Koldioxid ekvivalenter Koks} = 1,6 + (0,55 \cdot 21) = 13,15$
 $\text{Koldioxid ekvivalenter Totalt} = 704 + 49,49 + 13,15 + 13,44 = 780,08 \text{ g}$
 $\text{CO}_2\text{-ekv per kg cement.}$
 $400 \cdot 780,08 = 312032 \text{ g CO}_2 \text{ per } 1\text{m}^3 \text{ betong}$

Ballast

Naturgrusproduktionens utsläpp för 1 ton naturgrus (Vold & Rønning, 1995)

| Ämne | Naturmaterial (MJ/ton ballast) | Krossat material (MJ/ton ballast) | Utsläpp Naturmaterial (g/ton) | Utsläpp krossat material (g/ton) |
|-----------------|--------------------------------------|--|-------------------------------------|--|
| El, | 3,6 | 21,6 | $3,6 \cdot 28 = 100,8$ | $21,6 \cdot 28 = 604,8$ |
| Diesel | 18,3 | 18,3 | $18,3 \cdot 72 = 1317,6$ | $18,3 \cdot 72 = 1317,6$ |
| CO ₂ | | | | 0,03 |
| Summa: | | | 1 418,4 | 1 922,43 |

Utsläpp för naturmaterial: $1\,418,4 \cdot 0,88 = 1\,248$

Utsläpp för Krossat material: $1\,922,43 \cdot 0,885 = 1\,701$

Summa: $1\,248 + 1\,701 = 2\,949 \text{ kg CO}_2\text{-ekv per } 1\text{m}^3 \text{ betong}$

Utsläpp från energiproduktion i framställningen av ballast. (svensk energi, 2014) (Vold & Rønning, 1995)

| Elenergi | Utsläpp CO ₂ ekvivalenter (g) |
|---------------|--|
| 1Kwh | 100 |
| 1MJ | 28 |
| Diesel | |
| 1 MJ | 78 |

Armering

För pålarnas armering $\varnothing 12$ gäller tvärsnittsarea enligt följande:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 12^2}{4} = 113,097 \text{ mm}^2 \text{ per järn}$$

Densitet för stål: $7\,800 \text{ kg/m}^3$

Standardpåle 8st $\varnothing 12$:

$$\text{Andel järn i m}^2 \text{ per meter påle: } 8 \cdot 1,13097 \cdot 10^{-4} = 9,048 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Andel armering i kg/m: } 9,048 \cdot 10^{-4} \cdot 7800 = 7,057 \text{ kg/m}$$

Miljöpåverkan i CO_2 ekvivalenter per meter påle:

$$360 \text{ kg CO}_2/\text{ton armering} = 0,36 \text{ kg CO}_2\text{-ekv per kg armering}$$

$$0,36 \cdot 7,057 = 2,54 \text{ kg CO}_2\text{-ekv per meter påle}$$

$$\text{För } 1 \text{ m}^3 \text{ standardbetong blir utsläppet: } 2,54 \cdot 13,22 = 33,5788 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}$$

Fiberpåle 4st $\varnothing 12$:

$$\text{Andel järn i m}^2 \text{ per meter påle: } 4 \cdot 1,13097 \cdot 10^{-4} = 4,524 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Andel armering i kg/m: } 4,524 \cdot 10^{-4} \cdot 7800 = 3,529 \text{ kg/m}$$

Miljöpåverkan i CO_2 ekvivalenter per meter påle:

$$360 \text{ kg CO}_2 \text{ per ton armering} = 0,36 \text{ kg CO}_2/\text{kg armering}$$

$$0,36 \text{ kg CO}_2 \text{ per kg} \cdot 3,529 \text{ kg/m} = 1,27 \text{ kg CO}_2/\text{meter påle}$$

$$\text{För } 1 \text{ m}^3 \text{ fiberbetong blir utsläppet: } 1,27 \cdot 18,11 = 22,9997 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}$$

Påles CO_2 utsläpp per meter påle för armering

| Fiberpåle koldioxidekvivalenter per meter påle | Standardpåle koldioxidekvivalenter per meter påle |
|--|---|
| 1 270 g | 2 540 g |

Bergsko

Bergskos utsläpp (Vuorinen, 2014)

| Ämne: | 235X235 Fiberbetong | 275X275 Standardbetong |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|
| CO ₂ (g/styck) | 1 700 | 2 000 |
| CH ₄ (g/styck) | 68 | 76 |
| N ₂ O (g/styck) | 0,21 | 0,26 |

Vid beräkning används koldioxidekvivalent tabellen: CH₄ x 21, N₂O x3 10

Total klimatpåverkan av Bergskos utsläpp

| Ämne och omräkningsfaktor | 235X235 Fiberbetong | 275X275 Standardbetong |
|---|------------------------|---------------------------|
| CO ₂ (g/styck) x1 | 1 700 | 2 000 |
| CH ₄ (g/styck) x21 | 1 428 | 1 596 |
| N ₂ O (g/styck) x310 | 65 | 81 |
| Summa: koldioxidekvivalenter/bergsko | 3 193 | 3 677 |

CH₄: (235) = 68 · 21 = 1428 **(275)** = 76 · 21 = 1596

N₂O: (235) = 0,21 · 310 = 65 **(275)** = 0,26 · 310 = 81

Vid summa adderas talen ihop:

(235) 1 700 + 1 428 + 65 = 3 193 CO₂-ekv per m³ betong

(275) 2 000 + 1 596 + 81 = 3 677 CO₂-ekv per m³ betong

Pålskarv

Pålskarvs utsläpp (Vuorinen, 2014)

| Ämne: | 235X235 | 275X275 |
|--------------------------|-------------|----------------|
| | Fiberbetong | Standardbetong |
| CO ₂ (g/par) | 2 700 | 3 100 |
| CH ₄ (g/par) | 120 | 130 |
| N ₂ O (g/par) | 0,47 | 0,51 |

Vid beräkning används koldioxidekvivalent tabell: CH₄ x 21, N₂O x 310

Total klimatpåverkan av pålskarv/par

| Ämne och omräkningsfaktor | 235X235 | 275X275 |
|--------------------------------|-------------|----------------|
| | Fiberbetong | Standardbetong |
| CO ₂ (g/par) x1 | 2 700 | 3 100 |
| CH ₄ (g/par) x21 | 2 520 | 2 730 |
| N ₂ O (g/par) x310 | 146 | 158 |
| Summa: | 5 366 | 5 988 |
| koldioxidekvivalenter/pålskarv | | |

CH₄: (235) = 120 · 21 = 2520 **(275)** = 130 · 21 = 2730

N₂O: (235) = 0,47 · 310 = 146 **(275)** = 0,51 · 310 = 158

Vid summa adderas talen ihop:

(235) 2 700 + 2 520 + 146 = 5 366 CO₂-ekv per m³ betong

(275) 3 100 + 2 730 + 158 = 5 988 CO₂-ekv per m³ betong

Flytmedel

Utsläpp för 1kg flytmedel (European federation of concrete admixtiures, 2014)

| Ämne | Energi / Direkt utsläpp (g) | Koldioxid ekvivalent (g) |
|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| CO ₂ | 690 | 690 |
| CH ₄ x 21 | 1,2 | 25,2 |
| N ₂ O x310 | 0,067 | 20,77 |
| Summa: | | 736 |
| Koldioxidekvivalenter/kg flytmedel | | |

Vid beräkning används Koldioxidekvivalent tabell: CH₄ x 21, N₂O x 310

$$\text{CH}_4: 1,2 \cdot 21 = 25,2$$

$$\text{N}_2\text{O}: 0,067 \cdot 310 = 20,77$$

Vid summa adderas talen ihop:

$$690 + 25,2 + 20,77 = 735,97 \approx 736 \text{ CO}_2\text{-ekv per m}^3 \text{ betong}$$

Bilaga 3 Transportberäkningar

Transport sammanfattning

| Material | Ort | Sträcka (km) | Koldioxidekvivalent utsläpp (kg) | Koldioxidekvivalent utsläpp kg per m ³ betong | |
|-----------------------|-------------------|--------------|----------------------------------|--|--------------|
| | | | | 275X275 | 235X235 |
| Cement | Madrid (Spanien) | 4 610 | 1 660 | 22,13 | 22,13 |
| Armering | Mo i rana (Norge) | 2 132 | 474 | 1,47 | 1,01 |
| Bergsko samt pålskarv | Lappi (Finland) | 939 | 2 233 | 3,41 | 2,98 |
| Flytmedel | Spånga (Sverige) | 566 | 1 200 | 0,108 | 0,108 |
| Fiber | | 1 030 | | - | 2,24 |
| Ballast | Omkring Tollarp | 30 | 61 | 3,61 | 3,61 |
| Kund | Omkring Tollarp | 125 | 270 | 21,6 | 21,6 |
| Totalt | | | | 52,33 | 53,68 |

Vid beräkning används 30 ton last. På grund av att mängden av materialen är olika i 1 m³ betong divideras utsläppet från transporten med lasten 30 ton och där man sedan multiplicerar den material mängd som finns i m³ betong. Vissa av materialen har olika mängd i standardbetongen och fiberbetongen exempelvis armering, fiber, bergsko samt pålskarv.

Armering:

Armerings mängd för 1 m³ betong blir för fiber:

$$4 \cdot 18,11 = 72,44 \text{ m armeringsjärn}$$

$$\text{Standard } 8 \cdot 13,22 = 105,76 \text{ m armeringsjärn.}$$

Densiteten för stålet är 7800 kg per m³

$$\text{Area för armeringsjärnen} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 12^2}{4} = 113,097 \text{ mm}^2 = 0,000113 \text{ m}^2$$

$$\text{Standardbetong: } 0,000113 \cdot 105,76 \cdot 7\,800 = 93,21 \text{ kg armering per m}^3 \text{ betong}$$

$$\text{Fiberbetong: } 0,000113 \cdot 72,44 \cdot 7\,800 = 63,85 \text{ kg armering per m}^3 \text{ betong}$$

$$\text{Utsläppet för armering } \frac{474}{30000} = 0,0158 \text{ kg CO}_2\text{-ekv per kg armering}$$

$$\text{Standardbetong: } 0,0158 \cdot 93,21 = 1,472 \approx 1,47 \text{ CO}_2\text{-ekv per m}^3 \text{ betong,}$$

$$\text{Fiberbetong: } 0,0158 \cdot 63,85 = 1,008 \approx 1,01 \text{ CO}_2\text{-ekv per m}^3 \text{ betong}$$

Bergsko samt pålskarv:

Bergsko samt pålskarv mängden är samma då det finns 2 på varje påle.
Dimensionen på Bergsko och pålskarven är dock olika och man kan därför lasta mer av den mindre än den större.

Pålskarvs vikt: **(235)** 20,85kg **(275)** 22,88kg bergskos vikt: **(235)** 19,06kg
(275) 22,85kg

Vikterna läggs ihop för att få vikten tillsammans: **(235)** = 20,85 + 19,06 = 39,91kg
(275) = 22,88 + 22,85 = 45,73kg

$$\text{Utsläppet} = \frac{2233}{30000} = 0,0746 \text{ kg CO}_2\text{-ekv per kg stål}$$

Standardbetongen: $0,0746 \cdot 45,73 = 3,41 \text{ CO}_2\text{-ekv per m}^3 \text{ betong}$

Fiberbetongen: $0,0746 \cdot 39,91 = 2,98 \text{ CO}_2\text{-ekv per m}^3 \text{ betong}$

Cement (400kg) = $\frac{1660}{30000} = 0,0553 \text{ kg koldioxid per kg cement}$
 $0,0553 \cdot 400 = 22,13 \text{ CO}_2\text{-ekv per m}^3 \text{ betong}$

Flytmedel

(2,7kg) = $\frac{1200}{30000} = 0,04 \text{ kg koldioxidekvivalenter per kg flytmedel}$
 $0,04 \cdot 2,7 = 0,108 \text{ CO}_2 \text{ ekv per m}^3 \text{ betong}$

Fiber: Sekretess belagt.

Ballast: (1765kg) = $\frac{61}{30\ 000} \cdot 1\ 765 = 3,61 \text{ koldioxidekvivalenter per m}^3 \text{ betong}$

Kund: (densiteten för betong 2400 kg/m³) = $\frac{270}{30\ 000} \cdot 2\ 400 = 21,6 \text{ CO}_2\text{-ekv per m}^3 \text{ betong}$