



CHALMERS



Livscykelanalys, miljökommunikation och beslutsprocesser

Utvärdering av SR energys vindkraftsparker ur ett
hållbarhetsperspektiv

Kandidatarbete inom Industriell ekonomi

ELEONORA COTA
ANNA GARNBRATT
MAJA JANSSON

CASPER LINDH
KRISTIAN MÅNSSON
JENS SANDGREN

INSTITUTIONEN FÖR TENIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
AVDELNINGEN FÖR MILJÖSYSTEMANALYS

Kandidatarbete TEKX04-22-06

Livscykelanalys, miljökommunikation och beslutsprocesser

Utvärdering av SR Energy vindkraftsparker ur ett hållbarhetsperspektiv

Life cycle analysis, environmental communication and decision processes

Evaluation of SR Energy wind farms from a sustainable perspective

ELEONORA COTA

CASPER LINDH

ANNA GARNBRATT

KRISTIAN MÅNSSON

MAJA JANSSON

JENS SANDGREN

TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION

Avdelning för miljösystemanalys

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Livscykelanalys, miljökommunikation och beslutsprocesser
Utvärdering av SR Energy vindkraftsparker ur ett hållbarhetsperspektiv

ELEONORA COTA	CASPER LINDH
ANNA GARNBRATT	KRISTIAN MÅNSSON
MAJA JANSSON	JENS SANDGREN

© ELEONORA COTA, 2022	© CASPER LINDH, 2022
© ANNA GARNBRATT, 2022	© KRISTIAN MÅNSSON, 2022
© MAJA JANSSON, 2022	© JENS SANDGREN, 2022

Kandidatarbete TEKX04-22-06
Teknikens ekonomi och organisation
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Sverige
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Omslag: Bild på en av SR Energys vindkraftsparker (SR Energy, 2020)
<https://srenergy.se/app/uploads/2020/01/kron15.jpg>

Göteborg, Sverige 2022
Gothenburg, Sweden 2022

Förord

Denna kandidatuppsats genomfördes på institutionen Teknikens ekonomi och organisation under avdelningen Environmental Systems Analysis (ESA) vid Chalmers Tekniska Högskola under våren 2022, och omfattar 15 högskolepoäng. Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Anna Nyström Claesson för hennes engagemang och vägvisning under projektets gång.

Vi vill även tacka Peter Zachrisson, Malin Serrander, Per Eriksson, Anders Rylin och Hanna Rydhed på SR Energy för deras hjälp och ett gott samarbetet genom hela studien. Vidare vill vi tacka Martin Alnemo och Magnus Gustavsson på Kanonaden entreprenad AB, Kim Eriksson och Leon Gros på Veidekke entreprenad AB, Staffan Carlström på Swerock AB samt Peter Garrett och Lukas Allekotte på Vestas wind systems A/S som svarat på våra frågor och lett oss i rätt riktning!

Eleonora Cota
Anna Granbratt
Maja Jansson
Casper Lindh
Kristian Månsson
Jens Sandgren

Chalmers Tekniska Högskola

Göteborg, Sverige
Maj 2022

Abstract

Alongside the growing environmental consciousness there is a shift towards an increased use of renewable sources, and wind power energy has then become increasingly important. By examining a windpark with a special focus on the foundations of the turbines from raw material extraction to used stager, a representative image of the total climate impact of the park can be attained. With a bigger focus on green businesses and products it is becoming more important to be able to communicate environmental data to stakeholders. Building sustainable products also requires that both planning and decision-making are sustainably oriented, but this comes with the difficulty of weighing all relevant aspects together.

The aim of the report is to evaluate how the climate impact of a wind power plant changes with regards to different materials and methods for anchoring the turbine. Furthermore, the purpose is to investigate how businesses go about communicating environmental data between themselves and also how the decision-making process when planning an energy project looks. The result of the report is to be used to build a deeper understanding about how the production of electricity through windpower can be executed and communicated in a sustainable way.

Life cycle analysis is the tool that has been used to find the climate impact for the wind plants. A literature- and interview study was conducted with regards to questions about environmental communication and decision-making, to build a base for the discussion in the theme of sustainability. The result of this study shows that the best method for securing the turbine is anchoring to a mountain, and to this the choice of ECO-friendly concrete. The study also shows that conveying environmental benefits are important for companies to actually reach environmental goals, but that they can be hard to interpret for those who are less educated in the field. Moreover the results point to multi-criteria analysis being a suitable tool when it comes to decision-making in such projects because it allows objective and subjective aspects to be quantified based on importance to the desired outcome of a certain decision.

Keywords: Life cycle analysis, wind power, Environmental communication, EPD, Decision processes

Sammandrag

Under det pågående skiftet att öka andelen förnyelsebara källor finns även fokus på att minska andelen utsläpp från energiframställning, och vindkraft har därmed fått en stor betydelse. Genom att undersöka en vindkraftspark, med särskilt fokus på fundamenten i vindkraftsverken, från extraktion av råmaterial till användningsfas uppnås en representativ bild av dess klimatpåverkan. Med ett större fokus på gröna verksamheter och produkter blir det samtidigt viktigt att kunna kommunicera miljöinformation till intressenter på rätt sätt. För att bygga upp hållbara produkter krävs då även hållbara planerings- och beslutsprocesser, men det finns svårigheter i hur alla olika aspekter ska kunna vägas samman.

Rapportens syfte är att undersöka hur klimatpåverkan av vindkraft förändras vid val av olika material och metod vid fästning av verket. Vidare är syftet att undersöka hur företag går tillväga för att kommunicera miljödata mellan varandra och hur beslutsprocessen vid planeringen och genomförandet av energiprojekt ser ut. Målet är att rapportens resultat ska kunna bidra till en djupare förståelse i hur produktionen av el genom vindkraft kan genomföras så hållbart som möjligt och hur det kan kommuniceras.

Livscykelanalys har använts som verktyg för att beräkna klimatavtryck för vindkraftsparkerna. För att besvara frågeställningar gällande miljökommunikation och hållbara beslutsprocesser har det genomförts en litteratur- och en intervjustudie. Resultatet från datainsamlingen påvisade att bergsfundament med ECO-betong bidrar till minst utsläpp för en vindpark. Studien påvisar också att förmedling av miljöfördelar är ett viktigt för att förbättra företags arbete att uppnå miljömålen, men att de ibland kan vara svårtolkade för de som är mindre insatta i ämnet. Slutligen har studien visat att multi criteria analysis är ett lämpligt verktyg för att ta hänsyn till beslutsunderlag eftersom det möjliggör subjektiva och objektiva aspekter att kvantifieras baserat på hur viktiga de är för målsättningen av beslutet i fråga.

Nyckelord: Livscykelanalys, Vindkraft, Miljökommunikation, EPD, Beslutsprocesser

Förkortningslista

B2B - Business to business

CO₂eq - Koldioxidekvivalenter

EPD - Miljövarudeklaration

ETF - Empty trip factor

FTL - Full truck load

GWP - Global warming potential

LCA - Livscykelanalys

PCR - Produktspecifika beräkningsregler

SR - SR Energy

WTP - Willingness to pay

WTW - Well to wheel

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Syfte	1
1.1.1 Frågeställningar	1
1.2 Avgränsningar	2
2 Vindkraft, fundament, marknadskommunikation och beslutsprocesser	3
2.1 Vindkraft i Sverige	3
2.1.1 Landbaserad vindkraft	3
2.1.2 Negativa externaliteter från vindkraftverk	4
2.2 Fundament	5
2.2.1 Förankringsmetoder	6
2.2.2 Anläggningsbetong och ECO-betong	6
2.3 Miljökommunikation	7
2.3.1 Nationella miljömålssystemet	7
2.3.2 Gröna affärsstrategier	9
2.3.3 Miljövarudeklaration	10
2.4 Beslutsprocesser	12
3 LCA för fundamenten i två vindkraftsparker	15
3.1 Vestas livscykelanalys	16
3.1.1 Funktionell enhet	16
3.1.2 LCA-Avgränsningar och antaganden	16
3.1.3 Värden från Vestas rapport	17
3.2 Vindkraftsparkerna och fundamentets livscykel	18
3.2.1 Vindkraftsparkerna Tvinnesheda och Åby-Alebo	18
3.2.2 Fundamentets flödesschema och livscykelfaser	20
3.3 Data för livscykelanalysen	21
3.3.1 Markförberedelse och gjutning av fundament	21
3.3.2 Betong	25
3.3.3 Metallkomponenter	28
3.3.4 Övrigt	29
4 Metod	30
4.1 Datainsamling	30
4.1.1 Litteratursökning	30
4.1.2 Intervjuer	32
4.1.3 Datainsamling LCA	34

4.2	Ingångsdata och beräkningar	35
4.2.1	Ingångsdata	35
4.2.2	Beräkningar	37
4.3	Bearbetning	39
4.3.1	Bearbetning av intervjuer	39
4.3.2	LCA-bearbetning	40
4.4	Analysstrategi	41
4.4.1	Analys av materialval	41
4.4.2	Analys av miljökommunikation och besluttande	41
5	Resultat	42
5.1	GWP från beräkningar	42
5.1.1	Livscykelinventering för Tvinnesheda	42
5.1.2	Livscykelinventering för Åby-Alebo	43
5.1.3	Jämförelse av GWP för fundament	45
5.1.4	Jämförelse av GWP för vindkraftverken och vindkraftparker	48
5.2	Miljökommunikation	52
5.3	Beslutsprocesser	56
6	Analys	60
6.1	Hur påverkar material- och metodval miljöbelastningen från SRs vindkraftsparker?	60
6.2	Vad definierar kommunicerbar miljödata?	62
6.2.1	Vad är miljökommunikation?	62
6.2.2	Är EPD ett tillräckligt ramverk för miljöbedömning?	63
6.3	Vilka aspekter är viktiga för att som företag ta hållbara beslut om energiprojekt?	64
6.3.1	Hur involverade behöver SR vara för att påverka resultatet?	66
7	Diskussion	67
7.1	Styrkor och svagheter i studien	67
7.1.1	Syfte och metodval	67
7.1.2	Intervjuer och urval av intervjupersoner	68
7.1.3	Avgränsningar	68
7.1.4	Litteratur	69
7.1.5	Tillförlitlighet och trovärdighet	69
7.1.6	Generaliserbarhet	70
7.1.7	Data och beräkningar	71
7.2	Bidrag till ämnesområdet	73
7.2.1	Kunskap som studien bidragit med som tidigare saknats	73
7.2.2	Resultat som styrker eller motsäger tidigare studier	74

8 Slutsats	75
9 Källförteckning	76
10 Figurförteckning	82
11 Tabellförteckning	83
Appendix	85

1 Inledning

Det finns idag en djup oro i samhället angående förändringar i jordens klimat (Arora, 2020). Det kontinuerliga användandet av fossila bränslen som energikälla har påskyndat den globala uppvärmningen och förväntas medföra skada på jordens klimat, där vissa konsekvenser är märkbara redan idag. Trots detta är inte alla medvetna om klimatförändringarna, och vad som behöver göras för att motverka dem. Några effekter som den globala uppvärmningen förväntas påverka negativt är olika ekosystem, samt kommer störa den ekologiska jämvikten. För att bekämpa krisen är det av högsta betydelse att använda sig av hållbara strategier och att prioritera förnybara energikällor. Vindkraft belyses därtill som en energikälla som en av lösningarna på detta problem.

En del av många företags hållbarhetsstrategi är att vara miljömedvetna, kunna kommunicera miljödata för intressenter och göra långsiktigt grundade beslut. Ett verktyg för att möjliggöra miljömedveten kommunikation och långsiktig hållbarhet är livscykelanalys (fortsättningsvis LCA). LCA-metoden har till fördel att den analyserar hela livscykeln för systemet eller produkten som är föremål för studien. Fokus för LCA har främst legat på miljöpåverkan men även delvis om sociala och ekonomiska effekter. Dessutom är det ett viktigt bedömningsverktyg och kan användas för miljökommunikation internt och externt för att skapa bättre förståelse, vilket framgår av den centrala roll det fått för miljöreglering i många delar i världen (Hauschild et al., 2018). Därtill den kraftiga ökningen av dess användning bland företag från alla branscher över hela världen.

SR Energy (fortsättningsvis SR) är ett energibolag som primärt ägnar sig åt utveckling av vindkraftsparker. SR ingår i Stena koncernen, och ägs av AMF, KLP, Alecta samt Stena Adactum. I dagsläget har SR 115 vindkraftverk i drift och ytterligare 90 st under byggnation (SR Energy, 2022). Som producent av förnyelsebar energi gäller det att SR agerar miljömedvetet och har insikt i sina miljöbelastningar. Trots att vindkraftverk är en förnyelsebar energikälla ger det upphov till stora utsläpp under byggnation av vindkraftsparker. Genom effektiv kommunikation av miljödata och välgrundade beslutsunderlag kan företag verka för en långsiktig och hållbar tillväxt.

1.1 Syfte

Studiens syfte är att utvärdera miljöegenskaper mellan olika metod- och materialval för förankring av landbaserade vindkraftverk ur ett livscykelperspektiv. Vidare är studiens syfte att undersöka hur miljökommunikation används mellan företag och hur beslutsprocessen ser ut vid planering samt uppförande av förnyelsebara energiprojekt.

1.1.1 Frågeställningar

Studiens syfte kan besvaras genom följande frågeställningar:

- Vilka material- samt metodval kan SR välja för att minimera miljöbelastningen från vindkraftsparker?
- Vad definierar kommunicerbar miljödata samt är en miljövarudeklaration ett tillräckligt ramverk för miljöbedömning?
- Vilka aspekter är viktiga för att som företag ta hållbara beslut om förnyelsebara energiprojekt?

1.2 Avgränsningar

Studien genomför en LCA för två olika typer av förankringsmetoder av vindkraftverk, gravitation- och bergsförankratfundament. Vidare kommer endast två av SRs parker undersökas; Tvinnesheda och Åby-Alebo. Studien avgränsas till vindkraftverk av typen Vestas V150-4,2MW. Miljöpåverkanskategorin avgränsas till Global Warming Potential (fortsättningsvis GWP) och avser endast beräkna avtrycket av koldioxidekvivalenter (fortsättningsvis CO₂eq). Underlaget för frågeställningarna gällande miljökommunikation och beslutsunderlag avgränsas till genomförda intervjuer, direkt kommunikation med SR och artiklar av vetenskaplig karaktär.

2 Vindkraft, fundament, marknadskommunikation och beslutsprocesser

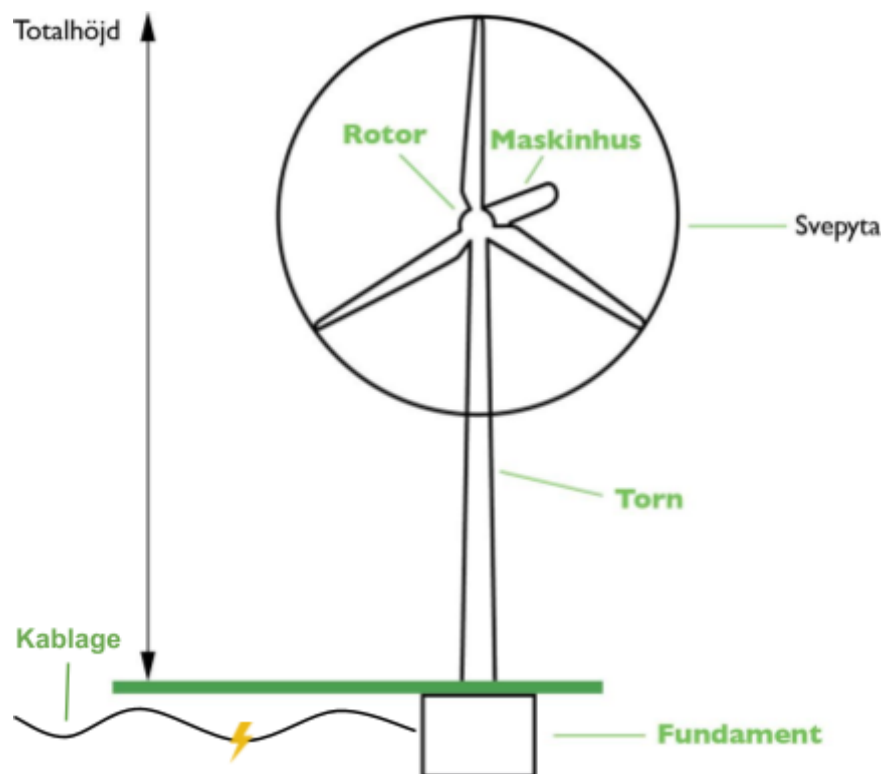
Följande kapitel ger en överblick över de ämnen som studien har sin utgångspunkt i. Det redogörs för landbaserade vindkraftverk i Sverige, dess externaliteter och fundament. Vidare består kapitlet av information om miljökommunikation och beslutsprocesser hos företag.

2.1 Vindkraft i Sverige

Vindkraft uppfattas globalt som en hållbar och viktig förnybar energikälla för att hantera klimatförändringarna. Elkonsumtionen ökar i Sverige och för att kunna täcka behovet i framtiden behöver vindkraften utbyggas fyrfaldigt mot i dagsläget (Zachrisson, 2020). SR producerar landsbaserade vindkraftsparker runt om i Sverige. Det tar åtta månader från att ett vindkraftverk tas i drift tills dess att det har producerat lika mycket energi som krävs vid tillverkningen av verket.

2.1.1 Landbaserad vindkraft

Ett vindkraftverk är en maskin med syfte att utvinna delar av rörelseenergin som finns i vinden. Dess struktur kan delas in i fyra väsentliga delar, fundament, torn, maskinhus och rotor samt kablage som ansluter vindkraftverken med elnätet, se figur 2.1.



Figur 2.1 Översiktlig bild över ett vindkraftverks komponenter (Uppsala Universitet, 2022).

Maskinhuset monteras högst upp på vindkraftverkets torn och innehåller en generator som omvandlar mekanisk energi till elektricitet. Kopplad till generatoren sitter ofta en växellåda för att anpassa rotorns roteringshastighet till ett jämnt varvtal (Naturskyddsföreningen, 2022). Vindkraftverket utrustas även med girsystem, vilket tillåter maskinhuset att följa vindriktningen och bidrar till bättre energiutvinning (Rodenvindkraft, u.å.).

Navet kopplar ihop rotorn och maskinhuset (Västra götalandregionen, 2017). Rotorbladen vänder rotorn åt motsatt håll från vindriktningen. Rotorbladens storlek bestäms av svepytan det vill säga den yta som fångar vinden (Vindkraften, u.å.).

Tornet i ett modernt vindkraftverk är byggt av koniska rörtorn vilket innebär att det är bredare i basen och smalare i toppen. Tornet håller maskinhuset och rotorn samt varierar mellan 40-150m i höjd. Vindkraftverket transporteras i delar och monteras på plats (Rodenvindkraft, u.å.).

Fundament håller vindkraftverket förankrat i marken och bär hela tyngden. Fundamentkonstruktionen varierar dels på grund av markegenskaper och dels på grund av entreprenörens sätt att hantera vindkraftverkets tyngd, struktur och höjd (Vindkraften, u.å.).

2.1.2 Negativa externaliteter från vindkraftverk

Kritik riktad mot vindkraftverk är att de stör den närliggande miljön genom buller och förstör områdets estetik, det finns även en vilja att tidigare obebyggda områden ska bevaras istället för att exploateras (Energimyndigheten, 2021b). Arbetet att bygga fler vindkraftverk och omställningen till förnyelsebar energi hindras i många fall av en ovilja och kritik mot byggnationer. Vad som uppstår är en avvägning mellan att utveckla samhället i en mer hållbar riktning och att möta individers önskan om en bevarad natur i närområdet till verken (Anshelm, 2013). Trots att fortsatt utveckling av vindkraft kan motverka många av de negativa klimatförändringarna genom att ersätta annan energiproduktion finns det fortfarande de som är emot rörelsen. Externaliteterna från klimatförändringar, även på den orörda naturen, menas vara större än externaliteten av att ha vindkraftverk på platsen (Energimyndigheten, 2021b).

Vindkraftverk påverkar också flygande djur, till exempel fåglar och fladdermöss, som blir träffade av verkens rotorblad. SR har påpekat att det blir viktigt att placera vindkraftverken med hänsyn till flygstråk och jaktområden. Om flygstråken upptäcks efter att vindkraftsparken uppförts får kraftverk anpassas genom att antingen sänkas eller stängas av under särskilda perioder, till exempel nattetid när fladdermöss jagar (SR Energy, 2019).

Avverkning av skog medför också med externaliteter, exempelvis att den biologiska mångfalden drabbas när tidigare obebyggda områden exploateras då växter och djur som lever i habitaterna får mindre ytor att leva på (Naturvårdsverket, u.å.b). Produktion av vindkraftverks komponenter ger ett avtryck på flera miljöpåverkanskategorier (Razdan & Garret 2019). Några som berörs är GWP, försurning, övergödning, ozonnedbrytning med flera.

2.2 Fundament

Fundamenten i vindkraftverk är en platta som vindkraftverket står på och stabiliseras av. Det finns olika sätt att förankra fundament och beroende på förankringsmetod varierar kvantiteterna av de ingående komponenterna i fundamenten. De två huvudsakliga komponenterna är betong och armeringsjärn. Armeringsjärn är stänger av kolstål, vilket är en legering av järn och kol och används för att förstärka betongen. Betong varierar i sammansättningen, vilket resulterar i olika typer av miljöpåverkan. Utöver betong och armeringsjärn ingår det också olika plastkomponenter och en bultkorg. Bultkorgen agerar infästningspunkt för vindkraftornets placering. I figur 2.2 visas en bild på fundamentet innan betongen gjutits när det bara är armeringsjärn och bultkorg i fundamentet. Armeringsjärnet är stängerna som dels är placerade längs med marknivån men också de mindre tätt placerade stängerna runt om i cirkeln. Bultkorgen är konstruktionen av de mer tätt packade armeringsjärnet i cirkelns mitt.



Figur 2.2 Armeringsjärn och bultkorg i fundament (Stena stål, 2021).

När fundamentet ska gjutas med betong läggs ytterligare armeringsjärn och plastkomponenter till konstruktionen. Det som är synligt av fundamentet när det är klart är vindtornets infästning, vilket syns i figur 2.3.



Figur 2.3. Fundamentet efter att betongen gjutits och är redo att förankras i (Stena Stål, 2021).

2.2.1 Förankringsmetoder

Vindkraftverk på land använder sig främst av två typer av förankringsmetoder, bergsfundament och gravitationsfundament. Gravitationsfundament bygger på att vindkraftverket använder sig av en motvikt under markytan för att stabilisera och motverka vridmomentet från vindkraftverket. Bergförankrade fundament innebär att vindkraftverket stabiliseras och hålls kvar på rätt plats med hjälp av stag förankrade i berget. Materiallåtgången skiljer sig åt beroende på vilken förankringsmetod som används men de kan även skilja sig mellan samma metod. Vilken typ av fundament som kan användas avgörs i bergstekniska undersökningar (Ekholm, 2012).

2.2.2 Anläggningsbetong och ECO-betong

Betong är ett en vanligt förekommande material vid byggnader och andra konstruktioner (Svensk betong, u.å.a). Betong består av blandat stenkross, vatten och cement men sammansättningen varierar. Materialet har hög hållfasthet och formbarhet och är användbart för att bygga stabila konstruktioner. Betong namnges enligt sin hållfasthet, till exempel C30/35 där C30 står för cylinderhållfastheten och 35 för kubhållfastheten i mPa (Svensk betong, u.å.b).

Vid byggnation av fundament och andra konstruktioner finns det flera valmöjligheter för vilken betongtyp som ska ingå. Två av typerna är ECO-betong och anläggningsbetong. De har samma funktion men olika sammansättning, densitet och miljöpåverkan. Den främsta skillnaden i sammansättning mellan dem är att ECO-betong innehåller slagg som ersättning för en del av cementen. Slagget är en restprodukt från stålindustrin och finns tillgänglig i stor utsträckning. Framställningen av cement är det som innebär störst klimatpåverkan för betong

(Svensk betong, u.å.c), vilket innebär att ECO-betong har lägre klimatpåverkan. ECO-betongens klimatutsläpp är upp till 50% lägre i CO₂eq jämfört med traditionell betong (Swerock, 2019). Dessutom är ECO-betongen tätare och mer motståndskraftigt mot skadliga ämnen samt har högre sulfatresistens.

2.3 Miljökommunikation

Det finns ett globalt intresse att bedriva miljö- och hållbarhetsarbete hos företag. Utvecklingen drivs av företag som har insett fördelarna med miljöanpassning som därför jobbar mer aktivt med hållbarhet. Dessa företag har i genomsnitt en högre tillväxt, är mer innovativa och mer internationaliserade än andra verksamheter (Tillväxtverket, 2016). En gemensam nämnare för de företag som varit framgångsrika i hållbarhetsarbetet är förmågan att kommunicera miljödata både intern och externt. Det läggs även stor vikt vid att ha hållbara strategier för arbetet.

Miljökommunikation är betydelsefullt för att enkelt, direkt och precist förmedla budskapet antingen muntligt, skriftligt eller grafiskt (Genç, 2017). Ett sätt att utvärdera sin verksamhet är genom att väga det mot redan definierade system, till exempel det nationella miljömålssystemet, vilket ger en god grund för kommunicerbar miljöfakta och möjliggör transparens hos verksamheten så att anställda och övriga intressenter kan uppnå en djupare kommunikation på grund av bättre förståelse för miljöarbetet på företaget. Därtill har gröna affärsstrategier fått utökad betydelse för moderna företag, men bär med sig vissa konsekvenser exempelvis greenwashing.

Företag kan använda sig av livscykelanalyser för att kommunicera sin miljöpåverkan och informationen kan användas för att förbättra verksamheter ur ett miljöperspektiv. Genom att fastställa och kommunicera miljöpåverkan kan den egna verksamheten utvecklas, men även andra verksamheter som är kunder eller konkurrenter dra nytta av informationen (Solding Almefelt, 2020). Exempelvis kan ett företag genom att arbeta miljömedvetet locka fler intressenter, medan andra verksamheter kan använda informationen för att utveckla sin egen verksamhet. De resultat som framkommer ur livscykelanalyser kan användas i upphandlingssammanhang och kommuniceras ofta i en miljövarudeklaration (fortsättningsvis EPD) (Svenska Miljöinstitutet, 2011).

2.3.1 Nationella miljömålssystemet

Nationella miljömålssystemet är ett system i svenskt miljöarbete som definierar arbetet för långsiktig hållbarhet och välbefinnande (Naturvårdsverket, u.å.a). Systemet är relevant för studien eftersom samtliga kommuner där vindkraft projekteras använder sig av det. Det är ett välbeprövat och genomarbetat system som är långsiktigt och blocköverskridande. Det har

också bäring på verksamheter av internationell karaktär och kan sammanfattas i fem punkter (Helker Lundström, 2017):

- Genom att kontrollera företagets verksamhet gentemot nationella miljömålen kan en god inledande utvärdering stå till grund för fortsatt miljöarbete.
- Det ger en bra helhetsbild för det arbete som behöver göras inom miljöområdet både nationellt såväl som internationellt.
- Kan användas för att kommunicera samhällsnytta till omgivningen. Exempelvis genom visa och jämföra verksamhetens prestanda mot miljömålen.
- Möjliggör utförligare transparens inom verksamheten så att anställda och övriga intressenter kan uppnå en djupare kommunikation på grund av bättre förståelse för miljöarbetet på företaget.
- Bidrar till uppfyllelse av Agenda 2030 och FN 17 Globala Mål genom delvis gemensamma mål (UNDP, 2022).

Aktiviteter som kan bidra till att de nationella målen är exempelvis miljöarbete inom följande områden; transporter/drivmedel, el- och energi, råvaror (material), kemikalier, avfall, mat samt påverkan på miljön av varor och tjänster (Helker Lundström, 2016). I tabell 2.1 beskrivs en överblick för hur aktiviteterna är kopplade till miljömålen.

Tabell 2.1 Fokusområden nationella miljömålssystemet.

Område	Berörda miljömål	Aktivitet
Transporter/ drivmedel	Generationsmålet, Begränsad klimatpåverkan, Hav i balans, Frisk luft, Bara naturlig försurning, Ingen övergödning, Levande sjöar och vattendrag	Anpassa och effektivisera transporter. Välja mer miljövänliga alternativa transporter. Konsolidera leveranser.
El- och energi	Generationsmålet, Begränsad klimatpåverkan, Frisk luft, Bara naturlig försurning, Skyddande ozonskikt, Ingen övergödning, Levande sjöar och vattendrag	Öka användningen av förnybar energi och minska användningen av fossila bränslen.
Råvaror (material)	Generationsmålet, Begränsad klimatpåverkan, Levande skogar	Preliminärt undvik annars minska användningen av miljöfarliga material. Öka graden av cirkularitet bland material konsumtionen.

Kemikalier	Generationsmålet, Giftfri miljö, Hav i balans, Grundvatten av god kvalitet	Kontrollera användningen av kemikalier i de ingående materialen.
Avfall	Generationsmålet, God bebyggd miljö, Levande skogar, Begränsad klimatpåverkan	Minimera andelen avfall och återvinn det som kan.
Påverkan på miljön av varor och tjänster	Generationsmålet, Begränsad klimatpåverkan, Levande sjöar och vattendrag, Grundvatten av god kvalitet, Hav i balans, Levande kust och skärgård, Myllrande våtmarker, Levande skogar, Ett rikt odlingslandskap, Storslagen fjällmiljö, Ett rikt växt- och djurliv	Designa produkter och tjänster för minimera ingrepp under livscykeln och utökad livslängd. Utförligt undersöka processer för att öka medvetandet kring dess klimatavtrycket.

2.3.2 Gröna affärsstrategier

Hållbar utveckling finns idag som en central del i många företag. Det finns både som ett övergripande mål i svensk politik i form av nationella miljömålssystemet samt som en överordnad princip för FN:s arbete. Detta har fått stort inflytande i svenska verksamheter, särskilt för vindkraft. Samhället står inför ett viktigt skifte för att bli mer hållbart, vilket innebär att ersätta fossila bränslen med hållbara alternativ och processer för att utvinna energi. Eftersom energi är något som krävs i nästan alla industrier är det ett något som kommer få stor påverkan på mänskligheten (Naturskyddsföreningen, 2021).

Till följd av den stora spridningen av miljöfarliga utsläpp har flera företag börjat uppmärksamma miljöproblem för att tillmötesgå krav satta av yttre krafter och externa intressenter, till exempel miljömålen (de Freitas Netto et al., 2020). Dessa inflytanden har i sin tur ökat trycket på företag att offentliggöra information om deras miljöprestanda och miljövänliga produkter. Det har lett till att företag har förvrängt data för egen vinning, vilket benämns greenwashing.

Greenwashing definieras som skärningspunkten av två distinkta beteenden: dålig miljöprestanda och positiv kommunikation av denna (Delmas & Burbano, 2011). Följden blir att konsumenter vilseleds om en produkt eller tjänst faktiska miljöpåverkan. Idag har allt fler företag börjat ägna sig åt greenwashing, vilket kan ha djupgående negativa effekter på investerare och konsumenters förtroende för gröna produkter. Förekomsten av greenwashing kan bero på väldigt begränsad och osäker reglering, vilket gör det svårt att få insyn i verksamheter. Trots det finns en ständigt ökande efterfrågan för företag att utveckla gröna marknadsstrategier för att visa konsumenter deras goda företagsimage och sociala ansvarstagande (Zhang et al., 2018).

Anledningen bakom att greenwashing har börjat bli allt mer vanligt kan förklaras av att marknaden för gröna produkter blivit större. En studie visar att över 90 procent av amerikanska konsumenter anger sig aktivt medverka i en hållbar framtid (Hartman Group, 2007). Trots detta anger endast 21 procent av konsumenter att företags miljöarbete har påverkat deras beslut (Wasserman, 2008). Riskerna med greenwashing står kvar och annan data visar på att över 98 procent av gröna produkter begått minst en av deras “sju synder av greenwashing” (TerraChoice Environmental Marketing, 2009). Därför måste konsumenter vara medvetna och pålästa för att inte falla för ogrundade miljöpåståenden. Ett sätt för att få bättre förståelse för miljödata för en produkt eller tjänst är att göra en noggrann granskning av symboler och logotyper för miljömärkning, och ställa dessa mot lovord om miljövänlighet i marknadsföring. Slutligen, måste konsumenter vara villiga att stödja de rättfärdiga erbjudanden från företag för att den gröna produkt industrin skall överleva (Borin, 2019).

2.3.3 Miljövarudeklaration

En EPD innehåller miljödata för en produkt som på ett strukturerat sätt delar in miljöpåverkan i olika faser för produktens livscykel (The international EPD System, u.å.b). Dessa faser redogörs i tabell 2.2.

Tabell 2.2 Redogörelse av stadier som räknas med i EPD:er.

Överrubrik	Fas	Benämning
Produktstadie	Råmaterial	A1
	Transport	A2
	Tillverkning och bearbetning	A3
Konstruktionsstadie	Distribution	A4
	Installation	A5
Användningsstadie	Användning ¹	B1-B5 ²
Återvinning- avfallshanteringsstadie och	Sluthantering ³	C1-C4

¹ Användningsstadiet är en sammanställning av faser B1-B5 som innefattar användning av installerad produkt, underhåll, reparation, ersättning och upprustning

² Parallellt med stadie B1-B5 sker även B6 och B7 som är operationell energianvändning respektive operationell vattenanvändning som båda är avgränsade från analysen.

³ Sluthantering är en sammanställning av faser C1-C4 som innefattar dekonstruktion, transport till avfallshantering, avfallshantering till återanvändning, återhämtning och återvinning.

EPD kan användas i kommunikation företag till företag (fortsättningsvis B2B) för att marknadsföra en produkt eller tjänsts miljöpåverkan eftersom den visar deras ansvarstagande och hållbarhetstänk (Braune et al, 2011). En EPD måste följa ISO 14025 typ III standard och styrs av produktspecifika beräkningsregler (fortsättningsvis PCR) samt är tredjeparts verifierade för att försäkra att datan är korrekt (Bengtsson, 2016). ISO 14025 typ III standarden innebär att miljödeklarationen innehåller en kvantifierad produktlivscykel och miljöinformation enligt förutbestämda parametrar (Sonnen & Zhuravlova, u.å.). PCR är dokument utvecklade av "program operatörer" som ansvarar för reglelskapning och tredjeparts verifiering (Gelowitz & McArthur, 2017). Tillsammans utgör dessa dokument en tillhandahållning av konsekvent, fullständig, transparent och pålitlig materialinformation, lämplig att grunda sitt beslutsfattande baserad på produktens miljöprestanda. Trots detta visar en studie av 50 miljövarudeklarationer, visade det sig att 38% av miljövarudeklarationerna saknade information som krävs av ISO 14025, dessutom bestod 8% av själv motsägande information. Vidare har detta och dålig hantering av PCR lett till begränsat jämförbarhet mellan EPD, trots av samma produktkategori (Gelowitz & McArthur, 2017).

På grund av EPD standardiserade format kan datan i en EPD för ett specifikt råmaterial eller komponent användas i en annan EPD som innehåller samma material (The international EPD System, u.å.b). EPD innehåller ingen känslig kommersiell information som exempelvis tillverkningsprocesser eller försörjningskedjan av aktörer. Till följd av stigande medvetenheten om miljöproblem har efterfrågan på EPD ökat, eftersom de förser kunder och andra parter med informationen de behöver för att göra klimatsmarta val (Manzini et al., 2006). Vidare har ett samarbetsinitiativ mellan användare av EPD startas för att minska tid, kostnader och risken för dubbelarbete av dokumentation (Minkov et al., 2015).

EPD tillhandahåller miljöinformation för varor och tjänster, vilket möjliggör val baserat på lägre miljöpåverkan (Department for Environmental, Food and Rural Affairs [DEFRA], 2007). En metod för att analysera en EPD är genom att dela in ramverket i tre olika kärnprocesser; PCR-utveckling, PCR-granskning och EPD-verifiering (Hunsager et al., 2014).

1. PCR-utveckling måste organiserat på ett integrerat sätt. Enligt ISO 14025, klausul 5.5 kräver "ett öppet, deltagande samråd med berörda parter [...] för att säkerhetsställa trovärdighet och transparens."
2. PCR-granskning måste innehålla olika perspektiv på kompetenser bland intressenterna (ISO 14025 klausul 8.2). Bör besvara frågan vilka intressenter är representerade och hur väljs de ut till granskningspanelen?

3. EPD-verifiering är en kontroll som måste genomföras oberoende, men endast när kommunikation är riktad mot konsumenter innebär detta tredjepartsverifiering (ISO 14025, klausul 9.4).

En svaghet med EPD är att miljövänliga produkttegenskaper inte är något synligt, utan något som produkten påstås ha. Därmed blir informationens trovärdighet avgörande (Crespi et al, 2005). Exempel på detta är att en konsument inte kan skilja mer miljövänligt stål från Sverige och klimattungt stål från Polen. Det leder till att om konsumenterna själva inte kan verifiera informationen kan endast transparenta verifieringsprocedurer från etablerade konventioner kompensera för detta.

2.4 Beslutsprocesser

I takt med att klimatförändringarna blir en mer central fråga i samhället blir det viktiga att identifiera vilka källor det finns till utsläpp. Energisektorn blir ett fokusområde för att genomföra förbättringar och uppnå de mål som finns eftersom de har en betydande roll i utsläpp av växthusgaser. Sådana framsteg får bäring på riktlinjer och målsättningar som finns både på nationell och global nivå. Vindkraft har fått ett växande fokus i energidebatten i Sverige och många ser den som en lösning för att uppnå en hållbar energiförsörjning. Samtidigt finns det vissa hinder, vilka är lokalisering, utformning och påverkan på människors hälsa och miljön (Naturvårdsverket, u.å.b).

Olika faser under vindkraftverkets livstid resulterar i olika mycket utsläpp, där framställningsprocesser och logistik bidrar till de största mängderna (Mello et al, 2020). Materialval, processeffektivitet och innovation inom relevanta tekniker spelar en stor roll i att utveckla framställningen för att vara mer hållbar ur ett hållbarhetsperspektiv. Livscykelanalyser blir ett viktigt verktyg för att identifiera utsläppsdrivare inom vindkraftsindustrin, och dess användning har tidigare visat resultera i att utsläppen reduceras (Mello et al, 2020).

Med många olika källor till utsläpp samt påverkanskategorier att undersöka är beslutsprocessen för hållbar utveckling inom energiförsörjning komplex. Tillgången till hållbara energikällor i sig är inte nog, utan det behöver även finnas en optimerad framställning och effektiv användning (Kumar et al, 2016). Det innebär att beslutsprocessen för att optimera energialternativen blir svårare.

Multiple criteria decision making är en teknik för att undersöka komplexa scenarier med flertalet kriterier och faktorer som kan stå i konflikt för att ta optimala beslut. Det är ett sätt att kvantifiera kriterium baserat på hur viktiga de är för att uppnå målsättningen. Tekniken presenterar tre olika modeller som är lämpliga för att applicera på problem relaterade till att planera energiprojekt. En av de största anledningarna till att energiprojekt misslyckas är på

grund av att för lite vikt läggs på sociala faktorer (Kumar et al., 2016). Ett energisystem måste designas för att sociala faktorer skall ges lika stor vikt som övriga faktorer. Det behöver också finnas en synergi mellan olika scenarier med olika prioriteringar, istället för att bara basera ett beslut på ett scenario (Kumar et al, 2016).

Utvärdering och jämförelse av hållbarhetsaspekter mellan olika metoder för utvinning av energi idag görs med för få kriterier medräknade (Wu et al., 2019). Det är ofta de effekter som är direkt hänförliga till olika processer som räknas med, som exempelvis miljödata på utsläpp för en viss process eller effektivitet, stabiliteten och värde för energiproduktionen. Vindkraftverk ligger i dag i centrum för diskussion om utveckling av hållbar energiförsörjning (Mendecka och Lombardi, 2019). För att kunna gå vidare med satsningen behöver det dock finnas en bättre förståelse och kvantifiering av de aspekter som påverkas av vindkraftindustrin (Mendecka och Lombardi, 2019). Det blir därför viktigare att utvärdera val av projekt för vindkraftparker vara multidimensionellt som täcker väsentliga påverkanskategorier för ett projekt. Artikeln föreslår då att de huvudsakliga dimensionerna för utvärdering av vindkraftprojekt bör vara teknologiska-, miljömässiga-, ekonomiska- och sociala fördelar samt tillgången till vind som resurs.

Den första aspekten som utreds är den teknologiska (Wu et al, 2019). Det handlar om att exempelvis jämföra effektivitet och underhållskrav vilket kan utföras genom att undersöka hur dessa aspekter kan spara in på arbetskraft, operationstid och få en lägre driftkostnad. Vidare diskuteras bedömning av värdet av miljömässiga fördelar för ett vindprojekt som en viktig aspekt och att det ska göras utifrån två lämpliga index. Det ena indexet är i termer av olika typer av utsläpp och avfall såsom CO_2eq dividerat med den totala mängden energi producerad under dess livstid. Det andra indexet är hur mycket utsläpp minskar i jämförelse med värmekraftverk. Att ta reda på dessa värden kräver omfattande dokumentation och datainsamling (Wu et al, 2019).

Ekonomiska fördelar med projektet ska mätas i termer av kostnader som uppstår under verkets livstid, förväntad inkomst som det genererar och nettovinsten dividerat med kapitalvärdet (Wu et al, 2019). Beräkningar som utförs på detta sätt kommer ha en stor grad av osäkerhet eftersom förhållanden för varje vindkraftverk skiljer sig från andra och det går därför bara att använda historisk data för att uppskatta den slutliga summan.

Det finns många positiva sociala aspekter som följer med produktion av vindkraftverk och vindenergi (Wu et al, 2019). Några av dessa kan användas för att utvärdera verket och blir direkt samt indirekt skapande av arbetsmöjligheter, antal betalda arbetstimmar per producerad kilowattimme och totalt investerat kapital per kilowattimme under vindkraftverkets livstid.

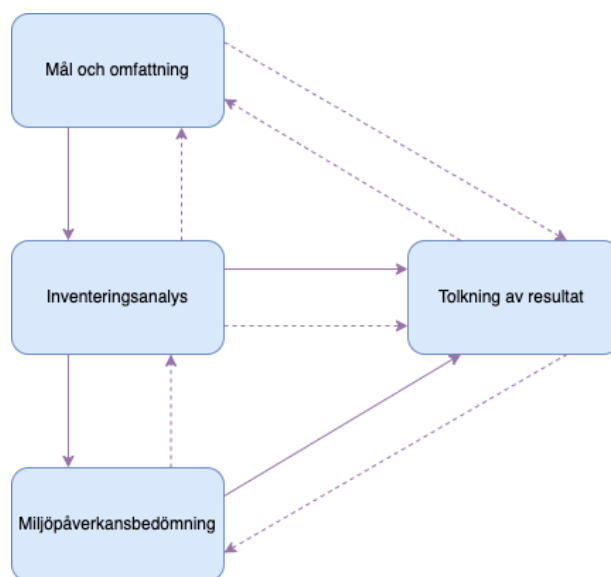
Tillgången till vind på platsen för det enskilda vindkraftverket och helheten för hela vindkraftsparken får en stor påverkan på lönsamheten över hela livstiden, vilket också benämns en av de grundläggande aspekterna (Wu et al, 2019). Ett antal index som kan användas för att utvärdera detta är genomsnittliga vindhastigheten över ett år, antal timmar då vindkraftverket överstiger ett visst värde per år, tillgången till rå vindkraft och turbulensintensitet för vinden på en viss plats.

Med utgångspunkt i dessa fem aspekter finns en multidimensionell lösning för olika steg som bör föreligga ett beslut gällande att upprätta ett projekt för vindenergi, där värderingen ska ske hierarkiskt på flera nivåer enligt ramverket (Wu et al, 2019). Resultatet från värdering av komponenter relaterade till respektive dimension ska då kunna viktas mot varandra. Vissa av dessa aspekter är direkt hänförliga till matematiska formler och objektiva resultat medan andra kräver en mer subjektiv metodik. Den objektiva viktningen sker genom att jämföra skillnader mellan de olika indexen. Den subjektiva viktningen sker istället genom att ämnesexperter får jämföra indexen och för att ta fram en relativ betydelse. För att förena dessa metoder presenterar författarna ett system för att väga samman dem, vilket ger en större bredd än tidigare metoder som ofta endast hänvisar till den ena metoden.

För företag med låg miljömedvetenhet blir viljan att betala (försättningsvis WTP) för ett miljöförbättringsförslag betydligt högre ifall beslutsunderlaget monetariseras (Hummel & Hörisch, 2020). Samma studie visar dock att i ett företag med högre miljömedvetenhet blir WTP tvärtom snarare lägre när underlaget monetariseras. Anledningen till varför det här uppstår är svårt att säga. Företag med hög miljömedvetenhet förstår miljöförbättringar utan att den monetariseras medan den andra behöver det för att bättre förstå förslaget. Att det dessutom blir lägre WTP ifall den monetariseras för ett bolag med hög miljömedvetenhet kan bero på att när det sätts ett pris direkt på ett miljöförslag ändrats fokuset från hållbarhet till ekonomi och således blir företaget mer restriktivt i kostnaden (Hummel & Hörisch, 2020).

3 LCA för fundamenten i två vindkraftsparker

En livscykelanalys är ett verktyg som ger en helhetsbild över hur stor miljöpåverkan en produkt har från stunden då råmaterialet utvinns tills dess att den tas ur bruk (Baumann & Tillman, 2004). Miljöbelastning kan redovisas i flera olika kategorier, men den vanligaste för att jämföra globala uppvärmning för olika gaser uttryckt koldioxidekvivalenter; GWP. De fyra stegen i en analys benämns vara: Mål och omfattning, Inventeringsanalys, Miljöpåverkansbedömning och Tolkning av resultat. Genomförande av LCA följer i regel ordningen för de helmarkerade pilarna i figur 3.1, men arbetet sker också iterativt. Detta innebär att tidigare steg upprepas och görs om flera gånger baserat på det som framkommer från de andra stegen allteftersom. I detta kapitel presenteras inledningsvis mål och omfattning för en livscykelanalys, därefter görs inledande faserna av Inventeringsanalys som är relaterade till rapportens egna syfte.



Figur 3.1 Översikt över LCA-stegen (Baumann & Tillman, 2004).

Mål och omfattning innebär att avgränsa livscykelanalysen och fastställa hur djup analysen ska vara. Det omfattar också att bestämma vilka miljöpåverkanskategorier som ska ingå, vilket är enheten resultatet kommer ges i. Resultatet från fasen är ett avgränsat system som blir en mall för efterkommande faser. Inventeringsanalys innebär att fastställa de processer och aktiviteter som ska undersökas. Det innebär också att inventera mätdata för energi och materialåtgång för processerna och aktiviteterna. Det skiljs på data som är insamlad och data som är framräknad och för Inventeringsanalysen i detta kapitel inkluderas endast data som inhämtats.

3.1 Vestas livscykelanalys

Målet med livscykelanalysen var att utvärdera produktionen av el från en produkt för ett Vestas vindkraftverk gentemot miljöbelastningen av från verkets hel. Miljöbelastning kan redovisas i flera olika kategorier, men den vanligaste för att jämföra globala uppvärmning för olika gaser uttryckt koldioxidekvivalenter; GWP. Vidare kommer den funktionella enheten och de grundantaganden och avgränsningar som ligger till grund för livscykelanalysen redogöras för (Razdan & Garret 2019).

3.1.1 Funktionell enhet

Den funktionella enheten är ett referensvärde för att mäta den miljömässiga prestationen för vindparken, och den är satt till:

1 kWh el levererat till elnätet genom en 100 MW vindkraftspark.

Den funktionella enheten används för att kunna jämföra miljöbelastningen för den producerade energin under en vindkraftsparks tekniska livslängd (Razdan & Garret 2019).

3.1.2 LCA-Avgränsningar och antaganden

Rapporten har haft flera avgränsningar från vad som inte räknas med i resultatet. Analysen har därtill använt 'cut-off'-kriterier för aktiviteter och processer med försumbar effekt. Detta har gjorts för massor som understiger 0,1 % och energiflöden som understiger 1 % på en produktnivå. Värden som faller utanför dessa krav men som har en miljömässig relevans inkluderas fortfarande. Över 99,9 % av de totala massorna för enbart turbinen har kartlagts, men övriga komponenter för verket såsom fundament och kablar är också inkluderade i sin helhet (Razdan & Garret 2019).

Avsaknad på data har inneburit att analysen även avgränsat sig från att räkna med markförberedelse och konstruktion på plats. För andra värden som är specifika för ett visst projekt används schablonvärden och ett exempel på detta är transport under olika faser (Razdan & Garret 2019).

Vindkraftverken antas ha en livslängd på 20 år i analysen, vilket överensstämmer med turbinernas produktdesign. Rapporten nämner därtill att det finns komponenter som har en längre livstid än detta, vilket redogörs för i en känslighetsanalys (Razdan & Garret 2019).

3.1.3 Värden från Vestas rapport

Under den totala livstiden producerar dessa verk 7 052 000 000 kWh elektricitet. Utsläppet per kWh är 7,3 g CO₂eq. Nyckeltal från vindkraftsparkerna i Vestas LCA som använts i studiens livscykelanalys redovisas i tabell 3.1 (Razdan & Garret 2019).

Tabell 3.1 Nyckeltal för tekniska aspekter av vindkraftsparker i Vestas LCA.

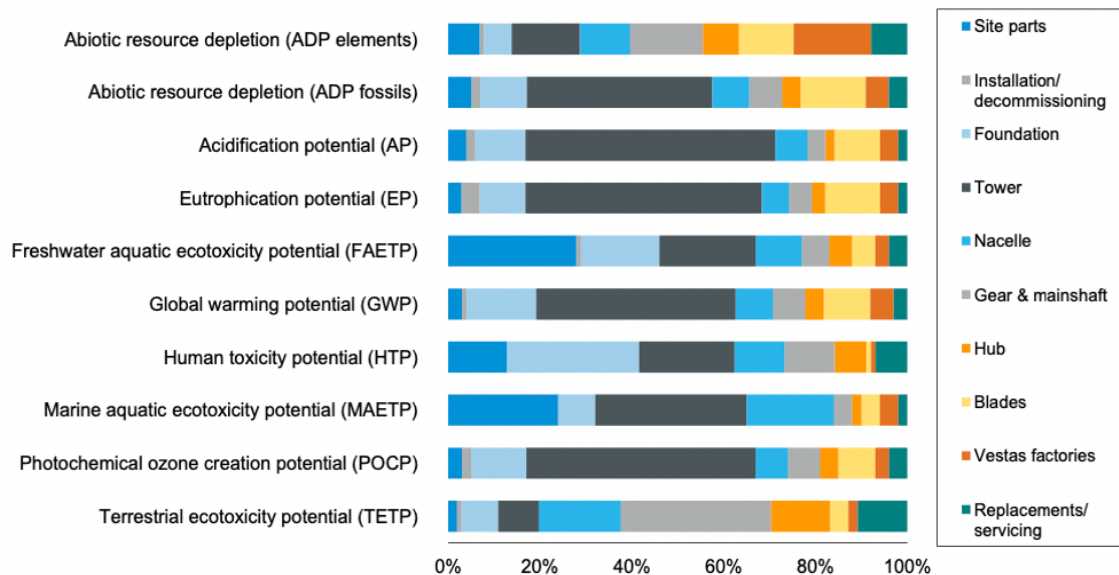
Typ av data	Värde	Enhet
Totalt antal vindkraftverk i parken	24	st
Beräknad livstid	20	år
Total produktion av elektricitet för hela parken under dess livstid	7052	GWh
Utsläpp i g CO ₂ eq som en funktion av elproduktion för vagga-till-grav perspektiv	7,3	g CO ₂ eq/kWh
Utsläpp i g CO ₂ eq som en funktion av elproduktion exklusive sluthantering	11,43	g CO ₂ eq/kWh

I rapporten genomförs även en känslighetsanalys för hur utsläppet påverkas av livslängden genom att undersöka både en lägre och en högre livslängd. Dessa värden presenteras i tabell 3.2.

Tabell 3.2 Utsläpp CO₂eq i g per producerad kWh med avseende på teknisk livslängd för vindkraftsparker inklusive sluthantering.

	16 år	20 år	24 år
Utsläpp som en funktion av elproduktion för vagga-till-grav perspektiv	9,1	7,3	6,1

Fördelningen av utsläpp i olika miljöpåverkanskategorier för de olika delarna av Vestas vindkraftspark visualiseras i figur 3.2 (Razdan & Garret 2019).



Figur 3.2 Delarna i en vindkraftspark bestående av 24 V150-4.2MW turbiner och dess bidrag till olika miljöpåverkanskategorier (Razdan & Garret 2019).

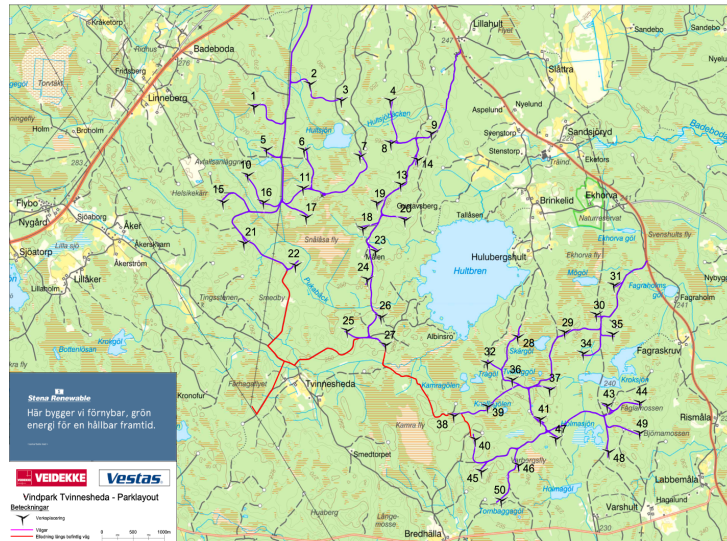
3.2 Vindkraftsparkerna och fundamentets livscykel

Inventeringsanalysen kartlades fundamentets livscykel genom att skapa ett flödesschemat för fundamentets ingående material och processer under fundamentets livscykel, men också genom beskrivning av de olika faserna. Kapitlet börjar med en presentation av vindkraftsparkerna som undersökts i livscykelanalysen.

3.2.1 Vindkraftsparkerna Tvinnesheda och Åby-Alebo

Vindkraftsparkerna är belägna i Småland och påbörjades 2020 och förväntas vara i drift 2022. Vindkraftverkets komponenter och fundament har monterats och gjutits på plats (personlig kommunikation, SR, 11:e januari 2022).

Vindkraftsparken i Tvinnesheda ligger i Uppvidinge kommun och består av 47 vindkraftverk levererade av Vestas. Arbetet inleddes i april 2020 med skogsavverkning och konstruktion av till exempel vägar och elledningar inleddes därefter. Entreprenadfirman Veidekke genomförde arbetet på plats. Parken är fortfarande under uppbyggnad och alla beräknas vara färdig för drift i September 2022. Vindkraftsparken beräknas ha en teknisk livslängd på 30 år (personlig kommunikation, SR, 11:e januari 2022). I figur 3.3 visas en bild över kartan på parken med dess vindkraftsverk och vägar.



Figur 3.3 Parklayout för vindkraftsparken Tvinnesheda.

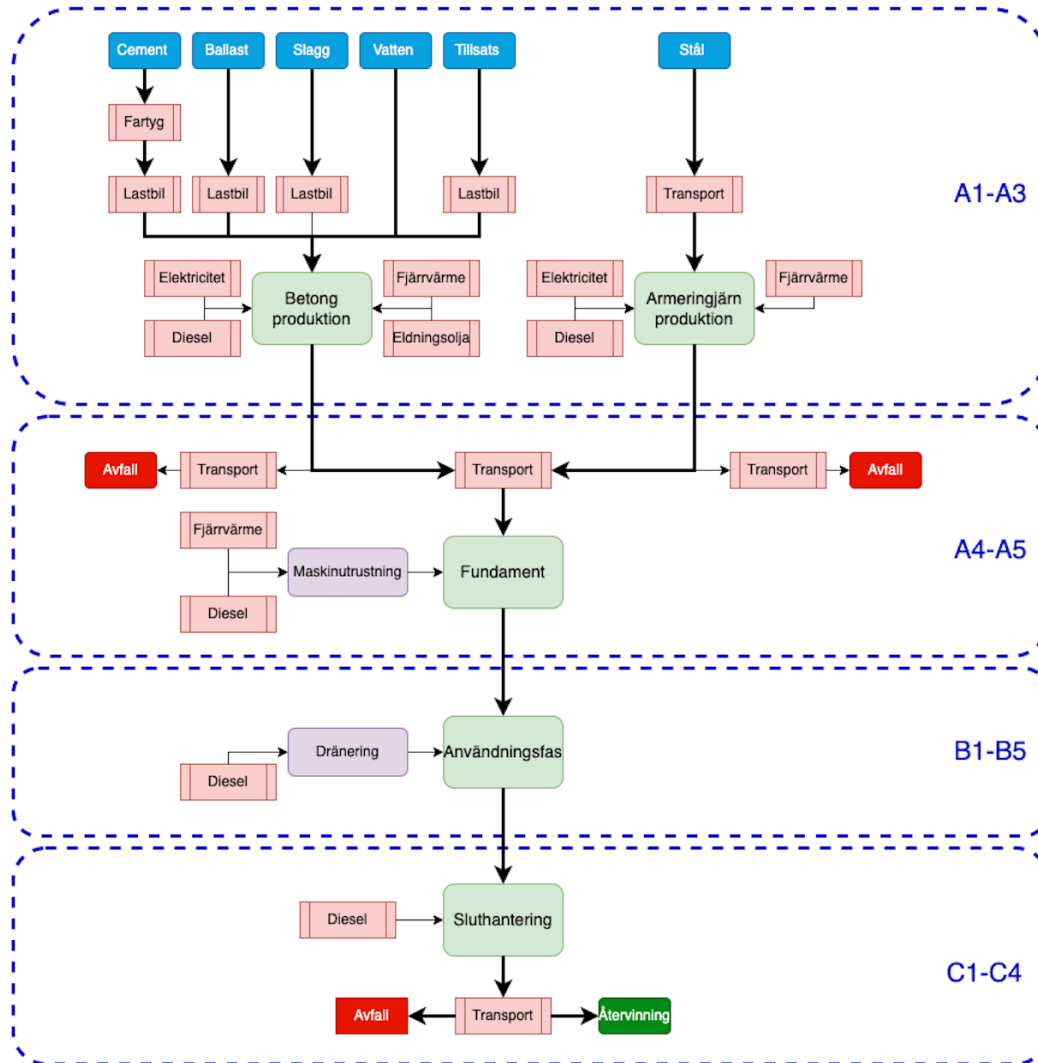
Vindkraftsparken i Åby-Alebo ligger i Mönsterås kommun och består av 36 vindkraftverk levererade av Vestas. Skogsavverkningen påbörjades i februari 2020 och konstruktion av till exempel vägar och elledningar inleddes därefter. Entreprenadfirman Kanonaden som genomförde arbetet på plats. I augusti 2020 påbörjades konstruktion av fundamenten och i juni 2021 började vindkraftverken installeras. Vindkraftverk i parken togs i drift under årsskiftet 2021/2022. Vindkraftsparken har en beräknad livslängd på 30 år (personlig kommunikation, SR, 11:e januari 2022). Figur 3.4 visar en kartbild över vindkraftsparken och de vägar som konstruerats.



Figur 3.4 Parklayout för vindkraftsparken Åby-Alebo.

3.2.2 Fundamentets flödesschema och livscykelfaser

Ett flödesschema representerar fundamentets livscykel som ger överblick över processer och komponenter som ingår i fundamentets livscykel. Detta flödesschema presenteras i figur 3.5.



Figur 3.5 Flödesschema över fundamentets livscykel indelat enligt ramverket för hur EPD:er redovisar olika faser av en livscykel.

Produktions- och konstruktionsfasen (A1-A5) inkluderar produktionen (A1-A3) och transport (A4) av komponenter till fundamenten. Inkluderat i faserna är även markförebereelserna och konstruktionen (A5) av själva fundamenten (personlig kommunikation, Veidekke, 24:e februari 2022).

Användningsfasen (B1-B5) har nästan inget underhåll. Fundamentets tekniska livslängd är längre än vindkraftverkets. Om fundamentet skulle behöva underhåll behöver vindkraftverket

först monteras ner, eftersom komponenterna i fundamentet ej kan bytas ut utan att behöva montera ner hela vindkraftverket (personlig kommunikation, SR, 17:e mars 2022).

Vid avfallshanteringen (C1-C4) av fundamentet finns olika scenarion, till exempel demoleringen av fundamentet för att antingen återvinna komponenterna eller för att tillstånden för vindkraftverken kräver det. Tillståndet kommer efter att vindkraftsparken avvecklas. Ett annat alternativ är att täcka fundamentet som sticker upp ovanför marken med jord täcka och därmed lämna kvar det (personlig kommunikation, SR, 17:e mars 2022).

Klimatpåverkan finns i alla livscykelsteg men den mest betydande fasen är A1-A5 (personlig kommunikation, SR, 17:e mars 2022). Vad som också skulle kunna vara av betydelse är till exempel demoleringen av fundamentet vid C1-C4, men denna borträknas eftersom det vanligaste är att lämna kvar det. Av den anledning kan båda livscykelstegen B1-B5 och C1-C4 antas ha en försumbar klimatbidrag jämfört med resten konstruktionen av fundamentet (personlig kommunikation, SR, 17:e mars 2022).

3.3 Data för livscykelanalysen

Klimatbidraget kommer främst från livscykelstegen A1-A5. Inventeringsanalysen består av datainsamling för varje delprocess och komponent för markförberedelser, betong och metallkomponenter. Övriga ingående komponenter i fundamenten redovisas också, även om de är små i mängd.

3.3.1 Markförberedelse och gjutning av fundament

I beräkningarna av klimatpåverkan för dieselförbrukningen på respektive anläggning används Energimyndighetens framtagna medelvärde för all Miljöklass 1 diesel som sålts i Sverige 2020, vilket är 2,681 kg CO₂eq/liter (Energimyndigheten, 2021a).

Markförberedelse i Tvinnesheda

Kartläggning för platsen för vindkraftverkens fundament i Tvinnesheda beskrivs i tabell 3.3. Arbetet kartlägger vad som sker på platsen för ett verk från det att ett område är valt tills det att fundamentet är färdigt att fästa en turbin i.

Tabell 3.3 Aktiviteter relaterade till markförberedelser på Tvinnesheda.

Markförberedelse Tvinnesheda av Veidekke
1. Bergteknisk undersökning
2. Kartering
3. Plansprängning
4. Undersökning av sprängbotten, och godkänd innan plangjutning
5. Plangjutning av bottenlager (görs endast för att få en plan yta att jobba på)
6. Borrning för dragförankring (bergstag)
7. Vattenförlustmätning (vid stor vattenförlust injekteras borrhålet och man återgår till punkt 6)
8. Montage av bultkorg
9. Armering, samt montage av 200mm rör för bergstagen
10. Montage av form samt alla rör i fundamentet, inkl det som bergstagen monteras igenom
11. Gjutning av fundament
12. Montage och ingjutning av bergstagen
13. Provdragning av stag
14. Berggeologen granskar all provdragning protokoll och skriver ett slutgiltigt PM inför besiktningen av anläggningen

Vidare har data för maskinanvändning under markförberedelse för Tvinnesheda samlats in från Veidekke. Projektet pågick i strax under två år (93 veckor) och under denna tid förbereddes platser för att resa 47 vindkraftverk. Maskinerna som användes har delats upp i tre kategorier användningsområde i tabell 3.4.

Tabell 3.4 Maskiner använda till markförberedelser på Tvinnesheda med diesel förbrukning mätt i liter diesel förbrukat.

Maskiner					
Grävmaskiner	537245 (Liter Diesel)	Transport	129686 (Liter Diesel)	Övrigt	90892 (Liter Diesel)
Gräv kobelco 360	44091	Hjullastare L90E	26656	Väghyvel	3500
Gräv Volvo ec 380	34800	Dumper A25 C	18110	Bandtraktor D6	3702
Gräv Volvo 290	37120	Dumper A25 H	21360	Vält/traktor	24380
Gräv Volvo EC 300	75312	Bil & släp	24200	Skördare	9065
Gräv Komatsu 290	54018	Trailer	39360	Skotare	4620
Gräv Cat 329	32480			Borrigg	45250
Volvo 250	81628			Elverk m.m.	375
Cat 325	53584				
EC 250	72352				
Gräv Hitachi 280	14976				
Hjul EWR 150	18224				
Huddig 1260	18660				

Markförberedelse i Åby-Alebo

Kartläggning för platsen för vindkraftverkens fundament i Åby-Alebo beskrivs i tabell 3.5. Arbetet kartlägger vad som sker på platsen för ett verk från det att ett område är valt tills det att fundamentet är färdigt att fästa en turbin i.

Tabell 3.5 Aktiviteter relaterade till markförberedelser på Åby-Alebo med dess tidsåtgång.

Markförberedelse Åby-Alebo av Kanonaden Byggentreprenad	
Aktivitet	Tidsåtgång
1. Geoteknisk undersökning JB-sondering	1 dag
2. Framschaktning och rensning av bergets överyta	2 dag

3. Besiktning av bergsöveryta av bergsgeolog	1h
4. Borrning, sprängning av berget samt schaktning och rensning av ny bergnivå	5 dagar
5. Besiktning av ny bergyta av bergsgeolog	1h
6. Avjämningsgjutning inkl armering och kabelrör som kommer upp i fundamentet	3 dagar
7. Borrning av hål för bergstag	1 dag
8. Montering bultkorg	1 dag
9. Montering armering	6 dagar
10. Montering av ytterform, kabelrör och jordning inne i fundamentet	2 dagar
11. Gjutning	1 dag
12. Avformning	0,5 dag
13. Återfyllning inkl jordningar runt fundament	2 dagar
Summa	25 dagar

Markförberedelsen i Åby-Alebo förlitade sig på samma kategorier av maskiner som Tvinnesheda men deras journal för maskinanvändning anger istället den genomsnittliga bränsleförbrukningen per vecka för respektive maskin. Maskinerna beskrivs i tabell 3.6.

Tabell 3.6 Maskiner som använts för markförberedelser i Åby-Alebo.

Maskiner		
Grävmaskin	Transport	Övrigt
Volvo EC480E	Dumper A40G	Bandschaktare Cat D6N
Cat 336ELH	Dumper Volvo A35E	Borrvagn FlexiROC T30 R T4F
Doosan DX255LC	Dumper Volvo A40F	Borrvagn Sandvik Dino DC400Ri
Volvo EC290LCN	Dumper Volvo A25E	
CAT 352F	Dumper Volvo A35D-510	
Komatsu PC 360LC- 10	Dumper Volvo A35D-509	
CAT 323 EL	Dumper Volvo A25G	
Cat 330	Hjullastare Volvo L150C	

Doosan 255	Hjullastare L90G	
Komatsu PC 180	Hjullastare Ljungby L15	
Hitachi ZX225USLC-3		

3.3.2 Betong

Betong komponenten i fundamentet som har störst volym och vikt. Betongen som används i parkerna är av två olika typer, där Tvinnesheda använder ECO-betong och Åby-Alebo anläggningsbetong. Swerock var leverantör till båda parkerna, men vid Åby-Alebo användes också anläggningsbetong från Högsby Grus och Betong. Skillnaden i huvudsakliga ingredienser mellan ECO-betong och anläggningsbetong framgår i tabell 3.7. Betongens sammansättning tas fram specifikt för ett projekt (Personlig kommunikation, Carlström, S, den 26 april 2022).

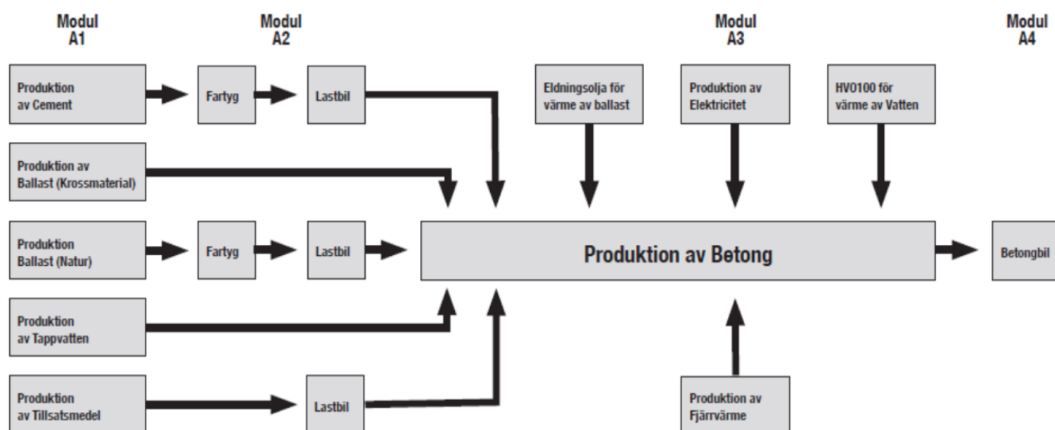
Tabell 3.7 Ingående material i de olika betongtyperna.

Ingående material	
ECO-betong	Anläggningsbetong
Vatten	Vatten
Cement Velox	Cement
Ballast kross 0/4	Ballast
Ballast kross 8/16	Superplasticerare
Kalkfiller	Luftporbildare
Superplasticerare	
GGBS	

Vad som kan tydas från tabeller är att det ingår fler ingredienser i ECO-betong. Detta är de som endast förekommer i kolumnen för ECO-betong som ersatt en del av cementen i anläggningsbetong.

Betong i Tvinnesheda

I Tvinnesheda användes ECO-betong från Swerock. Flödesschemat för denna presenteras i figur 3.6.



Figur 3.6 Flödesschema ECO-betong (Swerock, 2020).

Fundamenten konstruerades i olika skikt med olika kvalitéer av betong. Kvalitéerna av betong var ECO C25/30, ECO C30/35 och ECO C35/45. De olika ingående ingredienserna är densamma för de olika typerna men mängderna var olika. I tabell 3.8 redogörs CO₂eq för respektive steg i livscykeln för de olika typerna av ECO-betongtyperna.

Tabell 3.8 GWP av ECO-betongslagen i de olika påverkans kategorierna i kg CO₂eq/m³ betong (personlig kommunikation, Veidekke, 17:e februari 2022).

Påverkanskategori	A1	A2	A3	A4	A1-A3	A1-A4
ECO C25/30	197,04	8,275	3,679	5,74	208,99	214,73
ECO C30/37	239	7,51	3,64	5,85	250,15	256
ECO C35/45	237,16	9,506	3,679	5,77	250,35	256,12

I tabell 3.9 redogörs hur mycket respektive ECO-betong väger samt vilka kvantiteter av de som ingår i ett fundament i Tvinnesheda.

Tabell 3.9 Densitet och ingående mängd av de olika ECO-betongtyperna i bergsfundament (Swerock, 2020) (personlig kommunikation, Veidekke, 17:e februari 2022).

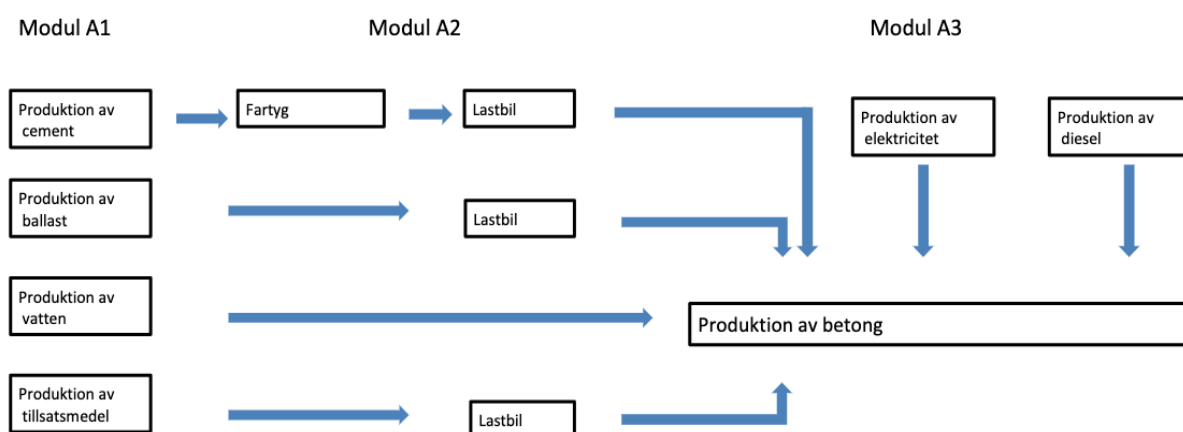
	Betong vikt kg/m ³	Volym m ³ / bergsfundament
ECO C25/30	2320	50

ECO C30/37	2353	220
ECO C35/45	2309	26

Mängden m³ för ECO C30/37 och C35/40 per fundament kommer från leveranssedlar. Volymen för ECO25/30 är i genomsnitt 50 m³ per bergsfundament (personlig kommunikation, Kanonaden, 24:e februari 2022). Den totala mängden ECO-betong i ett bergsfundament i Tvinnesheda uppskattas således till 296 m³.

Betong i Åby-Alebo

I Åby-Alebo användes anläggningsbetong. Ett flödesschema för anläggningsbetong presenteras i figur 3.7.



Figur 3.7 Flödesschema Anläggningsbetong (Swerock, 2020).

I tabell 3.10 redogörs CO₂eq för respektive fas för de olika typerna av ECO-betong.

Tabell 3.10 CO₂eq av anläggningsbetong i de olika faserna i kg CO₂eq/m³ betong.

Påverkanskategori	A1	A2	A3	A1-A3
Anläggningsbetong	359,94	7,18	3,64	370,76

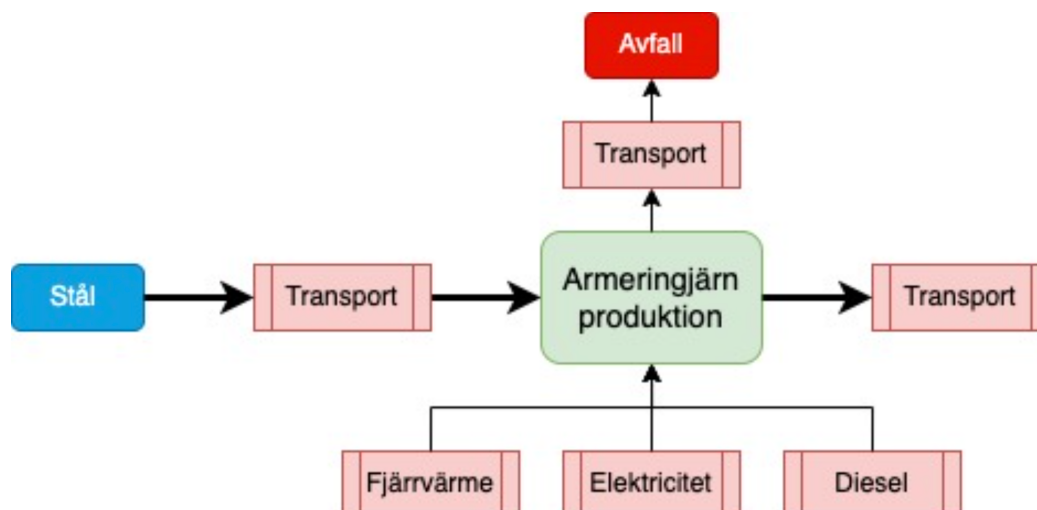
I parken byggdes byggdes 32 bergsfundament med ca 287 m³ anläggningsbetong och 4 gravitationsfundament med ca 640 m³ (personlig kommunikation, Kanonaden, 24:e februari 2022). I tabell 3.11 redogörs densiteten av anläggningsbetong och vilka kvantiteter som ingår i fundamenten i Åby-Alebo.

Tabell 3.11 Densitet och ingående mängd av de olika betongtyperna i fundamenten.

	Betong vikt kg/m ³	Volym m ³ / bergsfundament	Volym m ³ / gravitationsfundament
Anläggningsbetong	2346	287	640

3.3.3 Metallkomponenter

De metallkomponenter som ingår i fundamenten var armeringsjärn och en bultkorg. Bultkorgen tillverkas av Vestas (personlig kommunikation, Vestas, 1:a mars 2022). Detta betyder att studien använde befintlig data från Vestas för bultkorgen. Mängden CO₂eq i kg från en bultkorg är 41 100. Ett flödesschema av armeringsjärn presenteras i figur 3.8.



Figur 3.8 Flödesschema för armeringsjärn.

Ett standardvärde för armeringsjärn producerat inom Europa för faserna A1-A3 är 2,156 kg CO₂eq/ kg armeringsjärn (personlig kommunikation, Worldsteel, 24:e mars 2022). Det är detta värdet studien kommer utgå från.

Armeringsjärn i Tvinnesheda

Armeringsjärnet levereras av Tibnor som köper in det från Polen och mängden armeringsjärn är 19 ton per fundament (personlig kommunikation, Veidekke, 17:e februari 2022)

Armeringsjärn i Åby-Alebo

Stena Stål levererade armeringsjärn till Kanonaden. Mängden armeringsjärn som levererades var drygt 27 ton per bergsfundament och 72 ton armering per gravitationsfundament (personlig kommunikation, Kanonaden, 24:e februari 2022).

3.3.4 Övrigt

Utöver markförberedelser, betong och armeringsjärn ingår små plastkomponenter (personlig kommunikation, Kanonaden, 4:e mars 2022). Dessa har ej beräknats på grund av sin icke-signifikanta påverkan på totalt CO₂eq utsläpp för fundamenten. Det har också byggts vägar i vindkraftsparkerna, men efter de ej är hänförliga till just fundamenten som beräknas inte heller dessa.

4 Metod

Metoden är uppdelad för att vara bäst lämpad att besvara frågeställningar av olika karaktär. LCA valdes som lämplig metodik för att utföra beräkningar på fundament och uppskatta klimatpåverkan av en vindkraftspark, och denna är gjord för faserna extraktion av råmaterial till användningsfasens slut. Genom att också genomföra kvalitativa intervjuer med personer med ledande roller inom SR erhöles också information för frågeställningarna om miljökommunikation och beslutsunderlag. Det har även skett en litteraturstudie för att underbygga och komplettera de intervjuer som skett. Denna metod ansågs vara lämplig eftersom det gav en bra insyn hur dessa processer fungerar.

Inledningsvis presenteras hur data insamlingen skett, dels för LCA med även för de kvalitativa delarna av rapporten. Därefter beskrivs hur bearbetningen av data gått till. Nästa del redogör hur ingångsdata och beräkningar gjorts och slutligen presenteras vilken analysstrategi som använts.

4.1 Datainsamling

I detta kapitel kommer intervjuprocessen och tillvägagångssätt för litteraturinhämtning att i området presenteras. Datainsamlingen är uppdelad i olika delar som har till syfte att besvara olika frågeställningar. Den kvalitativa datainsamlingen syftade till att besvara frågeställningar kring beslutsunderlag och miljökommunikation. Till detta genomfördes en litteratursökning parallellt med intervjuer med personer i relevanta roller inom företaget. Livscykelanalysen syftade till att besvara frågeställningen "Vilka material- samt metodval kan SR välja för att minimera miljöbelastningen från vindkraftsparker?".

4.1.1 Litteratursökning

Den kvalitativa litteratursökningen om miljökommunikation fokuserade på olika ramverk företag använder och vad de syftar till. Litteratursökningen syftade till att ge empiri för hur moderna företag arbetar med hållbarhet och hur de förmedlar det till sina intressenter, men också hur EPD används för sådan kommunikation. Parallellt med detta genomfördes också en litteraturstudie med fokus på vilka beslutsunderlag och påverkanskategorier som används av företag inom energibranschen för att planera energiprojekt. Sökportaler och databaser som använts var Google Scholar samt Scopus. Utöver dessa har Chalmers bibliotek använts för både digitalt och fysiskt källmaterial. I tabell 4.1 presenteras de använda sökorden som användes för att precisera sökningarna.

Tabell 4.1 Litteratursökning.

Sökord	Databas	Antal sökträffar
Livscykelanalys	Google Scholar	5 360
Life cycle assessment	Google Scholar	786 000
Life cycle analysis	Scopus	119 666
Hållbara strategier	Google Scholar	28 500
Greenwashing	Google Scholar	38 400
Global Warming	Google Scholar	2 610 000
Global Uppvärmning	Google Scholar	10 400
EPD	Google Scholar	164 000
Environmental communication	Scopus	55 335
Environmental analysis	Google Scholar	1 210 000
Sustainable decision making power plant	Google Scholar	1 660 000
Environmental Product Declaration framework	Google Scholar	420 000
B2B communication epd	Google Scholar	550
B2B communication	Google Scholar	150 000
B2B branding	Google Scholar	38 900
Diesel koldioxid	Google Scholar	3170
Vindkraft kritik	Google Scholar	5260

Utöver elektroniska sökningar presenterades också litteratur från handledaren. Denna litteratur förmedlades baserat på diskussioner gällande ämnena studien avhandlade. Litteraturen förseddes i både både i fysiska och digitala format.

Datainsamlingen hade för avsikt att komplettera intervjuernas svar, genom att undersöka ämnen eller begrepp från under intervjuer. Vidare användes litteratursökningen för att förstå materialen och processerna vid livscykelanalysen.

4.1.2 Intervjuer

För att samla in information som berörde livscykeln av fundament genomfördes intervjuer med SR och dess leverantörer. Syftet var att skapa en bild av hur processen av att uppföra vindkraftsparkerna gått till och vilken data de olika aktörerna hade. Datan för fundamenten diskuterades under intervjun och skickades sedan via mail. Alla parter som blev intervjuade hade en involverande roll i att framställa fundamenten eller dess komponenter. Det genomfördes även intervjuer för att kunna besvara frågeställningar som är kopplade till miljökommunikation samt beslutsunderlag.

Intervjuerna varierade tidsmässigt mellan 45 till 120 minuter på antingen Zoom eller Microsoft Teams, och hela projektgruppen närvarade. Fördelarna med dessa plattformarna för kommunikation är att det skapar en flexibilitet för samtliga parter. Informanter behöver inte avsätta någon väsentlig tid till förberedelser och lokaler. Entreprenaderna och underleverantörerna har även en stor geografisk spridning och det digitala arbetssättet överbryggade detta hinder. Nackdelen med detta arbetssätt är dock att tekniska störningar kan uppstå och det sociala samspelet försvagas.

Vid inledande intervjuer samt när nya deltagare från de intervjuade företagen närvarade presenterades syfte och problemställningar för rapporten samt ambitionen med intervjun. Eftersom alla intervjuer hade olika syften fanns det inte några gemensamma frågor som ställdes under samtliga intervjuer, utan frågorna hade på förhand skraddarsyfts efter den aktuella intervjun. De två intervjuer som delade flest likheter var de med Veidekke och Kanonaden eftersom det eftersöktes liknande information från projekten Tvinnesheda och Åby-Alebo. Av den anledningen hade dessa en liknande uppsättning frågor.

Samtliga intervjuer följde ett semi-strukturerat format eftersom denna ansågs lämplig för att besvara just rapportens frågeställningar och syfte. Anledningen bakom detta var att en intervju av semistrukturerad karaktär är lämpad att använda vid insamling av åsikter och vid svåråtkomlig information (Wilson, 2014). Mycket av den informationen rapporten har byggt på har varit specifik för just de två projekten Tvinnesheda samt Åby-Alebo och är inte allmänt tillgänglig, vilket rättfärdigar användandet av semi-strukturerad intervju.

Under intervjuer som rörde livscykelanalysen ställdes dels kvantitativa frågor gällande data för fundamenten men också kvalitativa frågor som handlade om själva uppförande av vindkraftsparker samt resonemang kring materialval. De hade då förberetts som var kopplade till just SRs verksamhet och inte heller denna information fanns tillgänglig i öppna källor.

Under dessa intervjuer rördes ämnena miljökommunikation och beslutsunderlag. Många av frågorna som ställdes var av bredare och mer komplex karaktär, vilket i sin tur ledde till följdfrågor och således motiverar det valet av intervjustruktur ytterligare. Vad som var viktigt under intervjutillfällena var att frågorna ställdes på ett sådant sätt att de var lättförståeliga och minimerade risken för missuppfattningar (Bryman & Bell, 2015).

I tabell 4.2 följer en lista av de informanter som intervjuats. Tillvägagångssättet i urval av intervjuobjekt har initialt grundat sig i ett bekvämlighetsurval som resulterat i ett snöbollsurval. Inledande kontakt togs med SR då delar av gruppen hade en kontaktperson i företaget som visat intresse för ämnet. Efter ett inledande uppstartsmöte skedde urvalet i en snöbollsprincip där det i via informanter presenterades andra som skulle vara av intresse att kontakta. Tabell 4.2 presenterar personerna som har deltagit under intervjuerna, deras titel, syftet med intervjun och kontaktformen.

Tabell 4.2 Sammanställning av intervjuer.

Informant	Företag	Titel	Syfte	Kontaktform
Peter Zachrisson	SR	VD	Projektförslag	Uppstartsmöte
Malin Serrander	SR	Hållbarhetschef	Miljökommunikation	Snöbollsurval
Per Eriksson	SR	Projektchef	Tillstånd och hantering under projektets gång	Snöbollsurval
Anders Rylin	SR	Verksamhetschef	Beslutsprocesser vid projekt	Snöbollsurval
Hanna Rydhed	SR	Miljö- och tillståndsansvarig	Beslutsunderlag ur miljöperspektiv	Snöbollsurval
Kim Eriksson	Veidekke entreprenad AB	Projektchef	Tvinnesheda, fundament	Första urval
Leon Gros	Veidekke entreprenad AB	Entreprenad-ingenjör	Tvinnesheda, fundament	Första urval

Martin Alnemo	Kanonaden entreprenad AB	Arbetschef	Åby-Alebo, fundament	Första urval
Magnus Gustavsson	Kanonaden entreprenad AB	Arbetschef	Åby-Alebo, fundament	Första urval
Peter Garrett	Vestas wind systems A/S	Miljöspecialist	LCA hela vindkraftsparker	Snöbollsurval
Lukas Allekotte	Vestas wind systems A/S	Studentarbetare	LCA hela vindkraftsparker	Snöbollsurval
Staffan Carlström	Swerock AB	Teknisk chef FoU	Anläggning- och ECO-betong	Snöbollsurval

4.1.3 Datainsamling LCA

Livscykelanalysen skall komplettera en tidigare LCA från Vestas genom att utvärdera GWP påverkan från olika förankringsmetoder och betongtyper. Därmed användes samma funktionella enhet som i Vestas rapport; 1 kWh el levererat till elnätet genom en 100 MW vindkraftspark bestående av 24 vindkraftsverk. Genomförandet av den egna livscykelanalysen har skett enligt metod från Baumann och Tillman i *The Hitch Hiker's Guide to LCA: An orientation in life cycle assessment methodology and application*. Livscykelanalysen utreder även skillnader om den tekniska livslängden för vindkraftsparken är 20 år, som Vestas antar i sin rapport, eller 30 år som SR estimerar.

Ett sätt att få begränsa komplexiteten i analysen var att avgränsa den från aktivitet eller process har försumbar effekt på resultaten. Av den anledning behandlades bara data som hade en signifikant inverkan på totala mängden CO₂eq av fundamenten. Till detta har användes samma 'cut-off'-värden som för avgränsningarna i Vestas analys. En annan avgränsning var att endast de material eller processer som var direkt hänförliga till just fundamentet räknades med, och alltså inte sådant till vindkraftsparken. Dessutom måste komponenten vara tillverkad av byggtreprenörerna och således tas inte komponenter som tillverkas av Vestas med.

Vad gäller de båda metoderna för förankring finns det diverse olika konfigurationer och mängder av komponenter som kan ingå. För att ta hänsyn till variationer av ingående mängder avgränsas det till att använda medelvärden som representativt speglar de verkliga

förhållanden. Medelvärden baseras på information som framkommit genom personliga kommunikation med utvecklarna av vindkraftsparkerna. När det förekommer substitut av komponenter där det funnits brist på information görs det rimliga antaganden om befintlig data som kan användas. Vid komponenter som har olika dimensioner är en avgränsning att dessa ger samma mängd CO₂eq per ton eller m³. Ett exempel på detta är armeringsjärn där stängerna förekommer i olika bredd, längd och djup och därav tyngd. En annan avgränsning som gjorts är enbart studera material och processer som är inkluderade i faserna A1-B5.

Efter att varje aktörs roll och datainnehav kartlagts via intervjuer samlades datan in via mejl. Datan gällde de olika materialvalen och dess åtgång, vilka maskiner som använts, drivmedelsåtgång samt transportvägar. Vidare togs CO₂eq för respektive material eller process fram på olika sätt beroende på vilken data som skulle inhämtas. För de olika ingångsmaterialen togs exakta värden från faserna A1-A3 direkt från färdiga EPD:er från leverantören för det aktuella materialet medans egna beräkningar gjorts för faserna A4-A5 och B1-B5. Faserna A4-A5 och B1-B5 är baserade på information som inhämtats från leverantörer till och av SR. För drivmedel användes data från Energimyndigheten och för transporter användes hemsidan ECO-transit. I de fall där det inte fanns en tillgänglig EPD för ett visst byggnadsmaterial användes sidan Ecochain för att kunna erhålla mängden CO₂eq som ett visst material resulterade i.

4.2 Ingångsdata och beräkningar

Ingångsdatan behandlats effektivt genom att först sorterats och därefter klassificeras. Datan som framkom av struktureringen kunde därefter användas till beräkningarna för att fastställa CO₂eq för fundamenten och sedan även för en hel vindkraftspark.

4.2.1 Ingångsdata

Data för materialen som behövdes för att göra beräkningarna redogörs i tabell 4.3, tillsammans med enheten det beräknas i samt CO₂eq bidraget det medför.

Tabell 4.3 Antal kg CO₂eq som släpps ut. För betongtyperna samt armeringsjärnet avses fas A1-A3 medans det för diesel avses fas A1-A5, alltså även användningen.

Kategorisering	Ingångsdata	Enhet
1 ton ECO C25/30	90,08	kg CO ₂ eq
1 ton ECO C30/37	106,3	kg CO ₂ eq
1 ton ECO C35/45	108,4	kg CO ₂ eq

1 ton Anläggningsbetong	158,14	kg CO ₂ eq
1 ton armeringsjärn	2156	kg CO ₂ eq
1 liter diesel	2,681	kg CO ₂ eq
kWh per turbin/år	14 692	MWh
Utsläpp per producerad kWh	7,3	g CO ₂ eq
Andel av totala mängden CO ₂ eq fundamenten i Vestas LCA utgjorde	15,3	%

Ett antagande som gjorts är att maskintimmarna som Veidekke presenterade är jämnt fördelade över alla 47 fundamenten. Under datainsamlingen presenterades otillräckligt information från Kanonaden för att kunna bestämma hur mycket diesel som förbrukats under markförberedelserna i Åby-Alebo. Ett antagande som gjorts är att det krävs samma mängd dieseltimmar för ett bergsfundament i Åby-Alebo som för ett i Tvinnesheda, alltså 16 123. För gravitationsfundamenten i Åby-Alebo har det av samma anledning skett antaganden för att uppskatta mängden CO₂eq från markförberedelserna. Antagandena som gjorts är att det går åt dubbelt så mycket dieseltimmar för ett gravitationsfundament eftersom dess volym är drygt dubbelt så stor. Exakta kvoten för volymen mellan gravitationsfundament och bergsfundament är 2.23, men decimalerna antas jämnas ut till följd av det extra arbete för borring med mera vid ett bergsfundament. Alltså är antagandet att det går att 32 246 dieseltimmar vid markförberedelserna för ett gravitationsfundament.

Bortsett från markförberedelserna i Åby-Alebo presenterades tillräcklig data för materialen i fundamenten för båda parkerna. Data för ingående kvantiteter av materialen i respektive fundament redogörs i tabell 4.4.

Tabell 4.4 Fundamentstyperna i de båda parkerna Tvinnesheda och Åby-Alebo samt kvantiteterna av materialen som ingår i varje fundament.

	Bergsfundament Tvinnesheda	Bergsfundament Åby-Alebo	Gravitationsfundament Åby alebo
Markförberelser (liter diesel)	16 123	16 123	32 246
Betong (m ³)	50 (ECO C25/30)	287 (anläggningsbetong)	620 (anläggningsbetong)

	220 (ECO C30/37)		
	26 (ECO C35/45)		
Armeringsjärn (ton)	19	27	72

4.2.2 Beräkningar

Beräkningarna som leder fram funktionella enheten gjordes ur ett bottom-up perspektiv och började med en kartläggning av de processer och produkter som bidrar till utsläpp. Från detta fastställdes CO₂eq för ett fundament, vilket sedan används för att kunna beräkna CO₂eq för en hel turbin och sedan slutligen för en hel vindkraftspark. I beräkningarna av vindkraftsverk och vindkraftspark kommer fundamenttyperna från studiens beräkningar att ersätta de fundament som ingått i Vestas LCA. All övrig data kommer vara desamma.

Beräkningarna genomfördes med hjälp av Excel. Ingående kvantitet av en komponent i fundamenten har multiplicerades med den mängd CO₂eq komponenten medför. För exempelvis anläggningsbetong har siffran för mängden CO₂eq per m³ multiplicerats med antalet m³ i fundamenten. Detta har gjorts för respektive komponent eller process för fundamenten i bägge parkerna. I ekvation 4.1 presenteras principen.

$$(Ingående\ kvantitet\ av\ materialet\ i\ fundamentet) \times (kg\ CO_2eq\ per\ enhet\ av\ materialet) \\ = CO_2eq\ bidraget\ vid\ produktion\ av\ materialet\ per\ fundament\ (ekvation\ 4.1)$$

För beräkningarna av transporter användes koordinaterna från leverantörer till parkerna i ECO-transit, vilket gav mängden CO₂eq för varje transport. Parametrar som användes för transporter i ECO-transit ses i tabell 4.5.

Tabell 4.5 Parametrar som användes i ECO-transit vid beräkningar av transporter av betong och armeringsjärn.

Betong			Armeringsjärn		
Kategorisering	Datapunkt	Enhet	Kategorisering	Datapunkt	Enhet
Vikt av gods	14,7	ton	Vikt av gods	33	ton
FTL	95	%	FTL	95	%
ETF	0	%	ETF	0	%
Fordonstyp	12-20	ton	Fordonstyp	26-40	ton
Miljökategori	EURO 6	-	Miljökategori	EURO 6	-
WTW	-	-	WTW	-	-

Mängden CO₂eq för varje transport räknades om för att motsvara klimatutsläpp för att transportera exempelvis en m³ anläggningsbetong. Siffran som erhöles multiplicerades med antal m³ som respektive fundament innehöll av exempelvis anläggningsbetong. Detta gjordes för varje komponent i fundamentet. Principen för uträkningen presenteras i ekvation 4.2.

(Ingående kvantitet av materialet i fundamentet) X (kg CO₂eq per enhet för transport av materialet) = CO₂eq bidraget vid transport av materialet per fundament (ekvation 4.2)

För att fastställa komponentens totala CO₂eq för faserna A1-A5 adderas produkten från ekvation 4.1 med produkten från ekvation 4.2. Principen illustreras i ekvation 4.3.

(CO₂eq bidraget vid produktion av materialet) + (CO₂eq bidraget vid transport av materialet) = CO₂eq från materialet per fundament (ekvation 4.3)

Summan av CO₂eq bidragen för livscykelstegen A1-A5 för varje komponent adderades samman för att få CO₂eq för första funktionella enheten.

För att kunna jämföra studiens resultat för fundamenten med Vestas har resultatet för bergsfundamenten generaliserats som ett genomsnittligt värde för ett bergsfundament för båda parkerna Tvinnesheda och Åby-Alebo. Det generaliserade värdet medelvärde var medelvärde av varje ingående kvantitet av de ingående komponenterna. På samma sätt användes ett medelvärde för transporternas bidrag.

Med hjälp siffrorna för total mängden CO₂eq för varje kombination av förankringsmetod och betongtyp kunde beräkningarna som Vestas gjort för sina fundament ersättas med de genomförda i studien. För att kunna använda den funktionella enhet som Vestas hade i sin rapport behövdes först mängden CO₂eq för hela vindkraftenparken räknas om till korrekt livslängd som i denna studie anses vara 30 år till skillnad från Vestas rapport där 20 år anses vara korrekt. Detta gjordes genom att anta ett linjärt samband mellan Vestas egna värden för olika livslängder och använda linjen för att hitta värdet för 30 år. Därefter multiplicerades denna siffra med andelen av CO₂eq som fundamentet utgjorde av det hela. Genom att sedan dividera med 24 som i antalet vindkraftverk kunde mängden CO₂eq per verk och även fördelningen mellan fundament och turbin fastställas. Siffran ersattes med de för respektive förankringsmetod och betongtyp som gjort i denna rapport och därefter multipliceras det med 24 igen för att få mängden CO₂eq för hela vindkraftsparken. Slutligen dividerades siffran med antalet kWh som vindkraftsparken producerar under sin livstid vilket ledde till mängden CO₂eq per kWh kunde fastställas. Principen redovisas i ekvation 4.4

$$((Vestas\ värde - fundament)/24 + studiens\ värde\ för\ fundament) \\ * 24/producerad\ kWh\ (Ekvation\ 4.4)$$

4.3 Bearbetning

Bearbetning av datan på olika vis beroende vad för data det var. De kvalitativa svar som angavs från intervjuer eller mailkontakt antecknades ner i Google Docs dokument. En del av den kvantitativa datan som inhämtades skrevs också ner i Google docs inledningsvis medans annan mer teknisk data som handlade om LCA i stor utsträckning samlades i Excel direkt. Allt som varit av betydelse för beräkningar av LCA placerades allt eftersom i Excel.

4.3.1 Bearbetning av intervjuer

Mötena spelades inte in eller transkriberades. Istället antecknades svaren som gavs omedelbart under intervjuer i ett Google docs dokument där frågorna stod sen tidigare. Intervjuerna utfördes av olika personer där de som intervjuade turades om med att ställa frågor. För att skapa bästa möjliga förutsättningar för intervjuerna hade det på förhand komponerats listor med olika frågor för varje enskild intervju. Genom att de som utförde intervjuerna alla hade tillgång till frågorna i en Google docs mall underlättade det processen. Somliga ansvarade för att föra diskussionen med informanterna framåt medans andra ansvarade för att svaren som gavs skrevs ner. Det var i huvudsak två personer som ansvarade för att ställa frågor och föra diskussionen framåt medans två andra personer ansvarade för att anteckna de svar som gavs. Övriga bistod med att ställa kompletterande frågor eller utveckla antecknade svar.

Svar sorterades baserat på det företag som intervjuades samt beroende på vilket ämne som täcktes under intervjun. Efter intervjun genomförts diskuterades dess innehåll utifrån det som

önskades besvaras. Följaktligen utvärderades innehållet efter antecknat underlag och intervjufrågor som behövdes utökades kompletterades i efterhand. De kompletterades antingen av ytterligare intervjuer eller genom litteratursökningen.

När frågor av högre teknisk eller kvantitativ karaktär ställdes kompletterade informanterna svar via andra kommunikationskanaler. Exempel på sådana frågor är; “Vilka maskiner har använts hur mycket diesel har de var och en förbrukat vid markförberedelserna?”, “Hur skiljer sig olika vindkraftsparker åt i form av underlag? Vilka förutsättningar är önskvärd respektive inte önskvärda?”. En kanal som användes för detta var mejlkontakt där data och bilagor från de olika leverantörerna överfördes. Vid tillfällen där det saknades data från leverantörer till SR skickades kompletterande mejl skickats med specificerade önskemål kring vad för slags data som inte inhämtats för rapporten.

4.3.2 LCA-bearbetning

LCA datan samlades i ett gemensamt exceldokument som samtliga rapportskrivare hade tillgång till. Datan sorterades beroende vilket av projekten Tvinnesheda eller Åby-Alebo det gällde men också baserat på dess innehåll, exempelvis “betongleverans”.

För att sedan kunna utföra livscykelanalysen för en hel vindkraftspark togs det hänsyn till den LCA som Vestas utfört. Den data som använts från Vestas LCA redogörs i tabell 3.1, 3.12 och figur 3.2. De värden Vestas räknat ut för “Fundament” har ersatts och kompletteras med de värden denna studien kom fram till. All annan data från Vestas LCA antogs vara densamma. Genom att göra på detta vis kunde mängden CO₂eq som släpptes ut från en hel vindkraftspark, med fundamenten som beräknats i denna studien, fastställas.

I tabell 4.6 redogörs datan som varit utgångspunkt för att kunna göra beräkningarna i livscykelanalysen.

Tabell 4.6 Viktiga data för beräkningar och dess källa.

Dokument	Källa
Miljödata för ECO C25/30	EPD från Swerock
Miljödata för ECO C30/37	EPD från Swerock
Miljödata för ECO C35/45	EPD från Swerock
Miljödata för Anläggningsbetong	EPD från Swerock
Miljödata för armeringsjärn	EPD från Worldsteel

Miljödata för dieselförbrukning	Värde från Energimyndigheten
Elgeneration per turbin/år	LCA av Vestas
Utsläpp per producerad kWh	LCA av Vestas

4.4 Analysstrategi

De perspektiv som har analyserats var skillnaden mellan förankringsmetoderna gravitationsfundament och bergfundament tillsammans med de olika typer av betong, anläggningsbetong och ECO-betong. Utöver detta har även företags förmåga att kommunicera miljöfördelar samt hur miljöfördelaktiga beslut tas, analyserats.

4.4.1 Analys av materialval

För att analysera miljöpåverkan av de olika typerna av förankringsmetoder har dessa jämförts och tolkats i fyra olika utföranden som följer nedan:

- 1) Bergsfundament med ECO-betong
- 2) Bergsfundament med anläggningsbetong
- 3) Gravitationsfundament med ECO-betong
- 4) Gravitationsfundament med anläggningsbetong

Ur detta har slutsatser kunnat dras om vilket utförande som är det bästa ur ett miljöperspektiv och sedan kopplats samman till syftet med studien.

4.4.2 Analys av miljökommunikation och besluttagande

För att ta reda på hur kommunikation av miljöfördelar och framgångsrika företag hänger samman och hur dessa tar miljöfördelaktiga beslut som leder till framgångar för företaget har olika intervjuer utförts samt litteratur studerats. Från detta har olika typer av material kunnat tolkas och jämföras för att få fram en nyanserad slutsats för att svara på frågeställningen och uppfylla studiens syfte.

5 Resultat

Inledningsvis redovisas avslutande stegen av inventeringsanalysen som består all beräknad data för livscykelanalysen. Detta sker för både Tvinnesheda och Åby-Alebo. Proceduren för beräkningar av ingående material redovisas i Appendix. Sammanslagningen av ingående material och dess transporteras visas i detta avsnittet och det görs i ordningen; markförberedelser, betong och armeringsjärn. På grund av att underhållet på fundament medan vindkraftverken är i drift är näst intill obefintligt samt att dess CO₂eq-utsläppen i princip är försumbart redovisas ej dessa. Sluthantering av fundamenten avgränsas från analysen i brist på data.

Därefter sammanställs samtliga uträkningar för materialen i en miljöpåverkansbedömning. Där redovisas först vad ett fundament, med hänsyn till förankringsmetod och betongtyp, i sin helhet orsakar för utsläpp av CO₂eq. Därefter ersätts Vestas uträkningar för fundamenten med rapportens egna för att kunna få helheten för en vindkraftspark med vindkraftverk av typen V150 4.2 MW.

Vad som följer därefter är en redogörelse av hur företag kommunicerar hållbarhetsfrågor och miljöfördelar B2B. Det redogörs för vad som utgör beslutsunderlag för företag inför projekt av karaktär som det redovisade i rapporten. Därtill beskrivs svårigheter företag står inför och den involvering företag kan eller bör ha beroende på rådande situation. Slutligen beskrivs vanligt förekommande ramverk för hur hållbarhet kommuniceras.

5.1 GWP från beräkningar

Avsnittet använder samtliga av de datapunkter som insamlats och gör beräkningarna för värden aktuella i de olika fundamenten för att fastställa CO₂eq. Det sker först för fundamenten i Tvinnesheda och sedan Åby-Alebo innan de erhållna värdena ställs mot varandra för att illustrera den relativa mängden CO₂eq de olika kombinationerna av bergs- och gravitationsfundament ihop med ECO- eller anläggningsbetong har. Därefter vägs de egna beräkningarna samman med schablonvärdena från Vestas rapport.

5.1.1 Livscykelinventering för Tvinnesheda

Nedan följer värden för stegen A1-A5 för materialen i fundamenten i Tvinnesheda. Det görs dels för enheten de beräknats i men också deras totala utsläpp för ett fundament. Beräkningarna som utförs för att fastställa värdena redovisas i Appendix.

Maskinförberedelser

Totalt förbrukades knappt 760 000 (757 823) liter diesel under markförberedelsen i Tvinnesheda. Utsläppet i form av CO₂eq är 2,681 kg/liter, vilket innebär att det totala utsläppet för markförberedelsen för samtliga 47 fundament uppgick till 2 031 723 kg CO₂eq.

Mängden CO₂eq från markförberedelserna per fundament blir därmed 43228 kg.

Betong

I tabell 5.1 ses mängden CO₂eq som uppstår för en ton ECO-betong ihop med samtliga utsläppet från betongen i bergsfundamenten.

Tabell 5.1 CO₂eq från ECO-betongen för ett ton och för ett bergsfundament för stegen A1-A5.

	Produktionsstadie A1-A3	Konstruktionsstadie A4-A5	Summa A1-A5
Kg CO ₂ eq/ ton ECO-betong	103,7	3,84	107,54
Kg CO ₂ eq/ fundament från betongen	71984	2664	74648

Armeringsjärn

I tabell 5.2 ses mängden CO₂eq som uppstår för ett ton armeringsjärn ihop med samtliga utsläppet från armeringsjärnet i bergsfundamenten.

Tabell 5.2 CO₂eq från armeringsjärn för ett ton och för ett bergsfundament för stegen A1-A5.

	Produktionsstadie A1-A3	Konstruktionsstadie A4-A5	Summa
KG CO ₂ eq/ ton armeringsjärn	2156	48,8	2204,8
Kg CO ₂ eq/ fundament från armeringsjärnet	40964	1371	42335

5.1.2 Livscykelinventering för Åby-Alebo

Nedan följer värden för stegen A1-A5 för materialen i fundamenten I Åby-Alebo. Det görs dels för enheten de beräknats i men också deras totala utsläpp för ett fundament. Beräkningarna som utförs för att fastställa värdena redovisas i Appendix.

Maskinförberedelser

Enlig resonemang i 4.1.3 är mängden dieseltimmar per bergsfundament 16 123 och 32 246 för gravitationsfundament. Det resulterar i 43 228 kg CO₂eq för bergsfundament och 86 456 kg för gravitationsfundament.

Betong

I tabell 5.3 ses mängden CO₂eq som uppstår för ett ton anläggningsbetong ihop med samtliga utsläppet från betongen i bergsfundamenten.

Tabell 5.3 CO₂eq från anläggningsbetongen för ett ton samt för ett bergsfundament och gravitationsfundament för stegen A1-A5.

		Produktionsstadie A1-A3	Konstruktionsstadie A4-A5	Summa
Kg CO ₂ eq/ ton anläggningsbetong		158,1	4,0	162,1
Utsläpp kg CO ₂ eq	Bergsfundament	106 476	2669	109 154
	Gravitationsfundament	237 438	5952	243 411

Armeringsjärn

I tabell 5.4 ses mängden CO₂eq som uppstår för ett ton armeringsjärn ihop med samtliga utsläppet från armeringsjärnet i bergsfundamenten.

Tabell 5.4 CO₂eq från armeringsjärnet för ett ton samt för ett bergsfundament och gravitationsfundament för stegen A1-A5.

		Produktionsstadie A1-A3	Konstruktionsstadie A4-A5	Summa
Kg CO ₂ eq/ ton armeringsjärn		2156	43,6	2199,6
Utsläpp kg CO ₂ eq	Bergsfundament	58 212	1179	59 391
	Gravitationsfundament	155 232	3144	158 376

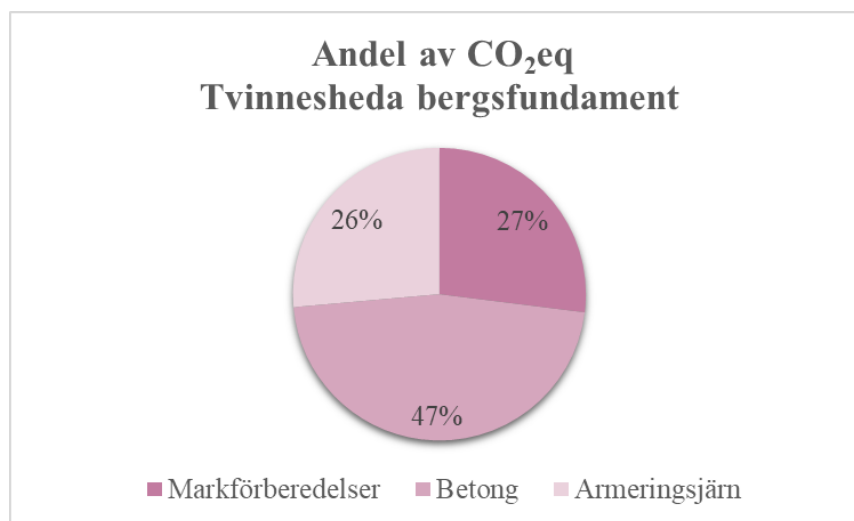
5.1.3 Jämförelse av GWP för fundament

Beräkningarna i 5.1.2 för de olika materialen samt dieseltimmarna för var och en av fundamenten som undersökts i rapporten sammanställs i denna del. Det kommer även redogöras för hur stor påverkan olika materialval har för ett fundament samt mängden CO₂eq som släpps ut beroende på förankringsmetod. I tabell 5.5 visas en sammanställning av fundamenten i de två parkerna Tvinnesheda och Åby-Alebo.

Tabell 5.5 Mängden CO₂eq som släpps ut till följd av markförberedelser, betong, armeringsjärn och totalt från respektive fundament i de båda parkerna.

	Markförberedelser	Betong	Armeringsjärn	Totalt
Tvinnesheda bergsfundament	43 228	74 648	42 335	160 211
Åby-Alebo bergsfundament	43 228	109 154	59 391	211 783
Åby-Alebo gravitationsfundament	86 456	243 411	158 376	488 262

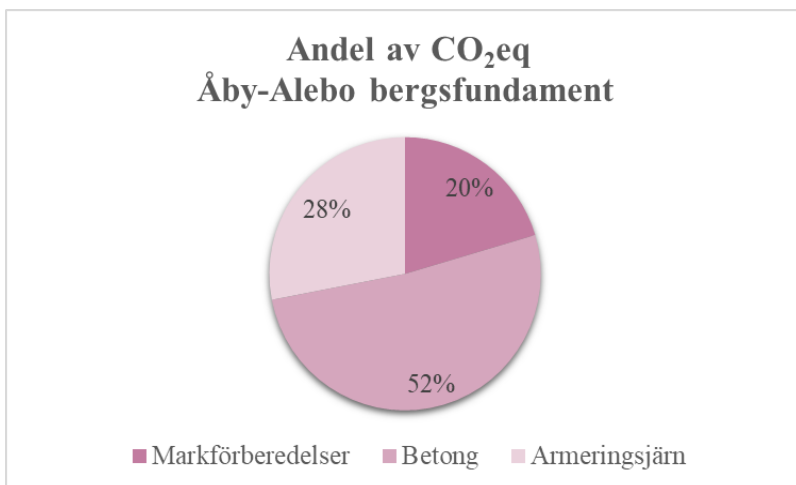
I figur 5.1 illustreras hur stor andel respektive material och process utgör av den totala mängd CO₂eq från ett bergsfundament i Tvinnesheda. Fördelningen speglar fördelningen av utsläpp i faserna A1-A5.



Figur 5.1 Andel av den totala mängden CO₂eq för respektive material/process vid

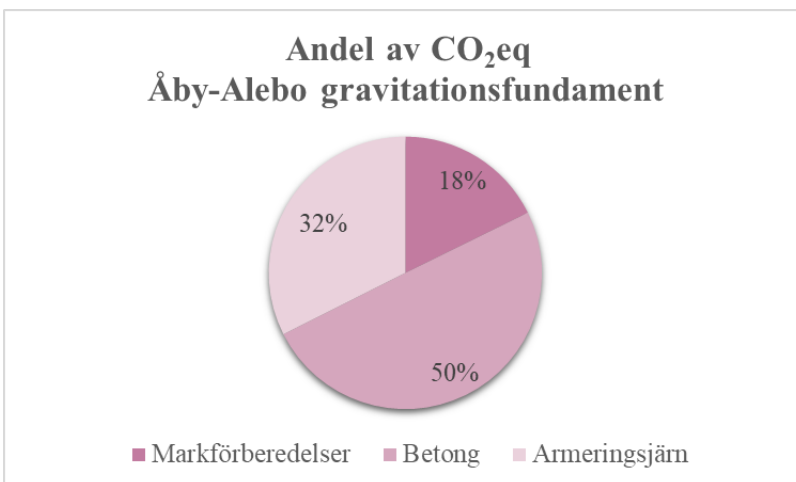
bergsfundament i Tvinnesheda.

I figur 5.2 illustreras hur stor andel respektive material och process utgör av den totala mängd CO₂eq från ett bergsfundament i Åby-Alebo. Fördelningen speglar fördelningen av utsläpp i faserna A1-A5.



Figur 5.2 Andel av den totala mängden CO₂eq för respektive material/process vid bergsfundament i Åby-Alebo.

I figur 5.3 illustreras hur stor andel respektive material och process utgör av den totala mängd CO₂eq från ett gravitationsfundament i Åby-Alebo. Fördelningen speglar fördelningen av utsläpp i faserna A1-A5.



Figur 5.3 Andel av den totala mängden CO₂eq för respektive material/process vid gravitationsfundament i Åby-Alebo.

För att kunna göra en jämförelse av förankringsmetoderna samt betongtyperna med avseende på CO₂eq tas det fram ett värde för ett generaliserat bergsfundamenten. Tillvägagångssättet för detta finns beskrivet i 4.1.3. I tabell 5.6 sammanställs ingående siffror som kommande beräkningar kommer utgå från.

Tabell 5.6 Ingående kvantiteter av material/processer för varje typ av förankringsmetod.

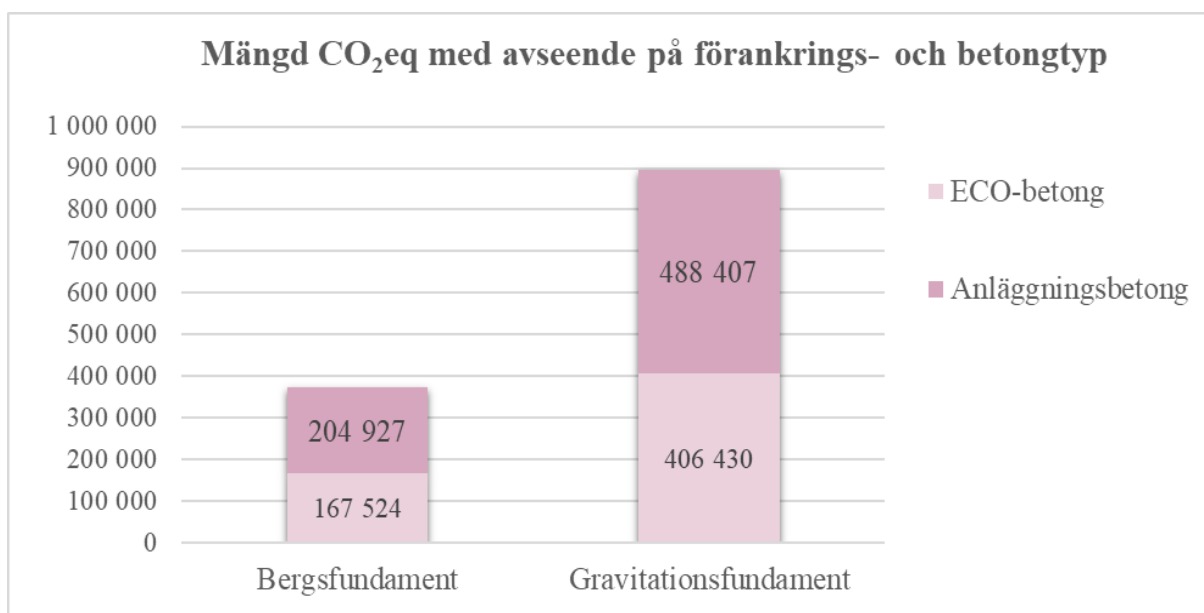
	Markförberedelser (liter diesel)	Betong (m ³)	Armeringsjärn (ton)
Bergsfundament	16 124	292	23
Gravitationsfundament	32 248	640	72

För anläggningsbetongen och armeringsjärn används siffrorna från tidigare EPD ihop med de egna beräkningarna för transporten av denna. För ECO-betongen däremot har en viktning utförts för de olika betongkvaliteterna för att kunna använda sig av ett värde vid beräkning av CO₂eq från en m³ ECO-betong. Värdena presenteras i tabell 5.7.

Tabell 5.7 Ingångsdata för beräkningar med ECO-betong, anläggningsbetong och armeringsjärn.

	Produktionsstadie A1-A3	Konstruktionsstadie A4-A5	Summa
CO ₂ eq/m ³ ECO-betong	243,2	9,0	252,2
CO ₂ eq/m ³ anläggningsbetong	371,8	9,3	380,3
CO ₂ eq/ armeringsjärn ton	2156,0	46,2	2202,2

I figur 5.4 presenteras totala mängden CO₂eq beroende på förankringsmetod och betongtyp och hur de står relativt till varandra.



Figur 5.4 Total mängd CO₂eq beroende på förankringsmetod och betongtyp för ett fundament.

I tabell 5.8 presenteras en procentsats för hur mycket mer CO₂eq ett visst val av antingen förankringsmetod eller betongtyp innebär.

Tabell 5.8 Procentuell siffra för hur mycket mer CO₂eq som släpps ut till följd av ett visst val.

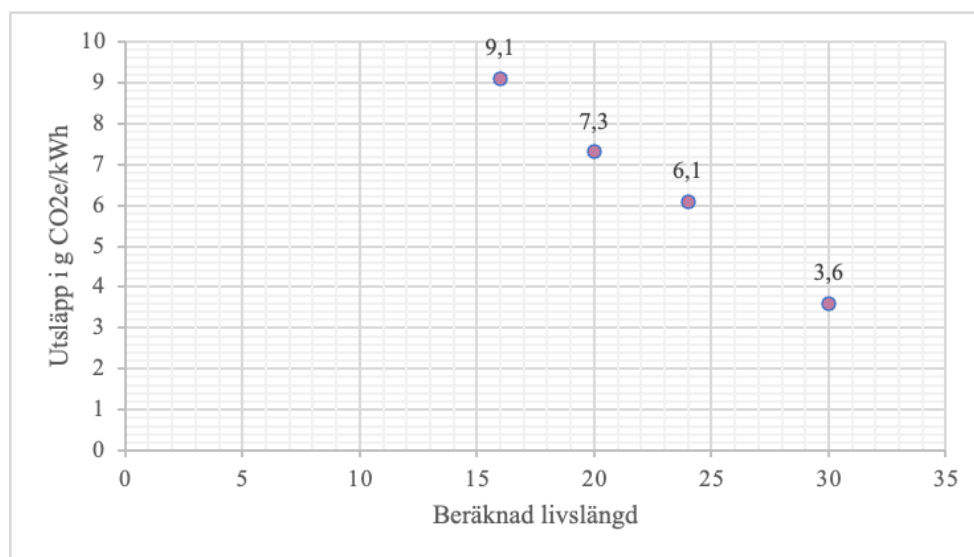
ECO mot anläggningsbetong		Bergsfundament mot gravitationssfundament	
Gravitationssfundament	Bergsfundament	ECO-betong	Anläggningsbetong
Mängd mer utsläpp om anläggningsbetong används istället för ECO	Mängd mer utsläpp om anläggningsbetong används istället för ECO	Mängd mer utsläpp om gravitationsfundament används istället för bergsfundament	Mängd mer utsläpp om gravitationsfundament används istället för bergsfundament
20%	22%	143%	138%

5.1.4 Jämförelse av GWP för vindkraftverken och vindkraftparker

Vestas rapport utgick från 24 st vindkraftverk av typen V150 4.2MW i sin studie. Tillsammans under sin 20 års livstid producerades det 7052 GWh el till elnätet, vilket motsvarar 14692 MWh per turbin årligen. Vestas presenterar även två värden för g CO₂eq per producerad kWh;

ett från vagga till grav och ett utan sluthantering; 7,3 respektive 11,43. En del av den sluthantering det räknar med innebär återvinningar, därav är siffran utan sluthantering högre.

I Vestas egna känslighetsanalys undersöks hur detta värde påverkas av att justera livslängden vilket presenteras i tabell 3.11. Från dessa tre punkter approximeras ett linjärt samband för att hitta utsläppet för en 30-årig livslängd vilket gav en linje med ekvation $y = -0,38x + 15$ och ett r-värde på -0,99. Från denna linje beräknades utsläppet per år för en beräknad livslängd på 30 år till 3,6 kg CO₂eq. Det linjära sambandet illustreras i figur 5.5 där värdet över varje punkt är utsläppet per år som en funktion av den beräknad livslängd.



Figur 5.5 Känslighetsanalys utsläpp som en funktion av den beräknade livslängden.

Från detta linjära samband kunde även en siffra för utsläppet utan sluthantering tas fram för ett verk med 30-årig livstid. Detta gjordes genom att anta att lutningen för linjen förblev den samma men justerades för att tangera punkten 11,43, vilket gav ekvationen $y = -0,38x + 19$. De olika värdena presenteras i tabell 5.9. Dessa värden är för Vestas egna fundament och turbin.

Vidare kunde det totala utsläppet per år räknas fram för både en 20-årig och 30-årig livslängd. I tabell 5.9 presenteras dessa värden både för ett helt verk av Vestas samt för endast turbinen. Skillnaden i utsläpp per år mellan en 20-årig livstid och 30-årig livstid är 7 468 kg CO₂eq för endast turbinen och differensen för hela verket i samma jämförelse är i stället 8 815. I båda fallen innebär en längre livstid ett längre utsläpp per år.

Tabell 5.9 Utsläpp från Vestas som livslängd för faserna A1-B5 och per producerad kWh för olika livslängder samt hanteringsfaser för standardfall.

	20 år	30 år
--	-------	-------

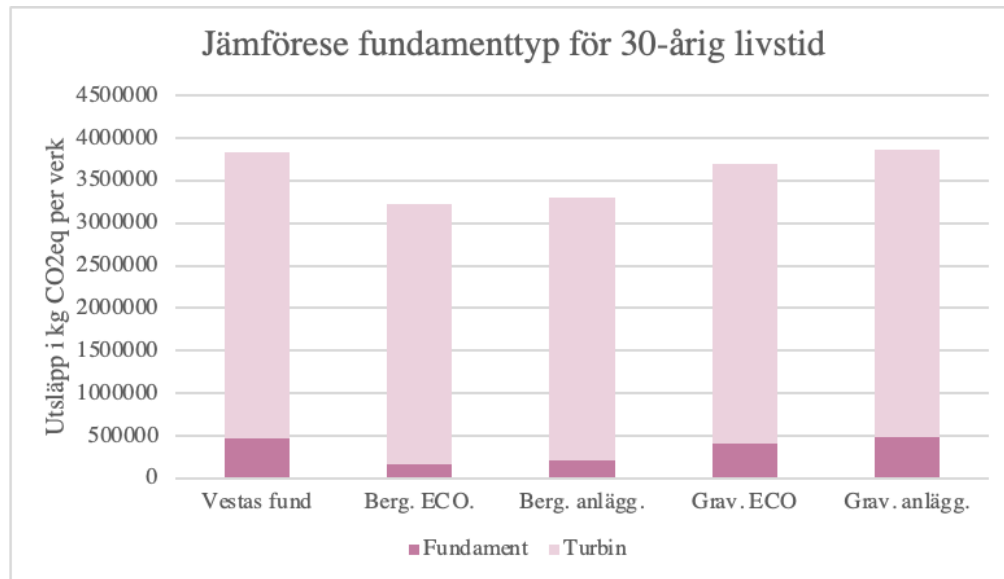
Utsläpp i g CO ₂ eq/kWh med sluthantering	7,3	3,6
Utsläpp i g CO ₂ eq/kWh utan sluthantering	11,43	7,6
Utsläpp i kg CO ₂ eq endast turbin per år baserat på beräknad livslängd	2 886 211	2 878 744
Utsläpp i kg CO ₂ eq hela verket per år baserat på beräknad livslängd	3 358 515	3 349 700

Från dessa värden kan utsläppen för ett Vestas fundament räknas ut, och det kan ställas emot värdena för gravitationsfundament och bergsfundament. Vestas fundament inverkan på totalen mängden CO₂eq är 15,29%, vilket kan utläsas i figur 3.2. Värdet justeras därefter till att exkludera bultkorgen som har ett värde på 41 100 och utgör då istället 14,06 % av det totala utsläppet för vindkraftverket. I tabell 5.10 presenteras därmed värdet för utsläppet per år samt andelen av det totala utsläppet för ett verk med turbin från Vestas. Värdena är för anläggningsbetong för att göra en likvärdig jämförelse med den betongtyp som använts i Vestas standardfall. Ett gravitationsfundament från de egna beräkningarna resulterar i drygt 17 000 mer kg CO₂eq under livstiden än vad Vestas standardfall gör.

Tabell 5.10 Utsläpp per år för beräknad livslängd 30 år med beräknad andel av hela verket.

	Betongtyp	Utsläpp i kg CO ₂ eq/år per fundament	Andel fundament av totala GWP för hela verket
Vestas fundament	-	470 956	14,06%
Bergsfundament	ECO-betong	167 524	5,49%
	Anläggningsbetong	204 927	6,63%
Gravitationsfundament	ECO-betong	406 430	12,34%
	Anläggningsbetong	488 407	14,47%

Det totala utsläppet för ett verk samt fördelningen mellan fundamentet och själva turbinen för de olika förankringsmetoderna och betongvalen visualiseras även i figur 5.6.



Figur 5.6 Graf för totalt utsläpp samt fördelning mellan turbin och fundament.

Slutligen beräknas g CO₂eq/kWh för en helt vindkraftpark med 24 vindkraft som är verksam under 20 respektive 30 år i tabell 5.11. Den sista jämförande tabellen 5.11 visar på vilken effekt olika förankringsmetoder samt materialval får i den valda funktionella enheten för att förena de två rapporterna.

Tabell 5.11 Färdigt resultat i funktionell enhet justerad för livslängd.

	Betongtyp	g CO ₂ eq/kWh för livslängd 20 år	g CO ₂ eq/kWh för livslängd 30 år
Vestas fundament	-	11,43	7,62
Bergsfundament	ECO-betong	10,25	6,83
	Anläggningsbetong	10,38	6,92
Gravitationsfundament	ECO-betong	11,07	7,38
	Anläggningsbetong	11,34	7,56

5.2 Miljökommunikation

I följande avsnitt presenteras resultatet av arbetets intervjustudie för SRs användning av miljökommunikation och hur de påverkar deras verksamhet. Saker som berörs av resultatet är miljökommunikation till intressenter och uppfattat värde av att vara en långsiktigt hållbar verksamhet. Dessutom ges en bedömning av hur SR upplever miljökommunikation influerar deras verksamhet och hur de arbetar med miljökommunikation, internt samt externt.

Vidare redovisas resultatet för vad som finns att tjäna när det kommer till miljömedvetna beslut samt i vilken detalj SR försöker miljöoptimera. I tabell 5.12 redogörs för frågor och svar från intervju med SR.

Tabell 5.12 Intervjufrågor samt svar angående miljökommunikation från SR.

Fråga	Svar
Hur kommunicerar SR miljöfördelar till andra intressenter?	Vi kommunicerar via hemsidan, vid samråd samt via vår hållbarhetsrapport. Vi jobbar med opinionsbildning via nätverken Svensk Vindenergi och Vindkraftens klimatnytta samt möter direkta förfrågningar från media. Det handlar mycket om opinionsbildning och att skapa kunskap kring och hantera missförstånd och okunskap om vindkraftverk som finns: vi vill skapa en positiv opinion och visa den positiva påverkan på klimatet eftersom vår produktion ersätter fossil produktion i Europa, och på så sätt kan vi säga att de är klimatpositiva. Det är vårt främsta argument. Sen rent ekonomiska kan det byggas till låg kostnad jämfört med andra kraftslag och sen är det också ett sätt att nå förnybar energi. Det är låg kostnad och ett snabbt sätt, det läggs som grund till den politiska debatten som finns: vi vill bidra till att Sverige och Europa kan nå sina krav. Miljöbetongen valde vi för att det var samma pris men ändå bättre ur ett

	miljöperspektiv samtidigt som det gav större risker eftersom den inte var välbeprövad, men vi valde att ta den risken. Det var en utvecklingsprocess som pågick under de första 10 fundamenten och det var ett beslut som vi sedan kan använda när vi skickar ut vår tidning till hushållen runt parkerna. Då har vi använt det som en artikeln i tidningen och informerar om miljövalet och hur det är bra.
Vad upplever ni för värde i att vara ett klimatpositivt företag/av att vara gröna?	Det är många processer och egentligen är det mest i startgruperna av många projekt, exempelvis upplever vi det som väldigt positivt när vi går ut till markägare och kommun/länsstyrelser: vi har en styrka i att kunna peka på miljöresultat från tidigare parker och ta exempel för hur vi jobbar för bättre biologisk mångfald etc. Det är enklare att få folk att tycka att det blir bra. Det möjliggör för fler projekt i framtiden. Vi får inte fler markägare för att vi jobbar hållbart, snarare att vi tas mer seriöst för att vi jobbar mer långsiktigt, men det kanske mer har att göra med att få positiva beslut från kommuner i vetofrågan. Vi har två mål: hållbarhetsyrapporten rapporteras våran klimatpåverkan och den är negativ, det är den påverkan vi har och även LCA från vindkraftverk som vi har fått från sina underleverantörer. Sedan har vi även det positiva som är från våran produktion eftersom den ersätter annan så skapar den möjligheter att använda förnyelsebar energi, och de slår då ut "sämre produktion".

	Om man tittar historisk sett så har det varit väldigt mycket fokus på den övergripande klimatpåverkan jämfört med andra, och det är ofta det man använder i kommunikation och i arbetet för att ge vindkraftverken fördelar. När man jobbar mer strukturerat och med beslut i processen så fokuserar man på de enskilda valen, och de går mer och mer däremot. Det är en omvandling av branschen, vi på SR har gjort valet medvetet men historiskt sett har analysen bara gjorts och varit ett inlägg i debatten för att visa att vindkraft är bättre än kol, men nu vill man även kunna visa på skillnader i de enskilda valen. Det är otvivelaktigt att vindkraftverk har bland de bästa nyckeltalen, och nu säger man att det ska byggas mycket: då kommer man även kolla på de enskilda valen: skiftet är alltså att inte bara argumentera för vindkraftverk, utan även för de enskilda valen! Vi pratar i samband med denna rapporten om att vi vill ta större risker. t.ex. med ECO-betong.
Hur upplever ni att miljökommunikation påverkar er 'rent generellt'?	Vid saklig debatt gynnar den oss. Det stora intresset för vindkraften motiverar oss och vi tar varje tillfälle att beskriva dess klimatnytta. Dilemma med vindkraft är att det verkligen behövs pga, att den exploaterar området, dåligt med vinning. Nu finns behovet av vindkraft, men få vill ha det hos sig. Behövs mycket infrastruktur för att möjliggöra vindkraft därtill ljud, skugga och diverse störningsmoment. Rädsla för hur deras närmiljö skall påverkas motstånd för vindkraft. Vi söker 270m men upp till ca 300m, tidigare sökte man tillstånd för

	endast 150m. Elektrifiering strategi, leder till ett skifte i hur vi utvinner energi, gör vindkraft till ett mer eftertraktat alternativ då det tillför grön energi. När vi på SR kan visa på miljönyttan kan de dra fördel för. Miljönytta fått en hel annan handlingskraft, mer effektfull nu.
Hur arbetar ni med miljökommunikation inom såväl som utanför verksamheten?	Vi har en uppförandekod, miljö- och hållbarhetspolicy, HSE-plan samt en uppförandekod för leverantörer som tydliggör våra förväntningar på samarbetspartners.
Upplever ni att arbeta 'miljömedvetet' gynnar er verksamhet? Vad tjänar ni på att göra miljömedvetna beslut? och i sådana fall hur?	Att ta miljömedvetna beslut gynnar vår affär då dessa går hand i hand med våra värderingar långsiktighet, effektivitet och omtanke. Genom att agera långsiktigt och ansvarsfullt har vi större möjlighet att få tillstånd för våra parker.
I vilken detalj försöker ni miljöoptimera?	Vindkraftverk är tre stora saker: väg, fundament och elnät. Fundamenten har vi pratat ganska mycket om och ekonomi och miljö tar varandra i hand ganska bra: alla delarna i ett bygge har att varje sak du kan spara sparar både pengar och på miljö. De som har större fundament har färre stag och det är kvalitén på berget som avgör det: vi gör en avvägning mellan att göra ett större bergsförankrat istället för att behöva göra fler gravitationsförankrade. Vägar: där är det en effektiv entreprenör som lyckas flytta jord och berg så få meter som möjligt och köpa så lite krossmaterial som möjligt utifrån. Det är positivt både för miljö och för ekonomi att detta optimeras. De duktiga entreprenörerna gör detta, och det är en viktig parameter som

	de utvärderar: har de denna förmåga. Är du en entreprenör som bygger vägar som finns det vissa krav på massoptimering, så det är en av deras huvuduppgifter att visa på att de har den styrkan och de väljer då en lämplig kandidat. De får en karta med fundamenten utritade, men ibland så finns det inte en färdig plats för fundamenten utan det optimeras baserat på vägentreprenörerna. Det kan delvis handla om att optimera sett till hur miljön ser ut: våta mossar är dåliga att dra en väg igenom, men sedan kan det även handla om var man kan få användning av sådant som bildas: t.ex. kan vi dra vägen så att vi kan få användning av bergskross längs med den.
--	--

Studien gör inga slutsatser vad gällande SRs användning av EPD. Detta eftersom ämnet inte utgör en tillräcklig del av deras verksamhet för att noggrannare kunna granskas och således saknar resultat.

5.3 Beslutsprocesser

I följande avsnitt presenteras resultaten av intervjustudien vad gällande beslutsunderlag för upprättandet av en vindkraftspark. I Tabell 5.13 presenteras frågorna angående planeringsfasen om vilka faktorer som är avgörande vid uppförandet av en vindkraftspark och vad som skiljer olika parker åt sett till underlag.

Tabell 5.13 Planeringsfas.

Fråga	Svar
Vilka faktorer är avgörande inför beslutet att föra upp eller inte föra upp vindkraftspark?	För att en vindkraftspark skall föras upp är det huvudsakliga avgörandet det kommunala vetot. I dagsläget är det ett känsligt politiskt klimat gentemot vindkraft och svårt att få tillstånd. Förr i tiden var det en bättre samsyn för

	vindkraft och det ligger till grund för att det förs in mycket vindkraft idag, men är då på grund av avtal som skrevs för flera år sedan. Artskyddsfrågan har blivit en avgörande faktor emot införandet av vindkraft.
Hur skiljer sig olika vindkraftsparker åt i form av underlag? Vilka förutsättningar är önskvärd respektive inte önskvärda?	Platsen är avgörande för att ta fram ett underlag, men fördelen är att vindkraftverk är inte bundna till en given plats. Förutsättningar kan variera. Ekonomiska aspekter är väldigt styrande och med ny teknik som nya turbiner ökar platsmöjligheterna och leder till färre beroenden. På senare tid använder man sig av skadelindringshierarki för när man ska exploatera område och göra markåtgärder. I första skedet vill man undvika påverkan, därefter minimera, restaurera och till sist kompensera för den påverkan man har. Man pratar då även om en åtgärdstrappa som ett angreppssätt för miljöutvärdering.

Tabell 5.14 presenterar frågor och svar från SR gällande beslutsprocesser och val som gjorts i de två parkerna, Tvinnesheda och Åby-Alebo.

Tabell 5.14 Beslutsprocess.

Fråga	Svar
Hur ser beslutsprocessen ut, vad gällande miljöval, exempelvis val av betong, armeringsjärn, etc? Vad krävs och vilka är de mest fundamentala beslutsunderlagen?	Pris är här fram tills nu varit den enda faktorn. Vem det är som står för underlagen angående besluten är huvudsakligen entreprenörerna som konstruerar vindkraftparkerna, eftersom de besitter mer kunskap inom material, utformning, konstruktion, monterings, m.m. Entreprenörerna ansvarar för att införskaffa sig materialet som krävs. Vi på SR vill i framtiden vara mer involverade i beslutsprocessen och kunna ställa frågor och

	krav på de val som tas eftersom de får en stor påverkan på utsläppen. Vidare vill vi skapa mer medvetenhet hos leverantörerna. Dessutom skall vi vara mer ifrågasättande kring materialval och utvidga deras alternativ för att undersöka möjligheter vad gällande olika faktorer exempelvis, tid, pengar, etc.
Varför har ECO-betong använts i den ena parken, men inte den andra, är det ert val? Vi är ute efter beslut av liknande slag. Har man alternativen presenterade framför sig eller "blir det vad det blir"?	Swerock ville erbjuda ECO-betong i Tvinnesheda för att det var en ny produkt som dom ville få ut på marknaden. Vi var intresserade och i det fallet fick vi den till samma pris som vanlig betong. I Åby Alebo fanns inte denna produkt i diskussionen med betongleverantörerna.
Var det ert val att välja bort en mer miljövänlig (men dyrare) stålleverantör till parken i Tvinnesheda	Det var inget som diskuterades vid under byggtiden.
Har SR sista ordet i strategiska frågor vad gäller olika miljöfördelar?	Vi är delaktiga vid större inköp under byggnationen, och kan ställa krav om vi önskar. Dock styr entreprenören upphandlingen så länge vi inte "lägger oss i".
Hur utvärderar man resultatet från en uppförd vindkraftspark? Ser man till ekonomiska mått eller genererad energi?	Investeringskostnad per producerad kWh är ett vanligt mått.

Intervjun kompletterades även med information om vilka olika kriterier som lagt grunden för projekten. Dessa har sammanställts i tabell 5.15 och är uppdelade i faserna val av plats, miljökonsekvensering som görs för att söka tillstånd hos kommuner och val av leverantör till turbiner.

Tabell 5.15 Miljökonsekvensbeskrivning.

Utvärderingsfaktorer			
Val av plats	Miljökonsekvensering		Val av leverantör
Vindmängd	<i>Positiva</i>	<i>Negativa</i>	Avkastningskrav

Avstånd till bostäder	Samhällsnytta	Naturmiljö	Produktionskrav
Marktillgänglighet	Miljönettoeffekt	Kulturmiljö	Företagsstruktur
	Elproduktion	Skuggor	Marknadsandel
	Globala målen	Ljud	
		Landskapsbild	

Processen med att hitta lämplig plats för ett projekt framkom under intervjun och inleds med att undersöka platser som är möjliga för att resa vindparker. Några viktiga aspekter som undersöks är vindmängd, område i förhållande till annan infrastruktur och miljö samt villighet hos markägare att tillåta projekten.

Nästa steg i processen är att söka tillstånd för projektet och till detta görs en miljökonsekvensering som går igenom positiva och negativa aspekter av att bygga parken. Några positiva aspekter som lyfts för resandet av Åby-Alebo är medförandet av samhällsnyttor såsom arbetstillfällen under byggtiden och underhåll under livstiden. Parkerna bidrar även till positiva miljöeffekter genom att ersätta produktion av el från fossila bränslen och därmed minska utsläpp av växthusgaser. I motsats till de positiva aspekterna finns de negativa miljökonsekvenserna som tas i beaktning inför tillståndssökande. Naturmiljöer och kulturmiljöer undantas därtill från placering av vindkraftverk samt kringytot. Det sker också bedömningar gällande påverkan på djurliv och bostäder i närområdet samt avverkning av skog.

Leverantörsval för turbiner till projektet beskrivs även som en viktig del av processen. Grunden för upphandlingarna i både Tvinnesheda och Åby-Alebo är ekonomisk, vilket mäts i nyckeltal som EBITDA över investerat kapital och total driftkostnad i kr/kWh med mera. För att uppnå dessa krav skall varje enskilt projekt optimeras för att skapa den lösning med lägst kostnad för generering av elektricitet under verkets livstid. De försöker därtill optimera antalet producerade kWh, men inte på bekostnad av lägre kostnad per kWh. Ett viktigt val i detta är att välja en stabil underleverantör som står bakom projektet under dess totala livslängd, från att teckna kontrakt till nedmontering. Dessa tre mål sammanfattas som bäst avkastning, maximal produktion och rätt motpart, och de tre målen kompletteras av en prioritering om låg teknik risk, och eventuella sådana hanteras via längre åtaganden från leverantör via garantier (SR energy, 2022).

I intervjun framkom det också att den beslutsprocess som använts för de båda projekten togs fram i takt med att projektet fortskred och att det idag är ett område där mycket har ändrats. SR menade att energidebatten idag är annorlunda från när parkerna började byggas och att den

har gått från att man jämför vindkraft med annan energiframställning till att man nu istället ska jämföra vindkraftprojekt sinsemellan.

6 Analys

I följande avsnitt analyseras resultatet. Analysen består av Tolkning av resultat från livscykelanalysen. Vidare utreds definitionen av kommunicerbar miljödata. Slutligen utvärderas kraven för tillfredställande besultsunderlag. Det sker också reflektion av resultatet och mellan jämförelse med teorin och praktiken.

6.1 Hur påverkar material- och metodval miljöbelastningen från SRs vindkraftsparker?

Figur 5.6 presenterar kvantitativ data som besvarar frågan “vilken förankringsmetod samt betongtyp är mest gynnsam ur ett hållbarhetsperspektiv”. Det framgår att bergsförankrade fundament har en lägre miljöpåverkan, oavsett vilken typ av betong som väljs. Det innebär att även om anläggningsbetong väljs för bergsfundament blir mängden CO₂eq ungefär hälften så stor jämfört med ett gravitationsfundament med ECO-betong. Ett hinder för att använda bergsfundament är att fundamentstypen är beroende av att det finns möjlighet till bergsförankring på platsen för parken.

I tabell 4.3 kan det utläsas att ECO-betongen ger minskade emissioner, cirka en tredjedel lägre emissioner i livscykelstegen A1-A3 som anläggningsbetong. Livscykelstegen A4-A5 är beroende av densitet och materialens likheter vilket gör materialen likvärdiga och att emissionerna är lika stora. Den exakta minskning av utsläpp som ECO-betongen innebär jämfört med anläggningsbetongen är 33%. Swerock hävdar att ECO-betongen kan minska utsläppen med upp till 50% vilket stärks av studiens resultat.

I figurerna 5.1, 5.2 och 5.3 visar det observeras att betongen utgör cirka 50% av CO₂eq-utsläppen i ett fundament, oavsett förankringsmetod. Vad som också kan utläsas är att siffran för betongens andel av den totala belastningen blir större om anläggningsbetong används. Det visar på hur stor inverkan val av betongtyp har på den totala miljöbelastningen samt hur företag kan arbeta med att minska den siffran.

Med utgångspunkt i ett miljöperspektiv är användning av ECO-betong därmed motiverad, och ett lämpligt alternativ för att minska den totala mängden utsläpp för ett fundament. De främsta hinder som finns för att enbart använda ECO-betong blir den ekonomiska aspekten, som ofta står i konflikt med den miljömässiga. Med bakgrund i detta motiveras användningen av just ECO-betong ur ett miljöperspektiv. De hindren som finns för att använda ECO-betong kan vara ekonomiska faktorer eller brist på tillgången eftersom endast Swerock erbjuder den.

Tabell 5.8 presenterar en överblick över vad konsekvenserna av olika val av förankringsmetod eller betongtyp blir. Där tydliggörs det att både bergsfundament och gravitationsfundament släpper ut cirka 20% mer CO₂eq totalt om valet blir att använda sig av anläggningsbetong

istället för ECO-betong. I tabell 5.8 presenteras det tydligt att ett val av gravitationsfundament resulterar i runt 140% mer CO₂eq utsläpp än ett bergsfundament.

I båda projekten Tvinnesheda och Åby-Alebo är betongproducenterna nära belägna vilket har gett fördelar. Genom att titta i tabell 2 i Appendix ser man att transport av en m³ betong resulterar i 9 kg CO₂eq vid en transport på 56 kilometer. Hade denna transportsträcka istället varit fyra gånger längre hade det istället blivit 36 kg CO₂eq per m³. Detta i sig kanske inte är anmärkningsvärt men när man tar hänsyn till alla fundament i en vindkraftpark och all betong som ingår i de inser man att detta skulle bli en stor miljöbelastning. Istället för att ett bergsfundament i Tvinnesheda ger upphov till 2664 kg CO₂eq via transporten hade denna siffra istället varit cirka 10000 kg CO₂eq. Sett till alla 47 vindkraftverk i parken hade den totala mängden CO₂eq från transport av betong varit runt 470000 kg isåfall och inte 124362 kg som det är nu. Detta tyder på att man gör rätt i att välja leverantörer som är nära belägna vindkraftparkerna som möjligt.

En jämförelse mellan vestas fundament och de fyra från den egna studien visar på att valet av gravitationsfundament och anläggningsbetong resulterar i större utsläpp än vestas standardfall. Dessa värden och fördelningar visualiseras i tabell 5.10 och figur 5.6. Detta kan härledas bero på flera olika saker. En anledningen är att de schablonvärden som vestas räknat med har varit för låga i jämförelse med parkerna i Åby-Alebo och Tvinnesheda. De värden som ligger till grund för skillnaden är sträckor och därmed utsläpp från transport av betong och armeringsjärn, eller den miljödata som har hämtats för samma material. En annan möjlighet är att de egna beräkningar räknar med processer som är uteslutna ur Vestas rapport, såsom markförberedelse och konstruktion av verken på plats.

Beräkningarna för gravitationsfundamenten är jämförbara men stämmer inte helt med de i Vestas rapport. Skillnaden mellan de kan utläsas från tabell 5.10. Det finns flera anledningar till detta konstaterande. Dels är ingående mängden betong och armeringsjärn större i Vestas fundament, dessutom är bultkorgen inräknad i Vestas till skillnad från i denna rapport. Vad som däremot inte räknas med i Vestas rapport är markförebredelserna för fundamenten, vilket för fundamenten i rapporten inneburit en stor inverkan på totala mängden CO₂eq. Hade den processen lagts till hade totala mängden CO₂eq för Vestas fundament blivit högre än vad som redovisats i deras rapport.

En till viktig aspekt av jämförelsen mellan vestas rapport och det egna är resultatet i vald funktionell enhet. I tabell 3.10 finns resultatet i funktionell enhet beroende på om sluthantering räknas med eller inte. Samma värden finns återigen i tabell 5.9 där de används för att ta fram det linjära sambandet i Vestas känslighetsanalys för att ta fram värden för en 30-årig rapport. Genom att räkna bort sluthanteringen som fas i livscykeln ökar värdet i Vestas rapport från 7,3 till 11,43. Detta visar vilket stor positiv påverkan korrekt avfallshantering har

för att minska klimatpåverkan från vindkraftparken, men det försvårar även jämförelsen med den egna livscykelanalysen som saknar dessa värden. Detta är anledningen till att den slutliga jämförelsen inte görs mot resultatet i Vestas analys som är 7,3, utan istället mot 11,43. Den egna datainsamlingen visar på att fundamentens sluthantering har en försumbar påverkan på resultatet, vilket skiljer sig från Vestas beräkningar. SR beskriver att deras sluthantering är beroende på olika tillstånd och att det leder till att fundamentet grävs ned efter sin livstid, med vissa krav på att övre partier ska sprängas bort. Med detta medföljer att den stora majoriteten av fundamentet förblir på platsen för parken och inte kommer kunna återvinnas. I Vestas rapport beskrivs det däremot att olika komponenter av fundamenten återvinns efter livstiden, och att fundamentet då har en roll i att minska det totala klimatavtrycket. På grund av skillnader mellan Vestas analys och den egna gjordes jämförelsen mellan fundamenten endast för faserna extraktion av råmaterial till användningsfas.

6.2 Vad definierar kommunicerbar miljödata?

Under frågeställningar i 1.1.1 presenterades frågan kring vad som definierar kommunicerbar miljödata och under 5.2 relevant resultatet av studien. Att det finns ett värde i att kunna kommunicera miljödata anses självklart, men svårigheten ligger i att förstå värdet. Följande avsnitt ämnar att besvara vad som definierar miljökommunikation och om EPD är ett tillräckligt ramverk för miljöbedömning.

6.2.1 Vad är miljökommunikation?

Samhället efterfrågar en miljöanpassning och det finns ett behov av miljökommunikation. Grunden för miljökommunikation ligger i miljömedvetenhet och förmåga att förmedla till intressenterna. Under litteraturgenomgång bedömdes flera källor (Genç, 2017, Soldinger Almfelt, 2020 och Helker Lundström, 2017) belysa värdet av kommunicera miljöfördelar internt såväl som externt inom organisationen. Verkligheten i SR's fall motiverar påståendet eftersom de själva använder sig av miljökommunikation för positiv opinionsbildning. Att kunna förmedla positiv verkan på klimatet är av hög betydelse för miljömedvetna verksamheter och således ett viktigt argument för framtida tillväxt och uthållighet på marknaden. Dock använder SR sig mer av strategisk marknadsföring av sina vindparker. Detta för att kunna förmedla positivitet om vindkraft för att kunna utöka och bygga fler parker i framtiden.

En likhet mellan tidigare forskning och intervjustudien var värdet av att skapa en dialog angående verksamhetens miljöarbete för att kunna ta tillvara på möjligheterna och uppnå ett miljömedvetet agerande (Soldinger Almfelt, 2020). En olikhet mellan tidigare forskning och intervjustudien var i hur arbete med miljökommunikation anses vara användbart och värdefullt samt att förstå hur det påverkar den egna verksamheten. Detta kan bero på att tidigare forskning visar på fördelarna med miljökommunikation, utan att exemplifiera i

närmare detalj (Genç, 2017). Där talar man mer om effekt och resultat av miljökommunikation än hur verksamheter ska arbeta med den. Följaktligen uppstår ett gap mellan aktörerna som utför miljökommunikation och förstå hur den skall tillämpas på bästa sätt.

För att hantera gapet mellan miljökommunikation i teorin och praktiken finns standardiserade ändamål till ens förfogande. Exempel på detta är det nationella miljömålssystemet som är ett välkänt etablerat system vilket möjliggör blocköverskridande kommunikation (Helker Lundström, 2017). Det är ett sätt för företag såsom SR att kunna kommunicera deras miljödata på ett sätt som begrips av många och således enkelt och effektivt. Eftersom det nationella miljömålssystemet är av samma karaktär som FN globala mål bidrar uppfyllelse av mål i det ena systemet ofta uppfyllelse av mål i det andra.

Marknaden för gröna produkter stiger explosionsartat och allt fler konsumenter börjar intressera sig i hållbarhet (Hartman Group, 2007). En risk med tillväxten är att eftersom företag vill profitera på den sprudlande marknaden kan det leda till greenwashing. När en stor del av arbetet att möjliggöra framtida expansion handlar om att kommunicera miljödata till diverse intressenter finns risken att bristfällig information eller kunskap, förmedlas ett felaktigt intryck av vilseledande karaktär om hur miljövänliga en produkt verkligen är (Delmas & Burbano, 2011). En möjlig förklaring i hur detta kan uppstå i fallet av att bygga en vindkraftspark är, avsiktligt eller ej, att en avgränsar sig från moment av miljöförstöring eller nedtonar dess påverkan. Exempel från studien är Swerock hävdar att deras ECO-betong innebär upp till 50% minskning av utsläpp jämfört med vanlig anläggningsbetong. Trots att resultatet i studien har hamnat i detta spektrum, kan uppskattningen ifrågasättas som missvisande. Tidigare forskning menar att köparen av en viss vara måste vara påläst och inte falla för ogrundade miljöpåståenden (Borin, 2019), vilket skulle kunna vara fallet för SR med ECO-betongen. I detta fall tycks ECO-betongen falla under det som litteraturen nämner som ett rättfärdigt erbjudande (Borin, 2019), eftersom informativ dokumentation finns för att motivera dess miljöpåverkan exempelvis genom en EPD.

6.2.2 Är EPD ett tillräckligt ramverk för miljöbedömning?

EPD används för att kommunicera miljödata och används flitigt över flera olika branscher (Braune, 2011). Något som är positivt med EPD är att det är ett verktyg som möjliggör jämförbarhet mellan olika miljödata på ett standardiserat sätt, vilket stärkts under litteraturgenomgången (Sonnen & Zhuravlova, u.å och DEFRA, 2007). Trots detta kan resultat av en EPD variera kraftigt i flera avseenden beroende på vem som utfört den. Det kan skilja i dels hur ramverket har använts i antaganden och utformning. För att motverka variationer i tillämpning och utöka användbarheten har ett samarbetsinitiativ mellan användare initierats, vars ändamål är att minska tid, kostnader och risken för dubbelarbete av dokumentation (Minkov et al., 2015).

Därtill kan inte all information som presenteras i en EPD antas vara förbestämd och det finns saker som ramverket inte alltid berör. Ett exempel på detta som presenterade under avsnitt 2.3.3 där det redogjordes för att en konsument inte kan skilja på klimattungt stål från Polen och mer miljövänligt stål från Sverige. Följaktligen kan inte alla miljövänliga produkttegenskaper vara synliga och informationens trovärdighet avgörande (Crespi et al, 2005), trots det standardiserat format som EPD ger för en råvara eller komponent (The international EPD System, u.å.a).

Eftersom EPD tillhandahåller miljöinformation för en vara eller en tjänst finns det avvikelser angående vilken vara eller tjänst som betraktas (Hunsager et al., 2014). Det leder till anpassningar av ramverket och variationer i utformningen vilket urholkar den standardiserade jämförbarheten som ramverket avser att tillbringa. Detta stärks av tidigare forskning om EPD som visar att 38% av miljövarudeklarationerna saknade information som krävs av ISO 14025 och 8% bestod av själv motsäggande information (Gelowitz & McArthur, 2017). Denna begränsade jämförbarhet kan förklaras i dålig hantering av PCR och missuppfattningar av miljöinformation. Därmed bör inte EPD miljömärkning användas som det enda beslutsunderlaget för miljöval. Det bidrar till en god grund för en konsument att fatta sina besluts infrån, men måste kunna valideras på ett tillförlitligt och trovärdigt sätt. Beroende på vem som granskar EPD i fråga kan innehållet komma att utsättas för olika strikt verifiering vilket kan leda till misinformation. Kan inte konsumenten själv verifiera informationen måste en väl etablerad konvention kontaktas för att granska produkten eller varan. En risk med ramverket blir således om utformning och verifiering alltid sker lika strikt och enligt samma förutsättningar, för vem granskar granskarna?

6.3 Vilka aspekter är viktiga för att som företag ta hållbara beslut om energiprojekt?

Kumar et al (2016), Wu et al (2019) och Lombardi & Mendecka (2019) menar alla på att de metoder som används idag för att utvärdera både energiproduktion och för att jämföra olika vindkraftsprojekt kommer tillkorta. Med större fokus på hållbar energiförsörjning måste även beslutsprocesserna bli mer komplexa för att räkna in samtliga faktorer, och att det blir samtidigt viktigt att kunna vikta dessa mot varandra. Källorna (Kumar et al, 2016, Wu et al, 2019 och Lombardi & Mendecka, 2019) menar att de negativa effekterna från vindkraftindustrin behöver både utvärderas och kvantifieras, och ett sätt att uppnå detta är genom att använda sig av de kvantifierings- och viktningmetoder som redogörs för i Wu et al (2019).

Resultat från intervju med SR i tabell 5.13 och 5.14 visar på att många av de aspekter som Wu et al (2019) menar är viktiga faktiskt finns med i SR beslutsprocess, men inte på samma sätt

som artikeln presenterar dem. I både planeringsprocessen och beslutsprocessen har teknologiska-, miljömässiga-, ekonomiska-, sociala fördelar samt vindtillgången undersökts och i många fall undersökts, men de har inte gemensamt legat till grund för de beslut som tagits. Även om många av de viktiga faktorerna har undersökts har de inte sammanställts i den multidimensionella analys artikeln redogör för, och subjektiva och objektiva aspekter har inte heller viktats mot varandra. Det är istället en ekonomisk målsättnings som styrts, där hög teknisk effektivitet och låga kostnader främjats. Övriga dimensioner som har utvärderats har istället gjorts för att söka miljötillstånd för byggnationer än för att användas för att utvärdera parkerna.

Mello et al (2020) menar på att livscykelanalyser är ett viktigt verktyg att använda för att identifiera utsläppsdrivare för olika faser under livstiden för ett vindkraftverk. Där identifieras olika aspekter under framställningen som något med en stor påverkan på de totala utsläppen, vilket även styrks i resultatet från studien. Fördelning av utsläpp för betongen och armeringsjärnet i fundamenten finns sammanställda i tabell 5.9 vilket tydligt visar på att produktionsstadiet är den främsta utsläppsdrivaren. Det blir därmed viktigt att utvärdera leverantörers processer och arbeten samt kartlägga produkters utsläpp ur ett livscykelperspektiv för att minska den negativa klimatpåverkan från ett vindkraftverk. Från intervju och kommunikation med SR har det framgått att det funnits en urvalsprocess för leverantörer utifrån målen med projektet, men återigen har dessa oftast haft ett ekonomiskt fokus.

Samtidigt finns det en skillnad mellan den vikten Mello et al (2020) även lägger på logistiska aktiviteter såsom transport och de värden som uppmätts under beräkningar. Författarna menar på att detta är en utsläppsdrivare under livslängden för ett vindkraftverk, men påståendet stärks inte av värdena för stadiet i tabell 5.7, där transporten uppgår till en nästan försumbar mängd.

Den ekonomiska målsättningen är även den som har kommunicerats till inköpare och underleverantörer. I fallet där ECO-betong har köpts in till Tvinnesheda har det inte motiverats av miljömässiga faktorer, utan istället att det varit på önskan av leverantören som erbjöd produkten till ett lägre pris. SR accepterade en större risk genom att använda det relativt obeprövade materialet. Resultatet av valet har däremot fått en stor påverkan på att minska det totala utsläppet för ett fundament men det var egentligen inte ett mål, även om det är något som SR idag tycker är viktigt och kollar på att använda mer i framtida projekt.

Att enbart använda ekonomiska målsättningar vid kommunikation om miljöförbättringsförslag innebär att det monetariseras. En konsekvens kan vara att SR tar beslut som tenderar att prioritera ekonomiska målsättningar framför hållbara. Genom att istället

presentera förslagen utan monetarisering skulle potentiellt fler miljö förbättringsförslag gå igenom enligt Hummel & Hörisch (2020) studie.

6.3.1 Hur involverade behöver SR vara för att påverka resultatet?

Behovet av att ha god kommunikation med inblandade aktörer är stort och bidrar till bättre koll och uppdatering kring den klimatpåverkan som uppstår vid arbete. SRs kommunikation med sina leverantörer har gjort att de fått en bättre bild av den påverkan som kan komma att uppstå vid olika val vid tillverkning samt underhåll av vindkraftverken. Som beskrivs under 5.3 är SR delaktiga vid större beslut, men kan fortfarande vara delaktiga i mindre om detta önskas. Under 5.3 förklaras även att SR har övergripande koll på hela byggnationens process men inte detaljerat involverade i alla steg. Detta bidrar till att entreprenörerna själva har möjlighet till att styra över områden inom deras expertis vilket i många fall kan vara en fördel då dessa har bättre koll vid områden det berör. När detta ställs emot studien av Mello et al (2020) blir det tydligt att det krävs ett omfattande arbete för att minska utsläppen för ett projekt, och att mycket av det som driver utsläppen sker hos leverantörer. Därmed blir det viktigare att utvärdera leverantörernas processer och produkter ur ett hållbarhetsperspektiv för att se till att de är i enlighet med hållbarhetsmål. Att endast kommunicera övergripande mål och lita på att leverantörer följer fungerar under projekten för Åby-Alebo och Tvinnesheda där målen endast varit ekonomiska. Enligt Mello et al (2020) blir det emellertid viktigt för SR ta en mer aktiv roll i projekt och beslut på olika nivåer när målsättningen innefattar miljömässiga- och hållbarhetsaspekter, för att kunna fatta beslut som påverkar resultatet positivt.

7 Diskussion

I detta avsnitt presenteras rapportens styrkor och svagheter i avseende på metodanvändning, avgränsningar och avvägning. Vidare presenteras relevansen av detta arbete i relation till framtida forskning och hur denna rapport kan bidra till samhället.

7.1 Styrkor och svagheter i studien

I följande avsnitt kommer arbetet att diskuteras och utvärderas. Det som kommer att behandlas är diverse styrkor och svagheter med arbetet samt diskussion kring utformning av rapporten.

7.1.1 Syfte och metodval

LCA metodiken var användbar och bidrog till ett tydligt ramverk för arbetet. Avgränsningen till att göra livscykelanalysen för fundamenten var viktiga för omfattningen och för att synliggöra klimatutsläppen för olika val av betong. Trots avgränsningar blev det uppenbart att det krävdes stora mängder data som arbetet blev beroende av, vilket stundtals fördröjde processen. Eftersom de egna LCA-beräkningarna endast utfördes på fundamenten finns det där stora osäkerheter kring att likställa detta med hela vindkraftverkets klimatpåverkan. Kompletteringen med Vestas rapport kan ge en överblick om hur det skulle kunna vara men då inte egna beräkningar utfördes kan det resultatet inte anses lika trovärdigt som för fundamenten.

Trots att LCA har många fördelar bör det finnas en medvetenhet om hur omfattande de kan bli för att så rättvist som möjligt spegla verkliga utsläpp. Det är å ena sidan positivt att man tar hänsyn till stora mängder data, men å andra sidan uppstår svårigheter i att korrekt databearbetning. Det blev tydligt att det tar tid att få tillgång till data och att resultatet kan aldrig bli bättre än ingångsdatan. Vidare kan modellen alltid kan göras mer omfattande vilket innebär att det istället handlar om att göra avvägningar för att få ett tillfredsställande resultat som på ett "tillräckligt" bra sätt kan representera situationen.

Datainsamling i form av litteratur- och intervjustudie för att besvara på de kvalitativa frågeställningarna är väl anpassad efter syfte, men metoden för att uppnå resultatet var inte kartlagd från början. Valet att använda sig av semistrukturerade intervjuer innebar även att det är svårt att gå igenom och utvärdera intervjustrukturen på samma sätt som andra metodval. Samtidigt växte frågeställningarna som var relevanta för intervjustudien fram under arbetets gång vilket betyder att de inte har gått igenom samma nivå av planering som övriga rapporten. Det finns också en fördel med att färdigställa intervjustrukturen vid ett senare tillfälle. Det är att det är lättare att veta vilka frågor som är mer eller mindre relevanta för resultatet så att intervjustudien kan jämföras med övrig data på ett bättre sätt. På så sätt kunde stora delar av litteraturstudien som genomförts avgöra hur den semistrukturerade intervjun skulle utformas.

7.1.2 Intervjuer och urval av intervjupersoner

Under studiens gång har flertalet intervjuer genomförts för att samla information om processer och data för olika aktiviteter. Intervjuerna har också syftat att besvara mer kvalitativa frågor. Personer med olika roller på dem berörda företagen har intervjuats vilket har lett till grundläggande förståelse inom de områden som studerats. Exempelvis har det varit en styrka att Kommunikation- och Hållbarhetsansvarig på SR svarat på frågor angående miljökommunikation, och att projektchefen på Veidekke intervjuats för frågor om fundament i Tvinnesheda. Personerna som tagits kontakt med har varit rekommenderade av SR vilket stärker att informationen som tillkommit ur intervjuerna är trovärdig.

Samtliga intervjuer har varit semistrukturerade vilket har bidragit till att informanterna kunnat tala fritt och tillägga information som de ansett vara relevant till ämnet. Genom att använda denna struktur har mer information samlats in eftersom informanterna inte varit tvungna att hålla sig till tydligt avgränsade frågor. En risk med detta intervjuformat är att det kan leda svårigheter vid tolkning av informanters olika typer av svar på samma fråga. Ytterligare risk är att informanterna tar intervjun i en oönskad riktning och att irrelevanta svar förmedlas.

En svaghet med intervjuerna är genomförandet med avseende på förarbete och fördelning av ansvarsområden. Fördelning av ansvarsområden under intervjuerna hade kunnat fördelas på annat vis för att minska risken att frågor inte ställs, eller att svar inte antecknas. Samtliga intervjuer spelades inte in vilket kan ha lett till att väsentlig information missats. Information kan även ha missats på grund av den mänskliga faktorn när svaren skrevs ned direkt under intervjuerna vilket kunde ha undvikits vid inspelning.

7.1.3 Avgränsningar

Beslutet att endast analysera två vindkraftsparker som båda tillhör SR är en nödvändig avgränsning för att arbetet skulle ha ett tydligt fokus. Skulle fler aktörer varit inblandade samt att fler vindkraftsparker hade analyserats skulle arbetet varit för omfattande och tagit mer tid än vad ett kandidatarbete kan omfatta. Beslutet att enbart fokusera på fundamenten ledde till att det inte blir någon komplett analys gällande miljöpåverkan som skapas av hela vindkraftverket. Betongtyperna avgränsades till anläggningsbetong samt ECO-betong där Swerock var producenten av båda. Om flera olika betongtyper och från olika leverantörer hade varit en del av studien hade det med största sannolikhet lett till ett annat resultat och fler jämförelser mellan olika tillverkningsmetoder hade kunnat analyserats. Dock ansågs detta vara för omfattande vilket var anledningen till avgränsningen. Däremot har resultaten vad gäller fundamentberäkningar som gjorts i denna rapport sammanställts med Vestas redan befintliga rapport vilket har åskådliggjort en helhetsbild av hela vindkraftsparker och vilket CO₂eq utsläpp de medför.

Hade data för fundament från fler entreprenader inhämtats hade det eventuellt kunna leda till en mer generell och representativ bild av CO₂eq från fundament. Baserat på intervjuer och annan litteratur har det framkommit att fundament produceras av många entreprenader samt i många olika konfigurationer.

Det finns också brister i att endast begränsa sig till GWP och ingen annan av miljöpåverkanskategorierna. Genom detta val finns potentiell risk att resultatet vid beräkningarna i själva verket är missvisande. Bakomliggande syftet är att utreda vilka val som ska göra för att minimera sin påverkan på miljön, men det som enligt beräkningarna är det mest gynnsamma behöver inte nödvändigtvis spegla verkliga bilden. Det skulle kunna vara så att andra miljöpåverkanskategorier drabbas värre genom att använda bergsfundament och ECO-betong, men detta perspektiv är något som rapporten bortser från vilket innebär en brist.

Metoden "cut off" har använts för att begränsa mängden data för att minska irrelevant och överflödigt information. Genom att enbart fokusera på det som gör en betydande skillnad blir det en röd tråd genom arbetet för att det tydligt visa vad som har påverkat resultatet. Däremot kan det alltid finnas en risk när det beslutas att bortse från information till ett resultat. För att få en mer komplett bild ska alla delar som har en påverkan räknas med, vilket det i detta fall inte görs. Det är till exempel tänkbart att sluthantering (C1-C4) med demolering innebär stor miljöpåverkan, men genom den avgränsning som gjorts bortses denna tänkbara påverkan. En positiv aspekt med denna metod är däremot att mängden information som bortses har en gräns som inte får överskridas, vilket ser till att fortfarande få ett rimligt resultat.

7.1.4 Litteratur

Litteraturen inom området LCA har varit tillförlitlig eftersom det är en beprövad metod som används av många, exempelvis inom miljövarudeklarationer. Andra källor som använts har hämtats genom databaser som Google Scholar och Scopus vilket har bidragit till att materialet har en hög tillförlitlighet och trovärdighet. Allt material som har hämtats har blivit verifierat av minst en annan källa, antingen från intervjuer eller från andra skrivna källor. Detta har lett till att studien anses vara trovärdig och rättvisande.

En potentiell svaghet med litteraturen är källan Wu et al (2019) som är en stor del av teorin inom området beslutsprocesser. Anledningen är att källan kommer i från Kina som har ett kontrollerade statsskick vilket kan påverka beslutsprocessen i det landet samt författarnas åsikter. Informationen om beslutsprocessen som beskrevs av Wu et al (2019) har dock blivit verifierad av andra källor vilket styrker trovärdigheten.

7.1.5 Tillförlitlighet och trovärdighet

En styrka med LCA och miljökommunikation är att när användningen ökar leder det till att data blir mer lättillgängligt för granskning och att fler kan få större insikt i andras

verksamheter, och således i sin egen verksamhet. Nackdelen med användningen av LCA och miljökommunikation är att de kan se avsevärt annorlunda ut, trots analys av exakt samma produkt. Detta är till följd av att antaganden och avgränsningar kan kraftigt påverka det slutgiltiga resultatet och således även jämförbarheten, trots användningen av samma ISO-standarder.

Dessutom är det först i senare tid som miljöfördelar har fått sin utmärkelse och tenderar att växa i framtiden, vilket är positivt i relation till vart vi är på väg, men negativt i det avseende att vi möjligtvis inte har tillräckligt med insikt i ingående komponenter och datan kan uppfattas som otillräcklig. Detta kan exempelvis bero på att leverantörer inte har samma ambitionsnivå när det kommer till miljöfrågor och brist på andra leverantörer minskar handlingsförmågan att ställa miljökrav.

7.1.6 Generaliserbarhet

Att använda ett LCA perspektiv som utgångspunkt för att jämföra de två förankring metoderna är en fördel för att vidare kunna generalisera arbetet då LCA är en standardiserad metod som gör det möjligt att jämföra produkters miljöpåverkan inom olika branscher. Vidare har miljökommunikation och beslutsfattning inom företag studerats genom intervjuer och litteratursökningar vilket är ett arbetssätt som kan användas inom fler områden.

Att undersöka olika materialvals miljöpåverkan kan användas inom flera olika områden, vilket leder till att studiens upplägg kan användas på många andra produkter. Att kartlägga hela livscykeln för att sedan utföra beräkningar för att spåra vart utsläppen i produktkedjan kommer ifrån är ett vedertaget arbetssätt för att förbättra produkter ur ett miljöperspektiv. Därför anses studien tillvägagångssätt kunna appliceras på en bred variation av andra produkter, exempelvis en annan vindkraftspark. Hade studiens metod använts vid ett liknande arbete för en annan vindkraftspark hade resultatet kunnat bli likt denna studies, men är inget som kan fastställas.

Om en liknande studie hade gjorts med samma avgränsningar hade utfallet sannolikt varit väldigt likt. Osäkerheter uppstår i de antagande som gjorts vilket beroende på aktuella antagande skulle kunna ha stor inverkan på resultatet.

Resultatet från den litteraturstudie som genomförts för att besvara på frågställningar om miljökommunikation och hållbara beslutsprocesser är låst till att endast vara applicerbart på den specifika studien. Litteraturen täcker in diskussioner om miljökommunikation och energibranschen som övergripande teman, vilket sedan har använts för att jämföra med resultatet från intervjustudien och livscykelanalysen.

7.1.7 Data och beräkningar

En brist vid beräkningarna i livscykelanalysen är att utgångspunkten varit vad ett fundament krävt i exakt materialmängd. Mängden multiplicerades med antalet fundament, vilket antar att varje fundament i en vindkraftspark använder lika mycket resurser och att det saknas svinn. I vissa fall presenterade leverantörerna av de olika komponenterna totala levererade mängder till parkerna men dessa värden stämmer inte överens med summan av de enskilda verkens resursåtgång som förseddes från samma leverantör. Tar man hänsyn till de totala mängder av en komponent som levererats till en park skulle mängden CO₂eq per fundament bli större än de som presenterats i resultat. Ett exempel på där det funnits en sådan diskrepans är i volymen betong i ett fundament i Tvinneskeda där leverantörerna i en tidig intervju sa att det totalt var 240 m³, men en leveranssedel visade på 246 m³ för endast de mittersta och det övre lagret. För det undre lagret antogs en volym på 50 m³ enligt ett uppskattat medelvärde som hämtats i intervju med byggtreprenören i Åby-Alebo, vilket tog det totala värdet till 296 m³. Den totala mängden betong som levererats till parken är 15 500 m³ men summan av betongvärdena för de 47 verken blir då 13 959. Det innebär antingen att det medelvärde som antagits per fundament har varit för lågt eller att det ha funnits ett visst svinn som inte framkommit i intervjuerna.

Det finns även en svaghet i antagandet att siffrorna som erhöles från Veidekke vad gäller markförberedelser går att sprida ut jämnt över antalet fundament. Från Veidekke presenterades bara totala mängden dieseltimmar för hela vindkraftsparken och inte för ett enskilt fundament. En möjlig anledning till detta är att vissa processer antas vara fasta så att det krävs mindre diesel timmar per fundament men det skulle även kunna vara tvärtom så att det krävs mer diesel timmar per fundament. Dessutom finns en stor osäkerhet när det gäller vad markförberedelserna faktiskt innefattar. En avgränsning var att endast göra beräkningar på sådant som var direkt hänförligt till fundamenten men på grund av bristen på data går det inte att säkert fastställa att dieseltimmarna som endast gjorde det.

Det råder även en stor osäkerhet kring antagandet att antalet dieseltimmar för maskinerna vid markförberedelser blir de dubbla om det byggs gravitationsfundament istället för bergsfundament. Det är baserat på faktumet att volymen för gravitationsfundament är ungefär dubbelt så stort som för bergsfundament. Vad som däremot inte går att fastställa är att förhållande mellan dieseltimmar och volym är linjärt. Eventuellt skulle processerna förknippade med att förankra i berget kunna överstiga de för att förbereda marken vid gravitationsfundament. Det påverkar däremot inte slutsatsen att bergsfundament ger ifrån sig mindre mängd CO₂eq än gravitationsfundament. Detta eftersom siffrorna för CO₂eq från A1-A4 för betong och armeringsjärn tillsammans vid gravitationsfundament är större än markförberedelser, betong och armeringsjärn för bergsfundament.

När det kommer beräkningarna som skedde för hela vindkraftsparken råder det osäkerheter. Funktionen för att räkna fram utsläppet per år för ett verk med en livstid på 30 år genomfördes baserat på en linjär uppskattning av Vestas känslighetsanalys och kan utläsas i figur 5.5. En svaghet med detta samband är att punkten som räknades fram på den approximerade linjen(30.3,6) inte ligger på den linje som approximeras när samma punkten räknas med. Skillnaderna mellan de två funktionerna och hur de påverkar resultatet kan utläsas i tabell 7.1. Det framräknade värdet för utsläpp utifrån den nya linjen resulterar i en skillnad i utsläpp på drygt 26 000 kg CO₂eq, vilket är en minskning med ca 0,9%. Detta visar på hur antaganden och avrundningar kan få en stor effekt på slutresultatet.

Tabell 7.1 Känslighetsanalys för approximering av linjärt samband för 30-årig livstid.

Ekvation	Korrelationsvärde (R)	Utsläpp i gram CO ₂ eq/kWh	Utsläpp totalt kg CO ₂ eq per turbin per år
$y = -0,38x + 15$	- 0,99	3,6	2 837 708,331
$y = -0,39 + 15,2$	-1	3,5	2 811 571,544

En osäkerhet kring känslighetsanalysen ligger i det att siffran för CO₂eq per kWh inte har tagit hänsyn till att mer miljöbelastningar sker vid användningsfasen när livslängden går från 20 till 30 år. I praktiska fallet är det sannolikt att underhållande ökar under senare delen av den tekniska livslängden hos vindkraftverket. Detta har bortsetts från vid känslighetsanalysen, vilket lett till en potentiell brist.

För att vidare undersöka reliabiliteten hos resultatet genomfördes därtill en känslighetsanalys två nyckelvärden för beräkningarna, elproduktionen per turbin och år samt utsläppet per producerad kWh som listas i tabell 7.1. Värdet för elproduktion per turbin om året som i rapporten angivits till 14 692 MWh. Det gjordes avrundningar av entalet från två decimaler åt båda håll och dess påverkan på det slutliga resultatet utläses i tabell 7.2. Resultatet från känslighetsanalysen visar på att en avrundning av detta värde får en försumbar påverkan och stärker tillförlitligheten till resultatet.

Tabell 7.2 Känslighetsanalys av avrundat värde för elproduktion för 30 år.

Avrundning	Värde med avrundning	Utsläpp totalt kg CO ₂ eq per turbin per år med livstid	Felmarginal

+0,49	14 692,49	2 837 802,973	+0,03 ‰
-0,50	14 691,50	2 837 611,758	-0,04 ‰

Liknande analys av avrundningsfel för utsläppet per producerad kWh med tillägg av två decimaler för en turbin med 30 års livslängd framgår i tabell 7.3. Avrundningen av detta värde får en betydligt större påverkan på tillförlitligheten hos resultatet, och innebär en felmarginal på +17 000 och -20 000 kg CO₂eq per turbin och år. Det visar på att det finns svagheter med beräkningarna som har gjorts och därmed också delar av studiens resultat.

Tabell 7.3 Jämförelse av linjära approximationer för känslighetsanalys av livslängd.

Avrundning	Värde med avrundning	Utsläpp totalt kg CO ₂ eq per turbin per år med livstid	Felmarginal
+0,049	7,649	2 856 004,082	+0,6 %
-0,050	7,550	2 819 039,197	-0,7 %

7.2 Bidrag till ämnesområdet

Olika materialval och deras miljöpåverkan är högst relevant i dagens samhälle till följd av klimatförändringarna. Vad studien hoppats på att uppnå är att bidra med nya insikter för företag och entreprenörers framtida beslut gällande formatering av fundament för vindkraftverk. En annan ambition har också varit att utreda hur miljökommunikation används och huruvida EPD:er är tillfredställande nog för kommunicera miljödata. Slutligen har studien velat tillföra och vägleda hur företag kan resonera kring beslutsunderlag. I detta kapitel presenteras kunskap som studien har bidragit till samt om resultatet styrker eller motsäger tidigare kunskap inom ämnet.

7.2.1 Kunskap som studien bidragit med som tidigare saknats

Studien har eftersträvat att utvärdera olika materialval vid olika metoder för förankring av vindkraftverk. Genom att undersöka vilka val som gjorts i befintliga platser och utvärderat deras styrkor och svagheter har arbetet underlättat för framtida studier inom ämnet som kan komma att utföras. Studien har också bidragit med material för att kunna vägleda beslutsfattare hur man kan använda miljödata för att ta hållbara beslut. Studerandet av ECO-betong som är en relativt ny produkt bidrar med ny kunskap som tidigare inte funnits inom området och som kan utnyttjas vid vidare studier.

Arbetet har även bidragit med ökad förståelse för olika förankringsmetoder för landsbaserade vindkraftverk. Jämförelser mellan gravitationsfundament och bergförankrade fundament har lett till en större förståelse för vilken miljöpåverkan respektive förankringsmetod kan ha och vilken som bör väljas när det är möjligt, vilket även är fallet för anläggningsbetong samt ECO-betong.

Vidare har resultatet gällande hur SR kommunicerat miljöfördelar visat att de använder sig av en strategisk metod för att skapa en opinionsbildning. För att företaget ska få tillstånd av kommuner att bygga nya parker måste de kommunicera fördelarna med vindkraft på ett sätt så att det övertygar på ett tydligt sätt vilket sker genom hållbarhetsrapporter, tidningar och via sin hemsida. Även vikten av helhetsbilder och hållbara beslut har redogjorts för, både ur tekniska synvinklar såväl som ramverk företag kan använda sig av.

7.2.2 Resultat som styrker eller motsäger tidigare studier

Att optimera användningen av resurser och välja material med mindre miljöbelastning leder till en mindre miljöpåverkan vilket tidigare studier har visat. Till skillnad från Vestas LCA studie har denna studies syfte varit att undersöka fundamentets miljöpåverkan och sedan slagit samman det med Vestas LCA. Mängden CO₂eq från fundamenten som beräknats fram i denna rapport är jämförbara med fundamenten i Vestas rapport även om siffrorna inte helt och hållet överensstämmer. Detta leder till att resultatet för hela vindkraftverket inte kan anses vara helt trovärdiga då inte samtliga delar av vindkraftverket analyserats men för fundamentet anses de trovärdiga.

Resultatet som framgick från studien med avseende på kommunikation av miljöfördelar kan styrkas med andra studiers resultat då miljövänliga företag får positiva reaktioner i form av nya tillstånd, för sitt hållbara arbete. Det som inte har framkommit ur denna studie är SR's användning av EPD:er men att de kommunicerar miljöfördelarna via sin hemsida och hållbarhetsrapporter istället.

8 Slutsats

Studien visar att olika typer av förankringsmetoder ger olika resultat med avseende på klimatpåverkan. Bergsfundament är att föredra framför gravitationsfundament ur perspektivet att minska utsläpp av CO₂eq. ECO-betong är ur samma perspektiv också bättre i jämförelse med anläggningsbetong. Genom att använda bergsfundament ihop med ECO-betong blir mängden CO₂eq per producerad kWh lägre för en hel vindkraftspark, oavsett om tekniska livslängden är 20 eller 30 år.

Att förmedla miljöfördelar är ett viktigt verktyg för att förbättra företags arbete för att uppnå miljömålen och minska klimatpåverkan. Om kunskap finns för att tolka EPD är det ett bra verktyg att använda eftersom EPD innehåller all miljödata för produkten i fråga. Dessutom ger EPD ett strukturerat sätt att kommunicera miljödata, vilket ger andra en chans att utnyttja informationen eftersom den är jämförelsebar till följd av användandet av ISO standarder. Till följd av detta anses EPD vara ett tillfredsställande ramverk för miljöbedömning om alla inblandade har kunskapen att tolka och förstå resultatet.

För att beslut kring energiprojekt, som vindkraftverk, ska vara hållbara krävs det att hänsyn tas till flertalet aspekter. Det krävs att undersöka vilken påverkan potentiella processer kan ha och eventuella konsekvenser som detta kan ge. Kunskap om all påverkan som ett projekt kan ha, från vagga till användningsfas, är nödvändigt för att kunna göra beslut som håller i längden. Kartläggning av flertalet aspekter och mål, som ofta står i konflikt med varandra, är en komplex process och arbetet kan därför gynnas av att använda teoretiska ramverk. Ett lämpligt verktyg är då att använda sig av ett multikriterieanalys för att kunna vikta de olika aspekterna beroende på hur mycket de bidrar till målsättningen.

När det kommer till planering och beslutsprocess för framtida vindparker rekommenderas SR att använda en metod för att väga samman fler aspekter än för Tvinnesheda och Åby-Alebo. Ett verktyg för att göra det är MCA där både objektiva och subjektiva aspekter kvantifieras och viktas beroende på hur viktiga de är för att uppnå målsättningen. Det rekommenderas också att SR förändrar sin målsättning till att också ha miljömässiga mål som inte är i jämförelse med annan energiproduktion utan vindprojekt emellan. Sammanfattningsvis är vindkraftverk en förnybar energikälla med god potential om att ha låg klimatpåverkan. Genom fortsatt arbete kring förankring, gällande material- och metodval för att minska klimatpåverkan och de globala utsläppen, tas ännu ett steg i rätt riktning mot en mer hållbar framtid.

9 Källförteckning

- Anshelm, J (2013) *Kraftproduktion och miljöopinion: Kritiken av vindkraftens miljöpåverkan och den som riktats mot övriga kraftslag*. Linköpings universitet.
- Arora, G. (2020) *Causes and Effects of Global Warming*. European Journal of Molecular & Clinical Medicine, 7(06).
- Baumann, H., & Tillman, A. M. (2004). *The Hitch Hiker's Guide to LCA: An orientation in life cycle assessment methodology and application*. Studentlitteratur.
- Bengtsson, J. (2016). *Surf the green wave or drown? How EPDs are changing B2B sales conversations*. edgeenvironment
<https://edgeenvironment.com/epds-changing-b2b-conversations/>
- Borin, N (2019). *Greenwashing*. Berkshire Encyclopedia of Sustainability
- Braune, A., Kittelberger, S., & Kreissig, J. (2011). *The EPD 2.0 concept – a new way of integrating life cycle management*. PE International
https://uni-obuda.hu/users/grollerg/LCA/hazidolgozathoz/Environmental_Product_Declaration.pdf
- Bryman, A. and Bell, E. (2015). *Business research methods*. Oxford: Oxford Univ. Press.
- Crespi, John & Marette, S.. (2005). Eco-labelling economics: Is public involvement necessary?. Environment, Information and Consumer Behaviour. 93-109.
https://www.researchgate.net/publication/313622591_Eco-labelling_economics_Is_public_involvement_necessary
- Department for Environmental, Food and Rural Affairs. (2007). *Changing behaviour through policy making*.
<https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20130402151656/http://archive.defra.gov.uk/sustainable/government/documents/change-behaviour-model.pdf>
- de Freitas Netto, S. V., Sobral, M. F. F., Ribeiro, A. R. B., & da Luz Soares, G. R. (2020). Concepts and forms of greenwashing: A systematic review. Environmental Sciences Europe, 32(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-0300-3>
- Delmas, M. A., & Burbano, V. C. (2011). The drivers of greenwashing. California management review, 54(1), 64-87. <https://doi.org/10.1525/cmr.2011.54.1.64>

-Ekholm, T (4 juni 2012) *Betong och stål sätter grunden för vindkraften*. Energinyheter
https://www.energinyheter.se/20190804/7060/betong-och-stal-satter-grunden-vindkraften?fbclid=IwAR0Fks8u4IE8Ty7eFmbbdv0HgJ2r1_W1I21qIAY3ckjqZV4BR_2eUDfUPYY

-Energimyndigheten. (2021a). *Drivmedel 2020: Redovisning av rapporterade uppgifter enligt drivmedelslagen, hållbarhetslagen och reduktionsplikten* (ER 2021:29).
<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/drivmedelslagen/vaxthusgasutslapp/>

-Energimyndigheten. (2021b). *Åtgärder för lokal nytta vid vindkraftsetablering*.
https://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/strategi-for-hallbar-vindkraftsutbyggnad/atgarder-for-lokal-nytta-vid-vindkraftsetableringar_20210218.pdf

-Gelowitz, M.D.C & McArthur, J.J. (2017). *Comparison of type III environmental product declarations for construction products: Material sourcing and harmonization evaluation*. Journal of Cleaner Production. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.133>

-Genç, R. (2017). *The importance of communication in sustainability & sustainable strategies*. *Procedia Manufacturing*, 8, 511-516. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.065>

-Hartman Group. (2007). *Sustainability from a consumer perspective*.
https://www.fmi.org/docs/sustainability/hartman_group_sustainability_fmi_task_forceBEFD066AFCD9.pdf?sfvrsn=2

-Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., & Olsen, S. I. (2018). *Life cycle assessment*. Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3> Book.

-Helker Lundström, A. (2016) *Att påbörja ett strukturerat miljöarbete i varuproducerande företag*. Sverigesmiljömål
<https://www.sverigesmiljomal.se/contentassets/4704d703d58b4496b109bf1c7ffc9180/lathund-varuproducerande-foretag.pdf>

-Helker Lundström, A. (2017) *Redovisning av uppdraget: En nationell miljömålssamordnare för näringslivet*. Statens Offentliga Utredningar.
<https://sverigesmiljomal.se/contentassets/4704d703d58b4496b109bf1c7ffc9180/redovisning-uppdrag-nationell-miljomalssamordnare-naringsliv-20180405.pdf>

-Hummel,P.,& Hörisch, J.(2020). “It’s not what you say, but how you say it”: How the provision of qualitative, quantitative and monetary environmental information influence companies’ internal decision making. *Journal of cleaner production*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620322940>

-Hunsager, E. A., Bach, M., & Breuer, L. (2014). *An institutional analysis of EPD programs and a global PCR registry*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 19(4), 786-795. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0711-8>

-Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., & Bansal, R. C. (2017). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 596–609. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.191>

-Mendecka, B., & Lombardi, L. (2019). Life cycle environmental impacts of wind energy technologies: A review of simplified models and harmonization of the results. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 111, 462–480. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.019>

-Minkov, N., Schneider, L., Lehmann, A., & Finkbeiner, M. (2015). Type III Environmental Declaration Programmes and harmonization of product category rules: status quo and practical challenges. *Journal of Cleaner Production*, 94, 235–246. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.012>

-Mello, G., Ferreria Dias, D. & Robiana, M. (2020) Wind farms life cycle assessment review: CO2 emissions and climate change. *Energy Reports*, 6(214–219), 214–219. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.11.104>

-Naturskyddsföreningen (2021). *Rapport: Så kan hållbar vindkraft byggas ut i Sverige* <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/ny-rapport-sa-kan-hallbar-vindkraft-byggas-ut-i-sverige/>

-Naturskyddsföreningen (2022). *Hur fungerar vindkraft?* <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/hur-fungerar-vindkraft/>

-Naturvårdsverket (u.å.a). *Sveriges miljömål*. <https://www.naturvardsverket.se/om-miljoarbetet/sveriges-miljomal/>

-Naturvårdsverket (u.å.b). *Vindkraft*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/vindkraft/>

-Manzini, R., Noci, G., Ostinelli, M., & Pizzurno, E. (2006). Assessing environmental product declaration opportunities: a reference framework. *Business Strategy & the Environment (John Wiley & Sons, Inc)*, 15(2), 118–134. <https://doi.org/10.1002/bse.453>

- Razdan, P., Garret, P. (2019). *Life cycle assessment of electricity production from an onshore V150-4,2MW wind plant*. Vestas Wind Systems A/S
<https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/sustainability/reports-and-ratings/lcas/LCA%20of%20Electricity%20Production%20from%20an%20onshore%20V15042MW%20Wind%20PlantFinal.pdf.coredownload.inline.pdf>

- Rodenvindkraft. (u.å). *Vindkraft*
<http://www.rodenvindkraft.se/delar-i-ett-vindkraftverk.html>

- Soldinger Almefelt, M. (2020). *Swerock deltar i utveckling av ett verktyg för miljövarudeklarering av bergmaterial*. Samhallsbyggarbloggen.
<https://samhallsbyggarbloggen.se/2020/12/01/swerock-deltar-i-utveckling-av-ett-verktyg-for-miljo-varudeklarering-av-bergmaterial/>

- Sonnen,M., & Zhuravlova, J. (u.å) *EPD (ISO 14025 Type III)*. ecomatters.
<https://www.ecomatters.nl/services/lca-epd/epd/>

- SR Energy (2019). *Frågor och svar om vindkraft*
<https://srenergy.se/app/uploads/2021/11/SR-Energy-QA.pdf>

- SR Energy (2022) *Om bolaget*
<https://srenergy.se/om-bolaget/>

- Stena Renewable (2009) *Vindkraft Tvinnesheda-Badeboda: Miljökonsekvensering*
<https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/media.stenarenewable.com/app/uploads/2010/05/MKB-SRE-TB-ver-22-CPN-091202.pdf>

- Svenska Miljöinstitutet. (2011). *Miljövarudeklaration (EPD)*
<https://www.ivl.se/vart-erbjudande/vara-tjanster/miljo-varudeklaration-epd.html>

- Svensk Betong (u.å.a). *Om betong*. <https://www.svenskbetong.se/om-betong>

- Svensk Betong (u.å.b) *Fakta/egenskaper*.
<https://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper>

- Svensk Betong (u.å.c) *Koldioxidutsläpp*.
<https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-prefab/miljo-och-hallbarhet/koldioxidutslapp>

-Swerock (2019) Nu finns ECO-betong!

https://swerock.se/om-oss/i-fokus/nu_finns_eco-betong/

-TerraChoice Environmental Marketing (2009). *The seven sins of greenwashing*.

https://www.map-testing.com/assets/files/2009-04-xx-The_Seven_Sins_of_Greenwashing_low_res.pdf

-The international EPD System, (u.å.a) *Applications of EPDs*. Environdecindia

https://environdecindia.com/app_epd.html

-The international EPD System u.å.b) *Environmental product declarations*. Environdecindia

<https://www.environdec.com/all-about-epds/the-epd>

-Tillväxtverket (2016). *Hållbart företagande - metod för branschspecifika analyser av företagens hållbarhetsarbete*. ISBN 978-91-87903-71-7 digital fil

<https://tillvaxtverket.se/vara-tjanster/publikationer/publikationer-2016/2016-10-12-hallbart-fortagande.html>

-Vindkraften (u.å) *KONSTRUKTION & FUNKTION*.

<https://vindkraften.se/konstruktion-funktion-2/>

-Uppsala Universitet (2022). *Teknik och faser*. Vindkraftskurs.se.

<https://vindkraftskurs.se/avsnitt/teknik-faser/>

-Västra Götalandsregionen (2017). *Hur ett vindkraftverk är byggt*.

<https://www.vgregion.se/regional-utveckling/verksamhetsomraden/miljo/power-vast/fakta-om-vindkraft/energi--teknik/hur-ett-vindkraftverk-ar-byggt/?vgrform=1>

-Wasserman, T (2008). *Mintel: "Green" products top 5,933 in 2007*. Brandweek.

http://www.brandweek.com/bw/news/packaged/article_display.jsp?vnu_content_id=1003805821

-Wilson C. User Interface Inspection Methods: A User-Centered Design [e-bok] Method.

-Waltham: Elsevier Inc; 2014. Tillgänglig från: <https://doi.org/10.1016/C2012-0-06519-2>

-Wu Jiahui, Wang Haiyun, Wang Weiqing, Zhang Qiang (2019). Performance evaluation for substate grid electric power research institute. sustainability of wind energy project using improved multi-criteria decision-making method. S

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s40565-019-0517-6.pdf>

-UNDP, (2022) *Om globala målen*. globalamalen

<https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/>

-Zachrisson, P. (2020). *Magasinet: Vindkraft*. Stena Renewable

<https://srenergy.se/app/uploads/2020/07/20-0052-Magasinet-Vindkraft-LOW.pdf>

- Zhang Lu, Dayuan Li, Cuicui Cao, Senhua Huang. (2018) The influence of greenwashing perception on green purchasing intentions: The mediating role of green word-of-mouth and moderating role of green concern, *Journal of Cleaner Production*, Volume 187, Pages 740-750, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.201>

10 Figurförteckning

2.1 Översiktlig bild över ett vindkraftverks komponenter (Uppsala Universitet, 2022)	3
2.2 Armeringsjärn och bultkorg i fundament (Stena stål, 2021)	5
2.3 Fundamentet efter att betongen gjutits och är redo att förankras i (Stena Stål, 2021)	6
3.1 Översikt över LCA-stegen (Baumann & Tillman, 2004)	15
3.2 Delarna i en vindkraftspark bestående av 24 V150-4.2MW turbiner och dess bidrag till olika miljöpåverkanskategorier (Razdan & Garret 2019)	18
3.3 Parklayout för vindkraftsparken Tvinnesheda	19
3.4 Parklayout för vindkraftsparken Åby-Alebo	19
3.5 Flödesschema över fundamentets livscykel indelat enligt ramverket för hur EPD:er redovisar olika faser av en livscykel	20
3.6 Flödesschema ECO-betong (Swerock, 2020)	26
3.7 Flödesschema Anläggningsbetong (Swerock, 2020)	27
3.8 Flödesschema för armeringsjärn	28
5.1 Andel av den totala mängden CO ₂ eq för respektive material/process vid bergsfundament i Tvinnesheda	45
5.2 Andel av den totala mängden CO ₂ eq för respektive material/process vid bergsfundament i Åby-Alebo	46
5.3 Andel av den totala mängden CO ₂ eq för respektive material/process vid gravitationsfundament i Åby-Alebo	46
5.4 Total mängd CO ₂ eq beroende på förankringsmetod och betongtyp för ett fundament	48
5.5 Känslighetsanalys utsläpp som en funktion av den beräknade livslängden	49
5.6 Graf för totalt utsläpp samt fördelning mellan turbin och fundament	51

11 Tabellförteckning

2.1 Fokusområden nationella miljömålssystemet	8
2.2 Redogörelse av stadier som räknas med i EPD:er	10
3.1 Nyckeltal för tekniska aspekter av vindkraftsparker i Vestas LCA	17
3.2 Utsläpp CO ₂ eq i g per producerad kWh med avseende på teknisk livslängd för vindkraftsparker inklusive sluthantering	17
3.3 Aktiviteter relaterade till markförberedelser på Tvinnesheda	22
3.4 Maskiner använda till markförberedelser på Tvinnesheda med diesel förbrukning mätt i liter diesel förbrukat	23
3.5 Aktiviteter relaterade till markförberedelser på Åby-Alebo med dess tidsåtgång	23
3.6 Maskiner som använts för markförberedelser i Åby-Alebo	24
3.7 Ingående material i de olika betongtyperna	25
3.8 GWP av ECO-betongslagen i de olika påverkans kategorierna i kg CO ₂ eq/m ³ betong (personlig kommunikation, Veidekke, 17:e februari 2022)	26
3.9 Densitet och ingående mängd av de olika ECO-betongtyperna i bergsfundament (Swerock, 2020) (personlig kommunikation, Veidekke, 17:e februari 2022)	26
3.10 CO ₂ eq av anläggningsbetong i de olika faserna i kg CO ₂ eq/m ³ betong	27
3.11 Densitet och ingående mängd av de olika betongtyperna fundamenten	28
4.1 Litteratursökning	31
4.2 Sammanställning av intervjuer	33
4.3 Antal kg CO ₂ eq som släpps ut. För betongtyperna samt armeringsjärnet avses fas A1-A3 medans det för diesel avses fas A1-A5, alltså även användningen	35
4.4 Fundamentstyperna i de båda parkerna Tvinnesheda och Åby-Alebo samt kvantiteterna av materialen som ingår i varje fundament	36
4.5 Parametrar som användes i ECO-transit vid beräkningar av transporter av betong och armeringsjärn	37
4.6 Viktiga data för beräkningar och dess källa	40
5.1 CO ₂ eq från ECO-betongen för ett ton och för ett bergsfundament för stegen A1-A5	43
5.2 CO ₂ eq från armeringsjärn för ett ton och för ett bergsfundament för stegen A1-A5	43
5.3 CO ₂ eq från anläggningsbetongen för ett ton samt för ett bergsfundament och gravitationsfundament för stegen A1-A5	44
5.4 CO ₂ eq från armeringsjärnet för ett ton samt för ett bergsfundament och gravitationsfundament för stegen A1-A5	44
5.5 Mängden CO ₂ eq som släpps ut till följd av markförberedelser, betong, armeringsjärn och totalt från respektive fundament i de båda parkerna	45
5.6 Ingående kvantiteter av material/processer för varje typ av förankringsmetod	47
5.7 Ingångsdata för beräkningar med ECO-betong, anläggningsbetong och armeringsjärn	47
5.8 Procentuell siffra för hur mycket mer CO ₂ eq som släpps ut till följd av ett visst val	48
5.9 Utsläpp från Vestas som livslängd för faserna A1-B5 och per producerad kWh för olika livslängder samt hanteringsfaser för standardfall	49

5.10 Utsläpp per år för beräknad livslängd 30 år med beräknad andel av hela verket	50
5.11 Färdigt resultat i funktionell enhet justerad för livslängd	51
5.12 Intervjufrågor samt svar angående miljökommunikation från SR	52
5.13 Planeringsfas	56
5.14 Beslutsprocess	57
5.15 Miljökonsekvensbeskrivning	58
7.1 Känslighetsanalys för approximering av linjärt samband för 30-årig livstid	72
7.2 Känslighetsanalys av avrundat värde för elproduktion för 30 år	72
7.3 Jämförelse av linjära approximationer för känslighetsanalys av livslängd	73

Appendix

I Appendix presenteras utfallet av de beräkningar som gjorts för att kunna fastställa mängden CO₂eq från fundamenten. Beräkningarna har följt principerna som beskrivs i ekvation 4.1, 4.2 och 4.3.

Beräkningar markförberedelser Tvinnesheda

Total mängd utsläpp från markförberedelser:

$$(Antal\ diesel\ timmar\ för\ hela\ vindkraftsparken) \times (KG\ CO_2eq\ per\ dieseltimma) \\ = 757823\ kg\ CO_2eq\ (ekvation\ 1)$$

Total mängd utsläpp från markförberedelser per fundament:

$$(Total\ mängd\ CO_2eq) \times (Antal\ vindkraftsverk\ (47)) \\ = 16\ 123\ kg\ CO_2eq\ (ekvation\ 2)$$

Beräkningar betong Tvinnesheda

I tabell 1 presenteras nyckeltal för ECO-betongen använd i Tvinnesheda samt bergsfundamenten där.

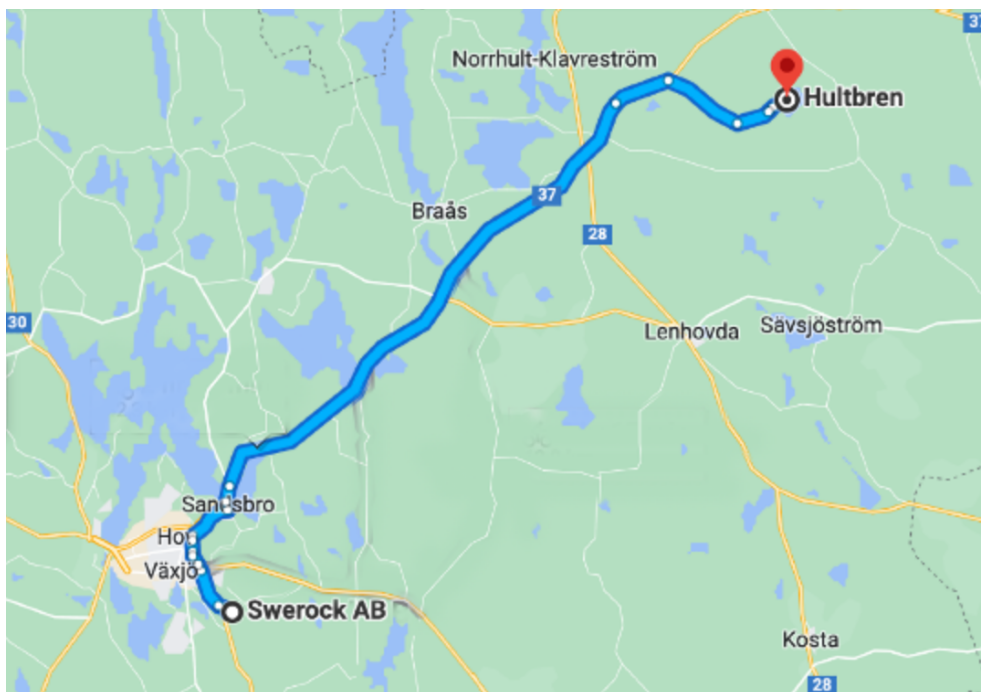
Tabell 1 Nyckeltal för ECO-betong samt bergsfundamenten i Tvinnesheda.

	Betong vikt kg/m ³	Volym m ³ / fundament	Vikt kg/ fundament	kg CO ₂ eq /ton betong	kg CO ₂ eq /fundament
ECO C25/30	2320	50	116 000	90,08	10 449
ECO C30/37	2353	220	517 660	106,3	55 027
ECO C35/45	2309	26	60 034	108,4	6508
		Σ = 296	Σ = 693 694		Σ = 7 1984

Transport av ECO-betong sker i lastbilar som bär 6 m³ betong. För att beräkna tyngden av varje last har de olika ECO-betongerna viktas baserat på hur stor andelen av betongen i fundamentet de utgör. Vikt per m³ blir därmed 2343,6 kg enligt ekvation 3.

$$\frac{2320 \cdot 50 + 2353 \cdot 220 + 2309 \cdot 26}{50 + 220 + 26} = 2343,6\ (ekvation\ 3)$$

Varje lastbil bär därtill på ca 14 ton betong. Lastbilarna beräknas köra en sträcka på 57,69 km från Swerock i Växjö till Tvinnesheda. Körsträckan illustreras i figur 1.



Figur 1 Körsträcka från betongproducent till vindkraftsparken Tvinnesheda

Uträkningar i ECO-transit ledde fram till att det totalt för varje transport släpps ut 54 kg CO₂eq, vilket resulterar i ett utsläpp av CO₂eq enligt tabell 2. Eftersom betongen blandas under färden för att sedan tömmas på plats kommer installationen även antas vara inräknat i det värdet.

Tabell 2 Mängden CO₂eq från steg A4-A5 enligt EPD-formatet, utifrån olika enheter.

		Per lastbil	Per ton betong	Per m ³ betong	Per fundament
Utsläpp CO ₂ eq	kg	54	3,84	9	2664

För att kunna framställa en EPD som är specifik för ECO-betongen i Tvinnesheda viktas värdena från de befintliga EPD:erna för fas A1-A3 av de olika betongkvaliteterna från Swerock så de speglar andelen som ingår i ett färdig fundament. Värdet presenteras i ekvation 3 och anger alltså kg CO₂eq för en m³ av viktad ECO-betong.

$$\frac{208,99*50+250,15*220+250,35*26}{50+220+26} = 243,21 \text{ (ekvation 4)}$$

Värdet omvandlas till enheten per ton och blir då 103,7 CO₂eq per ton ECO-betong.

I tabell 3 kompletteras befintliga EPD:er från Swerock med det som beräknats för transporten för att få mängd CO₂eq per ton ECO-betong för att täcka in faserna A1-A5.

Tabell 3 Mängden CO₂eq från steg A1-A5 enligt EPD per ton betong i ett färdig bergsfundament, justerat för olika ECO-betongstyper.

	Produktionsstadie A1-A3	Konstruktionsstadie A4-A5	Summa A1-A5
CO ₂ eq/ton ECO-betong	103,7	3,84	107,54

För att beräkna den totala mängd CO₂eq för både produktions- samt konstruktionsstadiet adderas de två erhållna siffrorna 71984 och 2664 ihop. Resultatet visas i tabell 4 och blir alltså mängden CO₂eq som släpps ut till följd av ECO-betongen i ett bergsfundament i Tvinneskeda.

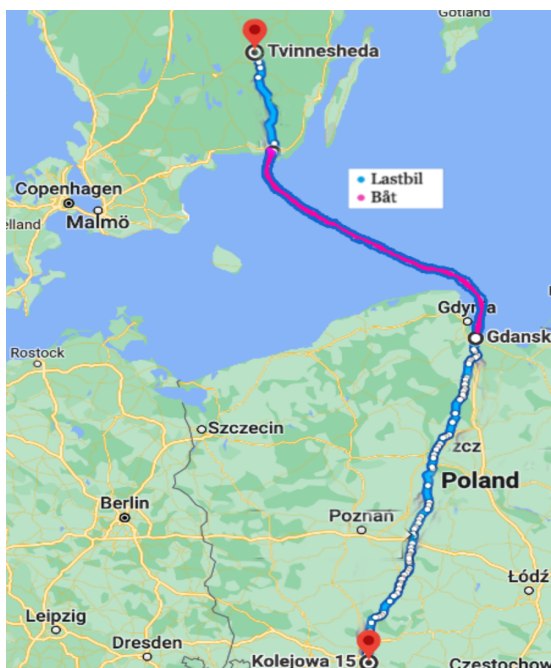
Tabell 4 Mängden CO₂eq hänförliga till betongen för ett bergsfundament i Tvinneskeda.

	Produktionsstadie A1-A3	Konstruktionsstadie A4-A5	Summa
Utsläpp kg CO ₂ eq	71984	2664	74648

Beräkningar armeringsjärn Tvinneskeda

Totala mängden armeringsjärn som levererades till Tvinneskeda var ca 900 ton och per bergsfundament i Tvinneskeda ingick 19 ton armeringsjärn. Ett approximativt värde för produktion av armeringsjärn är 2156 kg CO₂eq/ton stål, försett av Worldsteel, för fasen A1-A3 benämnt vagg till grind. Siffran är specifikt framtagen för just produktion av armeringsjärn i Europa. För att få CO₂eq för produktionsstadiet för armeringsjärn multipliceras 19 med 2156 där produkten blir 40964. Värdet kompletteras därtill med transporten, steg A4, från producenten i Polen till Tvinneskeda.

Transporter antas ha färdats från leverantör i Żórawina i Polen till färjehamn i Gdansk, därefter via färja till Karlskrona och slutligen från Karlskrona till Tvinneskeda. Transportsträckan uppgick till 335 km färja och 628 km lastbil och illustreras i figur 2. Transit har antagits vara roll-on-roll-off.



Figur 2 Körsträcka från armeringsjärnproducent till vindkraftsparken Tvinnesheda.

Uträkningar i ECO-transit visade på att det totalt släpps ut 1611 kg CO₂eq för varje transport. Färjan stod för 639 kg CO₂eq och lastbilen för 972 kg CO₂eq. Transporten av armeringsjärn resulterar i ett utsläpp av CO₂eq enligt tabell 5 som visar på utsläpp per lastbil, per ton armeringsjärn och per färdigt bergsfundament.

Tabell 5 Mängden CO₂eq från steg A4-A5 enligt EPD-formatet, utifrån olika enheter.

	Per lastbil	Per ton armeringsjärn	Per fundament
Utsläpp kg CO ₂ eq	1611	48,8	1371

I tabell 6 kompletteras befintlig EPD från Worldsteel med det som beräknats för transporten för att få mängd CO₂eq per ton armeringsjärn för faserna A1-A5.

Tabell 6 Mängden CO₂eq från steg A1-A5 enligt EPD per ton betong i ett färdigt bergsfundament, justerat för olika betongtyper.

	Produktionsstadie A1-A3	Konstruktionsstadie A4-A5	Summa
CO ₂ eq/ton armeringsjärn	2156	48,8	2204,8

För att beräkna den totala mängd CO₂eq för både produktions- samt konstruktionsstadiet adderas de två erhållna siffrorna 40964 och 1371 ihop. Mängden CO₂eq som släpps ut till följd av armeringsjärnet i bergsfundamenten i Tvinnesheda visas i tabell 7.

Tabell 7 Mängden CO₂eq som är hänförliga till armeringsjärnet för ett bergsfundament i Tvinnesheda.

	Produktionsstadie A1-A3	Konstruktionsstadie A4-A5	Summa
Utsläpp kg CO ₂ eq	40964	1371	42335

Beräkningar markförberedelser Åby-Alebo

För att ta reda på siffror gällande markförberedelser i Åby-Alebo, se resonemang i 4.1.3.

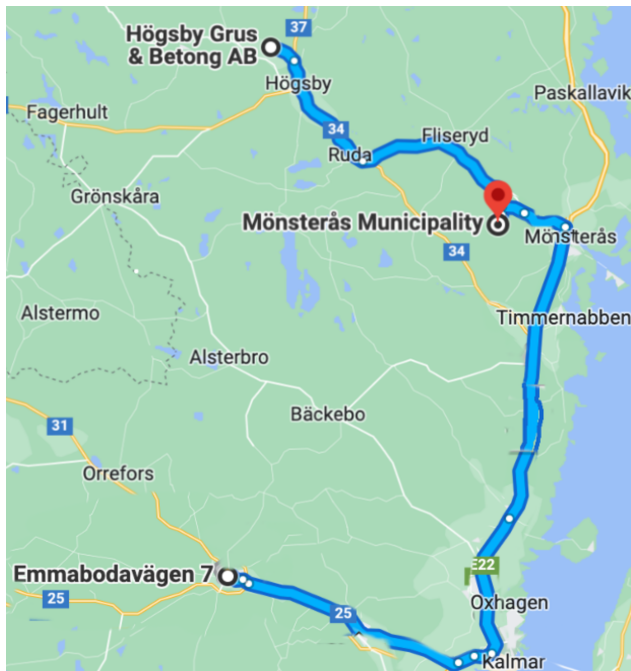
Beräkningar betong Åby-Alebo

I tabell 8 redovisas nyckeltal för anläggningsbetong och fundamenten i.

Tabell 8 Nyckeltal för anläggningsbetong samt fundamenten i Åby-Alebo.

	Betong vikt kg/m ³	Volym m ³ / fundament	Vikt kg/ fundament	kg CO ₂ eq /ton betong	kg CO ₂ eq /fundament
Bergsfundament	2346	287	673 302	158,14	106 476
Gravitationsfundament	2346	640	1 501 440	158,14	237 438

Transporten av betong sker i lastbilar som rymmer 6 m³ betong, och det har därmed körts drygt 2 100 lastbilar för att leverera den totala mängden betong. Transporten av betong görs via produktionsanläggningarna Nybro och Högsby, där medelsträckan som en betongbärande lastbil kör är 56 km. I figur 3 illustreras transportsträckorna från Nybro och Högsby till Åby-Alebo.



Figur 3 Transportsträcka och transportsätt för anläggningsbetong till Åby-Alebo.

Eftersom betongen blandas under färden för att sedan tömmas på plats kommer installationen även antas vara inräknat i det värdet. Utsläppet per bil blir därmed 56 kg CO₂eq, vilket innebär 3,97 kg CO₂eq/ton betong under transporten. Tabell 10 visar mängden CO₂eq i kg till följd av transporten av armeringsjärn, uträknad mot olika parametrar.

Tabell 10 Mängden CO₂eq från steg A4-A5 enligt EPD-formatet, utifrån olika enheter.

	Per lastbil	Per ton betong	Per m ³ betong	Per bergsfundament	Per gravitationsfundament
Utsläpp kg CO ₂ eq	56	3,97	9,3	2669	5952

Utsläppet för produktionsstadie och konstruktionsstadie A1-A5 sammanställs i tabell 11.

Tabell 11 Summa faser i kg CO₂eq per ton anläggningsbetong.

	Produktionsstadie A1-A3	Konstruktionsstadie A4-A5	Summa
kg CO ₂ eq/ton anläggningsbetong	158,1	4,0	162,1

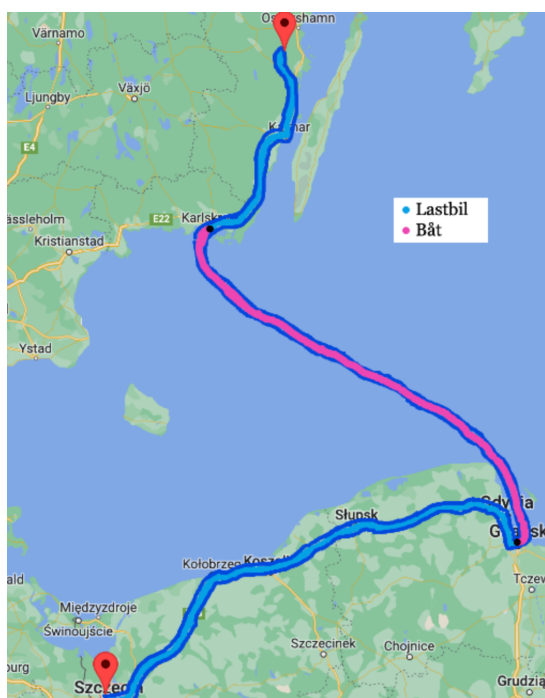
För att beräkna den totala mängd CO₂eq för både produktions- samt konstruktionsstadiet adderas de erhållna siffrorna ihop. Resultatet visas i tabell 12 och blir alltså mängden CO₂eq som släpps ut till följd av anläggningsbetongen i bergsfundamenten samt gravitationsfundamenten i Åby-Alebo.

Tabell 12 Mängden CO₂eq som är hänförliga till armeringsjärnet för ett bergsfundament i Åby-Alebo.

		Produktionsstadie A1-A3	Konstruktionsstadie A4-A5	Summa
Utsläpp kg CO ₂ eq	Bergsfundament	106 476	2669	109 154
	Gravitationsfundament	237 438	5952	243 411

Beräkningar armeringsjärn Åby-Alebo

Det användes 27 ton armeringsjärn per bergsfundament och 72 ton per gravitationsfundament. Den totala mängden armeringsjärn som levererades till parken uppsteg till drygt 1304 ton. I figur 4 visas transportsträckan från leverantör i Szczecin i Polen till Åby-Alebo. Transportsträckan är fördelad mellan 506 lastbil och 335 km färja där transit har antagits vara roll-on-roll-off.



Figur 4 Transportsträcka och transportsätt för armeringsjärn till Åby-Alebo.

När en lastbil med 33 ton stål transporteras på båten från Polen resulterar det i 802 kg CO₂eq per lastbil. När båten är framme och lastbilen transporteras på vägen till projektplatsen resulterar det i 639 kg CO₂eq per lastbil. I tabell 13 redovisas mängden CO₂eq som släpps ut från transporten utifrån olika enheter.

Tabell 13 Mängden CO₂eq från steg A4-A5 enligt EPD-formatet, utifrån olika enheter.

	Per lastbil	Per ton armeringsjärn	Per bergsfundament	Per gravitationsfundament
Utsläpp kg CO ₂ eq	1441	43,6	1179	3144

Utsläppet för produktionsstadie och konstruktionsstadie A1-A5 sammanställs i tabell 14, och summeras för att återspegla den totala miljöbelastningen för respektive stadie.

Tabell 14 Summa faser i kg CO₂eq per ton armeringsjärn till Åby-Alebo.

	Produktionsstadie A1-A3	Konstruktionsstadie A4-A5	Summa
CO ₂ eq armeringsjärn	2156	43,6	2199,6

För att beräkna den totala mängd CO₂eq för både produktions- samt konstruktionsstadiet adderas de erhållna siffrorna ihop. Resultatet visas i tabell 15 och blir alltså mängden CO₂eq som släpps ut till följd av anläggningsbetongen i bergsfundamenten samt gravitationsfundamenten i Åby-Alebo.

Tabell 15 Mängden CO₂eq som är hänförliga till armeringsjärnet för ett bergsfundament i Tvinnesheda.

		Produktionsstadie A1-A3	Konstruktionsstadie A4-A5	Summa
Utsläpp kg CO ₂ eq	Bergsfundament	58 212	1179	59 391
	Gravitationsfundament	155 232	3144	158 376

Beräkningar för totala mängden CO₂eq för respektive förankringsmetod och betongtyp

Samtliga värden som utgör material och processer för att ta fram de färdiga fundamenten i parkerna sammanställs i tabell 16. Tabellen är uppdelad för att visa på de fyra scenarierna: där varje förankringsmetod får ett resultat för både ECO- och anläggningsbetong.

Tabell 16 Mängd CO₂eq från materialen/processerna samt totala mängden CO₂eq med, avseende på förankringsmetod och betongtyp.

Förankringstyp	Betongtyp	Markförberedelser i kg CO ₂ eq	Betong i kg CO ₂ eq	Armeringsjärn i kg CO ₂ eq	Totalt
Bergs	ECO	43 228	73 645	50 651	167 524
	Anläggning	43 228	111 048	50 651	204 927
Gravitations	ECO	86 457	161 414	158 558	406 430
	Anläggning	86 457	243 392	158 558	488 407



CHALMERS