



CHALMERS



Optimering av stålpålar till utbyggnaden av kraftnätet

En studie om förbättringspotential vid
grundläggning med spetsburna stålpålar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
sambäddningsbyggnadsteknik

**HOLGER KARMEFORS IDVALL
WILLIAM KLÉEN LAVASS**

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNAD
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Optimering av stålplålar till utbyggnaden av kraftnätet

En studie om förbättringspotential vid grundläggning med spetsburna stålplålar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

HOLGER KARMEFORS IDVALL

WILLIAM KLÉEN LAVASS

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Geologi och Geoteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2024

Optimering av stålplåtar till utbyggnaden an kraftnätet
En studie om förbättringspotential vid grundläggning med spetsburna stålplåtar
Examensarbete inom högskoleingenjörprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik
HOLGER KARMEFORS IDVALL
WILLIAM KLÉEN LAVASS

© HOLGER KARMEFORS IDVALL, WILLIAM KLÉEN LAVASS, 2024

Examensarbete ACEX20
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola 2024

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Geologi och Geoteknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Foto på maskin som borrar ner spetsburna stålplåtar, tagen från platsbesök 2024

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Göteborg 2024

Optimering av stålpålar till utbyggnaden av kraftnätet

En studie om förbättringspotential vid grundläggning med spetsburna stålpålar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

HOLGER KARMEFORS IDVALL

WILLIAM KLÉEN LAVASS

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Geologi och geoteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

I Sverige ska det den närmsta tiden investeras miljardbelopp i utbyggnaden av kraftnäten vilket skall bidra till den omställning till en ökad elanvändning och en minskad användning av fossila bränslen. Detta för med sig en stor mängd arbeten kopplade till de konstruktioner som förs upp där ritningar och lösningar idag ofta är föråldrade. Som resultat av detta blir resultaten ofta en överdimensionering på grund av beslutsfattande hos beställare och bristande kunskaper om rådande geotekniska fall, vilket då leder till onödigt höga utsläpp och kostnader för de material som används.

I detta examensarbete har grundläggningsarbetet som företaget BESAB konstruerar i Markarydområdet undersökts och optimerats. Arbetet syftade till att med olika beräkningsmetoder och de rådande lasterna, ta fram nya dimensioner för att göra det möjligt att jämföra hur stora besparingar på miljön samt ekonomin, som potentiellt skulle kunna göras vid detta och liknande fall. Under arbetets gång var ett primärt fokus spetsburna pålar i stål vilket var särskilt intressant i detta fall då det främst är denna metod som nyttjades i projektet som BESAB utförde eftersom tillverkningen av stål ger upphov till en stor mängd koldioxidutsläpp. De metoder som nyttjades vid beräkning var dels handberäkningar på hållfastheten hos pålar, dels inmatning av värden på lasterna och de geotekniska förhållandena i dataprogrammet PILECALC.

Resultaten från beräkningsdelen av rapporten tydliggör att införandet av en aktiv designstrategi effektivt minskar materialanvändningen jämfört med de ursprungliga ritningarna. För att möta belastningskraven för det specifika och i detta fall kritiska fallet och samtidigt optimera materialanvändningen är det mest fördelaktigt att välja RD 170/10 pålar från SSAB. Dessa pålar har en strukturell bärförmåga på 453 kN med hänsyn till buckling, medan den geotekniska bärförmågan för pålen i detta specifika fall är 966 kN. För att hantera dragkrafterna kommer ett 18 mm tjockt stag från Naulankanta att användas. Genom att byta till dessa pålar för detta specifika fall är det möjligt att minska koldioxidutsläppen med $11,2 \text{ kg CO}_2/m$ och kostnaden med 17 612 euro.

Nyckelord: grundläggning, kraftnät, spetsburen påle, stålpåle, dimensionering

Optimization of Steel Piles for the Expansion of the Power grid

A Study on Improvement Potentials in Foundation Construction with Point-Bearing
Steel Piles

*Degree Project in the Engineering Programme
Civil and Environmental Engineering*

HOLGER KARMEFORS IDVALL

WILLIAM KLÉEN LAVASS

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Geology and Geotechnics
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

In the near future, huge investments will be made in the expansion of the power grids in Sweden, contributing to the ongoing transition towards increased electricity usage and reduced reliance on fossil fuels. This entails a significant amount of work related to the construction of structures, where drawings and solutions are often outdated. As a result, over dimensioning occurs due to decision-making by leading organizations and lack of knowledge about current geotechnical conditions, leading to unnecessary emissions and cost for the materials used.

This thesis examines the piling work with dimensions for the foundations work carried out by the company BESAB in the Markaryd area. The aim was to use various calculations methods and current loads to develop new dimensions to compare potential environmental and economic savings that could be made in this and similar cases. The focus was on steel driven piles, which was particularly interesting in this case as this method was mainly used in BESAB's project. It is also noteworthy as steel production generates a significant amount of carbon dioxide emissions. The methods used in the calculation include hand calculations of pile strength and inputting values of loads and geotechnical conditions into the PILECALC software.

The results from the calculation part of the report demonstrate that the introduction of an active design effectively reduces material usage compared to the original drawings. To meet the load requirements for the specific and critical case of pole 8, while optimizing material usage, it is most advantageous to choose RD 170/10 piles from SSAB. These piles have a structural capacity of 453 kN with buckling considered, while the geotechnical capacity for the pile in this specific case is 966 kN. To handle tensile forces, an 18 mm diameter rod from Naluankanta will be used. By switching to these piles for this specific case, a reduction in carbon dioxide emissions by 11, 2 *kg CO₂/m* and cost of 17 612 euro is possible.

Key words: foundation work, power grid, point loaded pile, steel pile, dimensioning.

Innehåll

SAMMANFATTNING	II
ABSTRACT	IV
INNEHÅLL	V
FÖRORD	VII
BETECKNINGAR OCH ORDFÖRKLARING	VIII
1 INLEDNING	1
1.1 Syfte	2
1.2 Problemformulering	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Metod	3
2 PÅLNING SOM GRUNDLÄGGNINGSMETOD	4
2.1 Olika pålningsmetoder	4
2.1.1 Stålrörspålar	4
2.1.2 Grävpålar/betongpålar	6
3 HÅLLBARHET – MODELLER OCH STANDARDER	7
3.1 Green House Gas Protocol	7
3.2 EPD	7
4 REFERENSPROJEKT	8
4.1 Bakgrund	8
4.2 Aktörerna i projektet	8
4.2.1 Vattenfall	8
4.2.2 Craftor	9
4.2.3 BESAB	9
4.2.4 SSAB	9
5 INTERVJUSTUDIE	11
5.1 Frågor till respektive aktör	11
5.1.1 Craftor	11
5.1.2 BESAB	13
6 PÅLOPTIMERING – BERÄKNING AV TVÅ FALL	15
6.1 Syfte	15
6.2 Geotekniska förutsättningar	15
6.3 Aktiv design	16
	V

6.4	Begränsningar	16
6.5	Handberäkningar stolpe 8	16
6.5.1	Bärförmåga	16
6.6	Beräkning med verktyg	18
6.6.1	Beräkningar	18
6.6.2	Miljöpåverkan	18
6.6.3	Kostnad	19
6.7	Ytterligare ett fall	19
6.7.1	Beräkning med verktyg	19
6.7.2	Miljöpåverkan	19
6.7.3	Kostnad	19
7	DISKUSSION	20
7.1	Arbetsgång	20
7.2	Förbättringspotentialer och fortsätta studier	21
8	SLUTSATS	22
9	REFERENSER	23
10	BILAGOR	25

Förord

Detta arbete har utförts som en avslutande del i utbildningen till Högscoleingenjör i samhällsbyggnadsteknik. Arbetet har gjorts med hjälp av BESAB AB i Göteborg och deras grundläggningsarbete i Markaryd. Vi vill tacka alla som hjälpt oss på BESAB men även Craftor, vid inhämtningen av den bakomliggande fakta i arbetet samt kontaktuppgifter vid intervjustudierna. Vi vill främst tacka handledaren på BESAB Niclas Brogren som hjälpt till från start med arbetet men även Mikael Pehrsson som varit med oss på platsbesök och visat oss hur grundläggningen går till och ser ut i praktiken. Vi vill dessutom tacka konstruktören från BESAB, Johan Olovsson, som tog sig tid och hjälpte till med att ta fram beräkningarna vid dimensioneringen av spetspålarna.

Göteborg juni 2024

Holger Karmefors Idvall, William Kléen Lavass

Beteckningar och ordförklaring

Aktiv design= för att göra det möjligt att dra ner på dimensionerna på komponenterna är det i detta fall bestämt att pålens uppgift är att klara tryckkraven medan stagets uppgift är att klara drag kraven.

Godstjocklek= skillnaden mellan ytterdiametern och inrediametern för en påle

Skarvrör= används vid sammanfogning av två pålar för att skapa ett längre pålelement

Foderrör= ett rör som används för att separera konstruktion från kringliggande jord för att skapa ett bättre markförhållande

RD-påle= borrade mikropålar som används vid grundläggning för att göra det möjligt att borra ner ihåliga stålpålar till berg

Kritiska knäcklängd= en viss längd där pålen börjar böja sig under kompression och blir instabil

R = total bärförmåga [kN]

f_m = mantelbärförmåga längs pålen [kPa]

A_m = pålens mantelarea [m^2]

f_s = spetsbärförmåga [kPa]

A_s = pålens spetsarea [m^2]

N_q = bärförmågefaktorn

σ'_{os} = effektivt vertikalt överlagningstryck [kPa]

C_{char} = karaktäristisk skjuvhållfasthet [kPa]

1 Inledning

Idag står bygg- och anläggningsbranschen för enorma mängder utsläpp av växthusgaser varav en stor del kommer från grundläggningsarbete som nyttjar betong och stål. 2021 uppskattades det att byggindustrin stod för nästan 22% av alla de växthusgaser som Sverige ger upphov till enligt Boverket 2024. Det kommer därför krävas att branschen lägger stort fokus på att reducera utsläppen för att ställa om till ett mer klimatneutralt samhälle. Inför framtiden kommer det att läggas enorma resurser på utbyggnaden av Sveriges kraftnät. Utbyggnaden sker delvis i form av luftburna ledningar som kommer att placeras i varierande terräng med blandad topografi. De olika konstruktionerna som anläggs för med sig en mängd problem som man måste dimensionera för. Bland annat måste hänsyn tas till den yttre miljö som de kommer utsättas för. Med detta tillkommer en mängd problem vid grundläggningsarbetet som måste beaktas vilket kommer att kräva smarta lösningar. På grund av bristande information och kunskap om hur den aktuella jordprofilen ser ut blir konsekvenserna ofta överdimensionering vid grundläggningsarbeten som leder till betydande kostnader och miljöavtryck.

Uppförande och underhåll av byggnader och infrastruktur är en stor miljöbov som år 2020 var ansvarig för ca 20 % av de totala energirelaterade CO₂-utsläppen (Boverket, 2024) varav stålindustrin står för ca 7% (SSAB, u.å). Designen på anläggningskonstruktionerna har en betydande roll i projektets miljöpåverkan och det finns ett stort forskningsunderlag om hur man ska optimera konstruktioner ovan mark när man analyserar miljöpåverkan medan när det gäller konstruktionerna under mark så är kunskapsunderlaget ofta begränsat. Detta beror på svårighet att samla in geotekniska data vilket leder till överdimensionering (Abushama, 2023).

Under arbetets gång har BESAB fungerat som kontakt och handledare. De utför specialistuppdrag inom berg, betong och grund (BESAB, 2023). De har möjliggjort för rapporten att nyttja ett av deras projekt som referens där BESAB har fått i uppgift att konstruera grundläggning med stålplåtar för luftburna kraftledningar. Däremot är ritningar som man använder sig av i detta projekt och även i liknande projekt idag väldigt standardiserade, bland annat på grund av besparingar vilket leder till att slutprodukten riskerar att bli överdimensionerad. Inför framtiden vill man sänka utsläpp och materialanvändningen så mycket som möjligt vilket blir svårt om man inte har räknat och dimensionerat utifrån de laster som just en grundläggning i detta fall skulle komma att hantera (N. Brogren, personlig kommunikation).

Vattenfall som styr detta projekt har satt upp en mängd hållbarhetsmål för att minska användningen av fossila bränslen varav de delvis satt upp som mål att lägga fokus på fossilfria värdekedjor. En stor del av ansvaret läggs därför på att de ser över de leverantörer som anlitas i konstruktioner samt att kontrollera att alla parter gör det de kan för att processen sker på ett så klimatsmart sätt som är möjligt i dagsläget (Vattenfall, 2023).

1.1 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att med hjälp av befintlig kunskap om grundläggning med stålpålar förmedla lösningar som optimerar arbetet samt drar ner på materialanvändandet vilket gynnar miljön långsiktigt. Hur olika företag samarbetar och jobbar internt för en grönare framtid.

1.2 Problemformulering

Examensarbetet kommer att hantera följande frågeställningar:

- Hur optimerar man utformning av grundläggning med stålpålar och hur mycket skulle en aktiv design potentiellt kunna bespara miljöpåverkan och kostnader.
- Hur arbetar olika företag aktivt med hållbar omställning i bygg- och anläggningsprojekt som nyttjar stål och vilka konflikter uppstår som hindrar företagen från att anlägga konstruktioner med så låg klimatpåverkan som möjligt?
- Hur jobbar de olika aktörerna i projektet internt med miljöfrågor samt hur ser samarbetet ut mellan de olika parterna för att uppnå hållbarhet?
- Varför nyttjas det standardlösningar vid detta och liknande projekt i stället för att implementera aktiv design vid projekteringen?

1.3 Avgränsningar

Examensarbetet kommer främst att fokusera på grundläggnings- och geotekniska aspekterna men även hantera de olika ingående företag och undersöka om dessa ser en betydande förbättringspotential.

Examensarbetet kommer främst avgränsas till att undersöka grundläggningen som skall utföras vid kraftnätets utbyggnad i Markarydtrakterna bestående av luftburna elledningar. Vidare kommer endast spetsburen stålpålegrundläggning på berg under lera att undersökas med fokus på stålets bärförmåga och miljöpåverkan och inte den betong som används. Examensarbetet kommer däremot översiktligt beskriva hur de två olika pålningsmetoderna som används vid liknande arbeten, fungerar. Denna avgränsning har gjorts mot bakgrund att detta primärt är vad företaget BESAB har fått i uppgift att konstruera samt att stålet är det material ger upphov till störst klimatavtryck.

I examensarbetet utförs beräkningar för att ta reda på pålarnas last- och dragkapacitet. Rapporten fokuserar på två specifika fall (stolpe nummer 8 och 3) som kommer tas i beaktande under projektet i fokus. Vid beräkningen av miljöpåverkan kommer endast koldioxidutsläppen för stålpålarna att beräknas. Dimensioneringsdelen kommer dessutom att avgränsas till att endast hantera de laster som pålarna utsätts för och ingen annan yttre påverkan såsom korrosion. Vid beräkning av kostnad kommer inte konstruktörens arvode att tas till hänsyn.

1.4 Metod

Examensarbetets metod består av litteraturstudier, fallstudie med BESAB, intervjustudier och beräkningar.

Litteraturstudien utfördes genom datasökningar där en stor del av fakten togs från anläggningsföretagens egna hemsidor samt PDF: er som erhöles via det handledande företaget.

Intervjustudien utfördes efter en framtagning av relevanta frågor om hur bygg- och anläggningsföretag hanterar hållbarhet kring anläggningsprojekt. Kontaktuppgifter till relevanta sakkunniga personer som kunde svara på frågorna togs fram via företaget BESAB:s kontakter. Personer som besvarade frågorna var hållbarhetschefer som arbetar för de företag som är med i anläggningsprojektet. Svar på frågorna skickades via mail.

Framtagningen av fakta om det aktuella grundläggningsprojektet med stålpålning utfördes via kontakt med företaget BESAB:s handledare samt kunniga arbetsledare och platschefer. Platsbesök utfördes på arbetsplatsen en bit in i arbetsgången för att få en tydligare bild av arbetsgången ser ut samt att detta möjliggjorde för frågor som kunde gynna examensarbetets faktadel. Under besöken kunde även efter utfrågning, relevanta kontaktpersoner lättare nås för intervjustudien.

Beräkningarna utfördes genom användning av redan existerande beräkningsmetoder. De olika dimensionerna och lasterna som nyttjades togs fram via ritningar och sonderingar från projektet som anläggs i Markarydtrakterna, där det utfördes grundläggningsarbeten för elledningar till utbyggnaden av kraftnätet. Ritningarna som nyttjades hanterade ett specifikt fall vilket var det med störst dimension och dessa erhöles via BESAB. För att se till att beräkningarna utfördes på rätt sätt, har i arbetet en konstruktör från BESAB assisterat och granskat dessa. Beräkningarna för att ta fram en aktiv design för stålpålar och se vilka möjligheter som fanns gällande besparing både för miljön samt kostnader, utfördes på två olika sätt. Den ena arbetsgången utfördes med handberäkningar och formler som är allmänt kända. Den andra metoden utfördes med hjälp av ett beräkningsprogram som tillhandahölls via BESAB:s konstruktör och som denne brukar använda sig av i liknande projekt. På så vis säkerställdes att beräkningarna utfördes så noggrant som möjligt och på bästa möjliga sätt.

2 Pålning som grundläggningsmetod

Pålning är en vanlig metod som nyttjas vid anläggnings- och grundläggningsarbeten för att möjliggöra byggnationer vid svåra markförhållanden såsom lösa jordarter, för att undvika sättningar vid belastningar och oförutsägbara rörelser i marken. Vilket val av material eller teknik för pålningsarbetet beror på markförutsättningarna samt vilken typ av last som konstruktionen kommer att utsättas för (Hercules, u.å).

2.1 Olika pålningsmetoder

2.1.1 Stålrörspålar

När man pålar med stålrörspålar börjar man med att antingen borra ner eller slå ner pålen till fast berg eller jord. Vilken av dessa metoder man använder beror på rådande markförhållanden. Att man stoppslår en pelare innebär att man driver ner pålen i marken med hjälp av en så kallad stålrörspålemaskin. Om man borrar ner pålarna används en bormaskin för detta. I många fall kan jordlagren bestå utav inslag av stenar vilket förhindrar att man kan slå ner pålarna. I de flesta fallen är därför borrarnting av påle att föredra (N. Gustafsson, personlig kommunikation). Sedan byter man till en mindre borr som borrar ner ytterligare i berget. Här fäster man ett stag av stål som gjuts fast. Detta för att konstruktionen skall kunna utstå dragspänningar som kan uppstå vid till exempel vindlast. För att verifiera bärförmågan hos pålarna genomförs en stötvågsmätning för att verifiera bärförmågan hos pålarna. Metoden går ut på att skapa en stötvåg som leds ner i pålens spets och vänder. Givare som sitter fastmonterade på pålen mäter utifrån detta och kan med beräkningar verifiera pålarnas bärförmåga. Pålarna som förs ner kan antingen bestå av så kallade enkelrör eller foderrör som de ofta kallas, bestående av stål, som fylls med antingen betong/bruk vilket förhindrar korrosion invändigt, de kan ibland lämnas tomma. Det kan även vara stålkärnepålar som används. Fördel med tekniken är att den är enkel att installera och att den är effektiv i alla typer av jordar (Pålkommisionen, 2010).

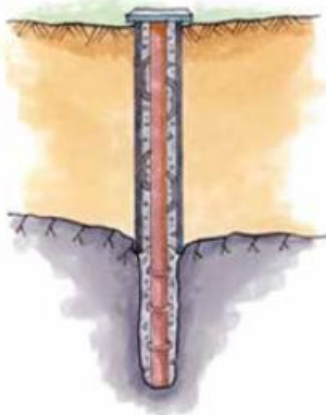
2.1.1.1 Pålarnas funktionssätt

Vid dimensionering för grundläggning av stålpålar beaktas olika geotekniska förhållanden för hur lasten skall fördelas hos pålarna. Man kan utifrån detta använda sig främst utav två typer av pålar, nämligen spetsburna pålar och mantelburna pålar (SGI, 1993).

2.1.1.1.1 Spetsburna pålar

Vid spetsburna pålar borrar eller slås spetsiga pålar ner till berget eller fast jordlager. I de fallen där pålen når berget överförs lasten främst ner till pålens spets. Det innebär i detta fall att mantelbärförmågan spelar ytterst liten roll vid belastning. Är pålen däremot slagen till fast jordlager kommer spetsen fortfarande stå för det mesta av lasten men mantelbärförmågan kommer då

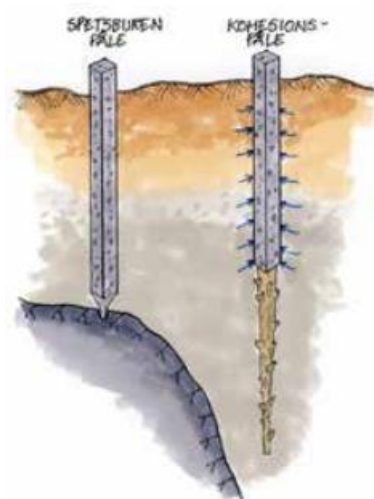
spela en mer betydande roll. Deformationsegenskaperna för spetsburna pålar kommer bero på pålens elastiska egenskaper, den omkringliggande jordens egenskaper och tjocklek, pålens spetsarea och kvaliteten på det underliggande berget (SGI, 1993). Pålkommisionen anger att pålen enligt finska normer borras ner mellan 0,5 m och 1,5 m i berget beroende på pålens belastning. Djupet brukar också bestämmas efter pålens ytterdiameter. En mer djupgående påle ökar inte i bärförmåga vid horisontell eller nära horisontell bergyta (Pålkommisionen, 2010). Efter att pålen eller foderröret förts ner till berget, skall konstruktionen stagas för att klara av att utstå dragspänningar som främst skapas av vindlaster. Stagningen borras ner igenom pålen eller foderröret längre ner i berget varpå betong injekteras in och lägger sig runt stagningen. Betongen fäster i berget och staget, vilket ser till att konstruktionen blir fast placerad (N. Gustafsson, personlig kommunikation).



Figur 1: Spetsburen påle (Pålab, Ett grundligt grundarbete)

2.1.1.2 Mantelburna pålar

Vid grundläggning med mantelburna pålar skiljer man på om pålarna är slagna i friktionsjord eller i kohesionsjord. När man talar om friktionsjordar menas oftast olika typer av sand, och kohesionsjordar syftar mestadels på lerjordar. Här spelar den omkringliggande jorden en betydande roll då lasten fördelas och överförs genom skjuvspänningar mellan pålens kontaktyta med jorden. Det är alltså med friktionen som uppstår sinns emellan, vilket beror av mantelytans skrovlighet eller råhet och jordens friktionsvinkel, som lasten fördelas även om det fortfarande kommer finnas en viss bärförmåga på pålens spets. I de fallen med kohesionsjord som exempelvis lerjordar, är dock pålens spetsbärförmåga i princip försumbar (SGI, 1993).



Figur 2: Mantelburen påle till höger (Pålab, Ett grundligt grundarbete)

2.1.2 Grävpålar/betongpålar

När man pålar med grävpålar gjuter man med betong på plats. Arbetet inleds med att man för ner ett foderrör i marken antingen genom borrhöring eller slagning. Sedan töms detta med en så kallad auger som är en roterande spiralformad skruv. Denna förs ner i marken och skapar ett cylindriskt hål. Sedan för man ner en armeringskorg utav stål som då fylls med betong för att skapa betongpålar. Denna teknik är relativt kostnadseffektiv vid nyttjande för höga belastningar. fördelar med denna teknik är att den är effektiv mot vibrationer, fungerar i alla typer av jord, ger upphov till minimala sättningar och deformationer samt att den har en hög lastkapacitet (Keller, uå). Nackdelen med denna metod är att den är ineffektiv mot dragspänningar vilket i de flesta fall är en viktig funktion för en konstruktion som till exempel en kraftledningsgata kommer behöva utstå när yttre laster som till exempel vind och tjällyft ger upphov till. Det finns inte heller någon lösning att förankra en betongpåle i berget (N. Gustafsson, personlig kommunikation).

3 Hållbarhet – modeller och standarder

I arbetet mot hållbarhet är det vanligt förekommande att företag till viss del har gemensamma processer och standarder för att kartlägga och analysera utsläppen i diverse stadie för ett projekt. I detta kapitel beskrivs några av de vanligt förekommande begreppen och hållbarhetsstandarder som man kan stöta på vid en undersökning av ett bygg- och anläggningsföretags hållbarhetsarbeten.

3.1 Green House Gas Protocol

Det är vanligt att företag följer globala standarder för att rapportera och göra utsläppsberäkningar. En ofta förekommande standard heter Green House Gas Protocol Corporate Standard (GHG), som åtskiljer företagens organisatoriska och operativa gränser. Denna delas upp i tre kategorier eller scopes som de också kallas för att förtydliga från vilken del av värdekedjan som utsläppen kommer ifrån och på så vis ta fram vilka åtgärder som kan implementeras för att sänka dem (Naturvårdsverket, 2023):

Scope 1: Omfattar de utsläpp som den egna verksamheten direkt ger upphov till. Det kan till exempel handla om bränsleförbrukning från fordon.

Scope 2: Omfattar indirekta utsläpp som organisationen ger upphov till. Det kan till exempel handla om inköpt elektricitet, värme eller kyla.

Scope 3: Scope 3-utsläpp omfattar alla andra indirekta utsläpp som inte täcks av Scope 1 och Scope 2. Dessa utsläpp kommer från källor som organisationen inte äger eller kontrollerar direkt. Exempel på Scope 3-utsläpp inkluderar utsläpp från inköpta material och produkter, användning av produkter av kunder, hantering av avfall och avfallsprodukter samt företagets affärsresor. Enligt GHG är det valfritt att rapportera utsläpp som tillhör Scope 3.

3.2 EPD

EPD (Environmental Product Declaration) är en miljövarudeklaration för en byggprodukt där resultatet från en livscykelanalys redovisas i ett komprimerat format. Den består av tre delar:

- Produktdatablad
- Metodval
- Resultat från bedömningen av miljöpåverkan

Vid beräkning av en EPD för en produkt börjar man med att ta fram vilka regler eller utsläppskrav som gäller för produkten (Produktspecifika regler eller PCR) inför livscykelanalysen. De innehåller bland annat riktlinjer om metodval, avgränsning, dataunderlag för den använda produktgruppen. Kraven tas vanligen fram i samråd med branschorganisatorerna. Krav enligt PCR varierar beroende på produkten men kan till exempel vara att hanteringen av avfall eller att användningen av nya eller återvunna material beskrivs (Boverket, 2019).

4 Referensprojekt

Företaget BESAB har fått i uppgift att grundlägga fundament till luftburna elledningar i en ny kraftgata i ett område vid Markaryd. I projektet kommer grundläggningen mestadels göras med spetsburna stålrörspålar vars dimensionering baseras på gamla ritningar vilket leder till att det uppstår överdimensionering på stora håll. BESAB vill därför se över vilka möjligheter som finns om man i stället skulle välja att till exempel göra aktiv design och på så vis få besparingar i materialanvändandet. De vill dessutom få reda på hur frågan ses över och hanteras av respektive aktör i projektet det vill säga byggherren Vattenfall, generalentreprenören Craftor, underentreprenören BESAB samt projektören från Sweco (N. Brogren, personlig kommunikation).

4.1 Bakgrund

Inför tidigare projekt har Vattenfall tagit fram en metodlösning med ritningar där syftet varit att med en och samma arbetsgång och metod kunna utföra grundläggningsfundament oavsett vilka omständigheter och geotekniska förutsättningar som råder i respektive projekt. Anledningen till detta anses vara då denna arbetsgång varit enkel administrativt för de som utför projektet. I dagens hållbarhetsarbete med reducerade klimatavtryck ser man dock en konflikt med denna metod då den för med sig överdimensionering i form av onödigt stor stålanvändning.

BESAB har anlåtats som underentreprenör i ett projekt där Vattenfall är byggherre som går ut på att utföra grundläggning till luftburna elledningar. BESAB är intresserade av att ta reda på om Vattenfall som beställare och som är en nyckelspelare i den fossilfria omställningen, ser utrymmen för förbättring inom detta tänkande. Förslag som tagits fram av bland annat BESAB själva hade kunnat vara att nyttja aktiv design, det vill säga att man tar fram ritningar som är anpassade för det aktuella projektet. En annan lösning hade kunnat vara att man tar fram fler standardritningar som skulle kunna användas vid olika förutsättningar som man stöter på i respektive grundläggning (N. Brogren, personlig kommunikation).

4.2 Aktörerna i projektet

I detta projekt för byggnation av luftburna elledningar med pålgrundläggning är Vattenfall beställare, Craftor generalentreprenör, BESAB underentreprenör och Sweco projektör. Stålet köps in från och produceras av SSAB.

4.2.1 Vattenfall

Vattenfall har idag över 20 000 anställda och är en av Europas största producenter av el och värme. Bolaget som är statligt ägt har satt upp olika mål som ska se till att de når sin strävan att röra sig mot målen att uppnå 55% minskning av utsläpp till 2030 och 90% minskning till 2040, i jämförelse med 2017 års värden. Dessa mål täcker inte bara el- och värmeproduktionen som Vattenfall själva står för, utan även hela leveranskedjan (Vattenfall, u.å).

En av satsningarna som Vattenfall bedriver är ett samarbetsprojekt som kallas för HYBRIT. Samarbetet görs tillsammans med företagen SSAB och LKAB där syftet är att fasa ut fossila bränslen vid tillverkningen av stål, och i stället elektrifiera processen med förnybara energikällor (Vattenfall, 2023).

Vattenfall är dessutom en del av SteelZero-initiativet som är ett initiativ bestående av ledande organisationer och företag vars syfte är att accelerera omställningen till att nyttja stål som är framtaget av förnybara energikällor (ResponsibleSteel, u.å). Med detta medlemskap har Vattenfall tagit på sig ansvaret att endast köpa in stål tillverkat med nettonollutsläpp till 2040 (Vattenfall, 2023).

4.2.2 Craftor

Craftor är en kraftentreprenör med expertis inom projektering, konstruktion och underhåll av elnät, bestående av 150 anställda. De ingår sedan 2020 i Eleda Group (Craftor, u.å). Craftors specialitet är kraftanläggningar upp till 400 kW och kan vara till exempel att dra luftburna eller nedgrävda ledningar till kraftnätet från vind- och vattenkraftverk och föra upp de konstruktioner som bär upp ledningarna. Konstruktionerna och arbetet består för det mesta av stål men även trä bland annat beroende på vilka laster som dimensioneras för.

4.2.3 BESAB

BESAB är ett företag inom anläggningsbranschen med ca 220 anställda specialister som specialiserar sig på berg, betong och grund. BESAB gruppen AB består av olika avdelningar med diverse kompetenser:

- BESAB AB som utför specialisttjänster inom berg, betong och grund.
- BESAB viva AB som utför kund- och behovsanpassade lösningar inom energisektorn och i marin miljö.
- BESAB maskin AB som tillhandahåller specialanpassade entreprenadmaskiner för berg-, Betong och grundarbeten.
- BESAB teknik AB som tillhandahåller tekniska konsulttjänster och bedriver forskning och utbildning.
- BESAB fastigheter AB som äger och förvaltar fastigheter för koncernens behov.

Arbeten som BESAB kan utföra är till exempel grundläggningsarbeten bland annat med pålning, tätning i berg med injektering och bergsförstärkning med betongsprutning (BESAB, u.å).

4.2.4 SSAB

SSAB är ett globalt stålföretag med ungefär 14 500 anställda i över 50 länder, som årligen producerar ca 8,8 miljoner ton stål. De producerar färdiga stålprodukter och former, bland annat stålpålar i olika dimensioner, som nyttjas i olika anläggnings- och byggprojekt. Mål som SSAB har tagit fram är att bli världens första stålföretag att erbjuda marknaden fossilfritt stål till 2026 och att

till 2030 i stort sett ha tagit bort koldioxidutsläppen från sin egen verksamhet (SSAB, uå).

5 Intervjustudie

En intervjustudie utfördes med fokus på de företag som är inblandade i referensprojektet. De företag som det läggs fokus på har olika roller i projektet där syftet med frågorna handlar om att ta reda på vad företagen gör för hållbarhetsarbeten för att möjliggöra en sänkning av materialanvändningen samt vilka visioner de har inför liknande projekt i framtiden. Företagens hållbarhetschefer som intervjuas är från Vattenfall som är byggherren som beställt tjänsterna för att bygga ut kraftnätet och de som har det sista ordet vid olika bestämmelser och föreskrifter. Andra företag som intervjuas är Craftor som är generalentreprenören som fått beställningen att utföra arbeten i projektet och som står för konstruktionen av eltornen ovan mark som består av stål, och även BESAB som är underentreprenör som blivit anlitate av Craftor för att utföra grundläggningsarbetena i projektet i form av pålning i stål. Fokus med intervjuerna är att ta reda på vad de företagen som är inblandade i projektet gör för hållbarhetsarbete och dels vad de har för möjlighet att minska sina utsläpp i arbeten som använder stål. På så vis kan en slutsats dras om vart i värdekedjan som ändringar måste göras inför framtiden och vilka ändringarna är. I studien har dock endast svar från BESAB och Craftor tillhandahållits. Frågor till Vattenfall sammanställdes och skickades men utan något svar. Frågor besvarades av Malin Eriksson (personlig kommunikation), som är kvalitets- och hållbarhetschef på BESAB, samt Emma Nolte (personlig kommunikation), som är hållbarhetschef på Craftor.

5.1 Frågor till respektive aktör

5.1.1 Craftor

(Fråga 1) Kan ni beskriva hur ert företag arbetar med hållbar omställning och vilka initiativ ni har tagit för att minska er miljöpåverkan när det kommer till stålanvändning? Ingår ni i något hållbarhetssamarbete?

-Craftors långsiktiga och övergripande mål är att vara branschens bästa arbetsgivare samt att nå netto noll utsläpp och ett cirkulärt materialflöde år 2045. Till 2030 ska vi ha halverat vår klimatpåverkan i hela värdekedjan. Just området "Klimat och resurser" är ett av våra fyra fokusområden vi har identifierat och målsatt. Fokusområdena är de områden där Craftor har störst påverkan eller möjlighet att påverka vår omgivning i positiv riktning. För varje område finns långsiktiga, övergripande mål samt mål och aktiviteter för innevarande år för att säkerställa att vi rör oss i rätt riktning.

Craftor har sedan 2022 beräknat sina koldioxidutsläpp enligt det globala ramverket Greenhouse gas Protocol (GHG-protokollet). Under 2023 beräknades scope 1 och 2 för år 2022, vilket innefattar de direkta utsläppen och utsläppen från inköpt energi. I början på 2024 beräknades Scope 3, alltså Craftors indirekta utsläpp, där 2023 kommer att fungera som basår. I kartläggningen för 2023 (som man får ta med en liten nypa salt på grund av otillräckliga faktiska data tillgänglig på vår marknad) ser vi att 97% av vår klimatpåverkan kommer från scope 3, varav kategorin Inköpta varor och tjänster står för 93%. I den kategorin står stål, järn, ferrolegeringar och produkter av dessa för ca 10% av utsläppen. Så

det är absolut något vi kommer titta närmare på hur vi kan minska. Med det sagt är det inte alltid vi har rådighet över inköpen, så detta behöver vi arbeta med tillsammans med våra beställare

(Fråga 2) Har det skett någon märkbar ändring de senaste åren i era produktion och era val av leverantörer som gett upphov till lägre klimatavtryck?

-Vi har sett att det börjat dyka upp krav från en beställare, vilket är mycket positivt. Men hos andra går det långsammare. När jag exempelvis lyft frågan på ett möte med SvK (Svenska kraftnät), som köper in stora mängder stål att använda i exempelvis våra projekt, så hade tanken inte ens slagit dem, att de kunde ta med EDP/utsläppskrav i upphandlingen.

(Fråga 3) Gör ni beräkningar för att ta reda på vilket klimatavtryck ni ger upphov till i era konstruktioner och vilka metoder nyttjas för att utföra dessa?

-Vi står sällan själva för konstruktionen däremot genomför vi en klimatkalkyl på ett av våra projekt för att få faktiska siffror på utsläpp så långt det är möjligt, något som saknas i stor utsträckning idag och som våra beställare också efterfrågar.

(Fråga 4) Vad har ni för erfarenhet av metoder med lägre klimatavtryck som ni i senare skede av ett projekt kanske tagit fram men som ni kanske har fått avslag på från en beställare? I sådana fall, brukar det finnas en bra anledning till att ni fått avslag?

-Vissa av våra projektledare har tagit upp frågan kring lägre klimatavtryck i projekt som inte haft fokus på det, exempelvis genom att använda klimatanpassad betong. De har fått avslag i nästan samtliga fall då beställaren hänvisar till att de av kostnadsskäl inte kan godkänna det. Tilläggas kan är att det i sammanhanget handlat som relativt små kostnadsökningar.

(Fråga 5) Vad ställer ni för krav på era leverantörer och transporter för att sänka utsläppen?

-Vi har haft dialog med våra 20 största leverantörer under 2023 för att få en ömsesidig förståelse för var de befinner sig (till exempel vilka produkter har de EPD:er för och när) och hur vi tillsammans kan hjälpas åt att nå våra klimatmål.

(Fråga 6) Hur arbetar Craftor för att främja återvinning och cirkularitet i sin användning av stålmateriel? Finns det några specifika åtgärder eller initiativ som företaget har vidtagit för att maximera återvinningen och återanvändningen av stål i sina projekt?

-Stål återvinns till stor del/helt av våra avfallsleverantörer enligt den återkoppling vi får av dem.

(Fråga 7) Görs det något arbete för att sänka utsläppen från maskiner som används på anläggningsprojekten?

-Vi äger inga egna entreprenadmaskiner men har flertalet projekt i gång just nu där vi enbart kör på HVO100 (diesel producerad på Hydrerad Vegetabilisk Olja med lägre koldioxidutsläpp). Vi har ett internt beslut på att alla Craftors egna fordon som kan gå på HVO100 ska tankas med det (sedan mitten på förra året).

5.1.2 BESAB

(Fråga 1) Vad har ni för vision inför framtiden för att bli mer hållbara? Har ni satt upp något mål?

-BESAB jobbar för fullt med att implementera de nya lagkraven från EU, det som heter CSRD (lagen) och ESRS (rapporteringsstandarden). Inom ramen för detta så ställs det krav på företagen att de har strategier och mål inom hållbarhet, dessutom ska dessa strategier och mål vara förankrade i vetenskapen. Vid utgången av året 2024 kommer BESAB att ha nya uppsatta mål och ambitioner inom hållbarhet, som tar hänsyn till både branschen och vetenskapen. I dagsläget följer vi de mål som vår affärsplan har stipulerat – och det är förhållandevis övergripande hållbarhetsmål: I stora drag handlar de om att BESAB ska vara en attraktiv arbetsgivare i branschen, att BESAB ska fokusera på hållbarhet, och att BESAB:s organisation ska innehålla en mångfald gällande kön, ursprung och ålder. Vi har också ett mål om att vi ska fördubbla vår mängd inköpta HVO100 till och med 2024 jämfört med 2022. Hållbarhet är ett mycket vitt och brett begrepp och det är inte ovanligt att man får ett tunnelseende på Co2 och miljö när man pratar om hållbarhet, men hållbarhet handlar om så mycket mer. Det är något jag alltid försöker framhäva. Med det sagt så finns det en mängd insatser och aktiviteter som kan kartläggas under hållbarhet, inte minst personalvårdande aktiviteter.

(Fråga 2) Kan ni beskriva hur ert företag arbetar med hållbar omställning och vilka initiativ ni har tagit för att minska er miljöpåverkan? Vilka investeringar har gjorts och vad har de lagts på?

-De investeringar som gjorts de senaste 2 åren är dels att man anställt en hållbarhetschef med kunskaper inom området, att denna person är en del av ledningsgruppen, dels att man har investerat i en del miljöutbildningar för samtliga tjänstemän. Vi har också genomfört en ny miljöutredning där vi tagit reda på vilka våra mest betydande miljöaspekter är. Inom förmånsbilarna ser vi att fler och fler väljer att plocka ut en ren elbil vilket vi ser positivt på. Vi ställer däremot inga krav på det. Inom våra projekt tankar vi HVO100 eller EcoPar i våra maskiner när vår beställare så kräver det.

(Fråga 3) Vilka miljörelaterade krav brukar ställas på er från era beställare/generalentreprenörer?

-Vi för vidare de krav som våra beställare har på oss, till våra underentreprenörer. De krav vi ofta ser är att vi ska tanka med HVO100 eller EcoPar, att vi ska göra substitutionsanalyser av kemikalier, använda miljöoljor, sortera vårt avfall med mera. När det gäller avtal med exempelvis olika leverantörer ställer vi krav på att dom ska kunna tillhandahålla relevant data till oss inför vår hållbarhetsredovisning.

(Fråga 4) Vilka metoder nyttjas för att räkna fram er klimatpåverkan från till exempel material såsom stål och betong?

-Vi har hittills inte gjort detta på regelbunden basis, när vi har gjort det har vi använt oss av inköpt mängd och multiplicerat det med den Co2-ekvivalent som antingen framgår av produktens EPD eller information från leverantören.

(Fråga 5) Vad ställer ni för krav på era leverantörer och transporter för att sänka utsläppen?

-Vi har en Uppförandekod för leverantörer, den är under revidering så att den ska lira med vår nya uppförandekod för BESAB-gruppen. När det gäller avtal med exempelvis olika leverantörer ställer vi krav på att de ska kunna tillhandahålla relevant data till oss inför vår hållbarhetsredovisning.

(Fråga 6) Görs det något arbete för att sänka utsläppen från maskiner som används på anläggningsprojekten?

-När krav ställs på oss från våra beställare så tankar vi våra maskiner med det fossilmåttiga bränslet HVO100. Vi har en del maskiner som är nya, vilket medför en lägre bränsleförbrukning och mindre utsläpp. Våra maskiner använder enbart miljöolja.

(Fråga 7) Vilka utmaningar kommer bli svårast inför framtiden för att nå en fossilfri produktion främst inom grundläggning?

-Som jag ser det nu så kräver omställningen en mycket stor attitydförändring och en stor beteendeförändring i branschen för att lyckas ställa om till en fossilfri bransch, och det är dessa som kommer att vara de största utmaningarna. Det kräver ett modigt och enhetligt ledarskap i styrelser och i ledningsgrupper. Sedan kommer prislappen för att göra omställningen. Det kostar ofantliga summor att exempelvis ställa om till en helt elektrifierad maskinpark, därtill kommer också kapacitetsbristen på elnätet. För att lyckas ställa om måste man börja arbeta med långsiktiga investeringsplaner redan idag, för att nå fram till målet om såg 10, 15, 20 år? Sedan måste företagen börja ta in hållbarhetsprofiler i sina styrelser för att öka kunskaperna och kraven i bolagen kring hållbarhetsfrågor. Där ser vi ett otroligt stort glapp idag. Om vi tittat generellt i näringslivet så är det enbart några promille av alla bolag, vågar jag gissa, som kopplar bonus till VD och övriga företagsledningen till progress/måluppfyllnad inom hållbarhet, det är fortfarande pengar (omsättningsmål) som styr där. Och detta kommer behöva förändras för att vi ska se en progress i frågorna. Företagsledningarna och deras styrelser behöver också inse att hållbarhet måste vara en del av affären för att överleva framåt. Endast de bolag som lyckas med det kommer att överleva långsiktigt. I framtiden (om 5–10 år?) kommer inga privatpersoner eller bolag vilja handla av eller samarbeta med bolag som inte är hållbara.

(Fråga 8) Vilka hållbarhetsmål har ni upplevt ha krockat med varandra och vilka prioriteringar gör ni då?

-Hållbarhetsmål/hållbarhetsambitioner krockar med omsättningsambitioner och omsättningskrav, och då stryker hållbarhet på foten. Detta ändras den dagen man börja jobba med hållbarhet som en del av affären, när man slutar separera hållbarhet från affären och förstår att hållbarhet ger bränsle till affären och inte tvärt om.

6 Påloptimering – beräkning av två fall

6.1 Syfte

Syftet med den aktiva designen av pålarna i denna rapport är att reducera materialåtgången som direkt resulterar i en lägre miljöpåverkan. I den ursprungliga versionen använder sig BESAB av pålen RD 220/10 som borrhåle från stålföretag SSAB. I projektet används stagen SAS 670/800 med θ 57,5 mm från företaget Naulankanta. Pålarna ska i detta fall klara ett tryck på 350 kN och staget ett drag på 100 kN (Niclas Brogren, BESAB). Målet med arbetet var att dimensionera en påle som enligt beräkningar klarar trycklasterna och att staget då enbart ska dimensioneras för draglasterna.

6.2 Geotekniska förutsättningar

Kraftledningen har en längd på cirka 14 km luftledning och cirka 1 km markförlagd ledning. Under sträckans gång passerar ledningen huvudsakligen jordbruksmarker, skogsområden samt strandängar. Vid jordbruksmarken är det jordarterna lera och silt som dominerar. För de fundamenten där lerans skjuvhållfasthet är mindre än 10 kPa kommer det att krävas ett stag för att utföra schakten (Johan Olovsson, BESAB). Dessa beräkningar kommer att vara anpassade till stolpe 8 som befinner sig på en jordbruksmark. Enligt ritningar har leran i området en uppskattad karakteristisk skjuvhållfasthet $C_{char} = 2$ kPa. Detta innebär att lerans hållfasthet är svag och att det då kommer att krävas ett stag för att förankra konstruktionen. Vid ett djup på 23,2 meter har leran en tunghet på 19 kPa och friktionsvinkeln är $34,9^\circ$. Grundvattennivån har uppmätts till 1 meter under marknivå.

C P T - sondering

Sida 2 av 2

Projekt				Plats				Stolpe 0008							
Färlev-Tossene 30001839				Borrhål				0008P2							
				Datum				2022-01-20							
Djup (m)				ρ	w_L	τ_u	ϕ	σ'_{v0}	σ'_{v0}	σ'_{v0}	OCR	I_D	E	M_{OC}	M_{SC}
Från	Till	Klassificering		t/m^3		kPa	$^\circ$	kPa	kPa	kPa		%	MPa	MPa	MPa
16,20	16,40	Cl M	OC	1,85	0,65	41,3		275,5	122,5	185,2	1,51				
16,40	16,60	Cl M	NC	1,85	0,65	40,5		279,1	124,1	180,4	1,45				
16,60	16,80	Cl L	NC	1,85	0,65	39,9		282,8	125,8	176,7	1,40				
16,80	17,00	Cl L	NC	1,85	0,65	39,9		286,4	127,4	176,0	1,38				
17,00	17,20	Cl M	NC	1,80	0,65	40,5		290,0	129,0	178,5	1,38				
17,20	17,40	Cl M	NC	1,80	0,65	40,7		293,5	130,5	179,0	1,37				
17,40	17,60	Cl M	NC	1,80	0,65	40,6		297,0	132,0	178,1	1,35				
17,60	17,80	Cl M	NC	1,80	0,65	40,4		300,6	133,6	176,5	1,32				
17,80	18,00	Cl M	NC	1,80	0,65	40,7		304,1	135,1	177,5	1,31				
18,00	18,20	Cl M	NC	1,80	0,65	40,4		307,6	136,6	175,7	1,29				
18,20	18,40	Cl L	NC	1,80	0,65	39,5		311,2	138,2	170,2	1,23				
18,40	18,60	Cl L	NC	1,80	0,65	39,5		314,7	139,7	169,8	1,22				
18,60	18,80	Cl L	NC	1,80	0,65	39,6		318,2	141,2	169,7	1,20				
18,80	19,00	Cl L	NC	1,80	0,65	38,9		321,8	142,8	165,8	1,16				
19,00	19,20	Cl L	NC	1,80	0,65	38,8		325,3	144,3	164,7	1,14				
19,20	19,40	Cl L	NC	1,80	0,65	38,1		328,8	145,8	160,5	1,10				
19,40	19,60	Cl L	NC	1,80	0,65	36,1		332,4	147,4	149,4	1,01				
19,60	19,80	Cl L	NC	1,80	0,65	34,4		335,9	148,9	142,1	1,00				
19,80	20,00	Cl L	NC	1,80	0,65	32,9		339,4	150,4	135,9	1,00				
20,00	20,20	Cl L	NC	1,80	0,65	30,7		343,0	152,0	127,0	1,00				
20,20	20,40	Cl L	NC	1,80	0,65	30,3		346,5	153,5	125,3	1,00				
20,40	20,60	Cl L	NC	1,80	0,65	30,1		350,0	155,0	124,3	1,00				
20,60	20,80	Cl L	NC	1,80	0,65	29,0		353,6	156,6	119,7	1,00				
20,80	21,00	Cl L	NC	1,80	0,65	29,1		357,1	158,1	120,4	1,00				
21,00	21,20	Cl L	NC	1,80	0,65	29,4		360,6	159,6	121,6	1,00				
21,20	21,40	Cl L	NC	1,80	0,65	29,0		364,1	161,1	119,8	1,00				
21,40	21,60	Cl L	NC	1,80	0,65	28,4		367,7	162,7	117,3	1,00				
21,60	21,80	Cl L	NC	1,80	0,65	27,9		371,2	164,2	115,1	1,00				
21,80	22,00	Cl L	NC	1,80	0,65	26,5		374,7	165,7	109,4	1,00				
22,00	22,20	Cl L	NC	1,80	0,65	26,5		378,3	167,3	109,6	1,00				
22,20	22,40	Cl L	NC	1,80	0,65	26,7		381,8	168,8	110,5	1,00				
22,40	22,60	Cl L	NC	1,80	0,65	31,9		385,3	170,3	131,8	1,00				
22,60	22,80	Cl L	NC	1,80	0,65	30,2		388,9	171,9	124,9	1,00				
22,80	23,00	Cl L	NC	1,80	0,65	27,6		392,4	173,4	114,2	1,00				
23,00	23,20	Cl L	NC	1,80		(24,8)		395,9	174,9		1,00				
23,20	23,33	Sa Med		1,90			34,9	398,9	176,3			57,1	34,5	47,0	37,6

Figur 3: Geotekniska förutsättningar för stolpe 8 tagna från PM som överlämnats av Johan Olovsson, BESAB.

6.3 Aktiv design

För att göra det möjligt att dra ner på dimensionerna på komponenterna är det i detta fall bestämt att pålens uppgift är att klara tryckkraven medan stagets uppgift är att klara drag kraven. Grundidén som nyttjas i praktiken idag är att staget både ska klara drag och tryck vilket är en bidragande faktor som ligger bakom den överdimensionering som sker.

6.4 Begränsningar

Examensarbetet begränsas till att beräkna de strukturella bärförmågorna då detta har ingått i tidigare lästa kurser. De geotekniska förmågorna täcks vid de beräkningar som nyttjar programmet PILECALC och som redovisas under avsnitt 6.6.

6.5 Handberäkningar stolpe 8

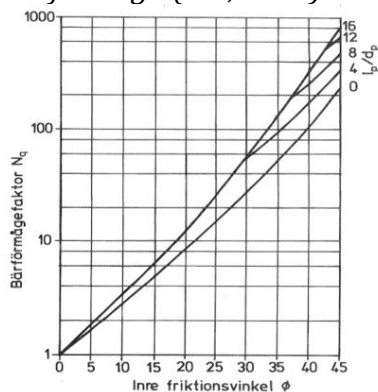
6.5.1 Bärförmåga

Påle

Pålarnas uppgift är att klara det tryck som fundamentet skall kunna utsättas för, i detta fall 350 kN. För att beräkna bärförmåga för en påle måste man ta hänsyn till pålens mantelbärförmåga Q_m , eller spetsens bärförmåga Q_s , enligt formeln $R = Q_m + Q_s$ beroende på vilken typ av påle man använder sig av. I detta fall lades fokus på spetsens bärförmåga, Q_s , vilket är den dimensionerande lasten. Storleken hos en påles bärförmåga, beror av arean och bärförmågan på spetsen. Denna beräkning nyttjar formeln nedan för att beräkna den minsta tillåtna arean på pålen för att kunna bära 350 kN. Handboken om Pål-grundläggning från Statens Geotekniska Institut har fungerat som stöd och hänvisat med formler. Se bilaga 3 och 4 för tydligare hänvisningar av stolpens placering och dimensioner.

$$R = f_m \times A_m + f_s \times A_s$$

Ekvation 1: Beskriver sambandet mellan en spetsburen påles area och dess bärförmåga (SGI, 1993).



Figur 4: Beskriver sambandet mellan friktionsvinkeln, och bärförmågefaktorn (SGI, 1993).

För att kunna använda ekvationen ovan måste pålens spetsbärförmåga först vara känd. Figur 5 beskriver sambandet mellan friktionsvinkeln φ , och bärförmågefaktorn N_q . Värdet på bärförmågefaktorn nyttjas sedan för att ta reda på spetsbärförmågan med ekvation 2:

$$f_s = N_q + \sigma'_{os}$$

Ekvation 2: Beskriver hur en påles spetsbärförmåga beror på bärförmågefaktorn och dess effektiva vertikalkraft (SGL, 1993).

Det vertikala effektiva överlagringstrycket (176,3 kPa) togs från tabell 1 på ett djup på 23,2 meter.

Formeln och figuren ovan gör det möjligt att beräkna spetsbärförmågan. Omskrivning av formel gör det möjligt att beräkna den minsta möjliga spetsarean:

$$R = f_s \times A_s \Rightarrow A_s = \frac{R}{f_s}$$

A_s beräknades då till 19 852,5 mm². Detta är den minsta dimensionerande spetsarean. Utifrån tabell 2 kan en dimension på pålen väljas som uppfyller kraven. I detta fall möjliggjordes nyttjande av en påle med diametern 168,3 mm och en godstjocklek på 10 mm. Detta innebär en minskning i pålens diameter från 219,1 ⇒ 168,3 mm vilket även resulterar i en minskning av mängden stål som används.

A = Tvärsnittsarea A _v = Montelarea A _b = Area pålände			W _{el} = Elastiskt böjmoment I = Yttreghetsmoment Z = Pålens impedans						Tvärsnittsegenskaper inkl. rostmn med 1,2 mm och 2,0 mm						
D [mm]	t [mm]	M [kg/m]	A [mm ²]	A _v [m ² /m]	A _b [mm ²]	W _{el} [cm ³]	I [cm ⁴]	EI [kNm ²]	Z [kNs/m]	A _{1,2} [mm ²]	A _{2,0} [cm ²]	I _{1,2} [cm ⁴]	I _{2,0} [cm ⁴]	EI _{1,2} [kNm ²]	EI _{2,0} [kNm ²]
76,1	6,3	10,8	1381	0,24	4548	22,3	84,8	178	56,1	1099	916	65,0	52,8	137	111
88,9	6,3	12,8	1635	0,28	6207	31,5	140,2	294	66,4	1304	1089	108,4	88,7	228	186
114,3	6,3	16,8	2138	0,36	10261	54,7	312,7	657	86,8	1711	1432	244,5	201,4	514	423
114,3	8,0	21,0	2672	0,36	10261	66,4	379,5	797	108,5	2245	1966	311,3	268,2	654	563
127,0	6,3	18,8	2389	0,40	12668	68,7	436,2	916	97,0	1915	1604	342,4	282,8	719	594
139,7	8,0	26,0	3310	0,44	15328	103,1	720,3	1513	134,4	2788	2445	595,1	515,2	1250	1082
139,7	10,0	32,0	4075	0,44	15328	123,4	861,9	1810	165,4	3553	3209	736,7	656,8	1547	1379
168,3	10,0	39,0	4973	0,53	22246	185,9	1564,0	3284	201,9	4343	3928	1344,1	1202,7	2823	2526
168,3	12,5	48,0	6118	0,53	22246	222,0	1868,4	3924	248,4	5488	5073	1648,5	1507,1	3462	3165
219,1	10,0	51,6	6569	0,69	37703	328,5	3598,4	7557	266,7	5748	5205	3110,9	2794,7	6533	5869
219,1	12,5	63,7	8113	0,69	37703	396,6	4344,6	9124	329,4	7292	6749	3857,0	3540,9	8100	7436
244,7	10,0	57,9	7373	0,77	47028	415,7	5086,1	10681	299,4	6455	5848	4405,7	3963,3	9252	8323
244,7	12,5	71,6	9118	0,77	47028	503,7	6163,3	12943	370,2	8200	7594	5482,9	5040,4	11514	10585
273,0	10,0	64,9	8262	0,86	58535	524,1	7154,1	15024	335,5	7238	6560	6207,9	5590,9	13037	11741
273,0	12,5	80,3	10230	0,86	58535	637,2	8697,4	18265	415,3	9205	8527	7751,2	7134,2	16278	14982
323,9	10,0	77,4	9861	1,02	82397	750,7	12158,3	25533	400,4	8645	7839	10574,7	9538,5	22207	20031
323,9	12,5	96,0	12229	1,02	82397	916,7	14846,5	31178	496,5	11012	10206	13262,9	12226,7	27852	25676

Figur 5: Tabell tagen från SSAB med mått och geometriska tvärsnittsvärden för RR- och RD- mikropålar.

Stag

Stagets uppgift är att klara de dragkrafter som kan uppkomma och som konstruktionen därmed skall kunna motstå, vilket i detta fall är 100 kN. Enligt föreskrifterna om projektet i Markaryd, är det bestämt att det skall nyttjas ett stag med diametern 57,5 mm från Naulankanta enligt tabell 3. Det nyttjade staget klarar potentiellt ett drag på 1740 kN, vilket är en klar överdimensionering.



SAS Gewindestab warmgewalzt, Rippenstahl - rechtsgängig | SAS thread bar hot rolled, ribbed - right hand thread

SAS 670 / 800 Ø 18 - 75mm | grade 97

$\theta_{min} / \theta_{max}$	[mm]	18	22	25	28	30	35	43	50	57,5	63,5	75
max d_n	[mm]	21	25	28	32	34	40	48	55	63	70	82
c	[mm]	8	8	10	11	11	14	17	18	20	21	24
$f_{yk}(f_{yk}) / f_{yk}(A_{sp})$		670N/mm ² / 800N/mm ² / >5%										
F_{yk} (F_{yk})	[kN]	170	255	329	413	474	645	973	1315	1740	2122	2760
F_{yk}	[kN]	204	304	393	493	565	770	1162	1570	2077	2534	3335
A	[mm ²]	254	380	491	616	707	962	1452	1963	2597	3167	4418
G	[kg/m]	2,00	2,98	3,85	4,83	5,55	7,55	11,40	15,40	20,38	24,86	34,68

Figur 6: Tabell tagen från Naulankanta med mått och geometriska tvärsnittsvärden för SAS 670/800 Ø 18–75 mm stag.

I denna beräkning nyttjas ett stag med diametern 18 mm i stället. Det nya staget klarar enligt tabell 3 ett drag på 170 kN. Detta kommer att resultera i en besparing på 18,38 kg/m stål. Ett kilogram stål ger upphov till omkring 2000 kg CO₂-ekvivalter per ton producerat stål (Myndigheten för tillväxtpolitiska utvärderingar och analyser, 2018). Vilket indikerar en besparing på 36,76 kg CO₂/m.

6.6 Beräkning med verktyg

6.6.1 Beräkningar

SSAB har lanserat ett program (PILECALC, 2024) som gör det möjligt att ta fram den optimala pålen från SSAB utifrån de geotekniska förutsättningarna. Programmet täcker lagerverken för Finland, Sverige, Danmark och Tyskland. I detta fall skulle den optimala pålen vara RD170/10 vilket stämmer överens med resultaten från handberäkningarna. Skillnaden mellan programmets beräkningar och handberäkningarna är att programmet tar hänsyn till geotekniska förutsättningar, såsom den karakteristiska skjuvhållfastheten. Pålen är betongfylld som följer säkerhetsklass C35/45. Den strukturella bärförmågan med hänsyn till buckling är 453 kN. Den geotekniska bärförmågan för pålen i detta fall är 996 kN. Programmet tar även hänsyn till att påle klarar kriterierna för att undvika knäckningsrisk.

6.6.2 Miljöpåverkan

SSAB dimensioneringsverktyg gör det möjligt att ta reda på hur stort miljöavtryck som respektive påle har. En påle med dimensionen 220/10 avger 46 kg CO₂/m medan en påle med dimensionen 170/10 avger 34,8 kg CO₂/m. Ett byte av påle från RD 220/10 till RD 170/10 kommer att bespara miljön på 11,2 kg CO₂/m, cirka 50 % (PILECALC, 2024).

6.6.3 Kostnad

SSAB har skickat en offert till BESAB där de beskriver de olika priserna för pålarna. Offerten är giltig fram till 2024-04-02. Ett skarvrör med längden 3 meter och diametern 220 mm och godstjockleken 10 mm kostar 232 euro. Ett skarvrör med längden 3 meter och diametern 170 mm och godstjockleken 10 mm kostar 165 euro. Pålarna för fundament 8 har längden 23,2 meter vilket betyder att pålarna kommer att kosta 1794 euro respektive 1276 euro. Fundamentet som stolpe 8 står på kommer att bestå av 34 pålar. För enbart detta fundament är den beräknade besparingen 17 612 euro (Johan Olovsson, 2024).

6.7 Ytterligare ett fall

Beräkning ovan har gjorts för ett kritiskt fall, stolpe 8. Stolpe 8 är en av de mest kritiska punkterna när det gäller grundläggningsarbetet då pålarna måste kunna hantera stora belastningar. Den totala volymen för fundamentet är $122,9 \text{ m}^3$ och med en belastning på 350 kN för stolpe 8. Resterande fundament som BESAB arbetar med har en volym på $22,9 \text{ m}^3$ och med en belastning på 275 kN. För att göra beräkningarna i detta examensarbete mer relevant för byggbranschen, kommer en ytterligare beräkning göras i Pilecalc för stolpe 3. Samma ritning används för stolpe 4, 7 och 55 som för stolpe 3.

6.7.1 Beräkning med verktyg

Efter inmatning av data kom programmet fram till att den optimala dimensionen för stolpe 3 är RD 140/8. Den strukturella bärförmågan med hänsyn till buckling är 302 kN. Den geotekniska bärförmågan för vår påle är 663 kN. Enligt de ursprungliga ritningarna ska RD 220/10 användas (PILECALC, 2024).

6.7.2 Miljöpåverkan

En påle med dimensionen 220/10 avger $46 \text{ kg CO}_2/\text{m}$ medan en påle med dimensionen 140/8 avger $23,1 \text{ kg CO}_2/\text{m}$. Ett byte av påle från RD 220/10 till RD 140/8 kommer att bespara miljön på $22,9 \text{ kg CO}_2/\text{m}$ (PILECALC, 2024).

6.7.3 Kostnad

Ett skarvrör med längden 3 meter, diametern 220 mm och godstjockleken 10 mm kostar 232 euro. Ett skarvrör med längden 3 meter, diametern 140 mm och godstjockleken 8 mm kostar 147 euro. Pålarna för fundament 3 har längden 16,4 meter vilket innebär att pålarna kommer kosta att 1268 euro respektive 804 euro. Fundamentet som stolpe 3 står på kommer att bestå av 8 pålar. För enbart detta fundament är det möjligt att spara 3 712 euro (Johan Olovsson, 2024).

7 Diskussion

Syftet med denna rapport är att optimera grundläggningsarbetet när det gäller stålandvändningen och hitta en lämplig påldimension som kan hantera belastningarna. Följande kapitel diskuterar resultaten som uppnåddes och vilka förbättringspotentialer som finns.

7.1 Arbetsgång

Stort fokus lades på bakgrundsundersökningar och litteraturstudier då förkunskaperna inom ämnet var begränsade. En av utmaningarna under arbetsgången har varit att hitta relevant fakta inom ämnet underbyggnader då större delen av det publicerade materialet fokuserar på överbyggnader. Till en början upplevdes litteraturstudien som utmanande då man inte alltid fick en bild av hur en pålkonstruktion kan se ut och fungerar. Därmed var platsbesöken och hjälpen med förklaringar från handledare en viktig del i förståelsen inför arbetsgången till rapporten.

I rapporten stod en intervjustudie för en betydande del. Utmaningarna som dök upp i denna var att ta fram relevanta frågor som passade frågeställningarna men som samtidigt gick att få svar på från så få kontaktpersoner som möjligt. Det märktes här att frågorna inte kunde vara blandade mellan projektspecifika frågor och hållbarhetsfrågor allmänt. Här dök det även upp en annan utmaning vilket var att få kontakt med representanter från aktörerna som var lämpliga att besvara frågorna. Det svåra här var att det under arbetsgången var märkbart att man inte fick svar via direkt kontakt med dessa personer utan var tvungen att föra fram frågorna via en nära kontaktperson. Därmed var frågorna tvungna att passera flera steg innan svar kunde fås. Detta var både ineffektivt och tidskrävande. Något som också kan tilläggas var att någon kontaktperson från Vattenfall inte gick att få tag på, troligtvis på grund av att de inte var närvarande vid platsbesöken samt de anledningar som tidigare nämnts. En annan faktor som kan ha bidragit kan ha varit att de formulerade frågorna kanske skulle bli svåra för en representativ person att besvara samt att de möjligtvis hade fått Vattenfall att framstå som ej progressiva i frågan.

I rapportens handberäkningsdel har SGI:s handbok i pålgrundläggning använts för att göra det möjligt att beräkna de optimala dimensionerna för pålarna som ska användas för stolpe 8. Tidigare geotekniska kurser har inte täckt beräkning av pålar, vilket har resulterat i komplikationer med olika beteckningar och samband. Programmet PILECALC har gjort det möjligt att beräkna pålens strukturella och geotekniska bärförmåga. Beräkningar har gjorts på både stolpe 8 och stolpe 3. Det som skiljer stolparna åt är hur stor belastning som pålarna utsätts för och fundamentens totala volym. Beräkningarna för stolpe 8 är mer relevanta för detta specifika fall medan beräkningarna för stolpe 3 kan användas för framtida planering inom byggbranschen. Beräkningsdelen har granskats av konstruktören Johan Olovsson på BESAB för att kontrollera att beräkningarna var godtagbara.

Sammanfattningsvis ansågs de valda metoderna för studien som relevanta och tillräckliga för att besvara frågeställningen. Dock hade metoderna kunnat förbättras för att uppnå ett mer omfattande resultat i arbetet. Dessa metoder kommer att presenteras i kommande avsnitt nedan.

7.2 Förbättringspotentialer och fortsätta studier

Denna rapport har beskrivit pålfundamenten som består av stål. Dessa står inte för hela grundläggningen utan det nyttjas dessutom betong som inte beaktats här. Ett fortsatt arbete för att ta fram beräkningar av utsläpp skulle kunna hantera detta. Detta leder in på en annan aspekt som också skulle kunna utforskas vidare, nämligen de olika utsläppen som en grundläggningskonstruktion ger upphov till. I detta examensarbete har endast beräkningar på utsläpp kopplade till koldioxid beräknats. Ett fortsatt arbete hade därför kunnat fokusera på andra utsläpp såsom kväveoxider och andra kemikalier som miljön utsätts för. Något som dessutom hade kunnat läggas fokus på är utsläppen kopplade till transporter eftersom mycket av det stål som nyttjas i konstruktioner i Sverige kan ha producerats i andra länder (Jernkontoret, 2024).

I detta arbete hanteras den last som varje påle i ett specifikt fall efter en specifik ritning. Därmed tas inte ställning till hur stor ändring antalet pålar hade spelat för roll. En undersökning på om färre pålar som då i stället tar upp en större last vardera, hade sparat in på materialkostnader och klimatpåverkan hade varit intressant att forska vidare på. Det hade även varit intressant att se om man hade kunnat sänka den pålagda lasten på fundamenten genom att till exempel studera dimensioneringen av konstruktionen ovan marken och se vilken förbättringspotential som finns här.

8 Slutsats

En av utmaningarna som byggbranschen står inför idag är att minska sitt klimatavtryck genom att både minimera sin materialanvändning och använda sig av mer klimatsmarta material. Examensarbetet utforskar variationer i hållbarhetsinitiativ hos olika företag i dagsläget och analyserar hur deras framtidsvisioner ser ut inom detta område.

Vid intervju med de olika ingående aktörerna kunde slutsatsen dras att det idag görs många hållbarhetsinitiativ men att det fortfarande är en lång väg kvar i strävan mot att göra anläggningssektorn klimatneutral. Det som också kunde konstateras var att företag som anlitas som entreprenör och underentreprenör av beställare såsom Vattenfall ofta inte har befogenheter att nå full potential i att dra ner på diverse utsläpp. Något som märks av är att det dessutom tas fram lösningar från dessa entreprenörer under byggskedets gång men som beställare kanske inte godkänner av kostnadsskäl eller att det anses bli för mycket extraarbete. Det som går att konstatera är därmed att det kommer att krävas en attitydförändring och ökad kunskap inom området hos de som faktiskt kan påverka dvs de som står högst upp i näringskedjan vid projekt som det som beskrivs i rapporten men även andra liknande projekt.

Beräkningsdelen av rapporten bevisar att utvecklingen av en aktiv designstrategi minskar materialanvändningen från de ursprungliga ritningarna. För att klara belastningskraven för stolpe 8 och samtidigt minska materialanvändningen är det mest idealiska valet att använda sig av RD 170/10 pålar från SSAB. Den strukturella bärförmågan för pålarna med hänsyn till buckling uppgår till 453 kN. Samtidigt är den geotekniska bärförmågan för pålen i detta specifika fall 996 kN. För att hantera dragkrafterna kommer ett stag från Naulankanta användas med diametern 18 mm. Vid byte av pålar för stolpe 8 kommer BESAB att spara 11,2 *kg CO₂/m* och 17 612 euro.

I denna rapport har frågeställningar besvarats och grundläggningsmetoden pålning har undersökts och optimerats. Detta kandidatarbete kan användas som material för att fortsätta studier inom området.

9 Referenser

Abushama, K., Hawkins, W., Pelecanos, L. Ibell, T. (2023): *Minimising the embodied carbon of reinforced concrete piles using a multi-level modelling tool with a case study*. Utgiven av Elsevier Ltd på uppdrag av Institutionen för Struktur ingenjörer. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352012423015643?pes=vor>,

BESAB. (u.å) *Ledning BESAB Gruppen AB*. <https://www.besab.se/om-oss/ledning-besab-gruppen-ab/>

Boverket (2024). *Miljöindikatorer – aktuell status*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/> Hämtad 2024-03-06

Boverket (2019). *Mer om miljövarudeklaration för byggprodukter (EPD)*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljovarudeklaration-for-byggprodukter-epd/> Hämtad 2024-04-02.

Boverket (2019). *Mer om miljövarudeklaration för byggprodukter (EPD)*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljovarudeklaration-for-byggprodukter-epd/> Hämtad 2024-04-02.

Boverket (2024). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*. [Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn - Boverket](#)/ Hämtad 2024-05-07.

Bredenberg, H., Berglars, B., Rankka, W., Holmberg, G., Eronen, S., Jokiniemi, H. (2010) *Borrade stålrörspålar* (Rapport 104). Linköping 2010. [PK-R104.pdf](#)

Craftor. (u.å) *Om oss*. [Om oss – Craftor](#)

Hercules. (u.å) *Öka bärkraften med pålning*. [Pålning | Hercules](#)

Jernkontoret. (2024) *Utrikeshandel* [Utrikeshandel - Jernkontoret](#)

Keller. (u.å) *Grävpålar*. [Grävpålar | Keller Grundläggning \(kellergrundlaggnig.se\)](#)

Ljung, C., Saabye Ottosen, N., Ristinmaa, M. (2007) *Introduktion till hållfasthetslära* (upplaga 1:7). Interak.

Myndigheten för tillväxtpolitiska utvärderingar och analyser. (2018) *Metaller och deras betydelse för produkters klimatavtryck*.

<https://www.tillvaxtanalys.se/download/18.62dd45451715a00666f1c3c1/1586366166371/Metaller>

Naulankanta. (u.å). *Katalog / catalogue SAS 500 / 550 | SAS 550 / 620 | grade 75 SAS 555 / 700 | grade 80 SAS 670 / 800 | grade 97 SAS 950 / 1050 | SAS 835 / 1035 / grade 150* [Broschyr].

<sas-500-670-950-yleisesite-en-2.pdf> (naulankanta.fi)

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

PILECALC. (2024), SSAB (Version 4.0.0.9) [Beräkningsmodell].

<https://apps.ssab.com/PileCalc/>

Pålab. (2016) *Ett grundligt grundarbete-hur vi arbetar. Och varför* [Broschyr].

[Pålning | Pålab \(palab.eu\)](#)

Responsible Steel. (u.å) *Our partner initiatives*. [SteelZero | ResponsibleSteel](#)

SSAB. (u.å) *Anything but business as usual*. [Allt annat än ”business as usual” - SSAB](#)

Vattenfall. (u.å) *Plan för minskning av koldioxidutsläpp*.

<https://group.vattenfall.com/se/var-verksamhet/vagen-mot-ett-fossilfritt-liv/plan-for-minskade-koldioxidutslapp>

Vattenfall. (2022). *Vi leder vägen mot fossilfrihet* [ars-och-hallbarhetsredovisning_2022.pdf](#) (vattenfall.com)

10 Bilagor



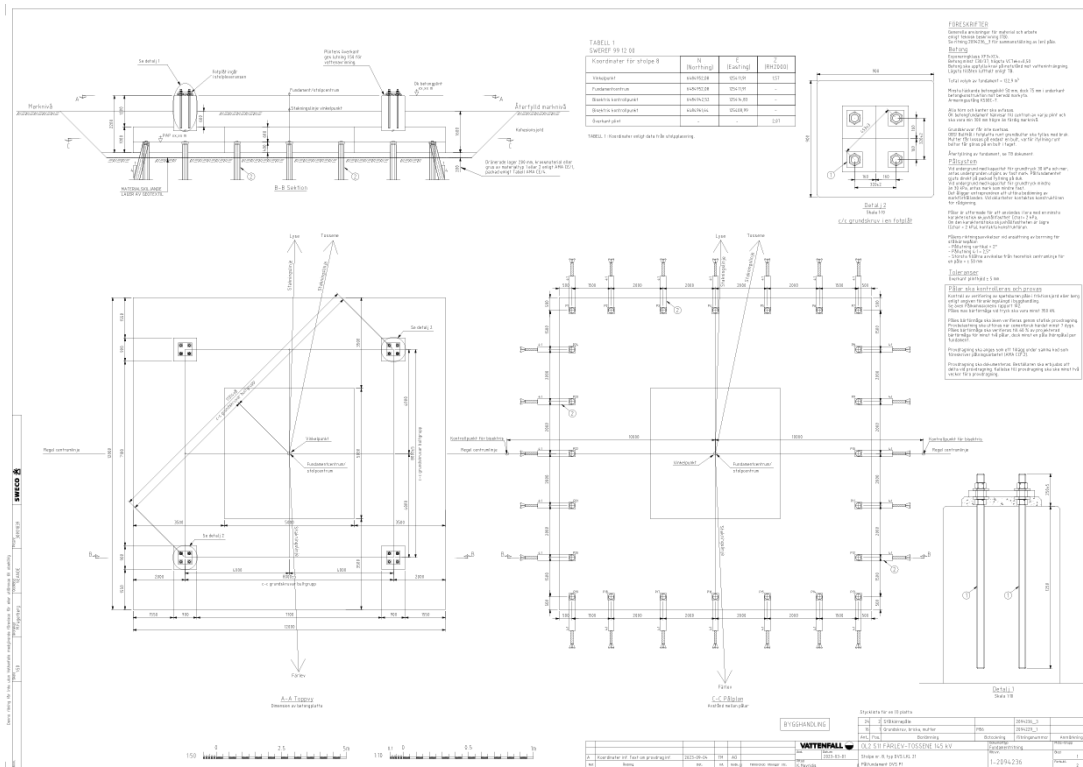
Bilaga 1: Jordkarta i det aktuella området, taget från SGU. Rött är fastmark eller berg. Gult är lera och silt. Tagen från PM Geoteknik



Bilaga 2: Planerad markförlagd ledning vid Tossene. Tagen från PM Geoteknik



Bilaga 3: Stolpe 8s placering



Bilaga 4: Ritningar för stolpe 8 tagna från PM som överlämnats av Johan Olovsson, BESAB.



Bilaga 5: De nedborrade pålarna med stag innan de kapas (Bild tagen från platsbesök med tillåtelse)