



Kunnskap for en bedre verden

FUNDAMENTERING FOR FREMTIDEN

STÅL MOT BETONG

Christoffer Johan Haukelidsæter

Bachelor i ingeniørfag - bygg
Innlevert: mai 2022
Veileder: Guomin Ji

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk

Oppgavens tittel:	Dato: 22.05.2023		
Fundamentering for fremtiden	Antall sider: 61		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Navn: Christoffer Johan Haukelidsæter			
Veileder: Guomin Ji			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Ole Christian Bovolden v/Pro-consult AS			

Sammendrag:

Bygg- og anleggsbransjen står for store deler av de globale klimagassutslippene og skal vi komme i mål med FNs bærekraftsmål om å stoppe klimaendringene innen 2030 er hele sektoren nødt til å omstille seg.

I denne studien tar vi for oss dimensjoneringen av pelefundamentene i et stort boligprosjekt på Vestlandet, og ser på tematikken rundt bæreevne, økonomi, arbeidstid og miljøpåvirkninger innenfor dette feltet. I dette studie vil vi se nærmere på forskjellen mellom valg av peletyper, hovedsakelig stål- og betong. Vi skal dimensjonere to ulike systemer, en for hver av de ulike materialene. Hensikten er å kunne sammenligne systemene med hensyn på faktorene nevnt over, samt sammenligne med på det reele prosjektets utvikling.

Begge systemene som ble dimensjonert, var tilnærmet et ekte system og ville fungert i praksis. I tillegg ble det også dimensjonert et tredje system som tok for seg en hybridløsning av peletyper som skulle tilsvare den mest optimale løsningen med tanke på økonomi og miljø.

Selv om systemet av stålkjernepeler hadde marginalt mindre miljøpåkjenninger, er det ikke et godt nok argument til å ta på seg så store kostnader. Betong løsningen resulterte med en pris på 1,5 millioner kroner, mens stålkjerne løsningen resulterte med en pris på 3,6 millioner.

Selv i et system med stor mengde vrak og supplerende av tilleggs peler resulterte det med at det systemet var mer gunstig enn å benytte stålkjerner med. Dette systemet resulterte med en pris på 2,1 millioner kroner, som utgjør en forskjell på fundamenterings prisen av betong systemet på 1,5 millioner.

Teknologien må videre utvikles slik at man kan forutse hvor betongpeler vil gå til vrak mer nøyaktig. Det vil resultere i at man kan bruke den optimale hybridløsningen, som både er positiv ved at det sparer miljøet for ytterligere påkjenninger, samt økonomisk gunstig.

Stikkord:

Pelefundamentering	LCA
Betong	Bærekraft
Stål	Prosjektering

Miljø	Økonomi
-------	---------

Forord

Denne bacheloroppgaven marker enden på tre års bachelorutdanning innenfor ingeniørfag – bygg ved Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Universitet, NTNU. Oppgaven reflekterer arbeid som er gjennomført våren 2023 og er utarbeidet med veiledning gjennom Pro-Consult AS. Oppgaven har som formål å se nærmere på pelefunderingsprosessen i henhold til risiko, økonomi og miljø. Samt se og sammenligne resultatene fra de forskjellige metodene opp imot hverandre for å kunne gi godt grunnlag for videre prosjektering.

Under bachelorstudiet har jeg hatt gleden av å kunne jobbet deltid hos Pro-Consult, det var i samarbeid med dem temaet for oppgaven ble valgt. Pro-Consult har gjennomført, samt har aktive prosjekter hvor pelefundering byr på utfordringer. Vi syntes temaet for oppgaven virket interessant, og det ville være til hjelp å kunne ha tilgang til reele prosjekter.

Jeg vil også takke Guomin Ji ved NTNU som har vært min veileder gjennom prosjektet. Han har fulgt opp og vært til god hjelp under hele prosessen. I tillegg vil jeg takke Ole Christian Bovolden som har vært min eksterne veileder, han har bidratt med mye kompetanse i utarbeidelsen av oppgaven.

Christoffer Johan Haukelidsæter

22.05.2023, Hamar

Abstract (engelsk)

The building and construction industry is responsible for large parts of the global greenhouse gas emissions and if we are to achieve the UN's sustainability goal of stopping climate change by 2030, the entire sector will have to readjust.

In this study, we deal with the dimensions of the pile foundations in a large housing project in Western Norway, and look at the themes around carrying capacity, economy, working hours and environmental impact within this field. In this study, we will take a closer look at the differences between the choice of pile types, mainly steel and concrete. We will dimension for different systems, and for each of the different materials. The purpose is to be able to compare systems with regards to the factors mentioned above, as well as compare with the real project's development.

Both systems that were dimensioned were approximately a real system and would work in practice. In addition, a third system was also dimensioned which dealt with a hybrid solution of pile types that would correspond to the most optimal solution in terms of economy and environment.

Even if the system of steel core piles had marginally less environmental stress, it is not a good enough argument for taking on such large costs. The concrete solution resulted in a price of NOK 1.5 million, while the steel core solution resulted in a price of NOK 3.6 million.

Even in a system with a large amount of wreckage and supplementing additional results with the system being more beneficial than using steel core with. This system resulted in a price of NOK 2.1 million, which makes a difference to the basic price of the concrete system of NOK 1.5 million.

The technology must further develop so that one can predict where concrete piles will go to something more accurate. This will result in the optimal hybrid solution being used, which is both positive in that it saves the environment from further stress, as well as economically beneficial.

Innholdsfortegnelse

Forord	iv
Abstract (engelsk)	v
Innholdsfortegnelse	vi
Tabelliste	ix
1 Innledning.....	1
1.1 Hensikt.....	1
1.2 SAMFUNNSMESSIG PERSPEKTIV	2
2 PROBLEMSTILLING OG CASE	3
3 FORUTSETNINGER OG STRATEGI	5
3.1 Forutsetninger.....	5
3.2 Hvordan løse oppgaven?	6
3.3 Grunnlag.....	7
3.3.1 Grunnundersøkelser	7
3.3.2 Veiledning for avlesning av ødometerforsøk.....	10
3.3.3 Lastforutsetninger.....	11
4 Teori	12
4.1 BETONG	12
4.1.1 Materialeegenskaper	16
4.2 STÅL	18
4.2.1 Materialeegenskaper	19
4.3 MILJØ	20
4.3.1 Bygg- og anleggsbransjen	21
4.3.2 Betong	21
4.3.3 Stål.....	22
4.4 PELEFUNDAMENTERING	23
4.4.1 Forarbeid – grunnundersøkelse	25
4.4.2 Utførelse	26
4.4.3 Vrak pel.....	26
5 METODE	28
5.1 Pelefunderingssystem	28

5.2	Miljø	31
5.3	Økonomi	32
6	RESULTATER	34
6.1	Dimensjoneringsresultater – Pelesystemer	34
6.1.1	Lastpunkter	34
6.2	Pelefunderingssystem	36
6.2.1	System 2 – Betongpeler	36
6.2.2	System 3 – Stålkjernepeler	37
6.2.3	System 1 – Hybrid løsning	2
6.3	Økonomi	1
6.3.1	System 2	1
6.3.2	System 3	2
6.3.3	System 1	3
7	DISKUSJONER OG ANALYSE	5
7.1	Dimensjonering	5
7.2	Miljø	5
7.3	Økonomi	5
8	KONLUSJON	6
9	LITTERATURLISTE	7
10	Vedlegg	11
11	12

Figurliste

Figur 1 - FNs Bærekraftmål nr. 13	2
Figur 2 - Resultat av totalsondering - Borhull 3.....	8
Figur 3 - Sylinderprøver fra borpunkt 3.	8
Figur 4 - Utsnitt av resultater fra prøveserie - Borhull 3.....	9
Figur 5 – Utsnitt av resultater Ødometerforsøk - Borhull 3	10
Figur 6 - Utsnitt av FEM-designmodell med avgrenset området for oppgaven.....	11
Figur 7 - Illustrasjon av de forskjellige peletypene.....	24
Figur 8 - Utsnitt fra Fem-design rapport: Relevante Lastpunkter	28
Figur 9 - Modell av System 2 hentet fra Revit.....	36
Figur 10 - Modell av System 3 hentet fra Revit.....	37
Figur 11 - Modell av System 1 hentet fra Revit.....	2

Tabelliste

Tabell 1 - Fasthetsklasser for normalbetong og tungbetong fra NS3475.....	13
Tabell 2 - Eksponeringsklasser og eksempler på hvilke forhold de gjelder, fra NS 3473	15
Tabell 3 - Eksponeringsklassens betydning for betongsammensetning, Fra NS-EN 206-1 og NS 3473.....	15
Tabell 4 - 2021 CO2 utslipp og energi intensitet	23
Tabell 5 - Prisanslag på levering av betongpeler	32
Tabell 6 - Prisanslag for levering av stålkjernepeler.....	33
Tabell 7 - Forslag Stålkjernepeler ut ifra maksimal last fra lastpunkter	34
Tabell 8 - Forslag Betongpeler med flere peler i punkt, ut ifra maksimal last fra lastpunkter	35
Tabell 9 - Forslag Betongpeler med færrest antall peler i punkt, ut ifra maksimal last fra lastpunkter	35
Tabell 10 - Prisanslag for system 2	1
Tabell 11 - Prisanslag for system 3	2

1 Innledning

1.1 Hensikt

Ifølge FNs IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) står bygg- og anleggsbransjen for omtrent 40% av klimagassutslippene globalt. Det er essensielt å begrense mengde forurensing som kommer fra denne sektoren hvis vi skal nå FNs bærekraftsmål. Bransjen har store potensialer for å redusere utslippsmengde, men den er avhengig at vi omstiller oss og fokuserer på å finne nye løsninger som kan gjøre byggeprosessen mer klimavennlig.

Under utførelsen av et prosjekt er det som oftest økonomien som ligger bak avgjørelsene som blir tatt. Det må være lønnsomt å utføre et prosjekt og det å bruke bærekraftige materialer, produkter, maskiner eller løsninger samsvarer ikke alltid med de økonomiske forholdene i prosjektet.

I prosjekter hvor byggeplassen er lokalisert på områder med ustabil grunn, vil valg av billigere materiell og løsninger under pelefunderingsprosessen kunne føre til uforutsigbare konsekvenser. Stålkjernepeler fra EAF produsenter vil være et godt miljøvennlig alternativ, samt at det er mer effektivt i ustabil grunn. Derimot er prisen betydelig høyere enn betongpeler. Det vil si at selv om betongpeler har dårligere miljøpåvirkning og høyere risiko er det som oftest foretrukket i byggeprosjekter på grunn av at man økonomisk har store marginer til å tilpasse seg hvis det skulle oppstå komplikasjoner.

Store mengder vrakpeler vil kunne føre til uforutsigbare forsinkelser i prosjektet, samt ekstra kostnader for beregninger og utførelse av den nye løsningen. Oppgaven går ut på å kartlegge de ulike funderings metodene og se på hvor store miljøpåkjenninger som kommer fra konsekvensen det er å velge økonomisk i et prosjekt. Og i tillegg kartlegge hvor mye en sparer, samt sammenligne dette opp mot utførelsen av det reelle prosjektet.

Målet er også å få en dypere forståelse av de forskjellige faktorene som er involvert i valget mellom disse to metodene og risikoen rundt.

1.2 SAMFUNNSMESSIG PERSPEKTIV

«FNs bærekraftsmål er verdens felles arbeidsplan for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030.» (FN,2021). Vi har sett og skjont at våre handlinger og inngrep på jorden har direkte påvirkninger på miljøet. Ettersom bygg- og anleggsbransjen er en av de største bidragsyterne for de globale klimagassutslippene er dette tema noe vi er nødt til å legge på dagsorden. Dersom vi skal bevare jorden for den fremtidige generasjonen er hele bransjen nødt til å være bevist på å tematikken og utarbeide gode løsninger for å redusere utslipp.

Kommer tilbake til det samfunnsmessige perspektivet rundt denne tematikken i kapittel 4.3



Figur 1 - FNs Bærekraftsmål nr. 13

2 PROBLEMSTILLING OG CASE

Bærekraft er et av de temaene som alltid vil være høyt aktuelle, og spesielt i vår nærmeste fremtid. For å kunne klare FN's bærekraftsmål om å «stoppe klimaendringene innen 2030» er vi nødt til å ta noen tiltak. Byggesektoren er en av de store bidragsyterne, og står for omtrent 40% av de globale klimagassutslippene. Det er derfor viktig å omstille seg og ta hensyn til miljøpåvirkningene på byggeplassen og mye av det kan man gjøre i planleggingsprosessen.

Ski magasinpark er et reelt prosjekt hvor det skal bygges et leilighetskompleks på ustabil grunn. Byggherre har valgt å benytte seg av betongpeler for fundamenteringen med grunnlag av at det er det som er mest økonomisk lønnsomt. Ettersom grunnen er ustabil og det er antatt stor fare for vrak, har det blitt anbefalt å benytte ståljernepeler. Mye vrak kan føre til store forsinkelser i prosjektet, ekstra kostnader for beregning og utførelse av ny løsning, samt større miljøpåvirkninger etter ytterligere bruk av materialer og maskiner.

Oppgaven bygger seg derfor på disse tre påstandene:

1. I prosjekt med ustabil grunn og stor fare for vrak vil bruk av betongpeler på et tidspunkt tilnærme seg de økonomiske rammene for bruk av ståljernepeler.
2. I prosjekt med ustabil grunn og stor fare for vrak vil bruk av betongpeler gi betydelig større klimagassutslipp med tanke på ytterligere bruk av materialer og maskiner
3. Ståljernepeler er i utgangspunktet mer miljøvennlig enn betongpeler

Påstandene skal enten bekreftes eller avkreftes ved å:

1. Dimensjonere to forskjellige pelfundamenteringssystemer i stål- og betong.
2. Innhente priser for fundamenteringssystemene og sammenligne med forbehold om lite vrakpeler
3. Beregne hvor mange vrakpeler som må til for at de to systemene tilnærmer seg økonomisk
4. Sette opp en livsløpsvurdering på de forskjellige systemene med og uten vrakpeler

Oppgaven hensikt er ikke i seg selv å finne ut hva som er mest lønnsomt når det kommer til økonomi eller miljøpåvirkninger, men samspill mellom faktorene. Jeg ønsker å finne ut om

det er mulig å forhindre ytterligere miljøpåkjenninger i et slikt prosjekt, ved å ta en vurdering på om risikoen for vrakpeler er så stor at det ikke vil være en økonomisk ulempe å benytte seg av stålkjernepeler. Altså finne ut når risikoen på grunnen blir så store at det miljømessige alternative forblir det mest attraktive for prosjektet.

Derfor er problemstillingen for oppgaven gitt ved:

«Hvilken materialvalg er mer hensiktsmessig for bygging av større konstruksjoner, betong eller stålkjernepeler, når man tar hensyn til bæreevne, kostnad, arbeidstid og miljøpåvirkning på prosjekter med ustabil grunn?»

3 FORUTSETNINGER OG STRATEGI

3.1 Forutsetninger



Ski Magasinpark ligger i Ski sentrum og skal til slutt bestå av 7 leilighetskomplekser. Magasinparken utvikles på vegne av Solon Eiendom og har startet opp sitt siste byggetrinn. Bygget oppgaven tar utgangspunkt i er lokalisert til venstre på bildet over og blir kalt Magasinhagen. Når bygget er ferdigstilt skal det bestå av 68 leiligheter mellom 36m² og 173m².

For å undersøke påstandene som oppgaven tar for seg på en god og hensiktsmessig måte er det behov for å sette rammer og begrensninger:

1. Oppgaven tar for seg i hovedsak pelefundamenteringen til prosjektet
2. For dimensjonering av pelesystemet er det nødvendig med grunnundersøkelser, samt lastene konstruksjonen tilfører grunnen. Vi skal ikke foreta oss dimensjonering av bygget og vil derfor bruke tilgjengelig grunnlag for dette.

3. Under Magasinhagan og nabo bygget er det planlagt en stor delt parkeringskjeller. Vi vil ikke ta for oss grunnen under hele parkeringskjelleren med avgrensning til det området som er under Magasinhagan.
4. Under dimensjoneringen av pelesystemene vil det kunne være avvik fra hvordan det faktiske systemet vil bli seende ut. Men systemene vil kunne fungere i praksis og gir et tilnærmet bildet på situasjonen.
5. Peletyper skal fremstilles på produktnivå for å kunne angi nøyaktig dimensjonering. I tillegg skal priser bli innhentet fra peleleverandør for videre økonomisk sammenligning.
6. Ettersom pelehodet er avhengig av nedslagspunkter og kan variere i stor grad etter løsning på konstruksjonen over, vil jeg neglisjere denne betongbruken under miljøberegningen.
7. Pelesystemene skal modelleres i Revit og mengder for miljøanalysen vil bli hentet ut ifra denne.

3.2 Hvordan løse oppgaven?

Oppgaven er organisert inn i ulike hoveddeler. Første del som består av kapittel 1-3 beskriver selve bakgrunnen for oppgaven, samt problemstilling, forutsetninger og grunnlag som oppgaven tar utgangspunkt i.

I kapittel 4 vil vi gå inn i teorien som er nødvendig for å svare på undersøkelsene og problemstillingen. Denne delen tar for seg blant annet teorien bak pelefundamentering, de ulike egenskapene til stål- og betong, samt utbredelse om miljø og miljøpåvirkning.

I kapittel 5 vil jeg ta for meg metoden bak undersøkelsene som er utført for å besvare problemstillingen og påstandene. Det inkluderer bakgrunn for Dimensjoneringen av pelesystemet, miljøanalysen og undersøkelsen av de økonomiske rammene.

I kapittel 6 vil jeg legge frem resultatene fra undersøkelsene før jeg videre i kapittel 7 analyserer og diskuterer, og til slutt kommer med en konklusjon i kapittel 8.

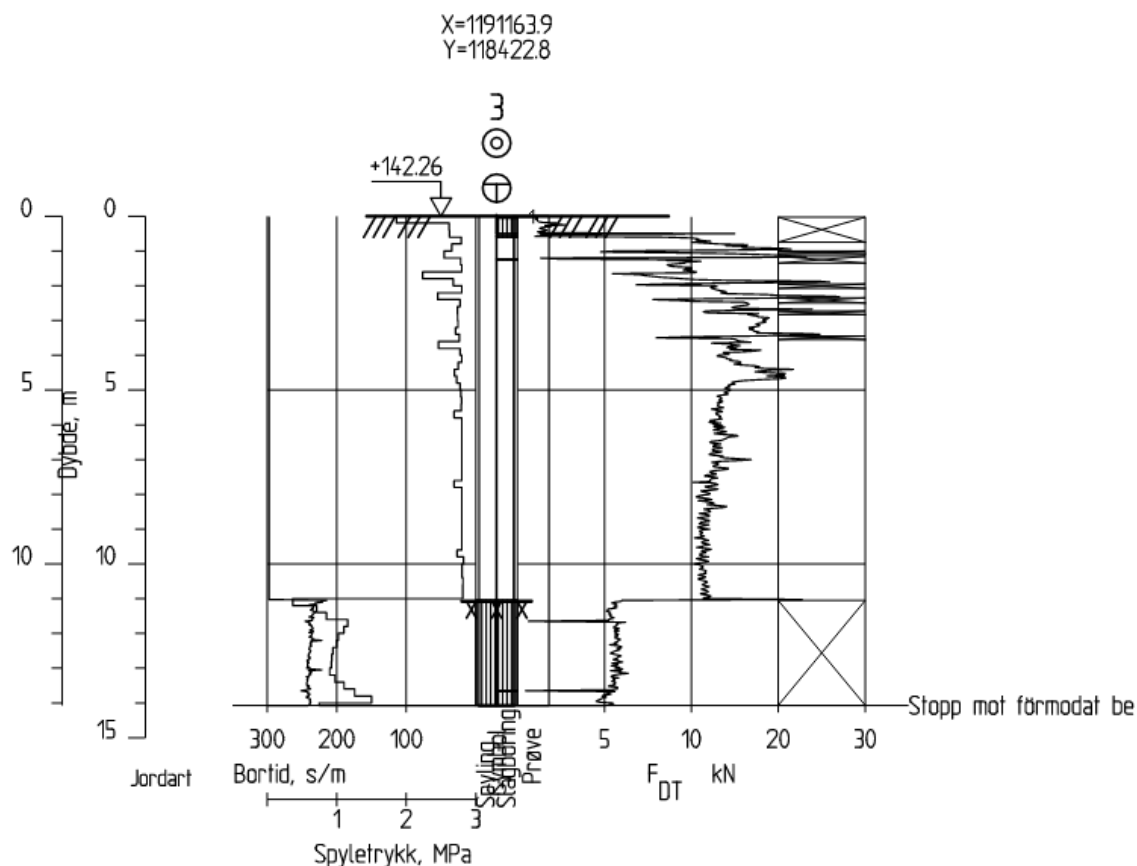
3.3 Grunnlag

3.3.1 Grunnundersøkelser

Beregningen gjort i denne oppgaven baserer seg på grunnundersøkelsene utført av AFRY og MESTA med bistand fra Løvlien Georåd i begynnelsen av 2021. Som nevnt tidligere tar oppgaven kun for seg det avgrenset området ved det nord-vestlige hjørne ettersom det er denne lokasjonen leilighetskomplekset skal bygges. Derfor vil kun undersøkelsene rundt borepunkt 3 være relevant for oppgaven. Oppgaven baserer seg derfor på følgende resultater og forutsetninger:

Borpunkt	Koordinater			Metode	Boret dybde	
	Nord (X)	Øst (Y)	Kote (Z)		Løsmasser	Ant. Bergkote
	[m]	[m]	[m]		[m]	[m]
3	1191163.88	118422.78	142.26	Totalsondering Prøvetaking	11.07	131.189

Ut ifra resultatet av totalsonderingene får vi en innledende vurdering av grunnforholdene, i tillegg til å identifisere avstand til berg. Hvis vi ser på de fem første dybdemeterne fra sonderingen som er utført på borepunkt 3, legger vi merke til at matekraftkurven får en takkete form. Det indikerer at grunnen ikke bare består av leire, men også varierende innhold av friksjonsmasser som sand, silt og grus. I tillegg er kurven i en helning som tilsier at den er lite sensitiv. Videre retter kurven seg ut, noe som indikerer at mengde friksjonsmasser avtar og det er i hovedsak leire ned til berg. Men leiren går også over til å bli mer sensitiv.



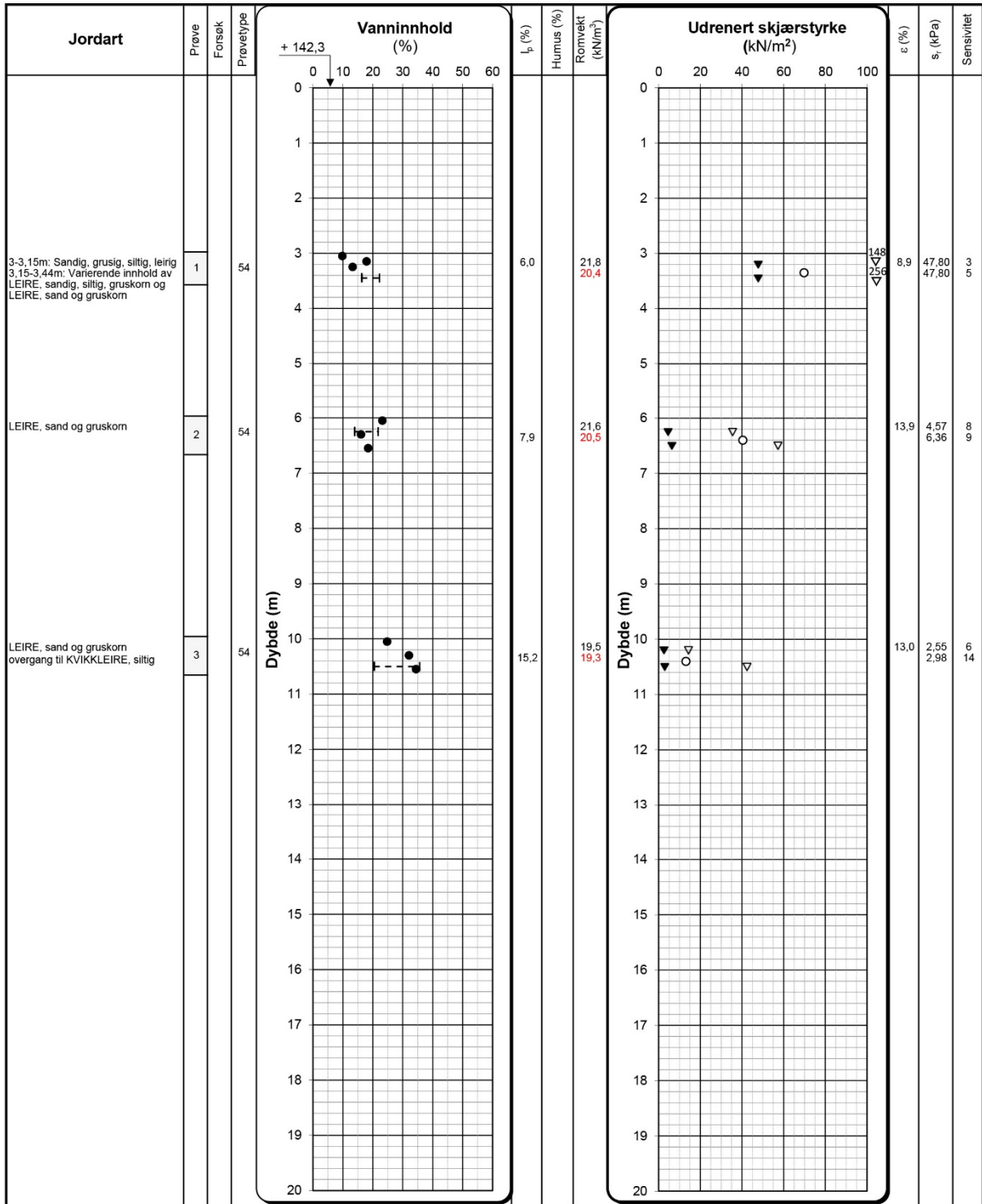
Figur 2 - Resultat av totalsondering - Borhull 3

Vi kan se at dette samsvarer med opptatt prøveserie fra borpunktet. Her er det beskrevet siltig sandig og grusig leire ned til ca. 5 m under terreng. For så å gå over til leire med spor an sand og gruskor videre ned til berg. Sensitivitet verdi på mellom 8-30 anses som middels sensitiv.

Resultater fra laboratorieundersøkelsene viser generelt at den udrenerte skjærfastheten (c_u) i leiren avtar med dybden, samtidig som at sensitiviteten øker. Fra ca. 10 m under terreng klassifiseres leiren som sprøbruddmateriale iht. ISO 17892-6:2017 (omrørt skjærfasthet $c_{u,r} \leq 1,27$ kPa). Fra ca. 13 m under terreng klassifiseres leiren som kvikk (omrørt skjærfasthet $c_{u,r} \leq 0,33$ kPa).



Figur 3 - Sylinderprøver fra borpunkt 3.

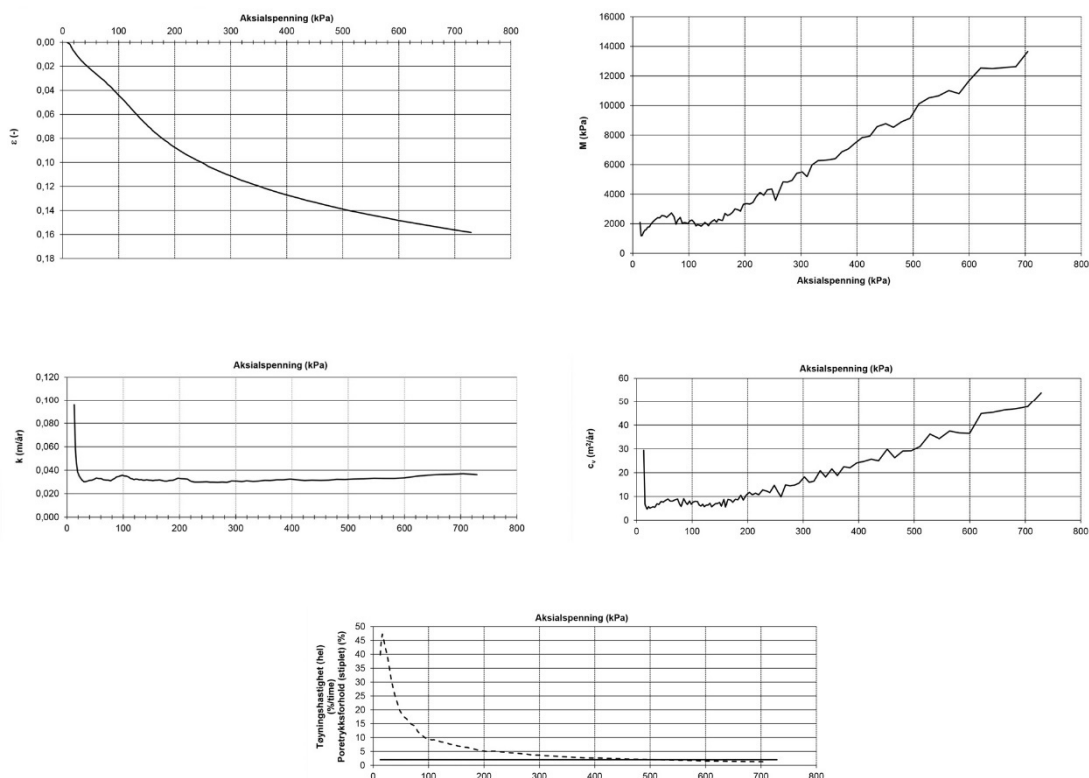


Figur 4 - Utsnitt av resultater fra prøveserie - Borhull 3

3.3.2 Veiledning for avlesning av ødometerforsøk

Resultatene fra ødometerforsøket er sentrale for å bestemme jordas deformasjonsegenskaper og verdiene her brukes i setningsanalysen. For å kunne lese av resultatene av ødometerforsøk er følgende symboler standard relevante:

Symbol	Navn	Enhet
M	Deformasjonsmodul (Stivhet)	kPa
σ'	Aksialspenning	kPa
ε	Tøyning - Deformasjon / prøve høyde	kPa
c_v	Konsolideringskoeffisient	m ² /år
k	Permeabilitetskoeffisient	m/år



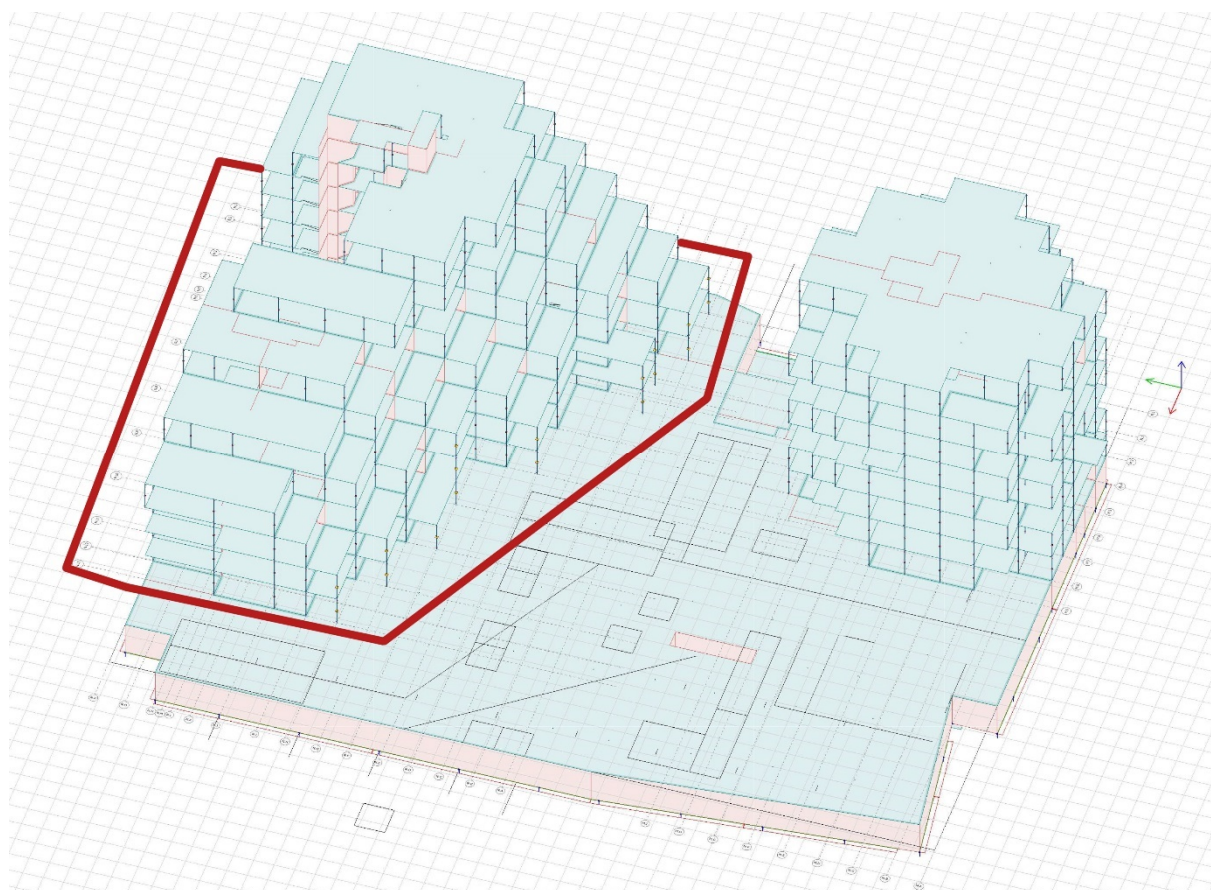
Figur 5 – Utsnitt av resultater Ødometerforsøk - Borhull 3

Vi vil kunne se bort ifra seismiske påvirkninger etter NS-EN 1998-1:2004+A1:2013+NA:2014 ettersom dette er en mindre ombygning.

3.3.3 Lastforutsetninger

For dimensjonering av pelefundamenteringssystemet til det aktuelle prosjektet brukt i denne oppgaven, vil det bli tatt utgangspunkt i lastene som er gitt ut ifra beregningsmodellen produsert av Pro-consult AS. Beregningsmodellen er en FEM-designmodell og inneholder lastene den planlagte konstruksjonen vil ha på grunnen.

For å avgrense oppgaven vil jeg ut ifra disse lastene kun etablere et pelefundamenteringssystem for den nord-vestlige konstruksjonen, alt utenfor dette området neglisjeres. Ved å neglisjere den resterende konstruksjonen vil det kunne gi et forvrengt bilde på lastsituasjonen, men ettersom denne oppgaven ikke skal benyttes som grunnlag for utførelse av prosjektet vil det fungere som en god tilnærming av det aktuelle prosjektet.



Figur 6 - Utsnitt av FEM-designmodell med avgrenset området for oppgaven

4 Teori

4.1 BETONG

Betong er en fellesbetegnelse for byggematerialet som dannes når man blander sammen sement, vann, tilslagsmaterialer av sand- og steinmaterialer og eventuelt andre tilsetningsstoffer (Thue, 2019, SNL). Den kjemiske reaksjonen fører til at blandingen stivner og danner en fast, hard og sterk masse.

Det finnes en rekke forskjellige typer betongvarianter, og deres egenskaper er i stor grad påvirket av valg av sementtype og blandingsforholdet mellom tilslagsmaterialene. Disse faktorene påvirker blant annet betongens støpbarhet, fasthetspotensial og E-modul.

I tillegg kan bruken av forskjellige tilsetningsstoffer påvirke betongens egenskaper ytterligere som for eksempel: akselerert/forsinket herding, forbedret styrke, korrosjonsbeskyttelse, økt beskyttelse mot aggressive miljøer, frostbestandig eller farge og estetikk. Tilsetningsstoffer defineres i NS-EN 934-2 som:

«Stoff som tilsettes under blandingen av betongen i en mengde som ikke overskrider 5 % av sementmengden i betongen for å endre blandingens egenskaper i fersk og/eller herdnet tilstand».

Mineralske pulvertilsetninger som Pozzolaner, slagg og kalkfiller defineres ikke som tilsetningsstoffer, men som tilsetningsmaterialer. I dag inneholder de fleste sementer større mengder av disse stoffene. Dette er hovedsakelig for å gi betongen spesifikke egenskaper mot nedbrytning, men også redusere mengden sement man trenger i blandingen ettersom betongens miljøpåvirkninger reduseres når man forminsker sement mengden.

Som nevnt tidligere eksisterer det et bredt spekter med forskjellige typer betong med ulike egenskaper. Norsk Standard NS 3473 og NS-EN 206-1 klassifiserer betong etter materialets mest essensielle egenskaper: fasthet og bestandighet. Disse egenskapen er de viktigste å forholde seg til slik at den angitte betongen tilfredsstillt kravene på byggeplassen.

Fasthetsklassen til betong er hvordan vi indikerer styrken til betongen. Denne trykkstyrken blir målt ved å presse et prøvestykke av betongen i en trykkpresse. Vanligvis benyttes det prøvestykker av sylindre med omkrets på 150mm og en høyde på 300mm. Prøvestykkene utsettes for en trykktest etter 28 dager. De ulike klassene angis med notasjonen B og et tall som er resultatet på hvor mange MPa (Megapascal) prøvestykke klarte å motstå før det ga etter. Eksempelvis vil betong med fasthetsklasse B35 kunne motstå et trykk på 35Mpa 28 dager etter støping.

Fasthetsklasse i NS	B10	B20	B25	B30	B35	B45	B55	B65	B75	B85	B95
CEN-betegnelse		C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C45/55	C55/67				
Karakteristisk sylindrefasthet, f_{ck}	10	20	25	30	35	45	55	65	75	85	95
Karakteristisk terningfasthet, $f_{ck}^{1)}$	12	25	30	37	45	55	67	80	90	100	110

¹⁾ For fasthetsklasse B55 og høyere kan andre verdier benyttes hvis forholdet mellom disse og referansefastheten for sylindrer er etablert med tilstrekkelig nøyaktighet og dokumentert for den aktuelle betongsammensetningen.

Tabell 1 - Fasthetsklasser for normalbetong og tungbetong fra NS3475

Bestandighetsklassen til betong er hvordan vi indikerer betongens evne til å motstå spesielle miljøpåvirkninger over tid. De ulike miljøpåvirkningen klassifiseres i eksponeringsklasser ut ifra nebrutningsmekanismene som betongen utsettes for. Det er disse eksponeringsklassene som er utgangspunktet for klassifiseringen av bestandigheten.

Eksempler på nedbrutningsmekanismer som kan føre til redusert styrke, sprekker eller andre skader på betongkonstruksjoner er:

- Korrosjon på armeringen som følge av karbonatisering og/eller klorider
- Fryse-/tineangrep
- Kjemiske angrep

Eksponeeringsklasse	Beskrivelse av miljø	Eksempler på hvor eksponeeringsklassene kan forekomme (informativt)
1 Ingen risiko for korrosjon eller nedbrytning		
X0	Betong uten armering eller innstøpt metall: Alle miljøer, unntatt der det er frysing/tining, slitasje eller kjemisk angrep For betong med armering og innstøpt metall: meget tørt	Betong inne i bygninger med meget lav luftfuktighet
2 Korrosjon framkalt av karbonatisering		
XC1	Tørt eller permanent vått	Betong inne i bygninger med lav luftfuktighet Betong som permanent er neddykket i vann
XC2	Vått, sjelden tørt	Betongoverflater i kontakt med vann over lengre tid Fundamenter
XC3	Moderat fuktighet	Betong inne i bygninger med moderat eller høy luftfuktighet Utvendige konstruksjoner som er beskyttet mot regn
XC4	Vekselvis vått og tørt	Betongoverflater i kontakt med vann, som ikke er i eksponeeringsklasse XC2
3 Korrosjon framkalt av klorider som ikke stammer fra sjøvann		
XD1	Moderat fuktighet	Betongoverflater utsatt for luftbårne klorider
XD2	Vått, sjelden tørt	Betong utsatt for industrivann som inneholder klorider Svømmebasseng
XD3	Vekselvis vått og tørt	Brudeker utsatt for sprut som inneholder klorider Veidekker Deler av parkeringsanlegg i kontakt med klorider
4 Korrosjon framkalt av klorider fra sjøvann		
XS1	Utsatt for luftbårne klorider, men ikke i direkte kontakt i sjøvann	Konstruksjoner nær eller på kysten
XS2	Permanent neddykket	Deler av marine konstruksjoner
XS3	Tidevannssoner, skvalpesoner og sprutsoner	Deler av marine konstruksjoner
5 Fryse-/tineangrep med og uten avisingsmiddel		
XF1	Moderat vannmetning, uten avisingsmiddel	Vertikale betongoverflater utsatt for regn og frost
XF2	Moderat vannmetning, med avisingsmiddel	Vertikale betongoverflater i veikonstruksjoner utsatt for frost og luftbårne avisingsmidler
XF3	Høy vannmetning, uten avisingsmiddel	Horisontale betongoverflater utsatt for regn og frost
XF4	Høy vannmetning, med avisingsmiddel eller sjøvann	Vei- og brudekker utsatt for avisingsmidler Betongoverflater utsatt for frost og direkte sprut som inneholder avisingsmidler. Skvalpesoner i marine konstruksjoner utsatt for frost

6 Kjemisk angrep		
XA1	Lite kjemisk aggressivt miljø iht. NS-EN 206-1	
XA2	Moderat kjemisk aggressivt miljø iht. NS-EN 206-1	
XA3	Meget kjemisk aggressivt miljø iht. NS-EN 206-1	
7 Kjemisk angrep fra husdyrgjødsel		
XA4	Konstruksjoner i kontakt med husdyrgjødsel	Klassen omfatter blant annet konstruksjoner som spalteplank og gjødselskjellere.
8 Særlig aggressivt miljø		
XSA	Konstruksjoner utsatt for sterkt kjemisk angrep som ikke er dekket av de andre eksponeringsklassene, og som gjør særskilte beskyttelsestiltak påkrevd. Dette kan kreve spesialkomponert betong, membraner e.l.	Klassen omfatter blant annet konstruksjoner som er i kontakt med væsker med lav pH, for eksempel førsiloer.

Tabell 2 - Eksponeringsklasser og eksempler på hvilke forhold de gjelder, fra NS 3473

En betongkonstruksjon kan være utsatt for flere miljøpåvirkninger, slik at det er flere relevante eksponeringsklasser. Bestandighetsklassen vil da ta utgangspunkt i den eksponeringsklassen hvor kravene er strengest.

Eksponerings-klasse	Laveste bestandighetsklasse	Største masseforhold	Laveste bindemiddelmengde kg/m ³	
X0	M90	0,90	225	1) Bestandighetsklasse MF45 og MF40 krever frostsikkert tilslag og bruk av luftinnførende tilsetningsstoffer (minste luftinnhold i fersk betong, 4 %). 2) Om det i eksponeringsklasse XA2, XA3 eller XSA er mulighet for kontakt med sulfater i konsentrasjoner høyere enn grenseverdien for XA2, skal det i produksjonsunderlaget presiseres at det skal anvendes sulfatbestandig sement. 3) For konstruksjoner utsatt for husdyrgjødsel skal det i produksjonsunderlaget angis at det skal anvendes minst 4 % silikastøv.
XC1	M60	0,60	250	
XC2	M60	0,60	250	
XC3	M60	0,60	250	
XC4	M60	0,60	250	
XD1	M45	0,45	300	
XD2	M40	0,40	330	
XD3	M40	0,40	330	
XS1	M45	0,45	300	
XS2	M40	0,40	330	
XS3	M40	0,40	330	
XF1	M60	0,60	250	
XF2	MF45 ¹⁾	0,45	300	
XF3	MF45 ¹⁾	0,45	300	
XF4	MF45 ¹⁾	0,45	300	
XA1	M45	0,45	300	
XA2 ²⁾	M45	0,45	300	
XA3 ²⁾	M40	0,40	330	
XA4 ³⁾	M45	0,45	300	
XSA	Fastsettes særskilt. Minimum krav som for M40			

Tabell 3 - Eksponeringsklassens betydning for betongsammensetning, fra NS-EN 206-1 og NS 3473

Betong er ikke et moderne byggemateriale, det eldste funnet av betonglignende materialer daterer helt tilbake til rundt 5600 f.kr. Det var forskjellige teknikker for utviklingen av betong spredt utover kloden, men den mest populære var den romerne utviklet. Opus concretum, oversatt til «å gro sammen» var en betong blanding som bestod av brennt kalk, vulkansk aske og teglstein. Den romerske betongen ble brukt i en rekke kjente byggverk, som Pantheon kuppel og Colosseum.

Etter Romerrikets fall gikk kunnskapen om betong delvis tapt, men ble gjenoppdaget flere steder i Europa. Joseph Aspdin tok patent på det som ble kalt Portland-sement i 1824 og dette ble en viktig milepæl i betongens historie og utvikling. Sementet fikk navnet sitt ettersom det lignet steiner man kunne finne i Portland. I senere tid har Portland delen blitt utvasket, men det er fortsatt den sementtypen som blir brukt mest i dag.

Betong fikk sitt store gjennombrudd som byggematerialet etter at den franske gartneren Joseph Monier fant ut hvordan han kunne forsterke betongen ved å bruke armering, han tok patent på armert betong i 1867.

Siden har betong vært et av de viktigste byggematerialene. Betongs allsidighet og gode egenskaper gjør at det kan brukes i alt fra små boliger til store bygninger, dammer eller broer. Enten det er store vegger og dekker, eller enkelte fundamenter, bjelker og søyler.

4.1.1 Materialeegenskaper

Betong er et godt egnet konstruksjonsmaterialet for de fleste byggeprosjekter. Men det er ikke bare ved hjelp av tilsetningsstoffer, betong i upåvirket tilstand har fortsatt en rekke gode egenskaper:

- Betong har høy kompresjonsstyrke, noe som gjør den ideel for bæring av tunge konstruksjoner.
- Betong er et godt holdbart material som kan ha en levetid på over 100år uten store krav til vedlikehold.
- Betong er et formbart materiel, slik at det kan ta for seg hvilken som helst form eller størrelse prosjektet måtte trenge.

- Betong er ikke brennbart, som gir trygghet for konstruksjonens ivaretagelse.
- Betong er et økonomisk rimelig byggemateriale.

Betong har også noen negative egenskaper:

- Betong har lav strekkstyrke, men ved armert betong vil den også kunne ta opp strekkpåkjenninger
- Betong fører til negativ miljøpåvirkninger, ved at sementen som inngår i blandingen slipper ut CO₂. Sementen antas å bidra til 7-9 prosent av klimagassutslippene globalt.

4.2 STÅL

Stål er en av de viktigste og mest brukte materialene i verden. Stålets gode kombinasjon av styrke, seighet, formbarhet og sveisbarhet gjør det til et unikt konstruksjonsmateriale med et utbredt bruksområdet. Stål er en legering som hovedsakelig består av jern og karbon. Det som definerer det klassiske stålet er når karboninnholdet i legeringen ikke overstiger 2,1 vektprosent. Ved høyere karbonprosenten eller at man tilsetter andre elementer i legeringen kan man modifisere stålets egenskaper etter ønske. Det finnes derfor en rekke forskjellige ståltyper med økt kapasitet og bedre motstand mot for eksempel deformasjoner, utmatting, slitasje, korrosjon, termisk påkjenning, osv.

Fremstilling av jern er ikke noe nytt, men daterer tilbake til omtrent 1800 f.Kr. Det var trolig et folkeslag ved Svartehavet som først klarte å fremstille jern fra jernmalmen. Med denne revolusjonere kunnskapen ble folkeslaget sterke og de var kjent for sine overlegne sverd og stridsvogner. Kunnskapen om fremstillingen klarte de delvis å holde hemmelig i flere hundre år før det spredte seg og satt i gang starten på jernalderen rundt 1200 f.Kr. Utover var det mange ulike måter å fremstille jern på, men det som kunne betegnes som «stål» ble for første gang produsert i India omkring år 400 f.Kr. Videre utviklet stålet seg og i 1885 revolusjonerte Henry Bessemer jern- og stålindustrien med en ny måte å fremstille jern på.

Stål ble fram til da produsert ved smiing av jern, som var en tidskrevende, arbeidskrevende og en kostbar prosess. Den nye bessemerprosessen, gikk ut på at man blåser luft inn i det flytende råjernet for å fjerne mesteparten av karbonet. Man kunne nå masseprodusere stål raskere, billigere og bedre enn før. Stål hadde fram til da hatt begrenset kapasitet og jern var det foretrukne konstruksjonsmaterialet. Men bessemerprosessen påvirket også kvaliteten på stålet og man kunne nå bygge større konstruksjoner med stål.

I dag har stål bidratt mer til den moderne sivilisasjonen enn noe annet metall, Dens styrke, fleksibilitet, holdbarhet og evne til å motstå store belastninger selv med store spennvidder gjør det til et allsidig materiell som kan tilpasses både enkle og komplekse byggeprosjekter. Stål kan brukes til alt, enten det er broer, offshore-plattformer, havner, flyplasser, boliger, industri haller eller skyskrapere. Landemerker som Eiffeltårnet i Paris eller Brooklyn Bridge i New

York er noen av de mest kjente og imponerende stålkonstruksjonene vi har og består av flere tusen tonn stål.

4.2.1 Materialeegenskaper

Stål er et godt egnet konstruksjonsmaterialet for de fleste byggeprosjekter. Med tilsetning av legeringselementer eller i upåvirket tilstand har stålet en rekke gode egenskaper:

- Stål har høy styrke, noe som gjør den ideel for bæring av tunge konstruksjoner.
- Stål er et godt holdbart material som kan ha en lang levetid ettersom den er behandlet riktig.
- Stål er et fleksibelt material, slik at det kan brukes til enkle og kompliserte konstruksjoner.
- Betong er forutsigbart, som gir trygghet for konstruksjonens ivaretagelse ved at man kan forutse ossen stålet vil reagere mot ulike påkjenninger.
- Stål er 100% resirkulerbart.

Betong har også noen negative egenskaper:

- Stål har lav varmebestandighet, ved f.eks brann vil stålet bli utsatt for deformasjoner raskt.
- Stål er et økonomisk dyrt materiale med tanke på kg pris.
- Stål er utsatt for korrosjon noe som kan påvirke kapasiteten og estetikken, men kan motvirkes ved riktig behandling..

4.3 MILJØ

Miljø og klima er en av de mest aktuelle og omdiskuterte tematikkene vi har i dag. Ettersom vi har sett og skjønt at våre handlinger og inngrep på jorden har direkte påvirkninger på miljøet, er dette tema noe vi er nødt til å legge på dagsorden. Men klimagassutslippene fortsetter å øke og konsekvensene av dette blir stadig synligere. Havnivået fortsetter å stige, naturkatastrofer skjer oftere og med økt alvorlighetsgrad. I tillegg har den globale gjennomsnittstemperaturen økt marginalt. Forsetter denne trenden vil det føre til katastrofale konsekvenser på miljøet.

FNs bærekraftsmål er verdens felles arbeidsplan for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030.

Hovedsakelig er det bærekraftsmål nummer 13 som tar for seg tematikken om miljø og klimapåvirkninger. Målet går ut på at vi må «handle umiddelbart for å bekjempe klimaendringene og konsekvensene av dem.» FN oppsummerer selv bakgrunnen og hensikten til målet på følgende måte:

Klimaendringer er et globalt spørsmål og kjenner ingen landegrenser. Det er viktig å begrense økningen av gjennomsnittstemperaturen til 1,5 °C dersom verden ønsker å slippe katastrofale konsekvenser i fremtiden. Vi må finne globale løsninger på en rekke områder. I tillegg til å kutte i utslipp og fange og lagre CO₂, må det satses mer på fornybar energi, nye industrielle systemer og endring i infrastruktur. I tillegg må vi investere i å verne, tilpasse oss og begrense skadeomfanget.

Verden har da som felles mål å unngå at gjennomsnittstemperaturen stiger over 2°C, og ønsker helst å begrense økningen til 1,5°C. Samt bli klimanøytrale før år 2100. På tross av at det har blitt lagt mer fokus på miljøet den siste tiden er vi ikke à jour for å nå målet. Det gjenstår fortsatt å utføre nok tiltak i praksis før vi eventuelt ser den positive påvirkningen.

FN har tatt utgangspunkt i Parisavtalen som ble vedtatt i 2015 under sammensettingen av bærekraftsmålet. Avtalen går ut på at alle land i verden, fattig eller rik skal bidra med å redusere klimagassutslippene for å begrense klimaendringene. Ikke alle land stiller likt, så det er lagt opp at de rike landene må ta hoved ansvaret. Både når det kommer til utslipp i eget

land, men også det å hjelpe de fattigste landene ved å dele kunnskap, erfaringer løsninger og ikke minst bistå økonomisk.

4.3.1 Bygg- og anleggsbransjen

Bygg- og anleggsbransjen er en av de store bærebjelkene for den moderne sivilisasjonen vi har i dag. Hver dag bygges og utvikles det boliger, kontorer, skoler, sykehus, hoteller, idrettshaller, samt mange andre typer konstruksjoner. Det er en stor bransje som også står bak en stor andel av de globale klimagassutslippene. Ifølge FNs IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) står bygg- og anleggsbransjen for omtrent 40% av klimagassutslippene globalt.

I kalkylen er både direkte og indirekte påkjenninger i hele byggets livsløp tatt i betraktning. Så hvis vi avgrensner for å kun se på klimagassutslippene fra byggeprosessen i prosjektene vil den antatte prosenten reduseres en viss grad. Men det vil fortsatt stå for en ganske marginal andel, omtrent 50% av utslippene fra livsløpet til bygget stammer fra produksjon og transportering av byggematerialer, i tillegg er avfallshåndtering, bruken av tungt maskineri, energi til oppvarming store kilde for utslipp.

Selv om bygg- og anleggsbransjen er en av de største bidragsyterne når det kommer til det globale klimagassutslippet, er vi avhengige av den i samfunnet vårt. Bransjen er derimot ikke perfekt, og det er viktig å bemerke seg det store potensialet det er for utslippsreduksjon. Vi må fokusere på å finne nye løsninger, som kan gjøre byggeprosessen mere klimavennlig.

4.3.2 Betong

Som nevnt tidligere er betong et allsidig material med gode egenskaper, det anses derfor som verdens mest brukte byggemateriale, nesten alle byggeprosjekter tar i bruk betong på en eller annen måte. Betong er derimot ikke et miljøvennlig material, produksjon og bruk av betong som byggemateriale medfører store utslipp av karbondioksid som gir en negativ miljøpåvirkning.

Det er bruken av store mengder sement i blandingen som gjør betong til en klimaversting. Det er to hovedpunkter ved sementproduksjon som resulterer i CO₂ utslipp. Først er det den kjemiske reaksjonen involvert i produksjonen av hovedkomponenten i sement, nemlig

klinker. Klinker er et mellomsteg når man produserer portlandsement og produseres ved sintring av kalkstein og aluminiumsilikat ved 1400 °C i en sementovn. Det er under kalsineringen av kalkstein (CaCO_3) til kalsiumoksid (CaO) store mengder CO_2 oppstår. Det antas at utslippene fra denne prosessen bidrar med omtrent 5% av de totale menneskeskapte CO_2 -utslippene.

Den andre utslippskilden er fra forbrenning av fossilt brensel. Under sementprosessen trenger ovnene å overstige en varme på godt over 1000°C, for å generere denne energien kreves det forbrenning av fossilt brensel. Disse utslippene kan føre til at klimagassutslippene i sementprosessen øker med ytterligere 60 %. De samlede utslippene fra sementindustrien antas derfor med på å bidra med så mye som 8 % av de globale CO_2 -utslippene (IEA, 2023).

At betong er et essensielt byggemateriale er det ikke tvil på, men vi kan ikke neglisjere de potensielle miljøkonsekvensene som følger med produksjon og bruk av betongkonstruksjoner. Vi kan ikke stoppe å bruke betong, men å være beviste på bruken vår er essensielt for å begrense utslippene som fører med.

4.3.3 Stål

De siste årene har vi til en viss grad klart å redusere mengde med CO_2 -utslippene som direkte kommer fra stålproduksjonen, men på grunn av markeds etterspørsel har de totale utslippene steget. Jern- og stålindustrien står for rundt 7 % av globale klimagassutslipp (GHG) og 11 % av de globale CO_2 -utslippene (Hasanbeigi, 2022). Den globale stålproduksjonen har mer enn doblet seg mellom 2000 og 2020, og det ser ikke ut som etterspørselen vil stoppe i nærmeste fremtid.

Det er to faktorer som spiller inn i klimagassutslipp under prosessen. Den første er at når de skal skille jern fra oksygen brukes karbon som et såkalt reduksjonsmiddel. I prosessen kombineres det med oksygenet og danner karbondioksid. Den andre faktoren er at det kreves mye energi for å produsere stål, og i likhet med betong er det fossilt brensel som hovedsakelig benyttes. Gjennomsnittlig utslipp fra stålproduksjon er ca. 1,91 tonn CO_2 per tonn stål som blir produsert (WSA, 2022). Ettersom vi trenger karbon for prosessen vil vi aldri kunne unngå utslipp helt, men utfordringen for bransjen blir å redusere utslippene mest mulig. For å klare det må bransjen omstille seg med ny og bedre teknologi.

I dag er det i hovedsak to forskjellige måter å produsere stål på. Vi skiller da som oftest på «primær-rute» og «sekundær-rute». Primær ruten refereres til det som blir kalt BF-BOF ruten. BF står for «Blast furnace» og BOF står for «Basic oxygen furnace». Denne ruten er den mest vanlige å står for rundt 60% av all stålproduksjon. Ruten består av at masovner produserer jern fra jernmalm. For så å bruke en oksygenkonverter til å omgjøre jern og skrap til stål.

Sekundær ruten blir kalt EAF ruten. Det står for «Electric arc furnace». Omtrent 40% av stål blir produsert via denne ruten. Den består av at man gjenvinner skrapmetall i en elektrisk lysbueovn og smelter det ned og eventuelt tilsette andre stoffer for å oppnå ønskede egenskaper. Ettersom man gjenbraker skrap og benytter elektrisitet for oppvarming av ovnen er dette en veldig bærekraftig måte å produsere stål på.

Ifølge World Steel Association er utslippet for produksjon av ett tonn stål via BF-BOF ruten i gjennomsnitt 2,32 tonn CO₂, mens EAF-ruten har et begrenset utslipp på ca. 0,67 tonn CO₂ per tonn stål. Dette er en marginal forskjell som er viktig å påpeke med tanke på livsløpsanalyse til prosjektet.

2021 data	CO ₂ emission intensity by production route	Energy intensity by production route
	tonnes CO ₂ per tonne of crude steel cast	GJ per tonne of crude steel cast
Global average	1.91	21.31
BF-BOF	2.32	24.43
Scrap-EAF	0.67	10.04
DRI-EAF*	1.65	25.29

Tabell 4 - 2021 CO₂ utslipp og energi intensitet

4.4 PELEFUNDAMENTERING

Pelefundamentering er en fundamenterings teknikk som brukes for å styrke og stabilisere grunnen som konstruksjoner hviler på. Normalt sett når man snakker om fundamenter i et prosjekt er det fundamenter under kategorien «grunne fundamenter» det henvises til. Vi bruker grunne fundamenter når belastningen fra konstruksjonen ikke overstiger bæreevnen til

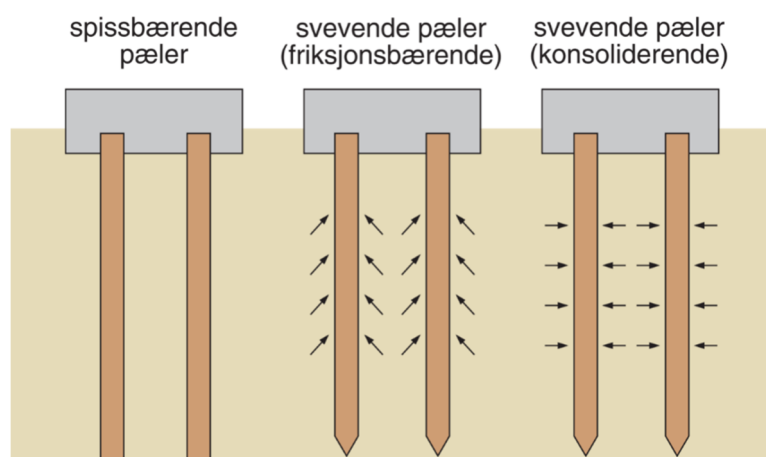
grunnen på overflaten. Derimot ved for store belastninger må vi ta i bruk dype fundamenter, da overfører vi belastningene til et dypere lag med jord eller helt ned til fjell slik at det blir tilstrekkelig kapasitet. Pelefundament er et dypt fundament og man definerer det som regel når dybden til et fundament er over tre ganger så stort som bredden (Atkinson, 2007).

Pelefundamenter kan dermed beskrives som lange, slanke, søyleformede elementer som plasseres vertikalt ned i bakken for å overføre lasten fra konstruksjonen til grunnen. Dette er ikke en moderne metode, men har blitt brukt i tusenvis av år. Pelefundamentering daterer tilbake til omtrent 400 f.Kr. På denne tiden var det vanlig å bosette seg nærme elver, men det betydde også ugunstig grunnforhold. Ved å slå peler av trevirke ned i grunnen fikk de et solid fundament som det var mulig å bygge på.

Det er romerne som anses å være forfedrene for den moderne peleprosessen vi benytter oss av i dag. Det eksisterer fortsatt konstruksjoner som er avhengig av peler som ble slått ned på den tiden. I ettertid har jo prosessen utviklet seg til bytte ut hånd dreven slegge med store maskiner, og i dag blir som oftest stål- eller betongpeler benyttet. Peler av trevirke har ikke like bra kapasitet eller egenskap til å motstå bøye, trykk og strekkrefter som stål eller betong, og i tillegg er det en risiko for at trevirke vil kunne råtne under fuktige forhold.

Hvis vi ser bort ifra materialvalg er det i hovedsak to forskjellige pele typer vi skiller mellom, spissbærende peler og friksjonspeler. Spissbærende peler drives vanligvis ned i jorden til de når et fjell eller fast morene. Pelen bærer da belastningen gjennom spissen av pelen og overfører vekten til det faste underlaget. Størrelsen på kapasiteten som en spissbærende pel kan bære avhenger av styrken til underlaget den hviler på, samt pelens tverrsnitt. Denne type pelefundamentering er gunstig når det kommer til store vertikale laster, og den er ideell for steder med løse overflatelag og fastere underliggende lag.

Friksjonspeler derimot, overfører lasten til omkringliggende jord gjennom friksjon langs sidene av pelen. Kapasiteten er da avhengig av leirens egenskaper og pelens overflate, grunn



Figur 7 - Illustrasjon av de forskjellige peletypene

med høy friksjon vil gi bedre kapasitet. Det er den store overflaten av pelekjernen kan overføre betydelige laster til de omgivende jord massene. Friksjonspeler kan være mer kostnadseffektive fordi de ikke nødvendigvis må drives like dypt ned i jorden som med spissbærende peler.

4.4.1 Forarbeid – grunnundersøkelse

Grunnundersøkelser er en viktig del av forberedelsene til pelefundamentering, og målsetningen er å få detaljert forståelse av jordens struktur, sammensetning og bæreevne på stedet hvor konstruksjonen skal bygges. Det er essensielt å gjennomføre gode analyser og tester slik at man har et godt grunnlag, disse resultatene er med på under planleggingen av pelefundamenteringssystemet, inkludert valg av peler, deres dimensjoner, plassering, antall, og dybde de skal drives ned til.

I et prosjekt er det ulike grunnundersøkelser som blir gjennomført, for å få helheten av grunn situasjonen er det viktig å kunne samhandle dataene mellom de ulike testene.

Totalsondering er en blanding av dreietrykksondering og bergkontrollsondering. Ved å gjennomføre en totalsondering får man kartlagt grunnforholdene samt dybden ned til berg eller hard morene. En totalsondering vil i tillegg kunne gi en indikasjon på hvilken jordart grunnen består av, samt fastheten til løsmassene. (Rustberggard, u.å.)

Trykksondering eller kalt CPTu fra det engelske navnet *Cone Penetration Test* er en moderne metode som gir veldig nøyaktige resultater for grunnundersøkelsen. Ved utførelsen presses en kjegleformet spiss ned i grunnen og er i stand til å registrere motstand, sidefriksjon, poretrykk, helningsvinkel og temperatur. (Rustberggard, u.å.)

Prøveserie er opptak av prøvestykker for så å undersøke det i et geoteknisk laboratorium. I en rutineundersøkelse er hensikten å klassifisere og identifisere vanninnhold, tyngdetetthet, uomrørt og omrørt skjærfasthet, samt sensitivitet i massene. Det innebærer som oftest flere prøvestykker fra samme området.

Hydraulisk/Elektronisk piezometer er poretrykksmålere som brukes for å indentifisere trykket i grunnvannet. Å vite poretrykket er nødvendig for å beregne blant annet setninger og stabilitet. En slik test vil også bidra til å lokalisere grunnvannsnivå, det er der poretrykket er lik null.

4.4.2 Utførelse

Når man skal sette en pel ned i grunnen er det igjen ulike måter man kan gå frem på. De to hovedkategoriene som vi tar i bruk i dag er ramming og boring. Ved ramming har man egne pele-rammings maskiner som slår prefabrikkerte peler ned i grunnen. Rammede peler kan både være av stål og betong, samt spissbærende, friksjons- eller kombinerte peler avhengig av jordforholdene. Ramming av peler er ofte den tekniske foretrukne løsningen, ved ramming forskyves jorda rundt pelene noe som fører til at den omkringliggende jorda komprimeres og friksjonen mot sidene av pelene økes, og dermed vil bæreevnen også øke. I tillegg vil man igjennom denne prosessen teste pelen sin vekt bærende egenskap, slik at man er mer sikker på at den klarer å motstå belastningen.

Borete peler, derimot, blir installert ved å bore et hull i bakken og deretter fylle det med betong og en form for armering. Jorden fjernes gradvis ved hjelp av et boreverktøy, og en stålkasse kan bli installert under vanskelige grunnforhold for å hindre at hullet kollapser før man tilsetter betongen. Borete peler har fordelen av å være mer stillegående og mindre forstyrrende enn rammede peler, samt gunstig for tette og harde jordlag som er vanskelig å slå seg igjennom. I tillegg er denne metoden mer gunstig hvis man ønsker å benytte seg av peler med store dimensjoner. De kan også nå mye dypere enn rammede peler, noe som kan være viktig i spesielle prosjekter. På den negative siden er denne metoden vanligvis dyrere og mer tidskrevende enn ramming.

4.4.3 Vrak pel

Peleprosessen er ikke alltid rett frem, ved bløte grunnforhold er det mange små marginer og det kan derfor oppstå en rekke komplikasjoner underveis i prosessen. Pelen blir utsatt for store aksiale krefter som vil påvirke pelens stabilitet. Konsekvensene av dette er at pelen vil kunne knekke. I tillegg vil feil dimensjonering eller installasjon også kunne resultere i at pelen knekker og den anses som ubrukelig. Knekkning av peler vil føre til forsinkelser i prosjektet, samt ekstra kostnader både beregning og utførelse av en ny pel. Det er derfor en rekke situasjoner man må være bevisst på i planleggingen og utførelse av prosjektet:

1. Pelen kan bli skadet ved for hard ramming, eller ramming inn i uforventede hindringer i bakken som store steiner eller hard leire.

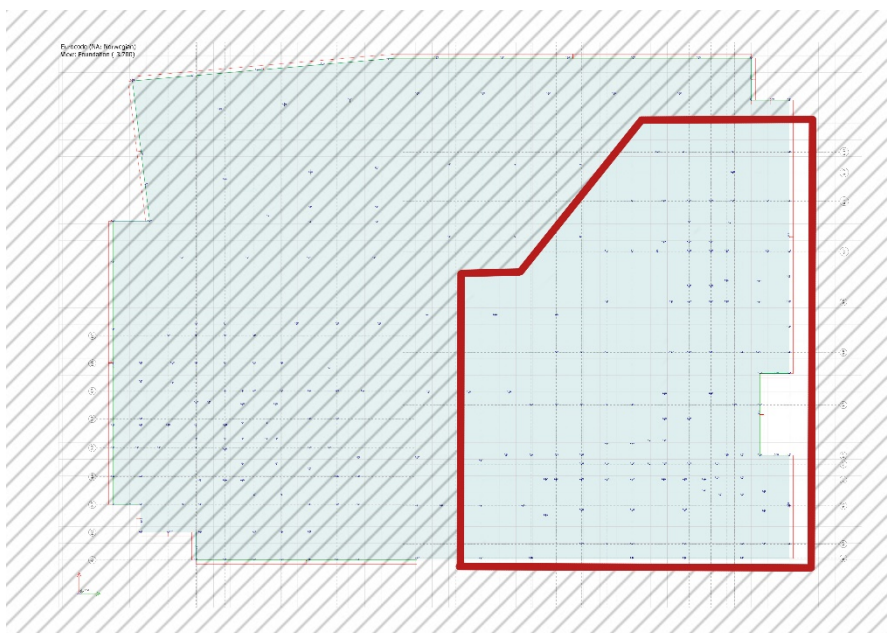
2. Pelen kan miste kapasitet ved at den blir slått ned i annen vinkel enn det som er planlagt eller den treffer berg med feil vinkel og sklir ut av posisjon.
3. Pelen kan forskyve seg med mye aktivitet rundt installasjons lokasjon eller ved ustabil grunn som forårsaker store setninger eller ras

5 METODE

5.1 Pelefunderingssystem

Som nevnt tidligere har vi i gjennomføringen av oppgaven fått tilgang til FEM-designmodellen til den planlagte konstruksjonen. Fem-Design er et avansert program som gir mulighet for å beregne og dimensjonere kompliserte konstruksjoner. Fem-design bruker Finite Element Method (FEM) som er innebygde formler og algoritmer for å beregne strukturers respons på ulike påkjenninger en konstruksjon kan møte. Det innebærer for eksempel vekt, vind, seismiske krefter, termisk ekspansjon og mye mer. Ved innsettelse av riktig grunndata er det derfor mulig å forutsi og optimalisere strukturens oppførsel under forskjellige forhold, før den faktisk blir bygget.

Her er konstruksjonen fremstilt i sin helhet av Pro-consult AS. Ved å benytte denne modellen videre kan vi skissere praktiske lokasjoner for pelepunkter, samt ta ut maks last for gitte pelepunkter for videre dimensjonering av pelene. Selv om det er programvaren som utfører beregningene er man i stor grad avhengig av god kompetanse innenfor konstruksjonsteknikk samt forståelse av programvaren. Det er brukeren som modellerer opp konstruksjonen og innsetter de aktuelle verdier for de potensielle påkjenningene bygget kan bli utsatt for.



Figur 8 - Utsnitt fra Fem-design rapport: Relevante Lastpunkter

Videre kan vi bruke informasjonen om pelelokasjonene og maks last kapasitet til å dimensjonere peletyper. Jeg vil i verdt punkt ta for meg tre ulike valgmuligheter for pelebruk:

1. Stålkjernepel i punkt
2. Betongpel – flere peler i punkt
3. Betongpel – en pel i punkt

For at dimensjoneringen skal være brukbart til videre utvikling av pelesystemene er det viktig å bruke reelle verdier for pelene. Derfor skal det tas kontakt med leverandør for å komme ned på produktnivå. Det vil også føre til at vi har bedre grunnlag for videre analyser i oppgaven. Leverandøren som er valgt for den teoretisk utførelse av prosjektet er Geo Fundamentering & Bergboring AS, de har erfaring med fundamentering helt tilbake til 1950-tallet og er konkurransedyktig både på utførelse og pris.

Geo Fundamentering & Bergboring AS har etablert to forskjellige datablader som inneholder de forskjellige peletypene vi kan bruke til fundamenteringen i prosjektet. Databladene inneholder informasjon, dimensjonering, tekniske data og kapasitet for både stål- og betongpeler.

Stålkvalitet S355J2+AR jfr. NS-EN 10025-2, toleranser jfr. NS-EN 10060
 Kneking etc. må vurderes særskilt.
 Tabell angir foringsrør som gir **min. 15 mm** overdekning iht. NS 3420-G

Stålkjerne Ø [mm]	Trykkpelehode		Min. trykkap. N _i [kN]	Borutrustning (alle mål i mm)			Over- dekning [mm]	Vekt av pel pr m [kg]	Gysemasse [liter/m]
	bxb [mm]	t [mm]		System	For.rør- dimensjon [mm]	Min. utsparing i magerb.			
Ø70	180	32	1 072	Odex 90	114,3 x 4,0	133	18,2	30,2	5,0
Ø90	200	35	1 718	Odex 115	139,7 x 4,0	162	20,9	49,9	7,3
Ø100	250	45	2 121	Odex 115	139,7 x 4,0	162	15,9	61,7	5,8
Ø110	280	50	2 403	Odex 140	168,3 x 4,5	197	24,7	74,6	10,4
Ø120	310	55	2 860	Odex 140	168,3 x 4,5	197	19,7	88,8	8,6
Ø130	360	60	3 356	Odex 165	193,7 x 5,0	222	26,9	104,0	13,2
Ø150	440	65	4 468	Odex 165	193,7 x 5,0	222	16,9	139,0	8,8
Ø150	440	65	4 468	Odex 190	219,1 x 5,0	247	29,6	139,0	16,7
Ø180	500	80	6 216	Odex 240	273,0 x 6,3	318	40,2	200,0	27,8
Ø190	Pelehode prosjekteres av RIB/RIG		6 926	Odex 240	273,0 x 6,3	318	35,2	222,6	24,9
Ø200			7 674	Odex 240	273,0 x 6,3	318	30,2	246,6	21,8
Ø210			8 164	Odex 240	273,0 x 6,3	318	50,7	271,9	18,6
Ø220			8 960	Sym. 324	323,9 x 6,3	345	45,7	298,4	38,1
Ø230			9 793	Sym. 324	323,9 x 6,3	345	40,7	326,2	34,6

Betongpeler

Betongpeler dimensjoneres etter NS-EN 1992, Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner
Peler blir produsert etter NS-EN 12794: Prefabrierte betongprodukter - Fundamentpeler
Håndtering skjer iht. Peleveiledningen 2019.

PELETYPE:		P230-0416 M60	P230-0814 M60	P270-0416 M60	P270-0416 M45	P270-0816 M60	P270-0816 M45	P350-0816 M45	P345-0820 M45
MÅL OG VEKT :									
Sidekant	mm	235	230	270	270	270	270	350	345
Tverrsnitt	m ²	0,065	0,053	0,073	0,073	0,073	0,073	0,123	0,119
Overflate pr. m	m ² /m	0,34	0,32	1,08	1,08	1,08	1,08	1,40	1,38
Vekt pr. m	kg/m	142	145	185	185	195	195	315	325
Spiss diameter, Brinell 400HDS	mm	60	60	60	60	60	60	80	80
TEKNISKE DATA :									
Langdearmring, B500		4Ø16	8Ø14	4Ø16	4Ø16	8Ø16	8Ø16	8Ø16	8Ø20
Spiralarmering	mm	Ø5	Ø5	Ø5	Ø5	Ø5	Ø5	Ø6	Ø6
Betongkvalitet		C50/60	C50/60	C50/60	C50/60	C50/60	C50/60	C50/60	C50/60
Betongoverdekning	mm	25	30	25	45	25	45	45	45
DIM. KAPASITET PEL UTEN SKJØT (L < 13 m)									
Dim.kapasitet, aksiallast	N _{skj}	kN	1 410	1 566	1 872	1 852	2 141	2 102	3 026
Dim.kapasitet, moment	M _{skj}	kNm	32	45	40	38	72	65	96
Reduksjonsfaktor, f _s = 0,75	N _r	kN	1 058	1 175	1 404	1 389	1 606	1 577	2 270
	M _r	kNm	24	34	30	29	54	49	72
DIM. KAPASITET PEL MED SKJØT									
Dim.kapasitet, aksiallast	N _{skj}	kN	1 307	1 406	1 854	1 829	1 854	1 944	3 026
Dim.kapasitet, moment	M _{skj}	kNm	27	34	40	38	46	49	68
Dim.kapasitet, strekk		kN	273	374	350	350	449	529	699
Reduksjonsfaktor, f _s = 0,75	N _r	kN	980	1 055	1 391	1 372	1 391	1 458	2 270
	M _r	kNm	20	26	30	29	35	37	51

Dimensjonerende kapasitet for aksiallast (N_{skj}) er største aksiallast ved bøyemoment som kun skyldes utilsiktet eksentrisitet.

Dimensjonerende kapasitet (M_{skj}) er største bøyemoment ved null aksiallast

De oppgitte installerte kapasiteter hensyntar parallell- og diagonalbøyning av hhv. en uskjetet og en skjetet pel med fjellspiss. Evt. avrusting av pelespiss er ikke hensyntatt.

- Installert aksialkapasitet: N_i = N_{skj} x f_s
- Installert momentkapasitet: M_i = M_{skj} x f_s

Grunnlag for valg av reduksjonsfaktoren f_s er gitt i Peleveiledningen 2019, tabell 1.9

Ut ifra disse pelene er det ønskelig å se nærmere på om følgene peler vil være aktuelle for gjennomføring av prosjektet:

Type	Foringrør	Last kap
Ø70	Odex90 - Ø114,3x4,0	1072
Ø90	Odex115 - Ø139,7x4,0	1718
Ø100	Odex115 - Ø139,7x4,0	2121
Ø110	Odex140 - Ø168,3x4,5	2403
Ø120	Odex140 - Ø168,3x4,5	2860
Ø130	Odex165 - Ø193,7x5,0	3356
Ø150	Odex165 - Ø193,7x5,0	4468
Ø180	Odex240 - Ø273,0x5,0	6216
Ø200	Odex240 - Ø273,0x5,0	7674
P230-0416		987
P270-0416		1390
P270-0816		1450
P350-0816		2270

For å sjekke om peletypene har god nok kapasitet til å ta opp lasten fra de forskjellige punktene vil vi med forbehold holde oss under 85% av utnyttelsesgraden. Utnyttelsesgraden finner vi ved å ta den maksimale lasten fra punktet og dele på den totale last kapasiteten til pelene. Her er det også viktig å dimensjonere for bruddgrensetilstand betegnet som ULS i beregningene, samt ulykkgrensetilstand betegnet ALS.

I beregningen er det gitt forslag for peletyper til verdt enkelt lastpunkt. I et reelt prosjekt er det ønskelig med flest like peler for enklere utførelse. Det er derfor reelt å skille lastpunktene i mindre grupper som store laster, middels laster og liten last. Deretter dimensjoner man for den største lasten og bruker den samme peletypen man dimensjoner, for alle lastpunkter innenfor gruppen.

Videre skal det skisseres opp tre forskjellige pelefundamenteringsystemer i Revit:

1. System med bare betongpeler
2. System med bare stålkjernepeler
3. System med hovedsak betongpeler med unntak av høyrisiko områder.

5.2 Miljø

For å sammenligne miljøpåvirkningene til de forskjellige pelesystemene vil det gjennomføres en livsløpsvurdering eller en LCA (Life Cycle Assessment). «En Livsløpsvurdering er en systematisk kartlegging og vurdering av miljø- og ressurspåvirkninger gjennom hele livsløpet til et produkt eller produktsystem fra uttak av råvarer i naturen til produktet avhendes og ender som avfall eller ressurser til nye produkter» (Norsus, u.å.). Ved å kun se på utslipp fra produksjon eller installasjon av et produkt vil man ikke få et helhetlig bilde av miljøpåvirkningene. En LCA derimot vil i tillegg ta hensyn til faktorer som utvinning av råmaterialer gjennom materialproduksjon, distribusjon, bruk, reparasjon og vedlikehold, samt avhending eller gjenvinning.

Hensikten med en LCA er dermed å få en komplett oversikt over de miljømessige påvirkningene ved å inkludere alle stadier i produktets livssyklus. Selv om det er dette som er hensikten vil det være vanskelig å utforme en helt nøyaktig livsløpsvurdering. Det må gjøres

en vurdering på hvilke faktorer som er nødvendige og hvilke man kan neglisjere uten at det påvirker formålet med analysen.

5.3 Økonomi

For økonomisk sammenligning mellom pelefundamenteringssystemene er det innhentet enhets priser, samt priser for utførelse fra GEO Fundamentering & Bergboring AS. Prisene er gitt etter lengdemeter på pelene og ettersom bergdybden er 11,2m under terreng kan vi finne totalprisen for de forskjellige pelene ved å gange opp antall med høyde. Jeg la inn en sikkerhetsfaktor på 10 prosent tilfelle store avvik.

Prisanslag for levering av betongpeler		
Beskrivelse	Enh.	Enhetspris
Betongpeler (optimalisert)		
GK1.7111 Rigg for kapping av peler (Antar 1 maskin i 1 etappe)	Stk	kr 5 680,00
GK171211 Kapping av peler	Stk	kr 267,00
Betongpeler		
GK1.21119 Levering av peler - P230-0416M60	lm	kr 341,00
GK1.21119 Levering av peler - P270-0416M60	lm	kr 401,00
GK1.21119 Levering av peler - P350-0816M60	lm	kr 641,00
Pelespisser		
GK1.2311 Levering av pelespisser - P230	Stk	kr 1 114,00
GK1.2311 Levering av pelespisser - P270	Stk	kr 1 297,00
GK1.2311 Levering av pelespisser - P350	Stk	kr 1 511,00

Tabell 5 - Prisanslag på levering av betongpeler

Prisanslag for levering av stålkjernepeler		
Beskrivelse	Enh.	Enhetspris
Stålkjernepeler (optimalisert)		
GE2.117 Rigg for boring av løsmasser (Antar 1 maskin i 1 etappe)	Stk	kr 64 411,00
GE2.2117 Oppstilling for boring i løsmasser	Stk	kr 757,00
Boring i løsmasser		
Ge2.317 - Boring i løsmasser - Odex90 (ø114,3x4,0) for ø70	lm	kr 724,00
Ge2.317 - Boring i løsmasser - Odex115 (ø139,7x4,0) for ø90 og ø100	lm	kr 768,00
Ge2.317 - Boring i løsmasser - Odex140 (ø168,3x4,5) for ø110 og 120	lm	kr 871,00
Ge2.317 - Boring i løsmasser - Odex165 (ø193,7x5,0) for ø150	lm	kr 1 351,00
Stålkjerner		
Gk7.211 Stålkjerner i borede peler - ø70	lm	kr 667,00
Gk7.211 Stålkjerner i borede peler - ø90	lm	kr 906,00
Gk7.211 Stålkjerner i borede peler - ø100	lm	kr 1 037,00
Gk7.211 Stålkjerner i borede peler - ø110	lm	kr 1 208,00
Gk7.211 Stålkjerner i borede peler - ø120	lm	kr 1 386,00
Gk7.211 Stålkjerner i borede peler - ø150	lm	kr 1 984,00
Kapping av peler		
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø70	Stk	kr 196,00
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø90	Stk	kr 303,00
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø100	Stk	kr 326,00
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø110	Stk	kr 351,00
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø120	Stk	kr 379,00
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø150	Stk	kr 545,00

Tabell 6 - Prisanslag for levering av stålkjernepeler

6 RESULTATER

6.1 Dimensjoneringsresultater – Pelesystemer

6.1.1 Lastpunkter

Ut ifra Fem-design modellen fikk jeg eksportert maksimal lastene fra de ulike lastpunktene. Jeg importerte de så videre inn i Excel og lagde peleforslag ut ifra tre ulike situasjoner. For hver av de ulike situasjonene og de ulike lastpunktene valgte jeg en eller flere peler som hadde tilstrekkelig kapasitet på 85% utnyttelses grad.

Resultatene under er sortert fra størst maksimal last til minst og utelukker lastpunktene hvor perleforslag eller peleantall ikke endres. Peleforslaget vist er derfor ment til å kunne brukes på maksimal laster som er innenfor de ulike intervallene mellom punktene.

Forslag stålkjernepeler:

Max. of load combinations, Point support group, Reactions (-), Ultimate - for selected objects											
ID	x	y	z	Node	Max.	FORSLAG STÅLKJERNER					
[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	Maks last	Peleforslag	Last kap.	Antall peler	Last kap. tot.	Utn N %
S.6	32.450	59.452	-3.700	112061	Fz'	-4344,67	Ø120	2860	2	5720	76 %
S.31	70.500	28.700	-3.700	227442	Fz'	-4031,102	Ø110	2403	2	4806	84 %
S.17	48.050	59.452	-3.700	134378	Fz'	-3722,117	Ø150	4468	1	4468	83 %
S.165	17.350	20.000	-3.700	53379	Fx'	-2746,678	Ø130	3356	1	3356	82 %
S.166	19.425	22.500	-3.700	64856	Fx'	-2380,701	Ø120	2860	1	2860	83 %
S.150	23.484	18.400	-3.700	84266	Fx'	-2037,325	Ø110	2403	1	2403	85 %
S.197	69.687	15.400	-3.700	222511	Fx'	-1799,47	Ø100	2121	1	2121	85 %
S.125	7.300	10.600	-3.700	9717	Fx'	-1405,981	Ø90	1718	1	1718	82 %
S.176	30.700	4.000	-3.700	108883	Fx'	-902,262	Ø70	1072	1	1072	84 %

Maks = 85 %

Tabell 7 - Forslag Stålkjernepeler ut ifra maksimal last fra lastpunkter

I tabellen over vil vi ved bruk av stålkjernepeler kunne benytte oss av 1 ø130 pel for lastpunkter med maksimal last mellom 2746,678 og 3722,177. Dette er grunnlaget for skissering av pelefunderingssystemet.

Forslag Betongpeler – Flere peler i punkt

Max. of load combinations, Point support group, Reactions (-), Ultimate - for selected objects

ID	x	y	z	Node	Max.	FORSLAG BETONGPELER - Flere peler i punkt			
						Maks last	Peleforslag	Last kap.	Antall peler
S.6	32.450	59.452	-3.700	112061	Fz'	-4344,67	P270-0416	1390	4
S.18	55.850	59.452	-3.700	151013	Fz'	-3557,593	P270-0416	1390	3
S.26	68.800	52.550	-3.700	215535	Fz'	-2515,461	P230-0416	987	3
S.11	46.550	50.649	-3.700	131418	Fz'	-2356,96	P270-0416	1390	2
S.148	19.425	15.400	-3.700	64645	Fx'	-1632,851	P230-0416	987	2

Tabell 8 - Forslag Betongpeler med flere peler i punkt, ut ifra maksimal last fra lastpunkter

I tabellen over vil vi ved bruk av betongpeler kunne benytte oss av 3 P230-0416 peler for lastpunkter med maksimal last mellom 2515,461 og 3557,593. Dette er grunnlaget for skissering av pelefundamenteringssystemet.

Forslag Betongpeler – Færrest peler i punkt

Max. of load combinations, Point support group, Reactions (-), Ultimate - for selected objects

ID	x	y	z	Node	Max.	FORSLAG BETONGPELER - FERREST PELE I PUNKT					
						Maks last	Peleforslag	Last kap.	Antall peler	Last kap. tot.	Utn N %
S.6	32.450	59.452	-3.700	112061	Fz'	-4344,67	P350-0816	2270	3	6810	64 %
S.17	48.050	59.452	-3.700	134378	Fz'	-3722,117	P350-0816	2270	2	4540	82 %
S.11	46.550	50.649	-3.700	131418	Fz'	-2356,96	P270-0416	1390	2	2780	85 %
S.189	65.800	5.900	-3.700	196880	Fx'	-1936,856	P350-0816	2270	1	2270	85 %
S.146	24.100	7.300	-3.700	86894	Fx'	-1177,191	P270-0416	1390	1	1390	85 %
S.135	13.900	27.400	-3.700	35089	Fx'	-840,464	P230-0416	987	1	987	85 %

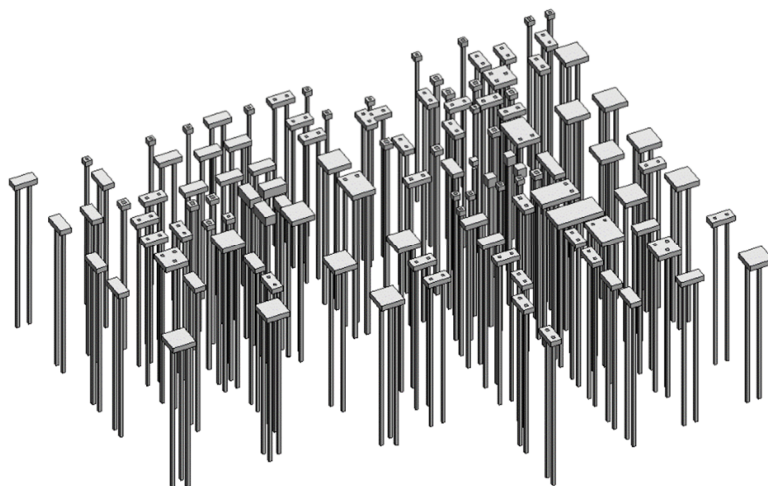
Maks = 85 %
Min = 28 %

Tabell 9 - Forslag Betongpeler med færrest antall peler i punkt, ut ifra maksimal last fra lastpunkter

I tabellen over vil vi ved bruk av betongpeler kunne benytte oss av 1 P350-0816 pel for lastpunkter med maksimal last mellom 1936,856 og 2356,96. Dette er grunnlaget for skissering av pelefundamenteringssystemet.

6.2 Pelefunderingssystem

6.2.1 System 2 – Betongpeler



Figur 9 - Modell av System 2 hentet fra Revit

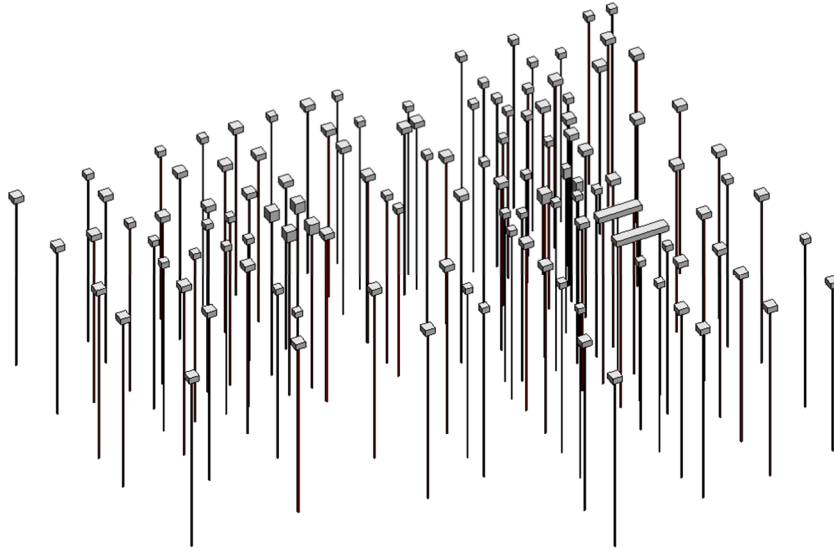
Pelesystem 2 har tatt utgangspunkt i kun bruk av betongpeler. Her har vi både en og flere peler i de forskjellige lastpunktene. Vurderingen på dimensjoner og antall er tatt i henhold til forslagslisten, pris og utførelse.

Pelesystemet består totalt av 231 peler hvor:

- 63stk er av typen P230-0416 (M60)
- 149stk er av typen P270-0416 (M60)
- 20stk er av typen P350-0816 (M60)

Disse tallene er tatt i bruk for videre beregninger, for fullstendig peletabell og plasseringskart se [vedlegg X](#).

6.2.2 System 3 – Stålkjernerpeler



Figur 10 - Modell av System 3 hentet fra Revit

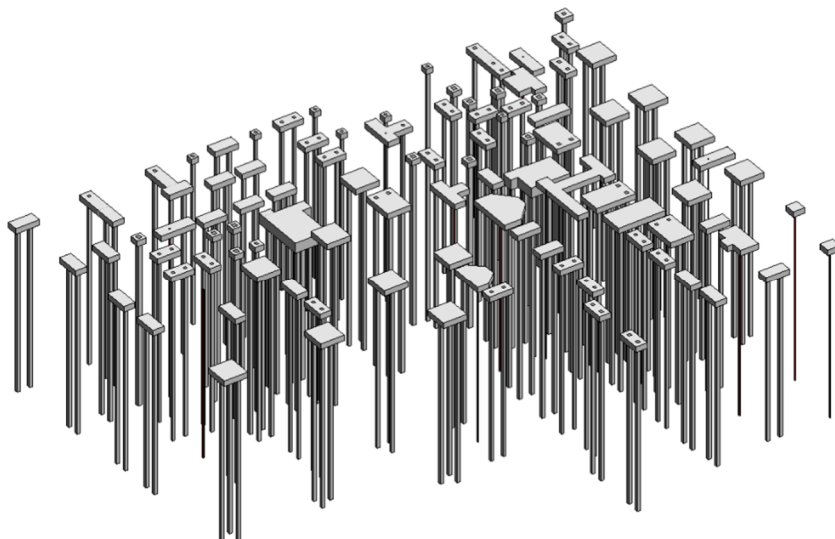
Pelesystem 2 har tatt utgangspunkt i kun bruk av Stålkjernerpeler. Her har det kun vært nødvendig å benytte en pel per lastpunktene. Vurderingen på dimensjoner er tatt i henhold til forslagslisten, pris og utførelse.

Pelesystemet består totalt av 122 peler hvor:

- 9stk er av typen $\varnothing 70$
- 7stk er av typen $\varnothing 90$
- 25stk er av typen $\varnothing 100$
- 15stk er av typen $\varnothing 110$
- 48stk er av typen $\varnothing 120$
- 19stk er av typen $\varnothing 150$

Disse tallene er tatt i bruk for videre beregninger, for fullstendig peletabell og plasseringskart se **vedlegg X**.

6.2.3 System 1 – Hybrid løsning



Figur 11 - Modell av System 1 hentet fra Revit

Ettersom denne oppgaven har pågått i flere måneder har de startet å pele på byggeplass. Resultatet av den faktiske pelingen endte med over 60 vrakpeler samt at det var nødvendig å tilleggs pele 35 betongpeler og 8 stålkjernepeler. Pelesystem 1 tar utgangspunkt i resultatene fra virkeligheten og lager en hybridløsning på hva som ville vært det mest optimale pelesystemet

Pelesystemet består totalt av 214 peler hvor:

- 20stk er av typen P230-0416
- 128stk er av typen P270-0416
- 20stk er av typen P350-0816
- 2stk er av typen ø90
- 5stk er av typen ø100
- 6stk er av typen ø120
- 3stk er av typen ø150

Disse tallene er tatt i bruk for videre beregninger, for fullstendig peletabell og plasseringskart se **vedlegg X**.

6.3 Økonomi

For en økonomisk sammenligning av stål- og betongpeler hentet vi pris fra leverandør. Ut ifra disse ser vi med stor margin at stålkjernepeler er dyrere. Stålkjernepel ø70 er den minste pelen vi kan velge. Hvis vi tar utgangspunkt i bergdybde på 12m vil leveringspris på hver enkelt ø70 pel tilnærme seg 16888,- .

Hvis vi ser på en betongpel med tilsvarende kapasitet altså P230-1416 og har samme forutsetninger kommer leveringsprisen på 5206,- Det er over 3 ganger så lite og da har vi ikke tatt i betraktning rigg for boring. Prisen på rigging av borr kommer i tillegg på 64411,- og ytterligere 757kr per lastpunkt den forflytter seg mellom.

6.3.1 System 2

Prisanslag for levering av betongpeler				
Beskrivelse	Enh.	Mengde	Enhetspris	Sum
Betongpeler (optimalisert)				
GK1.7111 Rigg for kapping av peler (Antar 1 maskin i 1 etappe)	Stk	1,00	kr 5 680,00	kr 5 680,00
GK171211 Kapping av peler	Stk	232,00	kr 267,00	kr 61 944,00
Betongpeler				
GK1.21119 Levering av peler - P230-0416M60	lm	756,00	kr 341,00	kr 257 796,00
GK1.21119 Levering av peler - P270-0416M60	lm	1788,00	kr 401,00	kr 716 988,00
GK1.21119 Levering av peler - P350-0816M60	lm	240,00	kr 641,00	kr 153 840,00
Pelespisser				
GK1.2311 Levering av pelespisser - P230	Stk	63,00	kr 1 114,00	kr 70 182,00
GK1.2311 Levering av pelespisser - P270	Stk	149,00	kr 1 297,00	kr 193 253,00
GK1.2311 Levering av pelespisser - P350	Stk	20,00	kr 1 511,00	kr 30 220,00
			Sum S2:	kr 1 489 903,00

Tabell 10 - Prisanslag for system 2

For pelesystemet som er begrenset til bruk av betongpeler, vil den totale installasjonsprisen komme på ca. 1,5 millioner. Merk det er ikke tatt i betraktning komplikasjoner som vrakpeler eller behov for hardere ramming ved hardt jordgrunnlag.

6.3.2 System 3

Prisanslag for levering av stålkjernepeler				
Beskrivelse	Enh.	Mengde	Enhetspris	Sum
Stålkjernepeler (optimalisert)				
GE2.117 Rigg for boring av løsmasser (Antar 1 maskin i 1 etappe)	Stk	1,00	kr 64 411,00	kr 64 411,00
GE2.2117 Oppstilling for boring i løsmasser	Stk	303,00	kr 757,00	kr 229 371,00
Boring i løsmasser				
Ge2.317 - Boring i løsmasser - Odex90 (ø114,3x4,0) for ø70	lm	108,00	kr 724,00	kr 78 192,00
Ge2.317 - Boring i løsmasser - Odex115 (ø139,7x4,0) for ø90 og ø100	lm	384,00	kr 768,00	kr 294 912,00
Ge2.317 - Boring i løsmasser - Odex140 (ø168,3x4,5) for ø110 og 120	lm	756,00	kr 871,00	kr 658 476,00
Ge2.317 - Boring i løsmasser - Odex165 (ø193,7x5,0) for ø150	lm	228,00	kr 1 351,00	kr 308 028,00
Stålkjerner				
Gk7.211 Stålkjerner i borede peler - ø70	lm	108,00	kr 667,00	kr 72 036,00
Gk7.211 Stålkjerner i borede peler - ø90	lm	84,00	kr 906,00	kr 76 104,00
Gk7.211 Stålkjerner i borede peler - ø100	lm	300,00	kr 1 037,00	kr 311 100,00
Gk7.211 Stålkjerner i borede peler - ø110	lm	180,00	kr 1 208,00	kr 217 440,00
Gk7.211 Stålkjerner i borede peler - ø120	lm	576,00	kr 1 386,00	kr 798 336,00
Gk7.211 Stålkjerner i borede peler - ø150	lm	228,00	kr 1 984,00	kr 452 352,00
Kapping av peler				
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø70	Stk	9,00	kr 196,00	kr 1 764,00
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø90	Stk	7,00	kr 303,00	kr 2 121,00
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø100	Stk	25,00	kr 326,00	kr 8 150,00
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø110	Stk	15,00	kr 351,00	kr 5 265,00
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø120	Stk	48,00	kr 379,00	kr 18 192,00
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø150	Stk	19,00	kr 545,00	kr 10 355,00
			Sum S3:	kr 3 606 605,00

Tabell 11 - Prisanslag for system 3

For pelesystemet som er begrenset til bruk av stålkjernepeler, vil den totale installasjonsprisen komme på ca. 3,6 millioner.

6.3.3 System 1

Prisanslag for levering av stålkjernepeler				
Beskrivelse	Enh.	Mengde	Enhetspris	Sum
Stålkjernepeler (optimalisert)				
GE2.117 Rigg for boring av løsmasser (Antar 1 maskin i 1 etappe)	Stk	1,00	kr 64 411,00	kr 64 411,00
GE2.2117 Oppstilling for boring i løsmasser	Stk	16,00	kr 757,00	kr 12 112,00
Boring i løsmasser				
Ge2.317 - Boring i løsmasser - Odex90 (ø114,3x4,0) for ø70	lm	0,00	kr 724,00	kr 0,00
Ge2.317 - Boring i løsmasser - Odex115 (ø139,7x4,0) for ø90 og ø100	lm	84,00	kr 768,00	kr 64 512,00
Ge2.317 - Boring i løsmasser - Odex140 (ø168,3x4,5) for ø110 og 120	lm	72,00	kr 871,00	kr 62 712,00
Ge2.317 - Boring i løsmasser - Odex165 (ø193,7x5,0) for ø150	lm	36,00	kr 1 351,00	kr 48 636,00
Stålkjerner				
Gk7.211 Stålkjerner i borede peler - ø70	lm	0,00	kr 667,00	kr 0,00
GK7.211 Stålkjerner i borede peler - ø90	lm	24,00	kr 906,00	kr 21 744,00
Gk7.211 Stålkjerner i borede peler - ø100	lm	60,00	kr 1 037,00	kr 62 220,00
GK7.211 Stålkjerner i borede peler - ø110	lm	0,00	kr 1 208,00	kr 0,00
Gk7.211 Stålkjerner i borede peler - ø120	lm	72,00	kr 1 386,00	kr 99 792,00
GK7.211 Stålkjerner i borede peler - ø150	lm	36,00	kr 1 984,00	kr 71 424,00
Kapping av peler				
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø70	Stk	0,00	kr 196,00	kr 0,00
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø90	Stk	2,00	kr 303,00	kr 606,00
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø100	Stk	5,00	kr 326,00	kr 1 630,00
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø110	Stk	0,00	kr 351,00	kr 0,00
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø120	Stk	6,00	kr 379,00	kr 2 274,00
GL7.271 Kapping av stålkjerepel - ø150	Stk	3,00	kr 545,00	kr 1 635,00
Sum				kr 513 708,00

Prisanslag for levering av betongpeler				
Beskrivelse	Enh.	Mengde	Enhetspris	Sum
Betongpeler (optimalisert)				
GK1.7111 Rigg for kapping av peler (Antar 1 maskin i 1 etappe)	Stk	1,00	kr 5 680,00	kr 5 680,00
GK171211 Kapping av peler	Stk	198,00	kr 267,00	kr 52 866,00
Betongpeler				
GK1.21119 Levering av peler - P230-0416M60	lm	610,00	kr 341,00	kr 208 010,00
GK1.21119 Levering av peler - P270-0416M60	lm	1560,00	kr 401,00	kr 625 560,00
GK1.21119 Levering av peler - P350-0816M60	lm	240,00	kr 641,00	kr 153 840,00
Pelespisser				
GK1.2311 Levering av pelespisser - P230	Stk	50,00	kr 1 114,00	kr 55 700,00
GK1.2311 Levering av pelespisser - P270	Stk	128,00	kr 1 297,00	kr 166 016,00
GK1.2311 Levering av pelespisser - P350	Stk	20,00	kr 1 511,00	kr 30 220,00
Sum				kr 1 297 892,00

Total sum S1: kr 1 811 600,00

Hvis vi kunne forutsett høyrisiko områdene ville den optimale prisen kommet på 1,8 millioner. Dette er kun en økning på 300 000,- fra kostnadene vi hadde fått hvis system 2 hadde gått feilfritt.

Hvis vi tar utgangspunkt i system 2 og de vrakpelene som forekom på byggeplass kan vi regne ut hvor mye det vil koste for installasjon av ny løsning. Det er ikke tatt i betraktning kostnad for beregning av ny løsning:

Antar 8 stålpeler med dimensjon ø150 m/tanke på ustabil grunn og vrak i grunn:

- Rigg = 64 411,-
- Stålkjerner = 190464,-
- Boring i løsmasser = 129696,-
- Kapping av peler = 4360,-
- Oppstilling for boring = 6056,-

Det resulterer i en ekstrakostnad på 394 987,- for å etablere 8 stålkjernepeler

Antar 35 betongpeler P270-1416:

- Antar at utstyr er på plassen
- Betongpeler = 168420,-
- Pelespisser = 52885,-
- Kapping av peler = 9345,-

Det resulterer i en ekstrakostnad på 230 650,- for å etabler 35 nye betongpeler.

Totalt sett gir det en ekstrakostnad på 625 637,- som gir en ny total for system 2 på:

2 115 540,-

Hvis vi sammenligner med system 3 som besto av bare stålkjernepeler for vi en differanse på:

1 491 065,-

7 DISKUSJONER OG ANALYSE

7.1 Dimensjonering

Hele oppgaven baserte seg på den potensielle dimensjoneringen av minst to ulike pelefundamenteringssystemer. De skulle dimensjoneres ut ifra det grunnlaget vi hadde tilgjengelig. De ulike systemene fungerer som gode tilnærmelser for potensielle og reelle løsninger. Det burde fortsatt bemerkes at det er potensial for å etablere andre og mer effektive systemer.

7.2 Miljø

7.3 Økonomi

Som vi har antatt og som vi kan se ut ifra resultatene er stålkjernepeler marginalt dyrere enn betongpeler. Kostnadene av å fundamenter ved bruk av betong resulterte med 1,5 millioner kroner, dette er godt over halvparten av kostnadene for å fundamenter med stålkjernepeler som resulterte med 3,6 millioner kroner. Ved ønske om å utføre dette prosjektet ved begrenset bruk av stålkjernepeler sier man ifra seg 2,1 millioner kroner som er nok til å fundamenter prosjektet med betongpeler en gang til.

Selv med høyt antall vrakpeler, endring av systemet til å bli en hybridløsning med stålkjernepeler ved dårlig grunn og ytterligere supplering av betongpeler vil det resultere med 1,5 millioner i forskjell. Det er verdt å nevne at dette er utenom kostnaden for dimensjoneringen av de nye løsningene, men man det er mye penger igjen.

Det beste hadde vært å kunne forutsi hvor vrak vill oppstå, da hadde vi kunne benyttet oss av system 1, og endt med en totalsum på 1,8 millioner.

8 KONLUSJON

Opggaven baserte seg på følgende problemstilling:

«Hvilken materialvalg er mer hensiktsmessig for bygging av større konstruksjoner, betong eller stålkjernepeler, når man tar hensyn til bæreevne, kostnad, arbeidstid og miljøpåvirkning på prosjekter med ustabil grunn?»

Vi kan konkludere med at stålkjernepeler er mer gunstig innenfor bæreevne, arbeidstid og miljøpåvirkninger i prosjekter av denne størrelsen, men det veier ikke opp for de økonomiske forskjellene. Valg av peler utgjør en såpass stor forskjell, at det blir vanskelig å argumenter for å velge et system med bare stålkjernepeler. Selv med mye vrak og supplering med litt stål er det fortsatt langt unna en tilnærming økonomisk sett for systemene.

Selv om stålkjernepeler er et mer miljøvennlig resultat, og man ved vrak får ytterligere påvirkninger vil det fortsatt være uaktuelt for en byggherre å ta på seg så store bekostninger på miljøpåvirkninger av den størrelsen

Mest gunstig situasjon er å videreutvikle teknologien til å kunne forutse enda mer presist hvor betongpeler vil svikte, for å kunne benytte seg av det mest optimale systemet. Prosjektet vil da være mer økonomisk lønnsomt, samt som man sparer miljøet for ytterligere påkjenninger som kommer fra supplering av peler og bruk av utstyr.

9 LITTERATURLISTE

Thue, Jan Vincent. (2019) *Betong*

Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra:

<https://snl.no/betong>

(Hentet: 01.02.2023)

Årtun, Torstein; Nesse, Norvald; Eide, Inga Baadshaug. (Oppdatert 2023) *Sement*

Store norske leksikon

<https://snl.no/sement>

(Hentet 01. Januar 2023)

Andrew, R. M. (2019) *Global CO2 emissions from cement production, 1928–2018*,

Earth System Science Data 11

<https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>

(Hentet: 01.01.2023)

Byggforsk serien:

- 572.205 Betong. Typer, egenskaper og bruksområder
- 572.204 Sement. Typer, egenskaper og bruksområder
- 572.207 Tilsetningsstoffer for betong
- 520.026 Viktige parametere for prosjektering og utførelse av bestandige betongkonstruksjoner

Solberg, Jan Ketil; Christensen, Nils; Almar-Næss, Almar: *Stål*

Store norske leksikon. Tilgjengelig fra

<https://snl.no/stål>

(Hentet 3. mai 2023)

Hasanbeigi, Ali. (2022) *Steel Climate Impact*

Global Efficiency Intelligence

<https://www.globalefficiencyintel.com/steel-climate-impact-international-benchmarking-energy-co2-intensities>

(Hentet 3. Mai 2023)

IEA (2022), *Iron and Steel*

International Energy Agency

<https://www.iea.org/reports/iron-and-steel>

(Hentet 3. Mai 2023)

Eurofer. (2020) *What is steel and how is steel made?*

Eurofer

<https://www.eurofer.eu/about-steel/learn-about-steel/what-is-steel-and-how-is-steel-made/>

(Hentet 3. Mai 2023)

WSA. (2022) *Sustainability indicators*

World Steel Association

<https://worldsteel.org/steel-topics/sustainability/sustainability-indicators/>

(Hentet 3. Mai 2023)

FN. (Oppdatert 2020) *Parisavtalen*

De forente nasjoner

<https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen>

(Hentet 4. Februar 2023)

FN. (Oppdatert 2023) *Stoppe klimaendringene*

De forente nasjoner

<https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/stoppe-klimaendringene>

(Hentet 4. Februar 2023)

Norsus (u.å.) *Om livsløpsvurdering – LCA (Life Cycle Assessment*

Norsk institutt for bærekraftsforskning

<https://norsus.no/om-livslopsvurdering/>

(Hentet 14. April 2023)

Hugsted, Reida. (Oppdatert 2019) *Pæler*

Store norske leksikon

<https://snl.no/p%C3%A6ler>

(Hentet 09. Mars 2023)

Atkinson, John (2007) *The Mechanics of Soils and Foundations*

Routledge

<http://196.189.45.87/bitstream/123456789/74/1/2.pdf>

(Hentet 14. Mars 2023)

Rustberggard, Christian. (u.å.) *Totalsondering – dreietrykksondering – trykksondering (CPTu)*

Romerike Geoteknikk

<https://geoteknikk.no/fagstoff/totalsondering-dreietrykksondering-cptu/>

(Hentet 19. Mars 2023)

Geosafe. (u.å.) *Poretrykksmåling*

Geosafe

<http://www.geosafe.no/poretrykksmaaling>

(Hentet 19. Mars 2023)

NGF. (Oppdatert 2010) *Veiledning for utførelse av trykksondering*

Norsk Geoteknisk Forening

https://ngf.no/wp-content/uploads/2015/03/5_NGF-Melding-5-CPTU-_revisjon-3.pdf

(Hentet 23. Mars 2023)

NGF. (Oppdatert 2011) *Veiledning for symboler og definisjoner i geoteknikk*

Norsk Geoteknisk Forening

<https://ngf.no/publikasjoner/melding-nr-2-veiledning-for-symboler-og-definisjoner-i-geoteknikk-1982/>

(Hentet 23. Mars 2023)

GEO. (2021) *Betongpeler*

GEO fundamentering og bergboring AS

<https://geofb.no/losninger/betongpeler/>

(Hentet 17.Mai 2023)

GEO. (u.å.) *Stålkjernepeler*

GEO fundamentering og bergboring AS

<https://geofb.no/losninger/stalkjernepeler/>

(Hentet 17.Mai 2023)

10 Vedlegg

Vedlegg 1 – Fem modell – lastpunkter

Vedlegg 2 -Datablad-Betongpeler-2021

Vedlegg 3 -Stålkjernepeler, produktdatablad

Vedlegg 4 -Pelefundamenteringsystemer

Vedlegg 5 -Grunnlag Økonomi

Vedlegg 6 -Forslag Peler

11

