

TITTEL:

**Dimensjonering av peler i permafrost**

KANDIDATNUMMER(E):

10023 og 10004

DATO:	EMNEKODE:	EMNE:	DOKUMENT TILGANG:
20.05.21	IB303312	Bacheloroppgave	- åpen
STUDIUM:		ANT SIDER/VEDLEGG:	BIBL. NR:
Bygg - konstruksjon		35/ 2	- ikke i bruk

VEILEDER(E) :

Torodd Skjerve Nord og Aleksey Shestov

SAMMENDRAG:

Denne oppgaven skal vi undersøke ulike typer fundamentering i arktisk forhold. I Longyearbyen har det blitt vanlig å fundamenterer med spissbærende peler for å være sikker på at bygget blir stående i den tenkte levetiden. Vi har derfor undersøkt om det i stedet er mulig å benytte friksjonspeler.

Konklusjonen fra våre undersøkelser er at det kan være lønnsomt ved lange avstander til fast grunn.

Denne oppgaven er en eksamensbesvarelse utført av studenter ved NTNU i Ålesund.

Postadresse  
NTNU i Ålesund  
Postboks 1517  
N-6025 Ålesund

Besøksadresse  
Larsgårdsvegen 2  
Internett  
[www.ntnu.no](http://www.ntnu.no)

Telefon  
73 59 50 00  
Epostadresse  
[postmottak@ntnu.no](mailto:postmottak@ntnu.no)

Bankkonto  
7694 05 00636  
Foretaksregisteret  
NO 974 767 880

## Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Du/dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6:		
1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none"><li>• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.</li><li>• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.</li><li>• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.</li><li>• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.</li><li>• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.</li></ul>	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å <u>betrakte som fusk</u> og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. <a href="#">Universitets- og høgskoleloven</a> §§4-7 og 4-8 og <a href="#">Forskrift om eksamen</a> §§14 og 15.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert i Ephorus, se Retningslinjer for elektronisk innlevering og publisering av studiepoenggivende studentoppgaver	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at høgskolen vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter <a href="#">høgskolens studieforskrift §31</a>	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av <a href="#">kilder og referanser på biblioteket sine nettsider</a>	<input checked="" type="checkbox"/>

## Publiseringsavtale

Studiepoeng: 20

Veileder: Torodd Skjerve Nord og Aleksey Shestov

### Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten ([Åndsverkloven §2](#)).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage HiM med forfatter(ne)s godkjenning.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved NTNU i Ålesund en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

nei  ja

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

nei  ja

(Båndleggingsavtale må fylles ut) - Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over? nei

ja

Er oppgaven unntatt offentlighet?

nei  ja

(inneholder taushetsbelagt informasjon. [Jfr. Offl. §13/Fvl. §13](#))

Dato: 20.05.21

## Forord

Etter snart tre år ved NTNU i Ålesund skal vi snart levere vår siste oppgave. Det har vært tre fine og lærerike år. Dette siste semesteret mens vi har jobbet med oppgaven, har vi oppholdt oss i Longyearbyen, Svalbard. Her har vi også deltatt i faget AT-205 Frozen Ground Engineering for Arctic Infrastructures ved UNIS. Gjennom faget og oppholdet på Svalbard har vi lært mye om blant annet fundamentet i permafrost, som er det oppgaven vår handler om. I fritiden har vi også hatt det kjekt med alt som Svalbard har å by på.

Bakgrunnen for valg av oppgaven vår var at vi hadde lyst til å oppleve noe nytt og skrive om noe spennende. Da vi fikk et tips om å skrive på Svalbard, satte vi i gang med å finne noe som kunne være interessant å skrive om, som samtidig var relevant for studieretningen vår.

Etterhvert falt valget på peling i permafrost.

Vi vil gjerne takke våre veiledere Torodd Skjerve Nord fra NTNU og Aleksey Shestov fra UNIS for god hjelp og motivasjon til å skrive denne oppgaven. Vi vil også takke Arne Instanes fra Instanes AS for gode innspill.

## Sammendrag

Vår bacheloroppgave handler om å undersøke ulike typer fundamentering i arktiske forhold. På Svalbard finnes det permafrost helt ned til 450 m enkelte plasser. På grunn av dette kan man ikke fundamenterer på samme måte som på fastlands-Norge. Lokalt i Longyearbyen har det blitt vanlig å fundamenterer ved bruk av spissbærende peler for å være sikker på at bygget står trygt gjennom den tenkte levetiden.

Ved at man peler hele veien ned til fast grunn, blir fundamentet ofte overdimensjonert. Dette er verken økonomisk eller bærekraftig. Vi har derfor undersøkt om det er mulig å benytte friksjonspeler i stedet for spissbærende peler. Samtidig har vi sett på om det fortsatt er mulig å bruke friksjonspeler i framtiden.

Resultatene vi har fått fra våre beregninger er at dersom det er langt ned til fast grunn vil det være lønnsomt å bruke friksjonspeler. Dette på grunn av at man ikke trenger like lange peler, som betyr at man ikke trenger å bore like langt ned. Dersom man har kort avstand til fast grunn, vil det lønne seg å bruke spissbærende pel fordi man ikke klarer å få pelen lang nok til å kunne holde på lasten fra bygget. Med de temperaturestimeringene vi har, vil det i framtiden være mulig å bruke friksjonspeler.

## Summary

Our bachelor thesis is about investigating different types of foundations in Arctic conditions. In Svalbard, there is permafrost all the way down to 450 m in some places. Due to this, one cannot lay the foundation in the same way as in mainland Norway. Locally in Longyearbyen, it has become common to lay foundations by using end-bearing piles to ensure that the building is safe for the intended life span.

By piling all the way down to solid ground, the foundation is often overdimensioned. This is neither economical nor sustainable. We have therefore investigated whether it is possible to use friction piles instead of end-bearing piles. At the same time, we have checked if it is still possible to use friction piles in the future.

The results we have obtained from our calculations is that if it is a long distance down to solid ground, it will be profitable to use friction piles. This is because you do not need as long piles, which means that you do not need to drill as far down. If you have a short distance to solid ground, it will pay to use end-bearing piles since you cannot get the pile long enough to be

able to hold the load from the building. With the temperature estimates that we have, it will be possible to use friction piles in the future.

## Innholdsfortegnelse

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring .....	II
Publiseringsavtale.....	III
Forord .....	IV
Sammendrag.....	V
Summary .....	V
Tabelliste .....	VIII
Figurliste.....	IX
1. Innledning.....	1
1.1. Bakgrunn .....	1
1.2. Problemstilling.....	2
1.3. Formål.....	2
1.4. Historie .....	2
1.5. Metode .....	3
2. Teori .....	4
2.1. Formler .....	4
3. Fagkunnskap.....	7
3.1. Permafrost og jordlag .....	7
3.2. Fundamentering .....	9
3.2.1. Frysefundamentering.....	9
3.2.2. Sålefundamentering.....	11
3.2.3. Multipoint foundations .....	12
3.2.4. Ventilert fylling .....	13
3.3. Pelers.....	14
3.3.1. Friksjonspeler .....	14
3.3.2. Spissbærende pel .....	14
3.4. Material.....	15
3.4.1. Tømmerpeler .....	15
3.4.2. Betongpeler .....	16
3.4.3. Stålpeler.....	18
3.4.4. Stålkjernepeler.....	19
4. Måling av materialparametere i frossen grunn.....	20

4.1. Bestemmelse av udrenert skjærstyrke .....	20
5. Beregninger .....	22
5.1. Beregning av tverrsnittskapasitet for spissbærende pel.....	22
5.2. Beregning av lengde til friksjonspel.....	22
5.2.1. Beregning med bruk av $c_u$ fra tabell.....	22
5.2.2. Beregning med hensyn på setningskrav .....	22
5.2.3. Beregning med hensyn på temperatur.....	23
5.3. Fremtiden dersom det aktive laget blir større.....	26
6. Resultat.....	30
6.1. Resultat med bruk av $c_u$ fra tabell.....	30
6.2. Resultat med hensyn på setningskrav.....	30
6.3. Resultat med hensyn på temperatur.....	30
7. Diskusjon.....	31
8. Konklusjon .....	33
9. Kilder.....	34
10. Vedlegg .....	35
10.1 Vedlegg 1.....	1
Summary: .....	3
Introduction .....	3
Method: .....	4
Result:.....	5
Discussion: .....	10
Conclusion:.....	11
References: .....	12
10.2 Vedlegg 2.....	1
Precast .....	2
Summary .....	2
1. Introduction .....	3
2. Theory .....	4
3. Methods.....	5
4. Results .....	6
5. Discussion .....	9
6. Conclusion.....	13
References .....	14

## Tabelliste

Tabell 2-1. Symbolforklaringer [4, 5]. .....	5
Tabell 4-1. Resultat fra konustest i fryst jord. ....	20
Tabell 4-2. Kalibreringstabell [15, s. 156]. ....	21
Tabell 5-1. Utregning av lengde på friksjonsspel med forskjellige setningskrav. ....	23
Tabell 5-2. Total lengde på pel. ....	23
Tabell 5-3. Temperaturene fra figur 5-5, gir skjærkraft fra figur 5-2. ....	27
Tabell 5-4. Temperaturene fra figur 5-6 og skjærkraft fra figur 5-2. ....	29
Tabell 5-5. Lengde på pel utfra setningskrav. ....	29



## Figurliste

Figur 1-1. Longyearbyen fra Platåberget, foto: ICRB. ....	1
Figur 3-1. Vertikal fordeling og dybde på permafrost [4, p. 9].....	8
Figur 3-2. Setningsskader på det gamle sykehuset i Longyearbyen, foto: CR. ....	9
Figur 3-3. Prinsipp for oppbygging av fryseplate, laget av ICRB i AutoCAD [10, p. 11]. ....	10
Figur 3-4. Kulturhuset i Longyearbyen, foto: ICRB.....	10
Figur 3-5. Prinsipp for oppbygging av sålefundament, laget av ICRB i AutoCAD [8, p. 12].	11
Figur 3-6. Terrassen utenfor Radisson Blu Hotel, Foto: ICRB.....	12
Figur 3-7. Multipoint foundations under terrasse utenfor Radisson Blu Hotel, Foto: ICRB...	12
Figur 3-8. Prinsippskisse for oppbygging av ventilert fylling, laget av ICRB i AutoCAD [10, p. 14].....	13
Figur 3-9. Forskjell på spissbærende pel og friksjonsspel, tegnet av CR.....	14
Figur 3-10. Råte på pel [3]. ....	16
Figur 3-11. Forhåndsstøpt rektangulær pel [14].....	17
Figur 3-12. Stålrørspel [14].....	19
Figur 3-13. Stålkjernepeler [15]. ....	19
Figur 5-1. Graf over temperaturen i forskjellige dybder for oktober 2019. ....	24
Figur 5-2. Skjærkraft-diagram.....	24
Figur 5-3. Temperatur og skjærkraft gitt etter hver meter i permafrost. ....	25
Figur 5-4. Graf over fire scenarier for fremtiden [16].....	26
Figur 5-5. Lineær avrunding av temperaturer for fremtiden i permafrost.....	27
Figur 5-6. Temperaturer ved 2 °C endring. ....	28
Figur 7-1. Resultater fra lasteceller under UNIS bygget.....	32

# 1. Innledning

## 1.1. Bakgrunn

Longyearbyen ligger på Svalbard og befinner seg på 78 grader nord. Det er en av verdens nordligste bosetninger med ca. 2000 innbyggere og med nesten 40 nasjonaliteter. Byen ble i 1905 anlagt av Arctic Coal Co, men ble senere oppkjøpt av Store Norske Spitsbergen Kullkompani. Kull var lenge en stor del av Longyearbyen, men i dag er det bare en aktiv gruve igjen, dette er da gruve 7. En del av kullet går til å drifte Longyearbyen, mens resten blir solgt til andre land [1]. Figur 1-1 viser bilde av Longyearbyen sett fra Platåberget.



*Figur 1-1. Longyearbyen fra Platåberget, foto: ICRB.*

På Svalbard har man permafrost som når ned til ca. 150 m under bakkenivå nært havet, og mer enn 450 m under bakken i fjellområder. På grunn av permafrosten kan man ikke fundamentere på samme måte i Longyearbyen, som man gjør på fastlandet da oppvarmede bygg vil føre til at bakken tiner og dermed føre til setningsskader på byggene. I stedet tyr man ofte til peler som går langt ned i permafrosten eller til berg, slik at bygget blir stående over bakkenivå og forhindrer at bakken tiner [2].

## 1.2. Problemstilling

Det har bredt seg en kultur blant lokale myndigheter og utbyggere i Longyearbyen at det er nødvendig å pele til berg for å være «sikker».

Vi skal undersøke en hypotese om at friksjonspeler (svevepeler) fortsatt er godt egnet, selv med de mest ekstreme klimascenariene som foreligger.

## 1.3. Formål

Formålet med denne oppgaven er å se på forskjellige typer fundamentering i arktiske forhold. For å hente informasjon om grunnforholdene relevant for oppgaven, skal vise på jordlag og permafrost gjennom de nødvendige lab/feltarbeid i faget AT-205.

Vi skal videre se på de forskjellige måtene å pele på, hva som fungerer under arktiske forhold og hvorfor.

Også hvordan disse benyttes på infrastruktur rundt i Longyearbyen, Svalbard.

Lokalt i Longyearbyen er det blitt en «vanlig praksis» å pele hele veien ned til fast fjell for å være sikker på at bygg ikke får problemer gjennom tenkt levetid. Vi tenker også å se på hvorfor det ikke benyttes friksjonspeler, og undersøke om friksjonspeler fortsatt er godt egnet i permafrosten som finnes nå, da overdimensjonering ikke er økonomisk eller miljømessig bærekraftig. Til slutt skal vi se på hvordan friksjonspeler må dimensjoneres i fremtiden, med tanke på at varmere klima gjør at det aktive jordlaget blir tykkere.

## 1.4. Historie

Det har tidligere vært vanlig å bruke trepeler som bygningsfundament i Longyearbyen.

Ingeniørene på denne tiden var i oppfatning av at trepeler ikke kunne råtne på grunn av det kalde klimaet på Svalbard, noe som i senere tid har vist seg å ikke stemme. Det var heller ingen krav til å bruke impregnerte trepeler for å forhindre eller utsette råteprosessen, slik som det er i dag [3].

### 1.5. Metode

For å kunne beregne har vi fått noe informasjon fra Arne Instanes og Aleksey Shestov.

Formler har blitt hentet fra boka Frozen ground engineering [4] og peleveilederen 2019 [5].

Noen av bildene vi har brukt er tatt selv, mens andre er hentet fra internett. Tabeller og figurer som er laget selv, er lagd ved bruk av Word, Autocad, Paint, Excel og håndtegning

I tillegg er temperaturdata for nåtid hentet fra rapport ( Vedlegg 1), som er skrevet av Caroline gjennom faget AT-205. Her finner vi tykkelsen på aktive laget, som er 1,25 meter.

I Vedlegg 2 finner vi rapport om lastceller under UNIS bygget som er skrevet av Ida.

Gjennom denne rapporten ser man hvordan lasten på tuppen av spissbærende pel varierer gjennom sesongen.

## 2. Teori

### 2.1. Formler

I dette delkapittelet viser vi hvilke formler som er blitt brukt i beregningsdelen. I tabell 2-1 finner man symbolforklaringer tilhørende de samme formlene.

Formel 1 for tverrsnittskapasitet [5]:

$$N_{c,Rd} = \frac{f_y \times A}{\gamma_{MO}} \quad (1)$$

Formel 2 for setningskrav omgjort til formel for skjærkraft i aktivt lag [4]:

$$u_a = \frac{3^{(n+1)/2}}{n-1} \times a \times \left(\frac{\dot{\epsilon}_c}{b}\right)^b \times \left(\frac{\tau_a}{\sigma_{c\theta}}\right)^n \times t^b \quad (2)$$
$$\rightarrow \tau_a = \sqrt[n]{\frac{u_a}{\frac{3^{(n+1)/2}}{n-1} \times a \times \left(\frac{\dot{\epsilon}_c}{b}\right)^b \times t^b}} \times \sigma_{c\theta}^n$$

Formel 3 for last på pel fra spissbærende pel med endring av  $\tau_a$  [4]:

$$P = O \times h_p \times \tau_a \rightarrow h_p = \frac{P}{O \times \tau_a} \quad (3)$$

Formel 4 for gjennomsnittlig skjærkraft i permafrost ut fra temperatur:

$$\bar{\tau} = \frac{\Delta\tau_p}{n_2} \quad (4)$$

Formel 5 for lengde på pel i permafrost:

$$P = \left( - \left( O \left[ \frac{m^2}{m} \right] \right) \times \tau_a \times h_a \right) + \left( O \left[ \frac{m^2}{m} \right] \right) \times \left( (h_{1,25-7,0} \times \bar{\tau}) + (h_{7,0-p} \times \tau_{7,0-p}) \right) \quad (5)$$

$$\rightarrow h_{7,0-p} = \frac{P + (O \times \tau_a \times h_a) - (O \times h_{1,25-7,0} \times \bar{\tau})}{O \times \tau_{7,0-p}}$$

Formel 6 for total lengde:

$$L = h_{7,0-p} + h_{0-7,0} \quad (6)$$

Tabell 2-1. Symbolforklaringer [4, 5].

$N_{c,Rd}$	Tverrsnittskapasitet	[kN]
$f_y$	Flytespenning stål	355 [MPa] = 355 X 10 <sup>6</sup> [Pa]
$\gamma_{MO}$	Partialfaktor for materialegenskap	1,05
A	Profilets tverrsnittsareal	7,81 X 10 <sup>-3</sup> [m <sup>2</sup> ]
$u_a$	Setningskrav	10,30,50 [mm]
n	Konstant, fått fra Piles in permafrost – bearing strenght and settlements	1,28
a	Arm (fra utsiden til midten)	100 [mm]
$\dot{\epsilon}_c$	Konstant, Lineær belastningshastighet fått fra Piles in permafrost – bearing strenght and settlements	10 <sup>-5</sup> [h <sup>-1</sup> ]
b	Konstant, fått fra Piles in permafrost – bearing strenght and settlements	0,45
$\tau_a$	Skjærkraft i det aktive laget	[kPa]
$\sigma_{c0}$	Konstant, fått fra Piles in permafrost – bearing strenght and settlements	1050 [kPa]
w	Konstant, fått fra Piles in permafrost – bearing strenght and settlements	1,00
$\theta$	Gjennomsnittstemperatur	-4 [°C]

$\sigma_{c\theta}$	Justert referansestress	$\sigma_{c0}((1 + \theta)/1^\circ C)^w \rightarrow 5250$ [kPa]
t	Tid	50år $\rightarrow (50 \cdot 365 \cdot 24)$ [timer]
P	Last på pel fra spissbærende pel	2640,5 [kN]
O	Omkrets av pelens tverrsnitt	1,15 [m]
L	Lengde på pel	[m]
$\tau_a$	Skjærkraft i det aktive laget, fra forrige formel	[kPa]
$h_{1,25-7,0}$	Lengden av pelen i permafrosten fra aktive laget på 1,25 meter til 7 meter	5,75 [m]
$h_{7,0-p}$	Lengden på pelen fra 7 meter til enden	[m]
$h_{0-7,0}$	Lengden på pelen fra overflaten til 7 meter	7 [m]
$h_a$	Lengden av pelen i det aktive laget	[m]
$\bar{\tau}$	Gjennomsnitt skjærkraft i permafrost ut fra temperatur	[kPa]
$\tau_{7,0-p}$	Skjærkraften fra 7 meter til enden	160 og 125 [kPa]
$\Delta\tau_p$	Summert skjærkraft	[kPa]
$n_2$	Antall	
$c_u$	Udrenert skjærfasthet fra tabell (brukes som $\tau_a$ i formel (3))	[kPa]

### 3. Fagkunnskap

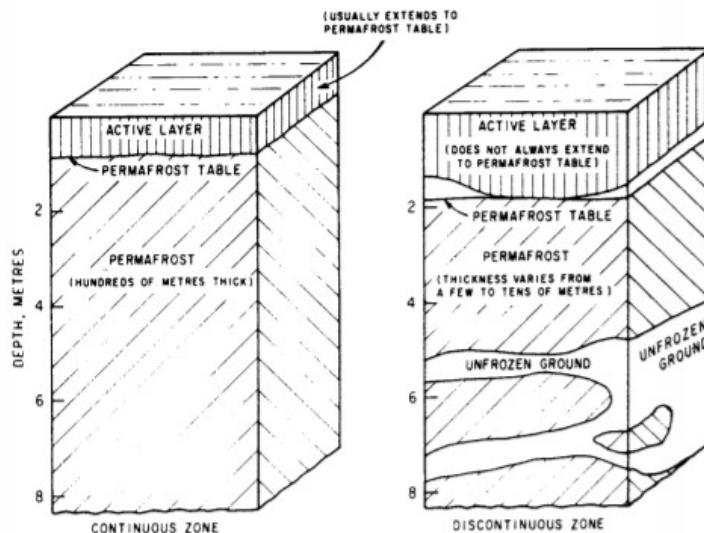
#### 3.1. Permafrost og jordlag

Permafrost defineres som grunn der temperaturen ikke overstiger  $0^{\circ}\text{C}$  i løpet av to eller flere sammenhengende år. Grunnen kan bestå av enten løsmasser eller berg. Man kan ofte finne permafrost i arktiske områder, men det kan også bli funnet i høyfjellsområder i f.eks. Nord-Norge og Sør-Norge [2]. Dannelsen og eksistensen av det frosne jordmaterialet styres primært av klima og terreng. I den nordlige halvkule inneholder ca. 25% av landarealet permafrost, som vil si 23 millioner  $\text{km}^2$ . Mesteparten av permafrosten som finnes i dag ble dannet i de glasiale periodene under istiden og har holdt seg under de varme interglasiale periodene, samt de siste 11700 årene som blir kalt Holocen, fram til i dag [6].

Geografisk deles permafrost ofte inn i flere soner. Kontinuerlig permafrost, diskontinuerlig permafrost, sporadisk permafrost og isolert permafrost. Disse sonene sier noe om hvor mye av landarealet som sannsynligvis inneholder permafrost. Ved kontinuerlig permafrost vil permafrosten dekke ca. 90-100% av landarealet, ved diskontinuerlig permafrost vil ca. 50-90% av landarealet være dekket og ved sporadisk permafrost vil man ha små øyer av permafrost spredt utover som til sammen dekker mindre enn 10% av landarealet [2, 4, p. 8].

Det øverste laget i bakken som tiner hver sommer kalles det aktive laget. Tykkelsen av det aktive laget varierer fra så lite som 15 cm langt nord til så lite som 1 m eller mer i sør. Tykkelsen avhenger av mange ting som f.eks. fryseindeks, jord eller steintype, fuktighet, snømengde, vegetasjon, drenering osv. I de kontinuerlige sonene når det aktive laget som regel ned til den øvre grensen av permafrosten, bortsett fra i nærheten av vannoppsamlinger. I andre områder kan det aktive laget være adskilt fra permafrosten ved at det er et lag med jord imellom som holder seg tint gjennom hele året. I de diskontinuerlige sonene kan det aktive laget nå ned til den øvre grensen av permafrosten i noen områder, mens i andre områder kan det finnes rom mellom lagene [4, p. 7]. Figur 3-1 viser vertikal fordeling og dybde på permafrost.





Figur 3-1. Vertikal fordeling og dybde på permafrost [4, p. 9].

Når vi snakker om konstruksjon så finnes det flere fordeler med stabil permafrost. Permafrost har meget god bærekapasitet pga. den høye trykkfastheten. Styrken til mettet fryst sand kan være opp mot 8,5 ganger større enn for tint sand [4, p. 16].

Problemene med permafrost kommer ofte når den tiner pga. høyere temperaturer. Permafrost holder på store mengder karbon, som frigjøres når permafrosten tiner. Når karbonet frigjøres, vil det skylles ut i havet hvor det vil reagere med oksygen. Det vil da dannes karbondioksid som slippes ut i atmosfæren. Dette vil igjen føre til at drivhuseffekten blir større, og den globale oppvarmingen øker [7].

Tining av permafrost er også en stor trussel mot bygninger, veier og rør. Ifølge en artikkel fra Yale [6], kan tiningen av permafrosten skade infrastrukturen for 3,6 millioner mennesker. Når permafrosten tiner vil isen bli omgjort til vann som da vil føre til setninger i jorden. Pga. dette vil både hus og veier kunne få store skader [8]. Kombinasjonen av økte temperaturer og mer nedbør fører også til større farer for skred, og i Longyearbyen har det flere ganger gått skred som har gjort skade på både hus og veier. Det skjer også ofte at folk må bli evakuert fra sine hjem pga. stor skredfare i perioder [9]. På Figur 3-2 kan man se et eksempel på setningsskader på det gamle sykehuset i Longyearbyen.



*Figur 3-2. Setningskader på det gamle sykehuset i Longyearbyen, foto: CR.*

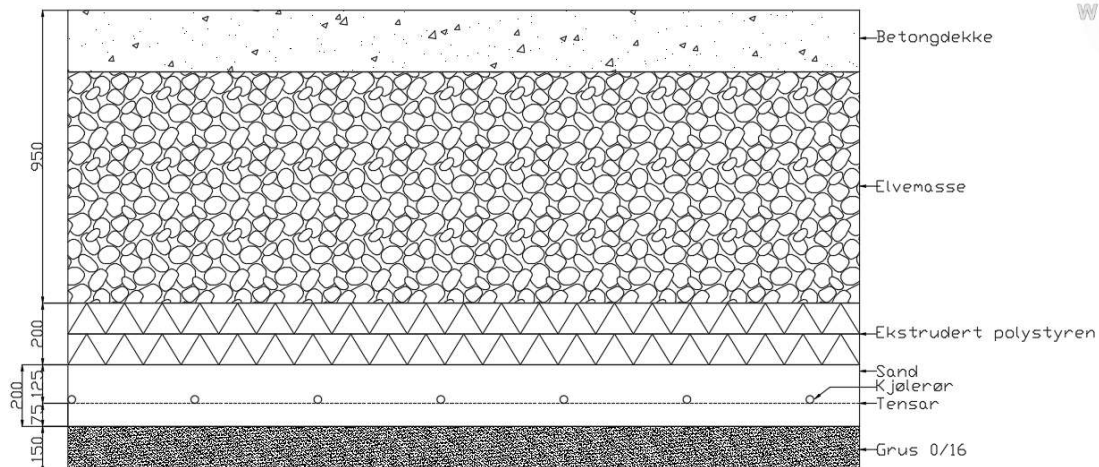
Hvordan kan vi unngå at permafrosten tiner? Det er vanskelig for noen få personer å redde hele verden, men det er mulig for lokalsamfunn å gjøre små endringer som kan bevare permafrosten lengre. I Longyearbyen har det f.eks. blitt gjort flere tiltak for å forhindre smelting. Man har blant annet lagt alle kabler og vannrør over bakken. Man har i tillegg plassert alle oppvarmede bygg på fundament som holder bakken kjølig, for å hindre at varmestrålingen kan smelte permafrosten [9].

### 3.2. Fundamentering

For å få et litt større innblikk i hvordan man fundamenterer i arktiske områder, skal vi også se på noen andre typer fundament enn peler som også kan brukes i områder med permafrost.

#### 3.2.1. Frysefundamentering

Frysefundamentering eller fundamentering på fryseplate er et godt alternativ til bygg som er veldig viktig eller bygg som man ikke ønsker å få skjevsetninger på. Metoden som blir brukt er at man legger kjølerør ned i et lag med enten sand eller betong. Bygget fundamenteres deretter direkte oppå dette. Ved at man har kjøling under fundamentet så vil bakken holde seg frossen, og man slipper at permafrosten tiner. Når bakken kjøles ned vil det også oppstå en overskuddsvarme som det er mulig å bruke til å varme opp bygget med [10, p. 11]. På Figur 3-3 kan man se prinsippskisse for oppbygging av fryseplate.



Figur 3-3. Prinsipp for oppbygging av fryseplate, laget av ICRB i AutoCAD [10, p. 11].

Utfordringen med denne type fundament er at det må ha jevnlig tilsyn. Dette er fordi at dersom man f.eks. får strøbrudd så vil kjølingen stoppe. Dersom man da glemmer å gjenoppstarte kjøleelementene etterpå så vil bakken begynne å tine, og man vil kunne få setningsskader [10, p. 11]

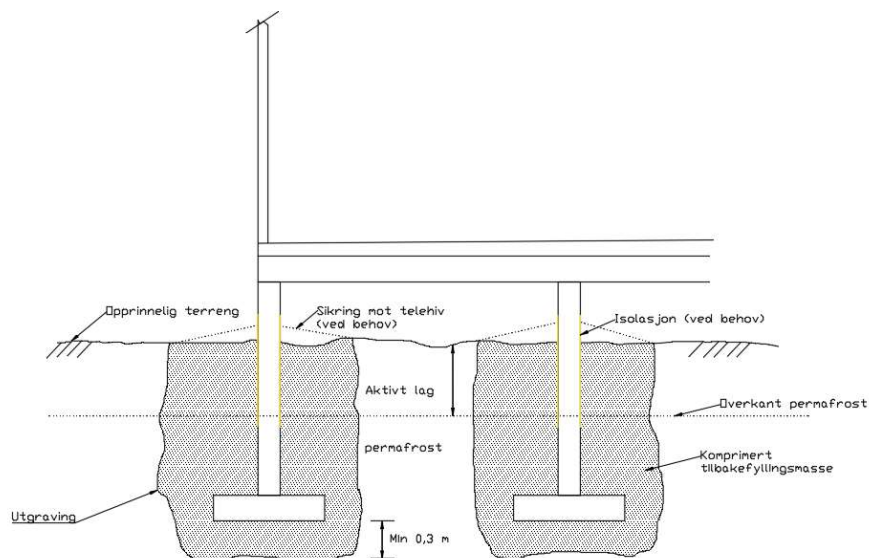
I Longyearbyen er frysefundamentering blant annet brukt på Kulturhuset og Svalbardbutikken [10, p. 11]. På Figur 3-4 ser man et bilde av kulturhuset som står på frysefundament.



Figur 3-4. Kulturhuset i Longyearbyen, foto: ICRB.

### 3.2.2. Sålefundamentering

Sålefundamentering eller grunne fundamenter som det ofte blir kalt i permafrostområder, er blant annet brukt på post- og bankbygget og deler av UNIS-bygget og Telenorbygget. Denne fundamenteringsmetoden går ut på at man setter fundamentene ned i permafrosten. Bygget blir deretter løftet opp av grunnen for å unngå at varmen fra bygget skal tine permafrosten [10, p. 11, 12]. På Figur 3-5 kan man se prinsippskisse for oppbygging av sålefundamentering.



Figur 3-5. Prinsipp for oppbygging av sålefundament, laget av ICRB i AutoCAD [8, p. 12].

Fordelen med sålefundamentering i motsetning til peling er at det i grunnen blir påført en vertikalspenning i underkant av fundamentet som gjør at skjærfastheten i jorden blir mobilisert. Dette gjør da at fryseheft mellom fundamentet og jorden ikke blir styrende for setningshastigheten [10, p. 12].

Grunnen til at man ikke bruker mer av denne typen fundamentering er blant annet at det er en risiko for at det øverste laget av permafrosten blir tinn pga. omfattende utgravinger. Det kreves også en del betong som er uheldig med tanke på vedlikehold og kostnader. I tillegg må man være nøye med drenering for at det skal bli best mulig [10, p. 11, 12].



### 3.2.3. Multipoint foundations

Multipoint foundations er en type fundament som har blitt brukt for å rehabilitere flere bygg i Longyearbyen. F.eks. Brakke 5 i Nybyen, hytten som er tilknyttet Sysselemannsgården og terrassen bak Radisson Blu Hotel. Denne fundamenteringsmetoden går ut på at man har en ramme av stål og aluminium som ligger direkte på bakken, og som samtidig løfter bygget opp fra bakken [10, p. 14]. På Figur 3-6 og Figur 3-7 kan man se hvordan multipoint foundations er brukt på terrassen utenfor Radisson Blu Hotel.



*Figur 3-6. Terrassen utenfor Radisson Blu Hotel, Foto: ICRB.*



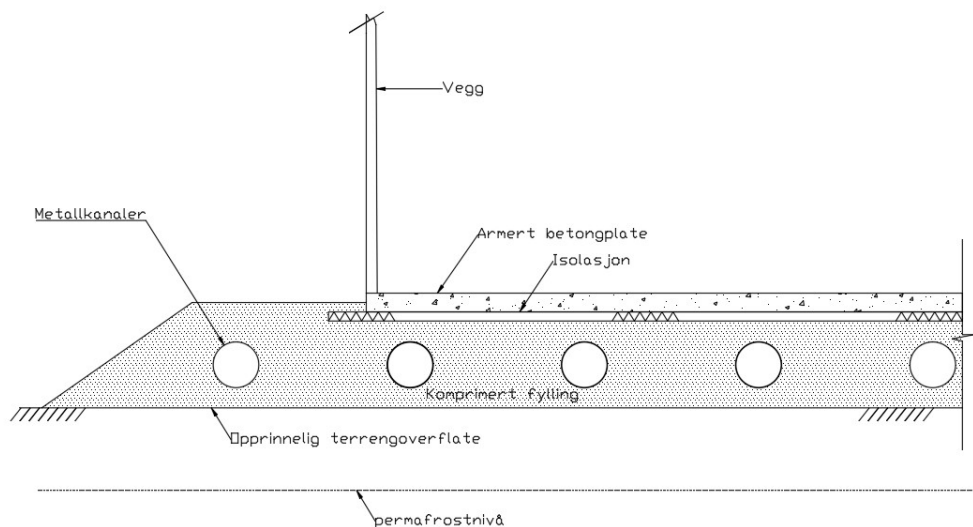
*Figur 3-7. Multipoint foundations under terrasse utenfor Radisson Blu Hotel, Foto: ICRB.*

Fordelene med multipoint foundations er at man sjelden trenger å grave eller å bygge opp grus under fundamentet [10, p. 14]. På multipoint foundation sin egen nettside sier de også deres fundament blant annet er kostnadsbesparende, raskt å montere, holdbart, enkelt å modifisere, vedlikeholdsfritt og sikkert mot vind. En annen ting som er bra med denne type fundament er at selv med telehiv eller setninger, så vil bygget holde seg like stabilt oppå fundamentet [11]

Denne typen fundament vil fungere bra for enkle og lette brakker eller boligbygg, som er mindre enn 2 eller 3 etasjer [10, p. 14]. Det kan derfor egne seg å bruke en annen fundamenteringsmetode dersom det er snakk om større og tyngre bygninger.

#### 3.2.4. Ventilert fylling

Ventilert fylling er en fundamenteringsmetode som har blitt brukt for noen få bygg i Svea, men lite brukt i Longyearbyen. Denne metoden går ut på at man legger en fylling oppå terrengoverflaten. Inni fyllingen blir det lagt metallkanaler slik at den kalde luften kan sirkulere gjennom kanalene om vinteren. Like under overflaten på fyllingen blir det lagt et isolasjonslag, med armert betong over [10, p. 13]. På Figur 3-8 kan man se prinsippskisse for oppbygging av ventilert fylling.



Figur 3-8. Prinsippskisse for oppbygging av ventilert fylling, laget av ICRB i AutoCAD [10, p. 14].

Fordelen med denne type fundamentering er at når kald luft strømmer gjennom om vinteren, vil det skapes et kuldemagasin. På grunn av dette vil grunnen holde seg frosset gjennom sommeren [10, p. 13].

En ulempe med ventilert fylling er at det behøves en del vedlikehold og oppfølging. Dette fordi kanelene må stenges hver sommer slik at ikke varm luft kommer inn og tiner grunnen [10, p. 13].

### 3.3. Peler

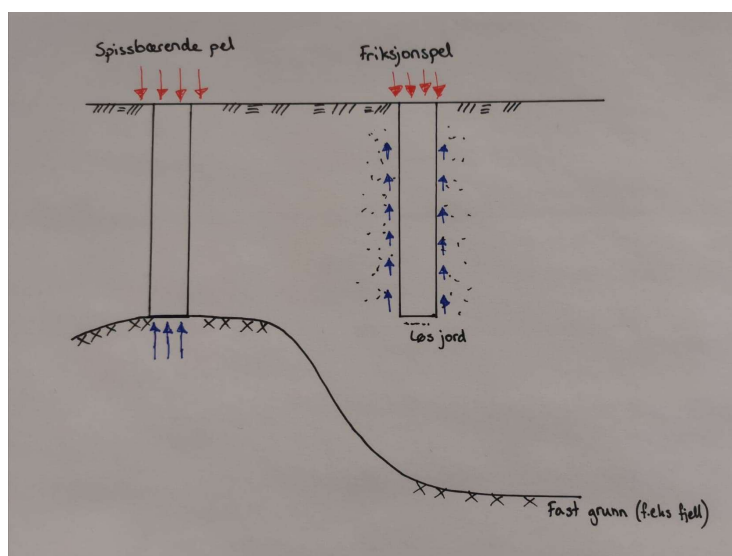
#### 3.3.1. Friksjonspeler

Friksjonspeler overfører lasten fra konstruksjonen over og ned i jorden ved bruk av friksjonskreftene mellom pelens overflate og jorden rundt. Friksjonen på pelen kan oppstå på hele pelen eller på deler av den, avhengig av jordlagene. Generelt vil hele overflaten på en friksjonspel jobbe for å overføre lasten fra konstruksjonen til jorden.

For å få større kapasitet kan pelen økes i diameter, dybde, antall peler og ruheten på overflaten på pelen [12].

#### 3.3.2 Spissbærende pel

Spissbærende pel overfører lasten fra konstruksjonen ned til enden av pelen. Enden av pelen ligger på et sterkt lag med jord eller stein. Det er vanlig her at pelen ligger på et overgangslag av svakt og sterkt lag. Dette fører til at pelen oppfører seg som en søyle og trygt overfører lasten til det sterke jordlaget [12]. Figur 3-9 viser forskjellen mellom spissbærende pel og friksjonspel.



Figur 3-9. Forskjell på spissbærende pel og friksjonspel, tegnet av CR.

### 3.4. Material

#### 3.4.1. Tømmerpeler

De er brukt under grunnvannsnivå. Her brukes stammen av et tre uten greiner. Disse kan vare opptil 30år. De kan enten være rektangulær eller sirkulært i form med en diameter mellom 30 cm til 40 cm. Lengden på pelen er vanligvis 20 ganger bredden [13].

Tømmerpeler er vanligvis laget for å kunne ta 15 til 20 tonn. Kan oppnå mer styrke ved å bolte på lasker på siden av tømmerpelen.

Fordeler ved tømmerpeler:

- Tømmerpeler av vanlige størrelser er tilgjengelig,
- Økonomisk,
- Lett å installere,
- Lav sannsynlighet for skader,
- Kan bli kuttet av på hvilken som helst lengde etter den er installert,
- Om nødvendig så kan den bli enkelt tatt ut.

Ulemper ved tømmerpeler:

- Tømmerpeler av lengre lengder er ikke alltid tilgjengelig,
- Vanskelig å få rette tømmerpeler om lengden er kort,
- Vanskelig å få tømmerpelen ned i jorden om jorden er veldig hard,
- Tømmerpeler er ikke passelig til å bli brukt som spissbærende peler,
- For holdbarhet av tømmerpeler må spesielle tiltak bli tatt. For eksempel tømmerpeler er ofte behandlet med konserveringsmiddel,
- Kan råtne. Det er oppdaget at mange av pelene i Longyearbyen har begynt å råtne, som vist på Figur 3-10.

På grunn av det endrende klimaet med at det blir varmere temperaturer og mindre snø og permafrost vil dette mest trolig føre til mer råteskader på tømmerpeler [12].





*Figur 3-10. Råte på pel [3].*

### 3.4.2. Betongpeler

#### Forhåndsstøpte peler:

Den ene metoden med betongpeler er forhåndsstøpt betong som er støpt i en horisontal form der betongen blir rektangulær eller i vertikal form der den kan bli sirkulær. Forhåndsstøpte peler er som regel forsterket med armering for å hindre skader ved flytting fra form til byggeplass. Etter pelene er støpt må de gjennomgå herding på 21 til 28 dager. Figur 3-11 viser en forhåndsstøpt rektangulær pel.

Fordeler med forhåndsstøpte peler:

- Høy resistans mot kjemisk og biologisk sprekker,
- De er vanligvis av høy styrke,
- For å legge til rette for påledring, et rør kan installeres langs senteret av pelen,
- Om pelen er ferdig laget før installeringsfasen, kan det øke farten av arbeidet,
- Innesperringen av armeringen kan sikres,
- Kvaliteten av pelen kan kontrolleres,
- Om feil er identifisert, kan den bli fikset før påledring,
- Forhåndsstøpte peler kan bli påledrevet under vann,
- Kan bli belastet umiddelbart etter den er påledrevet til den ønsket lengde.

Ulemper av forhåndsstøpte peler:

- Når lengden av pelen er bestemt, er det vanskelig å øke eller redusere lengden etterpå,
- De er vanskelig å mobilisere,
- Trenger tunge og dyre utstyr for å påledrive,
- Ettersom de ikke er tilgjengelig for ferdiglaget innkjøp, kan det føre til forsinkelser i prosjektet,
- Der er sannsynligheten for brudd eller skader under håndtering og påledring av pelene [12].



Figur 3-11. Forhåndsstøpt rektangulær pel [14].

Støpt på plass betongpeler:

Støpt på plass pelene er konstruert ved å bore jorden ned til den ønsket dybde, og da deponere nyblandet betong i den plassen og la den herde. Denne typen pele er konstruert enten ved å påledrive et metallisk skall til fast grunn og fylle den opp med betong og la skallet bli værende, eller fjerne skallet mens den fylles av betong.

Fordeler med støpt på plass betongpeler:

- Skallene er lette i vekt, som gjør de enklere å håndtere,
- Lengden av pelen kan enkelt varieres,
- Skallene kan bli satt sammen på byggeplassen,
- Ingen overdreven håndheving er nødvendig bare for å forhindre skader fra håndtering,

- Ingen mulighet for å bryte under installasjon,
- Ekstra peler kan enkelt leveres om nødvendig.

Ulemper med støpt på plass betongpeler:

- Installasjonen krever nøye tilsyn og kvalitetskontroll,
- Trenger tilstrekkelig plass på byggeplassen for oppbevaring av materialene brukt for konstruksjon av pelene,
- Det er vanskelig å konstruere støpt på plass peler der hvor grunnvannstrømmingene er sterke,
- Bunnen av pelene er kanskje ikke symmetrisk,
- Om pelen er uarmert og ikke har forskaling, kan pelen svikte i spenning om det er en oppløftende kraft [12].

### 3.4.3. Stålpeler

Stålpeler kan være av H-profil eller stålrør. De rammede stålrørspeler er vanligvis armert og fylt med betong som vist på Figur 3-12. Størrelsen kan variere mellom 600mm til 1200mm i diameter. Stålrørspelen kan være større enn 1200mm i diameter om rammeutstyret lar seg tilpasse. Mindre diameter enn 600mm er lite aktuelt siden det blir trangt å armere og støpe. Det mest vanlige er stålrørspeler mellom 600mm til 900mm i diameter. På grunn av det lille snittområdet, er pelene lette å påledrive. De er som regel brukt som spissbærende pel.

Fordeler med stålpeler:

- De er lette å installere,
- De kan nå en lengre dybde enn andre typer peler,
- De kan trenge gjennom det harde jordlaget på grunn av det mindre tverrsnittsarealet,
- Det er enkelt å skjøte stål peler,
- De kan bære tung last.

Ulemper med stålpeler:

- Utsatt for korrosjon,
- Har muligheten til å avvike når den blir påledrevet,
- Forholdsvis dyrt [12].



*Figur 3-12. Stålrørspel [14].*

#### 3.4.4. Stålkjernepeler

Stålkjernepeler, som vist på Figur 3-13 er peler av massivt stål som er installert i nedsunket stålrør. Stålrørene, også kalt foringsrør, bores ned gjennom løsmasser og inn i fast grunn (for eksempel berg). Avstanden mellom foringsrøret og stålkjernen er fylt med støpt betongmørtel. Denne typen peler tåler strekklast ved at kjernen bores lenger inn i berg [14].



*Figur 3-13. Stålkjernepeler [15].*

En kommentar om hvilke peletyper som er brukt på Svalbard, om dere har informasjon om dette.

## 4. Måling av materialparametere i frossen grunn

For å dimensjonere friksjonspeler i frossen grunn, må man vite noe om grunnforholdene i form av materialparametere. Torsdag 18.03.2020 var vi i faget AT-205 ute og drillet ut fire prøvestykker av permafrost fra forskjellige dybder øst for UNIS. Disse jordprøvene ble senere analysert av oss i laboratorium. Her fikk vi informasjon og parametere som er nødvendig for å kunne regne på friksjonspeler. Vi skal i dette kapittelet ta med noen av resultatene som er nødvendig for oss å vite om.

### 4.1. Bestemmelse av udrenert skjærstyrke

Konusmetoden er sett på som å være en pålitelig metode for å måle væskegrensen for jord. En 5 cm lang jordprøve ble tatt fra dybde fra 7,88 meter til 7,93 meter. For den fryste jordprøven gjorde vi konustesten 5 ganger og deretter tok vi gjennomsnittet fra de 5 resultatene.

Resultatene fra konustesten kan ses på Tabell 4-1 nedenfor.

Tabell 4-1. Resultat fra konustest i fryst jord.

	Dybde (mm)
1	3,5
2	2,0
3	1,5
4	2,0
5	1,5

Gjennomsnittsdypden fra konustesten er  $(Dybde1+Dybde2+Dybde3+Dybde4+Dybde5)/5 = (3,5 \text{ mm} + 2,0 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm} + 2,0 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm}) / 5 = 2,1 \text{ mm}$ .

Ut ifra vårt resultat på 2,1 mm gikk vi inn i kalibreringstabell (Tabell 2-1). Her fikk vi hentet ut verdien for udrenert skjærfasthet ( $c_u$ ) som ifølge tabellen blir 100 kPa.

Tabell 4-2. Kalibreringstabell [15, s. 156].

**8.2 Kalibreringstabeller**

Tabell 222-2 Kalibreringstabell for bestemmelse av skjærfasthet

400 g / 30'				100 g konus / 30'			
l (mm)	c <sub>e</sub> (kPa)	l (mm)	c <sub>e</sub> (kPa)	l (mm)	c <sub>e</sub> (kPa)	l (mm)	c <sub>e</sub> (kPa)
2,5	370	6,0	89	-		5,0	38,7
2,6	345	6,1	88	-		5,1	37,8
2,7	325	6,2	84	-		5,2	36,8
2,8	305	6,3	83	1,3	123	5,3	35,8
2,9	290	6,4	82	1,4	119	5,4	35,3
3,0	275	6,5	80	1,5	116	5,5	34,3
3,1	260	6,6	79	1,6	113	5,6	33,8
3,2	245	6,7	75	1,7	111	5,7	31,9
3,3	235	6,8	74	1,8	108	5,8	31,9
3,4	225	6,9	73	1,9	105	5,9	31,4
3,5	215	7,0	71	2,0	102	6,0	30,4
3,6	205	7,1	69	2,1	100	6,1	29,9
3,7	195	7,2	66	2,2	97,1	6,2	28,9
3,8	190	7,3	65	2,3	94,2	6,3	28,4



## 5. Beregninger

I dette kapittelet tar vi for oss beregning av spissbærende pel og friksjonspel. Vi ser på 1 pel hvor det er 28 m ned til fast grunn og beregner maks last på en spissbærende ståpel. Deretter bruker vi maks last på spissbærende pel som en guide til å finne lengde på en friksjonpel av samme type.

### 5.1. Beregning av tverrsnittskapasitet for spissbærende pel

For enkelhetens skyld har vi valgt å bruke ståpel HEB 200.

Fra formel (1) finner vi tverrsnittskapasitet

$$N_{c,Rd} = \frac{355 \times 10^6 \text{ Pa} \times 7,81 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{1,05} = 2640523,81 \text{ N} \approx 2640,5 \text{ kN}$$

### 5.2. Beregning av lengde til friksjonspel.

I dette delkapittelet beregnes det lengde til friksjonspeler av stål etter forskjellige forutsetninger. Dette er for å kunne se forskjellen ved de forskjellige måtene å beregne og for å kunne komme med en slags konklusjon av lengden som er nødvendig ved å kunne ta hensyn til alle de tre forskjellige måtene å beregne på.

#### 5.2.1. Beregning med bruk av $c_u$ fra tabell

Beregning av lengden til friksjonspelen ved bruk av  $c_u$  fra Tabell 4-2 Kalibreringstabell. Dette gjøres ved å bruke formel (3), der  $c_u$  brukes som  $\tau_a$  og vi finner lengden ( $h_p$ ).

$$h_p = \frac{2640,5 \text{ kN}}{1,15 \text{ m} \times 100 \text{ kPa}} = 22,96 \text{ m}$$

#### 5.2.2. Beregning med hensyn på setningskrav

Ved bruk av formel (2) blir det beregnet tre forskjellige  $\tau_a$  for de tre forskjellige setningskravene. Dette utgjør at det blir tre forskjellige lengder på pelen etter hvilket setningskrav som blir brukt, ved bruk av formel (3). Dette blir vist i Tabell 5-1. Total lengde blir vist i Tabell 5-2.

Tabell 5-1. Utregning av lengde på friksjonsspel med forskjellige setningskrav.

<b>P (kN)</b>	<b>O (m)</b>	<b><math>\tau_a</math> 1 (kPa)</b>	<b><math>\tau_a</math> 2 (kPa)</b>	<b><math>\tau_a</math> 3 (kPa)</b>	<b>L 1 (m)</b>	<b>L 2 (m)</b>	<b>L 3 (m)</b>
<b>2640,5</b>	1,15	74,87	176,67	263,315	30,67	12,996	8,72

Lengden på friksjonsspelet utfra denne formelen blir  $L + L_{\text{aktivt lag}}$ . Så det betyr at med setningskrav på 10mm blir lengden  $30,67 \text{ m} + 1,25 \text{ m} = 31,92 \text{ m}$ .

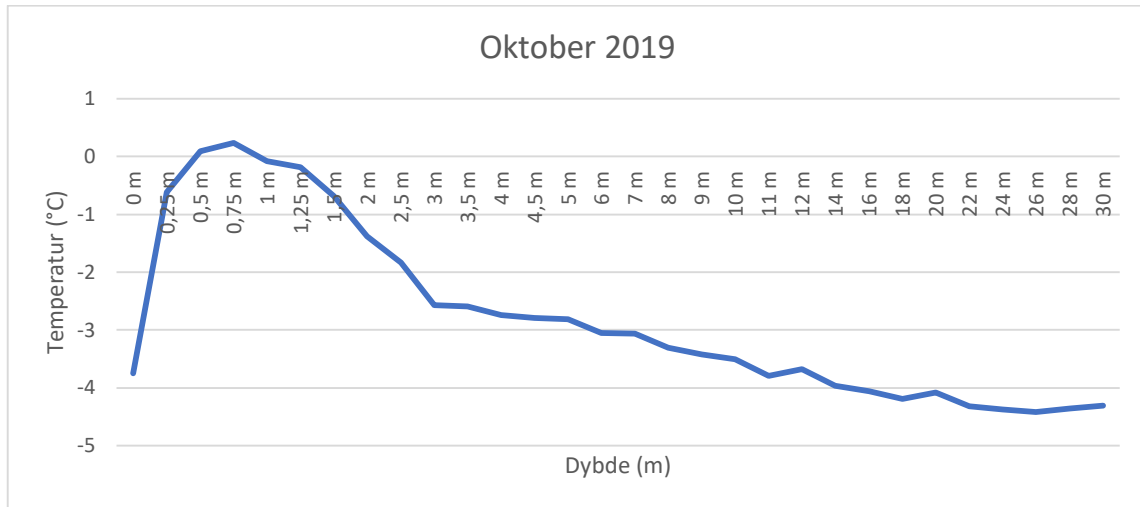
Tabell 5-2. Total lengde på pel.

<b>Setningskrav</b>	<b>Lengde totalt fra grunnoverflate</b>
<i>10mm</i>	$30,67\text{m} + 1,25\text{m} = 31,92\text{m}$
<i>30mm</i>	$12,996\text{m} + 1,25\text{m} = 14,25\text{m}$
<i>50mm</i>	$8,72\text{m} + 1,25\text{m} = 9,97\text{m}$

### 5.2.3. Beregning med hensyn på temperatur

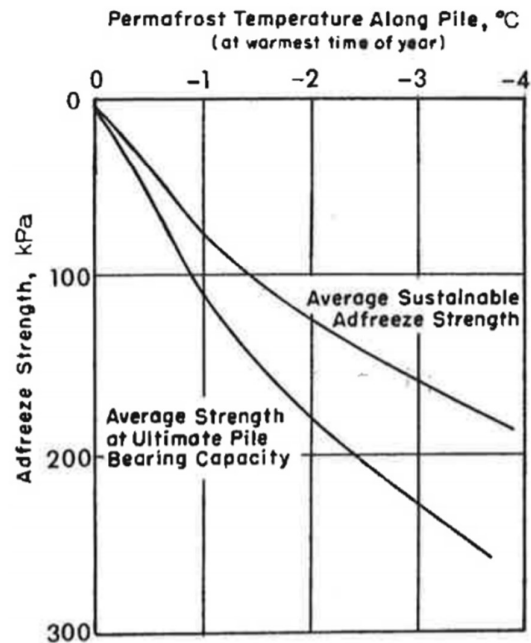
Ved bruk av en termistorstreng fra rapport om temperatur i permafrost, Vedlegg 1, får vi temperaturmålinger for forskjellige dybder. Her ser vi på temperaturen i oktober 2019, for dybdene ned til 7 meter der det blir «zero annual temperature amplitude» og aktive laget er på 1,25 meter. Dette vises i Figur 5-1. Dette kan vi bruke til å finne skjærkrefter for de forskjellige dybdene.





Figur 5-1. Graf over temperaturen i forskjellige dybder for oktober 2019.

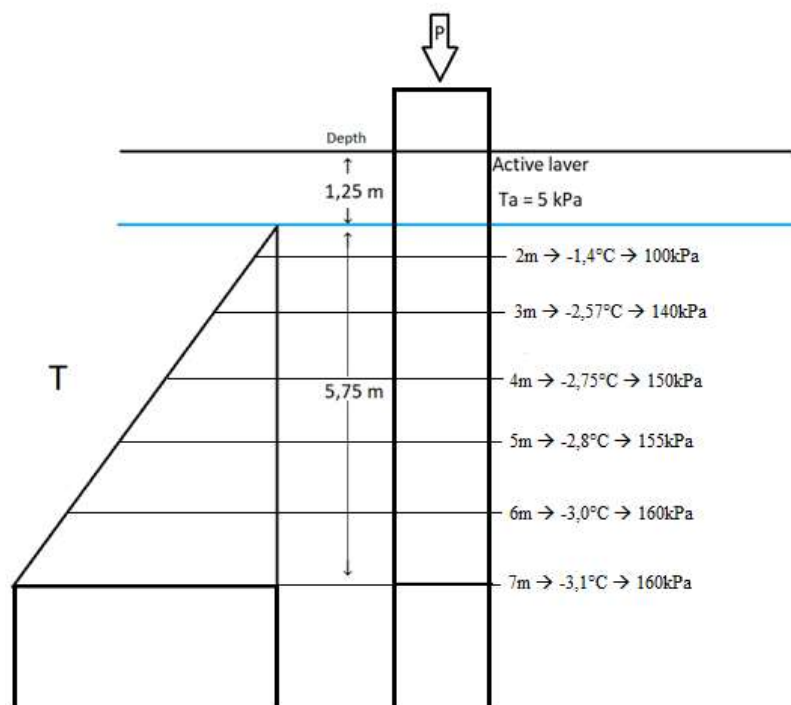
Etter å ha funnet temperaturen for hver hele meter fra 2 meter og ned til 7 meter, kan en bruke Figur 5-2 til å finne skjærkraften for hver temperaturmåling. Dette blir brukt til å finne  $\bar{\tau}$  i formel (4).



Figur 5-2. Skjærkraft-diagram.

**Feil! Fant ikke referansekilden.** viser det aktive laget med de forskjellige temperatuere på de forskjellige dybdene. Temperaturen for de visse dybdene vil gi en skjærkraft som utgjør hvor mye en friksjonsspel tåler av last. På 7 meters dybde så er det «zero annual temperature amplitude», som betyr at fra 7 meters dybde så vil skjærkraften være tilsvare det samme.

Vi bruker Figur 5-3 til å fylle inn i formel (4) for å få en gjennomsnittlig skjærkraft, som deretter blir brukt i formel (5).



Figur 5-3. Temperatur og skjærkraft gitt etter hver meter i permafrost.

$$\bar{\tau} = \frac{100 \text{ kPa} + 140 \text{ kPa} + 150 \text{ kPa} + 155 \text{ kPa} + 160 \text{ kPa} + 160 \text{ kPa}}{6} = 144,167 \text{ kPa}$$

$$h_{7,0-p} = \frac{2640,5 \text{ kPa} + (1,15 \text{ m} \times 5 \text{ kPa} \times 1,25 \text{ m}) - (1,15 \text{ m} \times 5,75 \text{ m} \times 144,167 \text{ kPa})}{1,15 \text{ m} \times 160 \text{ kPa}}$$

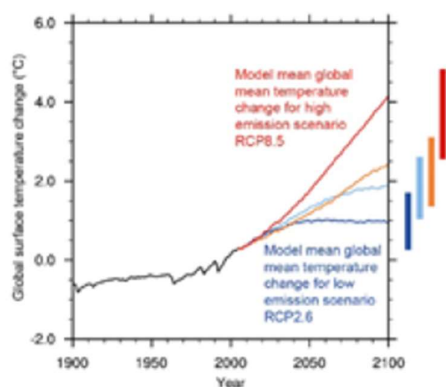
$$= 9,208 \text{ m}$$

Total lengde blir med formel (6).  $L = 9,21 \text{ m} + 7 \text{ m} = 16,21 \text{ m}$ .

### 5.3. Fremtiden dersom det aktive laget blir større

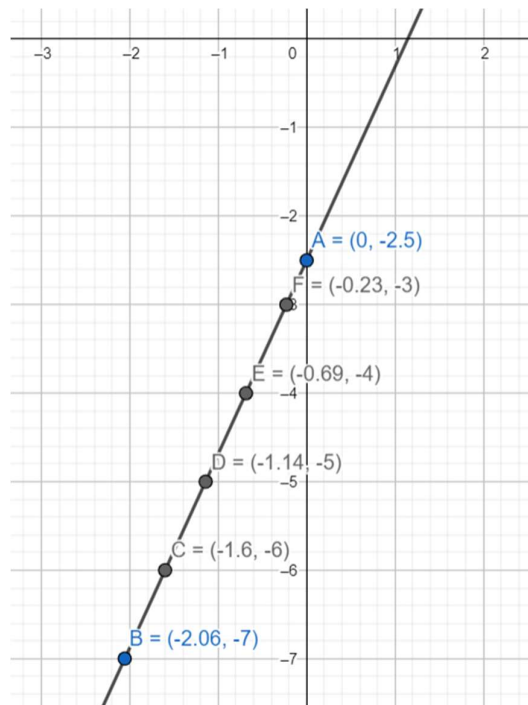
I de nylige termologiske grunnundersøkelsene gjort av Instanes og Rongved i 2017 for tre ulike lokasjoner i Longyeardalen, bruker de data basert på nylige regionale klimamodeller som indikerer en stigning fra 1,5 meter dybde med aktivt lag i dag, til 2,5 meter i slutten av dette århundret [15].

Basert på denne informasjonen kan vi beregne med et aktivt lag på 2,5 meter. Dette vil gi en endring på hvor mye en friksjonspel tåler av last, samt endring i temperaturer i permafrosten. Denne endringen finner vi i en graf fra et dokument på klimaendringer for Svalbard av miljødirektoratet [15], også lagt inn som Figur 5-4. Grafen har fire forskjellige scenarier der vi ser på endringen etter 50 år (2070), som er så lenge en bygning blir beregnet til å leve. Vi velger å se på den midterste for 2070, der er de to i midten på samme plass og det blir 1°C forskjell mellom i dag og år 2070.



Figur 5-4. Graf over fire scenarier for fremtiden [16].

Ved å plote inn i GeoGebra en endring på temperatur på 1°C på 7 meters dybde, kan en få en lineær avrunding av temperaturer for fremtiden i permafrosten. Siden permafrosten i dette tilfelle starter på 2,5 meters dybde er det der 0 punktet blir. Med disse to punktene blir det strukket en linje mellom og kan lese av temperaturene for hver meter i dybden.



Figur 5-5. Lineær avrunding av temperaturer for fremtiden i permafrost.

Med Temperaturene fra Figur 5-5, kan en bruke Figur 5-2 til å lese av skjærkreftene for hver meter. Dette brukes i formel (4).

Tabell 5-3. Temperaturene fra Figur 5-5, gir skjærkraft fra Figur 5-2.

Temperatur [°C]	Skjærkraft [kPa]
-0,23	20
-0,69	55
-1,14	85
-1,6	110
-2,06	125

Ved bruk av formel (4) får vi  $\bar{\tau} = \frac{20 \text{ kPa} + 55 \text{ kPa} + 85 \text{ kPa} + 110 \text{ kPa} + 125 \text{ kPa}}{5} = 79 \text{ kPa}$ , og med dette beregnes  $h_{7,0-p}$  der  $h_a$  er 2,5 meter med formel (5).

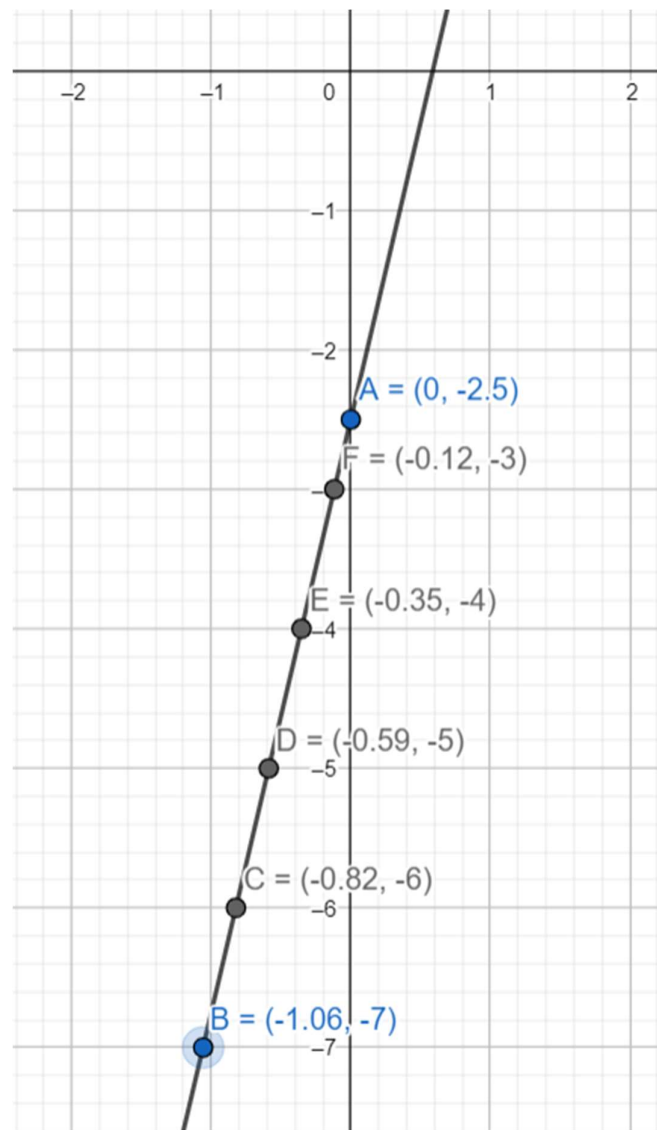
$$h_{7,0-p} = \frac{2640,5 \text{ kPa} + (1,15 \text{ m} \times 5 \text{ kPa} \times 2,5 \text{ m}) - (1,15 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} \times 79 \text{ kPa})}{1,15 \text{ m} \times 125 \text{ kPa}}$$

$$= 15,62 \text{ m}$$

Total lengde på pel blir  $L = 15,62 \text{ m} + 7 \text{ m} = 22,62 \text{ m}$

Dette resultatet viser at dersom pelen er lengere enn 22,62 meter så vil den kunne ta lasten.

Ved bruk av de største klimaendringene i Figur 5-4, så blir det 2 °C endring, som vist i Figur 5-6.



Figur 5-6. Temperaturer ved 2 °C endring.

Dette fører til at skjærkraften i hver meters dybde endrer seg, som vist i Tabell 5-4.

Tabell 5-4. Temperaturene fra Figur 5-6 og skjærkraft fra Figur 5-2.

Temperatur [°C]	Skjærkraft [kPa]
-0,12	10
-0,35	25
-0,59	50
-0,82	65
-1,06	80

Ved bruk av formel (4) får vi

$\bar{\tau} = \frac{10 \text{ kPa} + 25 \text{ kPa} + 50 \text{ kPa} + 65 \text{ kPa} + 80 \text{ kPa}}{5} = 46 \text{ kPa}$ , og med dette beregnes  $h_{7,0-p}$  der  $h_a$  er 2,5 meter med formel (5).

$$h_{7,0-p} = \frac{2640,5 \text{ kPa} + (1,15 \text{ m} \times 5 \text{ kPa} \times 2,5 \text{ m}) - (1,15 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} \times 46 \text{ kPa})}{1,15 \text{ m} \times 80 \text{ kPa}}$$

$$= 26,27 \text{ m}$$

Total lengde på pel blir  $L = 26,27 \text{ m} + 7 \text{ m} = 33,27 \text{ m}$

Dette resultatet viser at dersom pelen er lengre enn 33,27 meter så vil den kunne ta lasten.

Med bruk av de samme tallene for lengdene som ble utregnet i Tabell 5-1 med setningskrav, blir de forskjellige lengdene utfra den nye aktive laget vist i Tabell 5-5.

Tabell 5-5. Lengde på pel utfra setningskrav.

Setningskrav	Lengde totalt fra grunnoverflate
10mm	$30,67\text{m} + 2,5\text{m} = 33,17\text{m}$
30mm	$12,996\text{m} + 2,5\text{m} = 15,5\text{m}$
50mm	$8,72\text{m} + 2,5\text{m} = 11,22\text{m}$

## 6. Resultat

Ut ifra de beregningene vi har gjort med stålpel HEB 200 og dybde på 28 m ned til fast grunn, har vi fått flere forskjellige resultat ut ifra hva man skal ta hensyn til.

### 6.1. Resultat med bruk av $c_u$ fra tabell

Med bruk av  $c_u$  fra tabell får vi at friksjonspelen må være 22,96 m som er 5,04 m lenger enn spissbærende pel.

### 6.2. Resultat med hensyn på setningskrav

Dersom vi tar hensyn til setningskrav, får vi forskjellig lengde ut ifra hvilket setningskrav vi har.

For 10 mm setningskrav får vi at friksjonspel må være 31,92 m, som er 3,92 m mer enn til fast grunn. Det vil si at man må bruke spissbærende pel i dette tilfellet.

For 30 mm setningskrav får vi at friksjonspel må være 14,25 m, som er 13,75 m mindre enn spissbærende pel.

For 50 mm setningskrav får vi at friksjonspel må være 9,97 m, som er 18,03 m mindre enn spissbærende pel.

### 6.3. Resultat med hensyn på temperatur

Med dagens temperaturer får vi at friksjonspel må være 16,21 m, som er 11,79 m mindre enn spissbærende pel.

Med Fremtidens temperaturer får vi at friksjonspel må være 22,62 m, som er 5,38 m mindre enn spissbærende pel.

Vi ser også at om man dimensjonerer med hensyn på fremtidens temperaturer så må friksjonspelen være 6,41 m lenger enn om man dimensjonerer for dagens temperaturer.

For de ekstreme klimaendringene så må friksjonspelen være på 33,27 m, som er 5,27 m mer enn til fast grunn i dette tilfelle.

## 7. Diskusjon

Som vi ser ut ifra kapittel 6. Resultat så blir friksjonspelen i de fleste tilfeller en del kortere enn om man skal bruke spissbærende pel. Dette kan blant annet gi kostnadsbesparelser og spare arbeidsmengde ved at man ikke trenger like lange peler og dermed ikke trenger å bore like dypt.

På den andre siden så vil det alltid være en liten usikkerhet på om man har tatt hensyn til alle faktorer ved dimensjonering, slik at man kan være sikker på at bygget vil stå trygt i flere år. Det kan derfor diskuteres om sparingene man henter inn ved å bruke friksjonspeler er store nok til å kunne leve med denne usikkerheten.

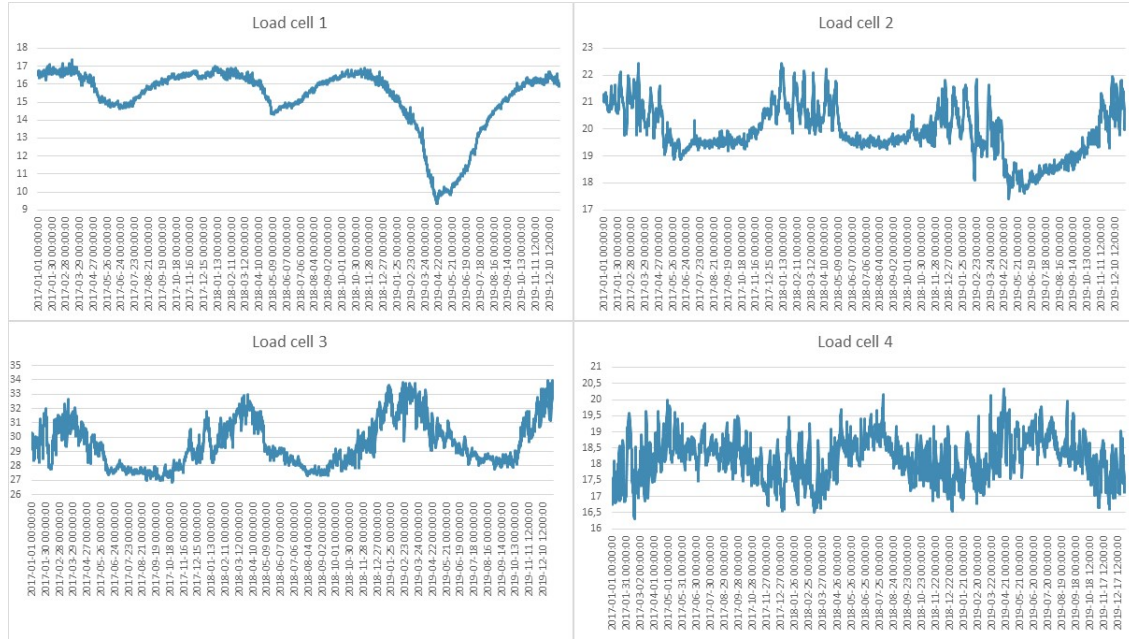
Ved kort avstand til fast grunn så er det vanskelig å få friksjonspelen lang nok til å kunne holde lasten fra bygget. Derfor kan det i slike tilfeller være bedre å bruke spissbærende peler enn friksjonspeler. Dette ser vi tydelig ved at det minste resultatet vi fikk for lengde på friksjonspel var på ca. 10 meter, og det var bare med hensyn til setningskrav på 50 mm.

Med tanke på fremtidens klimascenarier så ser vi at det vil være mulig å bruke friksjonspeler dersom temperaturen øker så mye som våre temperaturestimater tilsier. Dermed kan man tenke at dersom man dimensjonerer et bygg for 50 år, så vil det utfra våre beregninger gå fint å bruke friksjonspeler også i fremtiden. Hadde avstanden til fast grunn vært lenger enn 28 meter, hadde det også gått fint å bruke friksjonspel i de scenarioene med mest ekstreme klimaendringene.

I faget AT-205 har Ida skrevet rapport om lastceller som står under UNIS bygget ( Vedlegg 2).

Målinger fra lastcellene under UNIS bygget viser at lasta på tuppen av pelene har en sesongvariasjon på ca. 50 kN per pel. På figur 7-1 kan man se resultatene som ble målt fra lastecellene. Man ser at lastcelle 1, 2 og 3 er like med tanke på at det er mest vekt på pelene på vinteren og minst om sommeren, mens lastcelle 4 viser det motsatte.





Figur 7-1. Resultater fra lasteceller under UNIS bygget.

## 8. Konklusjon

Utfra våre resultat i denne bacheloroppgaven kan vi konkludere med at friksjonspeler fortsatt er godt egnet. I noen tilfeller kan det være mer lønnsomt å bruke friksjonspeler i stedet for spissbærende peler på grunn av redusert arbeidsmengde og pris. I andre tilfeller hvor det f.eks. er kort avstand til fast grunn kan det være mer praktisk å bruke spissbærende peler med tanke på sikkerhet og økonomi.

Utfra våre beregninger har vi også bevist at det vil være mulig å bruke friksjonspeler om 50 år fra nå. Med det tilfelle vi har brukt i denne oppgaven, med 28 meter ned til fast grunn, vil ikke det estimatet med de mest ekstreme klimaendringene være bra nok. Der er det bedre å bruke spissbærende pel enn friksjonspel, ettersom friksjonspelen må være lenger enn det er ned til fast grunn.

## 9. Kilder

1. Barr S. Longyearbyen snl.no: Store norske leksikon; 2020 [Available from: <https://snl.no/Longyearbyen>.
2. Lilleøren K. Permafrost snl.no: Store Norske Leksikon 2020 [Available from: <https://snl.no/permafrost>.
3. Martinsen ASARKG. Fundamentering med trepeler i Longyearbyen: en veiledning for enkel og innledende tilstandsvurdering.
4. Andersland OB, Ladanyi B. Frozen Gound Engineering. Second Edition ed: John Wiley & Sons, Inc. ; 2004.
5. Forening NG. Peleveiledningen 2019. Pelekomité Dn, editor2019.
6. Shestov A. Lecture-2\_Permafrost and Cold Regions. 04022021. p. 45.
7. Hildebrandt S. Smeltende permafrost truer klimaet forskning.no: forskning.no; 2012 [Available from: <https://forskning.no/klima/smeltende-permafrost-truer-klimaet/685973>.
8. E60 DIGEST. Melting Permafrost Could Damage Infrastructure for 3.6 Million People e360.yale.edu: YaleEnvironment360; 2018 [Available from: <https://e360.yale.edu/digest/melting-permafrost-could-damage-infrastructure-for-3-6-million-people>.
9. Andreassen HF. Øya som tiner cicero.oslo.no: CICERO - Senter for klimaforskning; 2019 [Available from: <https://cicero.oslo.no/no/posts/klima/oya-som-tiner>.
10. Rongved JL, Eraker T, Instanes A. Forventede klimaendringers langsiktige konsekvenser for bygging og forvaltning på Svalbard - Delrapport 3. INSTANES AS; 2017 01.12.2017.
11. Multipoint Foundations. Foundations for Modular Buildings, Unstable Soils & Floodplains multipoint-foundations.no2019 [03]. Available from: <http://multipoint-foundations.com/>.
12. Civil Engineering. What is Pile Foundation? Types of Pile Foundation civiltoday.com: Civil Engineering; [Available from: <https://civiltoday.com/geotechnical-engineering/foundation-engineering/deep-foundation/176-pile-foundation-definition-types>.
13. Pai K. Timber Piles- Advantages, Disadvantages, Classification, and Preventive Treatment The Constructor [Available from: <https://theconstructor.org/structural-engg/foundation-design/timber-piles/40262/>.
14. Kynningsrud fundamentering. Stålkjernerpeler kynningsrudfundamentering.no: Kynningsrud fundamentering; [Available from: <https://www.kynningsrudfundamentering.no/losninger/stalkjernerpeler/>.
15. Isaksen K, Westermann S, Christiansen HH. Miljødirektoratet. Miljødirektoratet [Internet]. 2019 Januar. Available from: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1242/m1242.pdf>.

## 10. Vedlegg

I dette kapitlet er det vedlagt rapportene som vi har skrevet i faget AT-205 Frozen ground engineering for arctic infrastructures. Vedlegg 1 handler om temperatur i permafrost med klimaperspektiv, mens Vedlegg 2 handler om pele design og dataprosessering av lastceller.

## 10.1 Vedlegg 1

# Temperature in permafrost, climate perspective

AT-205 Frozen Ground Engineering for Arctic Infrastructures



**UNIS**

The University Centre in Svalbard

Caroline Ramsvik  
12.05.2021

**Content:**

Summary: .....	3
Introduction .....	3
Method: .....	4
Result:.....	5
Discussion: .....	10
Conclusion:.....	11
References: .....	12

## Summary:

The thermistor string is placed east of UNIS and goes 30 meters down into the soil in a borehole. By using a thermistor string, one can identify the active layer and permafrost in the soil. It also shows how the air temperature is through time, when it is at its lowest and when it is at the highest. With the data from the thermistor string, one can see in a graph the minimum, maximum and mean temperature for each depth.

## Introduction

This report is going to investigate the difference in ground surface temperature and the temperature in different depths outside of UNIS building. With this data we can see where the active layer is and the difference in temperature throughout time. We can also find where the permafrost starts. Figure 0-1 shows a map of the ground east of UNIS where multiple tests were taken. In E5 on the map is where the data was collected.



Figure 0-1: Map of the ground east of UNIS.

Permafrost is soil where the temperature does not exceed  $0^{\circ}\text{C}$  within a period of two consecutive years. Permafrost does not have to be the first layer of the soil; it can be several meters down.

The active layer is the top layer of the soil where in summer it is thawing and then in autumn it freezes. The thickness of the active layer depends on the thaw depth in permafrost area.

## Method:

With the use of a thermistor string in a borehole, the temperature was logged every six hours since September 2018 until today, from the ground surface down to 30 meters depth. This data was put into excel and made into a table that made it possible to make graphs that shows the difference in temperature and depth. The data had a lot of errors from September 2020 to today, so because of that I chose to stop in September 2020 and look at the data from before that.

A thermistor string is a cable with sensors that logs temperature trough time and at different depths as showed in Figure 0-1. The thermistor string is environmentally hardened to provide accurate and reliable long-term measurement under demanding geotechnical conditions.



*Figure 0-1: Thermistor string.*



## Result:

Figure 0-1 shows the daily air temperature throughout the whole timeline. In this graph we can see that in February it was the coldest and in July it was the warmest, in both cycles. Because of the small timeframe it is not enough data to see if there was a pattern of decrease or increase in temperature throughout years. There is an increase in temperature in July 2020 compare to July 2019, but this is just one year, and it could be different this year.

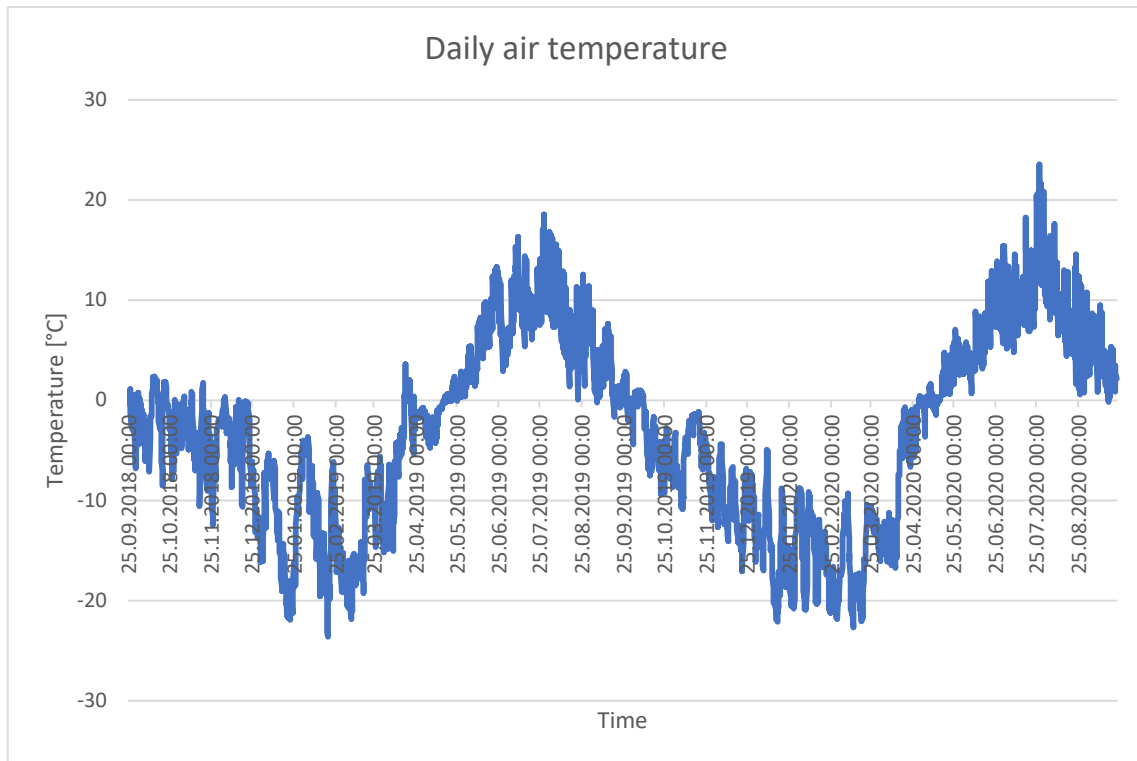


Figure 0-1: Graph over the daily air temperature from October 2018 until September 2020.

From the data collected we can calculate the surface temperature amplitude ( $A_s$ ) by looking at one year of data and finding the highest and the lowest temperature. In the period between 1<sup>st</sup> of October 2018 to 30<sup>th</sup> of September 2019, the highest temperature was on July 28<sup>th</sup>. The lowest temperature was on February 19<sup>th</sup>. This was recorded to be 18,56°C ( $T_1$ ) and -23,62°C ( $T_2$ ). This is calculated in equation (1).

$$A_s = \frac{T_1 - T_2}{2} = \frac{18,56^\circ\text{C} - (-23,62^\circ\text{C})}{2} = 21,09^\circ\text{C} \quad (1)$$

With this information we can calculate the mean annual temperature ( $T_m$ ) by taking the highest temperature ( $T_1$ ) and subtract the surface temperature amplitude ( $A_s$ ) as showed in equation (2).

$$T_m = T_1 - A_s = 18,56^\circ\text{C} - 21,09^\circ\text{C} = -2,53^\circ\text{C} \quad (2)$$

The ground surface temperature ( $T_{S,t}$ ) can be calculated as a sinusoidal fluctuation that repeats itself daily and annually with equation (3) where  $t$  is time and  $p$  is the period which was chosen to be 365 days. The  $t$  in the equation will be the variable.

$$\begin{aligned} T_{S,t} &= T_m + A_s \sin \frac{2\pi t}{p} = (-2,53^\circ\text{C}) + \left( 21,09^\circ\text{C} \times \sin \frac{2 \times \pi \times t}{365 \text{days}} \right) \\ &= -2,53^\circ\text{C} + (21,09 \times \sin 0,0172t) \end{aligned} \quad (3)$$

In Figure 0-2 the equations have been put into GeoGebra and shows the sinusoidal fluctuation of the ground surface temperature and the mean annual temperature. The ground surface temperature is showed by the blue line and the mean annual temperature is showed by the red line. Point A and B shows the highest and the lowest temperature. Between point A and C is the surface temperature amplitude. The mean annual temperature is for the sinusoidal fluctuation the base line. On the y-axis is the temperature and on the x-axis is the time.

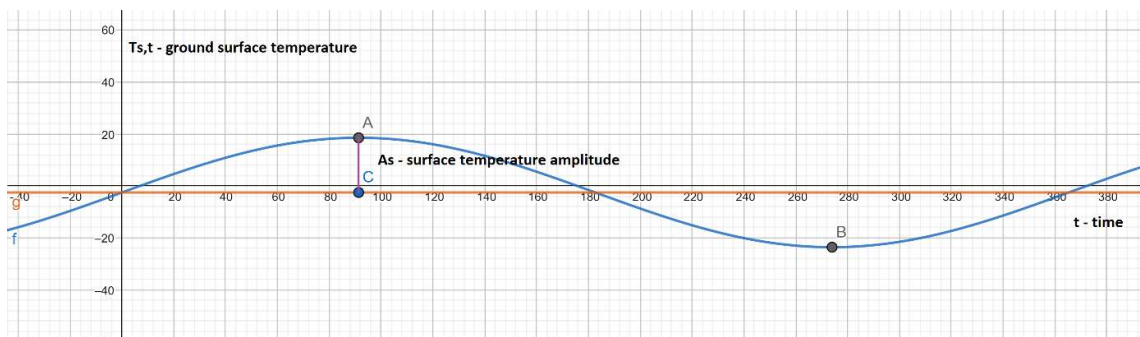


Figure 0-2: Equation (3) put into GeoGebra showing the sinusoidal fluctuation.

Figure 0-3 shows the difference in temperature throughout the depth in the soil, from the minimum to maximum throughout the period chosen. It also shows the mean temperature for each depth. The graph clearly shows a big difference in temperature at the top layer and slowly ends up being around the same temperature from seven meters depth.

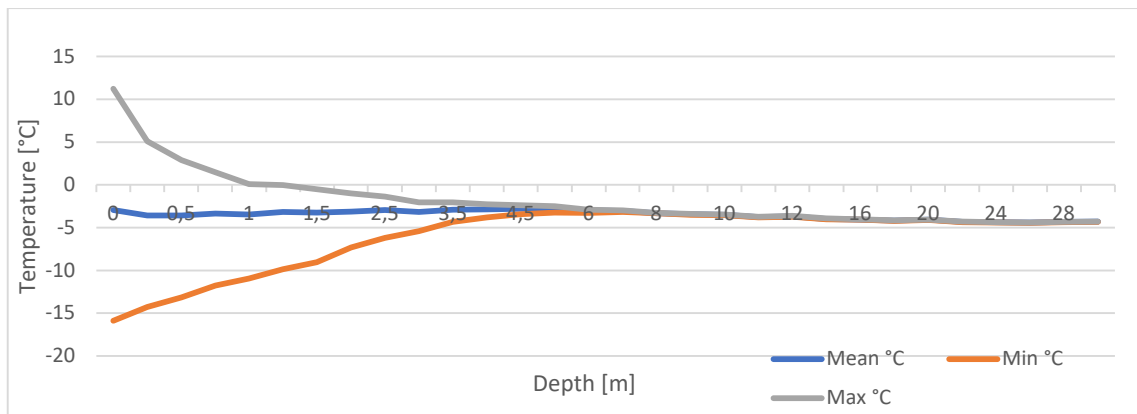


Figure 0-3: Graph over the max, mean and min temperature through depth.

The graphs below show the temperature through time at different depth. This is to show when the temperature ends up being under 0°C, through the whole period, to see where the active layer is situated. Figure 0-9 is the one that first ends up being under 0°C. This means that the active layer is at 1,25 meters depth. The graphs also show that the difference in temperature at each depth changes into less for each graph.

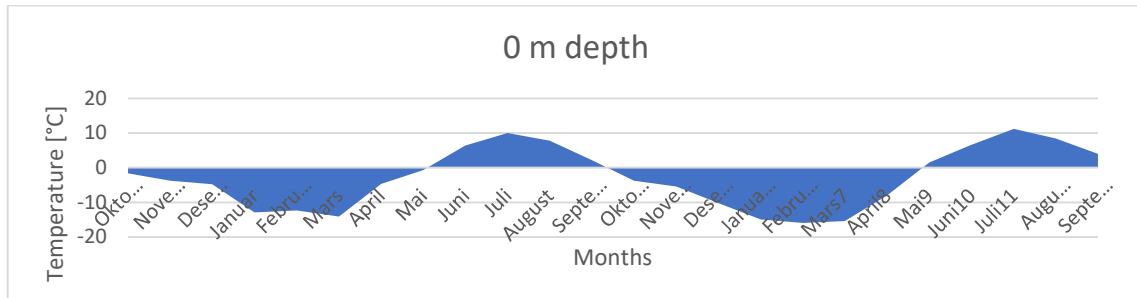


Figure 0-4: Temperature at the top of the ground.

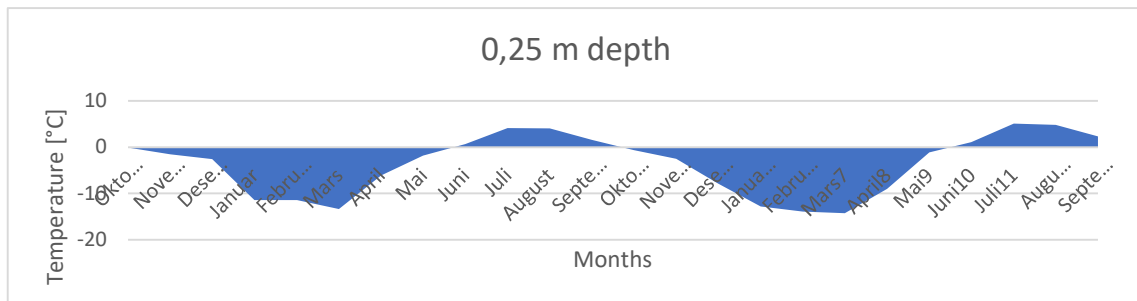


Figure 0-5: Temperature at 0,25 meters depth.

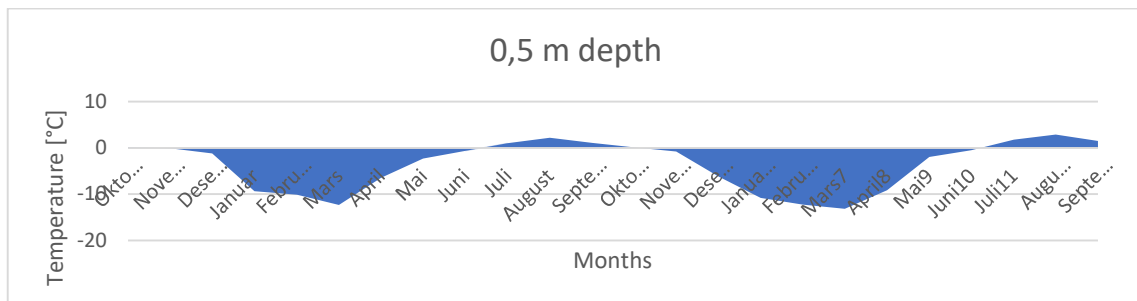


Figure 0-6: Temperature at 0,5 meters depth.

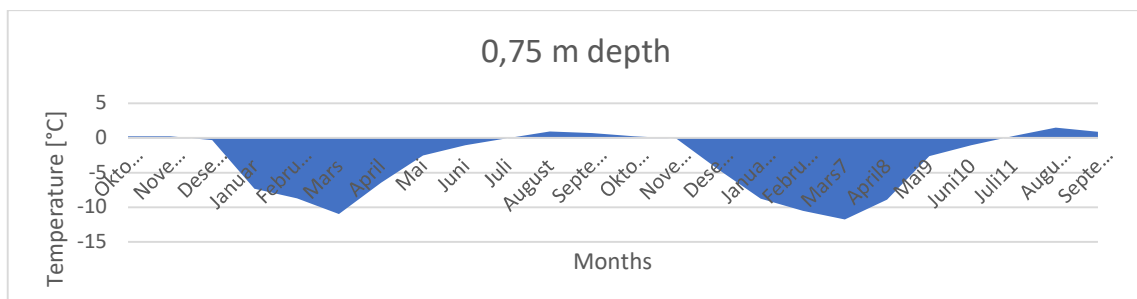


Figure 0-7: Temperature at 0,75 meters depth.

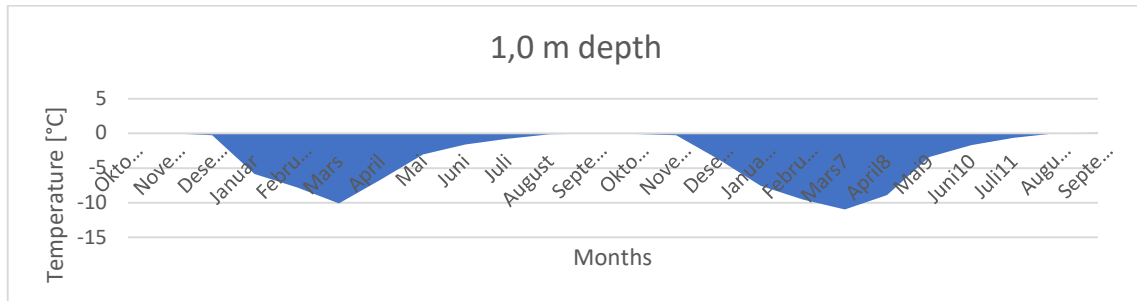


Figure 0-8: Temperature at 1,0 meters depth.

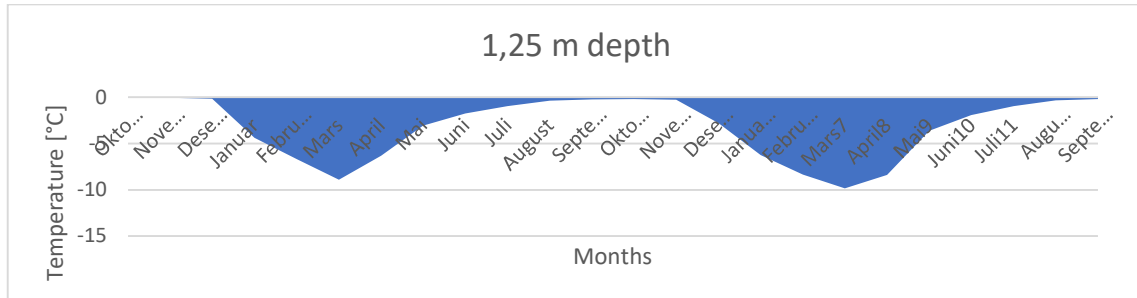


Figure 0-9: Temperature at 1,25 meters depth.

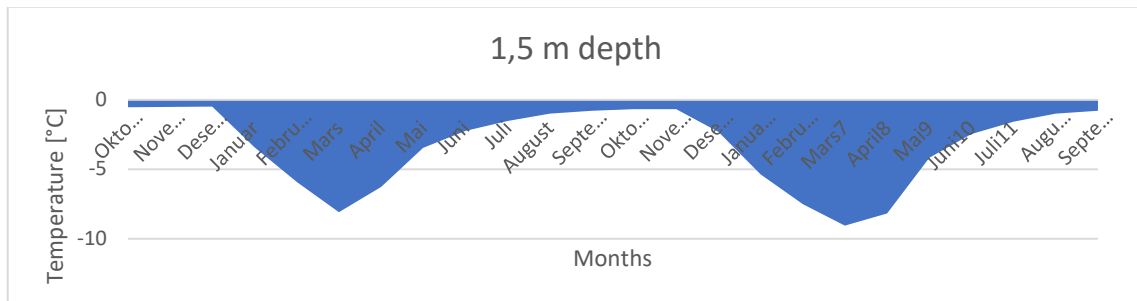


Figure 0-10: Temperature at 1,5 meters depth.

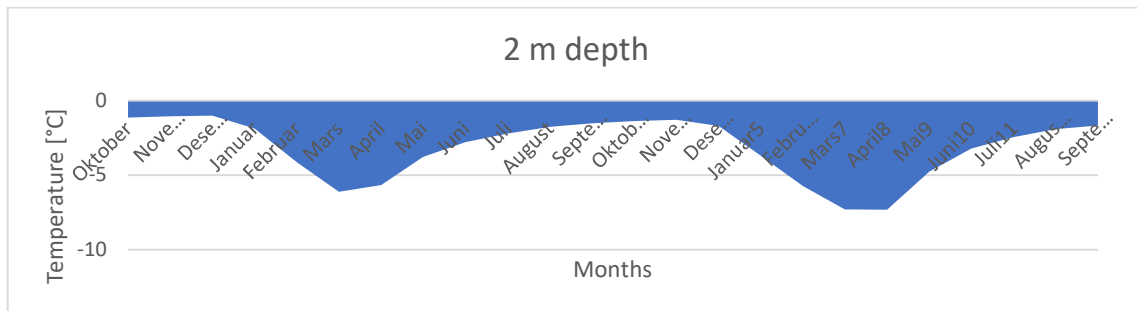


Figure 0-11: Temperature at 2 meters depth.

The temperature changes from the ground level and through depth, as showed in Figure 0-12. At the ground surface it has big changes in temperature from season to season, while lower into the soil the temperature slowly gets almost constant.

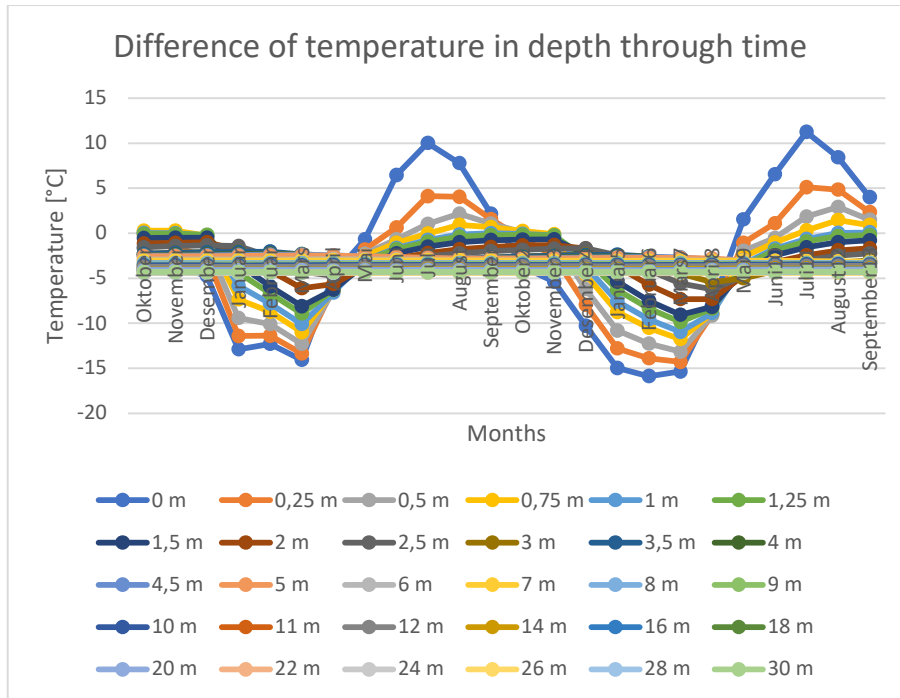


Figure 0-12: Difference of temperature in depth through time.

Figure 0-13 shows the difference between the ground surface temperature and the temperature at 30 meters depth. This clearly state how big of a difference there is in temperature through depth. At 30 meters depth there is hardly any change through a two-year span, while at ground surface there is a big difference.

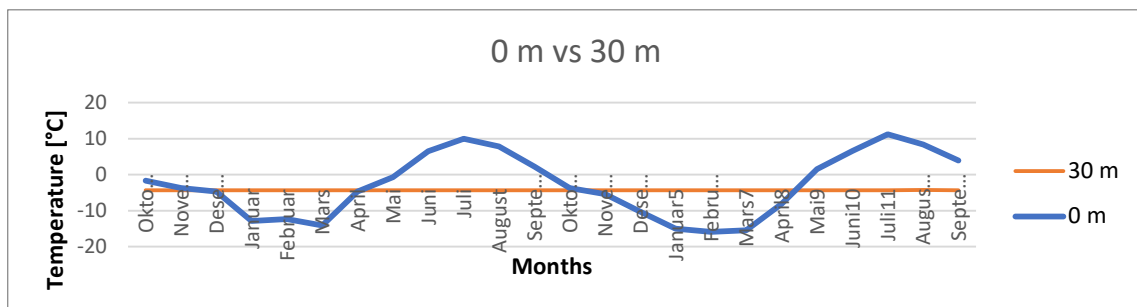


Figure 0-13: Temperature at 0 meters depth compare to 30 meters depth.

## Discussion:

From the data collected it is not enough to really say how it is going to be in the future. It can stay the same or it can change. From the two years that are collected data from does not show a big difference from the one year to the other. It is a bit colder in winter 2020 than winter 2019. It is also a bit warmer in summer 2020 than summer 2019.

If it continues to get warmer around the world, there will most likely make the air temperature, and that will make the permafrost slowly disappear and the active layer will get thicker. This means that in the summer the soil will thaws more than it does now and therefore the active layer will go further down.

If this is the case, then that means the permafrost is melting and inside the permafrost there is more carbon than in currently in the atmosphere. It is estimated that the worlds permafrost contains 1,500 billion tons of carbon, from carbon-based remains of plants and animals that froze before they could decompose. This is almost twice as much carbon than it is in the atmosphere at this point.

This will give consequences if the permafrost melts, because of the exposure of both carbon and whatever else there is in the permafrost. When the carbon is exposed from the permafrost by it melting then the carbon turns into carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ). That means that there will be more  $\text{CO}_2$  in the atmosphere, and that will result in the temperature in the world to rise even faster. Figure 0-1 show the process of what will happen if the permafrost starts to melt. The loss of ice in the soil creates landscapes that can easily be eroded.

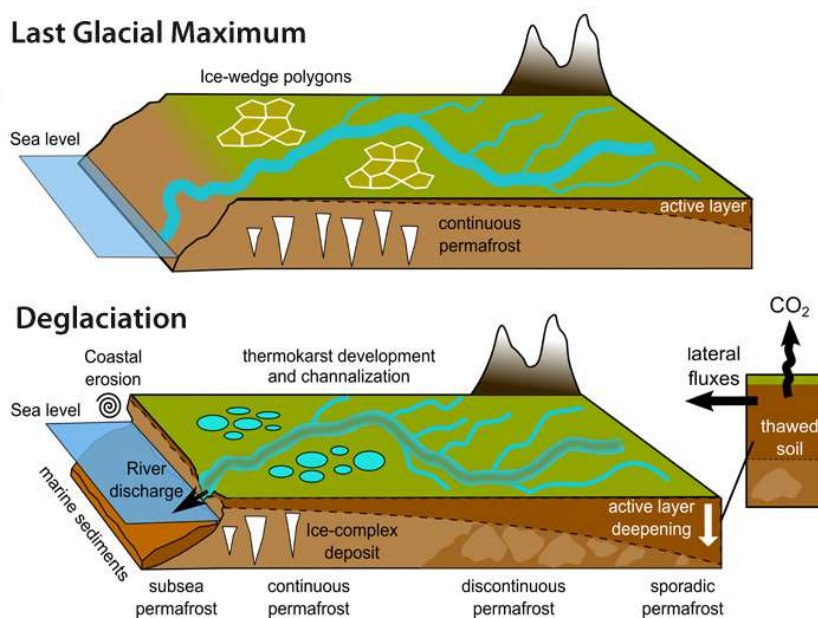


Figure 0-1: Deglaciation and erosion of the soil.

### Conclusion:

The temperature was at its lowest in January to March, and highest in July for both years. At seven meters depth the temperature stayed the same with a small declination of the temperature throughout the depth but stayed the same through time. The graphs from the data collected at each depth showed that the temperature slowly decreased and even out. The active layer is where the temperature stayed under 0°C, which is at 1,25 meters depth.

## References:

Andersland, O. B. & Ladanyi, B., 2004. Subsurface temperatures. In: *Frozen Ground Engineering*. New Jersey: John Wiley & Sons, Ink., pp. 4-7.

Cho, R., 2018. *State of the planet*. [Online]

Available at: <https://news.climate.columbia.edu/2018/01/11/thawing-permafrost-matters/>

[Accessed 12 May 2021].

RBR, n.d. *RBR*. [Online]

Available at:

[https://www.google.no/search?q=thermistor+string&hl=no&sxsrf=ALeKk03ysJthNn0PY5P\\_R6oZsqCjpa7vJg:1619543461949&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj-](https://www.google.no/search?q=thermistor+string&hl=no&sxsrf=ALeKk03ysJthNn0PY5P_R6oZsqCjpa7vJg:1619543461949&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj-k_3F9Z7wAhVjhosKHXSIC6QQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=754#imgsrc=mt_6liaYWtEdtM)

[k\\_3F9Z7wAhVjhosKHXSIC6QQ\\_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=754#imgsrc=mt\\_6liaYWtEdtM](https://www.google.no/search?q=thermistor+string&hl=no&sxsrf=ALeKk03ysJthNn0PY5P_R6oZsqCjpa7vJg:1619543461949&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj-k_3F9Z7wAhVjhosKHXSIC6QQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=754#imgsrc=mt_6liaYWtEdtM)

[Accessed 3 May 2021].

RST Instruments Ltd., n.d. *rstinstruments.com*. [Online]

Available at: <https://rstinstruments.com/thermistor-strings/>

[Accessed 8 May 2021].

Tesi, T., 2016. *State of the planet*. [Online]

Available at: <https://news.climate.columbia.edu/2016/12/02/when-permafrost-melts/>

[Accessed 12 May 2021].

Tesi, T., 2016. *State of the planet*. [Online]

Available at: <https://news.climate.columbia.edu/wp-content/uploads/2016/12/permafrost-deglaciation.jpg>

[Accessed 12 May 2021].

Wikipedia, 2020. *Wikipedia*. [Online]

Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Active\\_layer](https://en.wikipedia.org/wiki/Active_layer)

[Accessed 3 May 2021].

Wikipedia, 2021. *Wikipedia*. [Online]

Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Permafrost>

[Accessed 30 April 2021].



Ida C. R. Bozkurt

AT-205

2021

10.2 Vedlegg 2

12.05.2021

# Piles design and data Processing from load cells.

UNIS building

1

Ida Rangul  
UNIS

## Precast

In the course AT-205 we are required to write a personal project with topic of our own choice before the semester is over. I have therefore chosen to write about piles design since that is also related to my bachelor thesis.

## Innhold

Precast .....	1
Summary .....	2
1. Introduction.....	3
2. Theory .....	4
3. Methods.....	5
4. Results.....	6
5. Discussion .....	9
6. Conclusion .....	13
References .....	14

## Summary

The purpose of this report is to look at how the weight on the tip of four end-bearing piles varies trough summer and winter. To be able to do this I got provided with a dataset that contains information about weight on the tip of four piles under the new part of the UNIS building in Longyearbyen, Svalbard. The data was registered by using load cells installed under the piles. The dataset contains data from 16<sup>th</sup> of June 2007 until 26<sup>th</sup> of April 2021, and data was registered two times a day at the times 00.00 and 12.00.

Excel was used to analyze the dataset and make plots.

The results we got was that for three of the piles, the tip of the pile has less weight in spring and summer months, and more weight in fall and winter months. We also found out that pile number has opposite results from the three others.

Our expectations were that the piles would have more weight on the tip in the summer, which was not the case. Therefore, we are discussing some reasons for this in the end of the report. However, we did not find any good explanation for the findings, but some of the theories could be investigated further.

## 1. Introduction

In Longyearbyen all heated constructions are placed on fundamentals that keeps the ground cool, for example piles. This is so that the heat from the constructions is not going to thaw the permafrost (frozen soil) that exists in Svalbard [1].

Pile design in permafrost can be difficult because no matter how perfect your calculations are, it does not necessarily mean that it will turn out as good in the reality. There is a lot of things you need to think about regarding pile and soil behavior to be able to get a design that is possible to implement [2, p. 4]. But even though permafrost is seen on as difficult in terms of construction, permafrost also has some benefits. It has a very good bearing capacity because of the high compressive strength. The strength of saturated frozen sand can be up to 8,5 times bigger than for unfrozen sand [3, p. 16].

Piles can either be driven down in the soil or they can be installed in predrilled holes, and then backfilled with a suitable material. In permafrost, the driven pile is assumed to get a big part of their axial load bearing capacity from the bonding between the frozen soil and the outer surface of the pile. If you have the pile in a predrilled hole with backfilled material, the bonding will happen between the pile and the backfilled material, or between the backfilled material and the frozen soil [2, p. 4].

If the backfill material consists of for example cement or concrete with an adequate strength, the failure surface will go from between pile and the backfill material to between the filling and the soil. In this case the pile can be considered as a concrete pile with the diameter of the predrilled hole [2, p. 4].

In Longyearbyen a typical pile design the last few years has been to use square hollow steel sections like HUP 140 x 140 x 10 mm.

The length of the pile are usually about 18 m, and the predrilled hole are made with a diameter of 250 mm. The gap between the pile and soil should at least be 50 mm, to have enough room for the backfilling material. For backfilling material it is common to use C35 concrete, which is a heavy duty concrete. The concrete should be filled from the bottom of the pile and up to 3 m below the terrain. To fill the rest of the hole and reduce frost jacking in the active layer, you can use sand or other loose materials up to the level of the terrain [2, p. 5]. In figure 1-1 you can see a sketch of the described pile design.

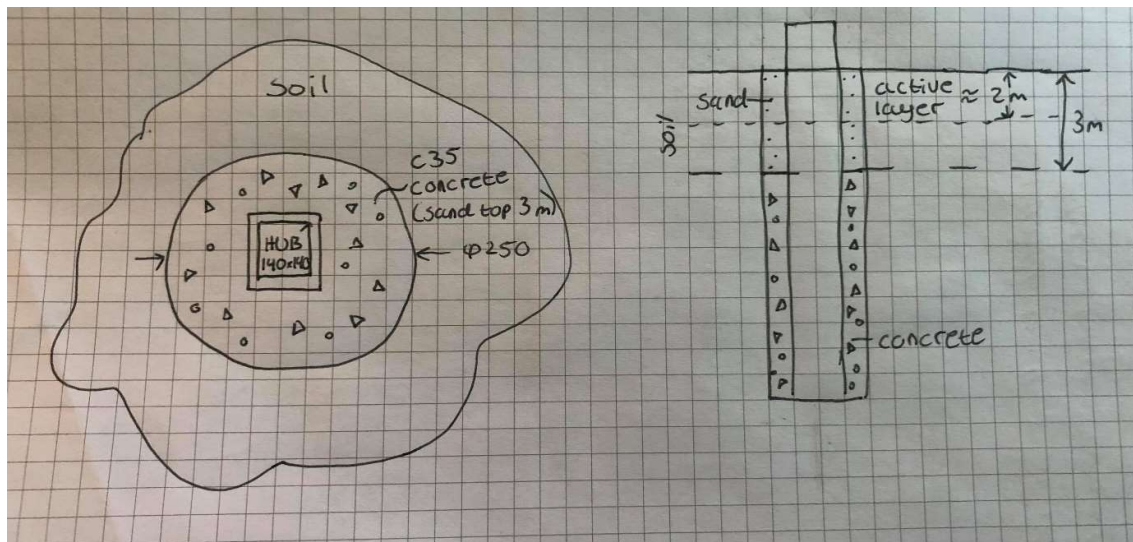


Figure 1-1 Sketch of typical pile design in Longyearbyen.

We mainly have two types of piles, friction piles and end-bearing piles. In Longyearbyen it is most common to use end-bearing piles because it is considered as a safer option in account of settlement.

Friction piles transfers the load from the construction down to the soil by using the frictional forces between the piles surface and the soil around the pile. The friction on the pile can happen on the whole pile or on parts of the pile, depending on the layers of the soil. Generally, the whole surface of a pile will work on transferring the load from the construction down to the soil. To get a bigger capacity, you can increase the diameter of the piles, the depth, the surface roughness or the number of piles [4].

End-bearing piles transfers the load from the construction down to the tip of the pile. The tip of the pile is standing on a strong layer of soil or rock. It is normal that the pile is laying on a transition layer of weak and strong layer. Because of this the pile will act like a column and safely transfer the load to the strong layer of soil [4].

## 2. Theory

In 2006 the university center in Svalbard got a new annex. The new part is 9000 m<sup>2</sup> and was made in three years. In 2002, Norges Geotekniske Institutt got the mission to design the piles for the building.

Most of the piles that was used is made of steel (HEB-240 and HEB-160) with lengths of 12 m and 10 m in places where it was not possible to use 12 m. The piles were installed in

predrilled holes of 300 mm and 400 mm in diameter. The hole between steel pile and the frozen ground was then filled with a slurry that freezes, so that the piles are frozen in the ground [5].

While installing the piles for the building, it was also installed load cells under at least four piles. The reason for this is that it makes it possible to measure the actual weight on the pile, and from this we can monitor creep and frost heave.

### 3. Methods

To be able to write this report, I got provided with a dataset from our professor Aleksey Shestov. The dataset contains information about weight on the tip of four piles under the new part of the UNIS building. The data was registered by using load cells installed under the piles. The dataset contains data from 16<sup>th</sup> of June 2007 until 26<sup>th</sup> of April 2021, and data is registered two times a day at the times 00.00 and 12.00.

The pile installation is located under the new part of the UNIS building in Longyearbyen, Svalbard. In figure 3.1 is a picture that shows approximately the location of the building.



*Figure 3-1 Location of UNIS building.*

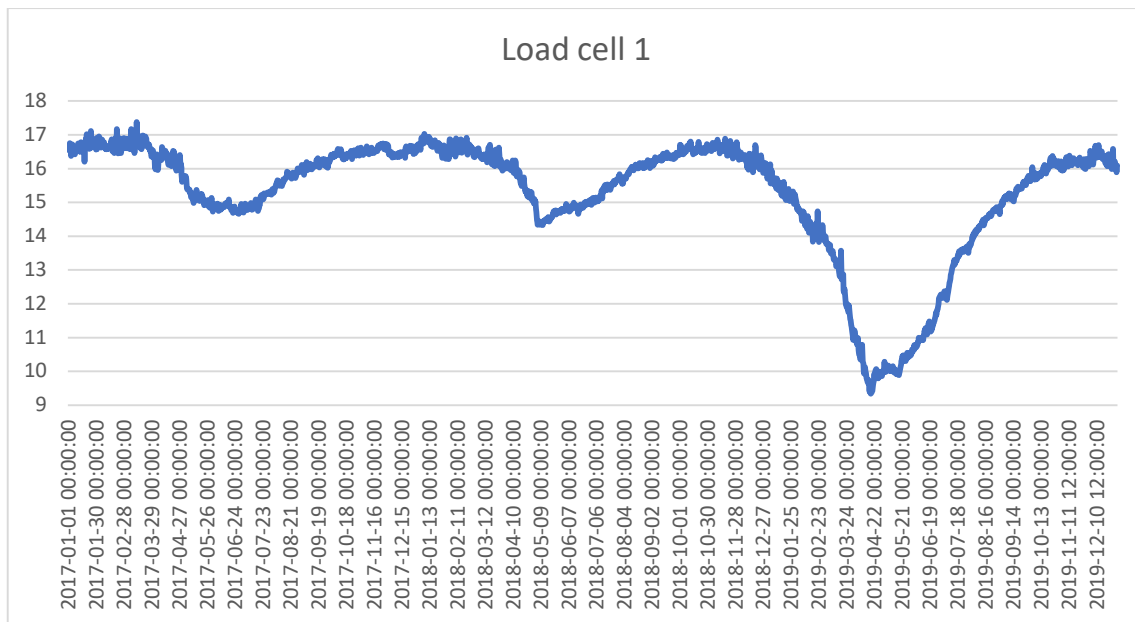
To analyze the dataset and make graphs I will use excel. To not make the graphs too long, I will look at a three year period that runs from the 1<sup>st</sup> of January 2017 to 1<sup>st</sup> of January 2020.

After this I will look at the period from 1<sup>st</sup> of January 2020 to 31<sup>st</sup> of December 2020, to see how the loads changes during one year. This is because I think it can be easier to see the changes if we look at a shorter period.

## 4. Results

From figure 4-1 we see the results from load cell 1. This is the load cell that has the most extreme changes of all four load cells. We can see that the pile has the least weight on the tip in April 2019. It has the most weight on the tip of the pile in end of February/start of March 2017.

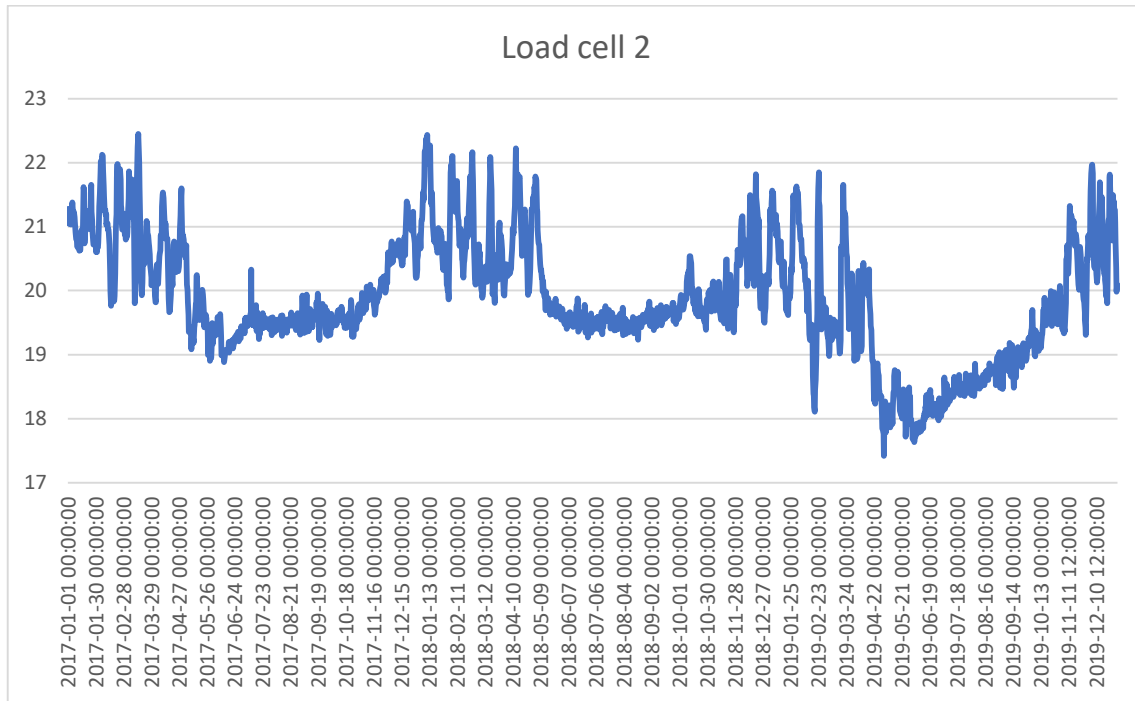
We can see from the graph, that in the first year the weight is higher from January to April, and lower from May to June. The second year the weight is higher from July to December and lower from May to June. The third year it is higher from June/July to December and lower from December to June.



*Figure 4-1 Load cell 1*

From figure 4-2 we can see the results from load cell 2. The graph goes a lot up and down during the periods January to start of June 2017, December 2017 to May 2018, October 2018 to April 2019 and from October 2019 until the graph ends. This could mean that there are some temperature changes going on in the soil during these periods.

In periods from June to December 2017, May to October 2018 and April to October 2019 the graph is lower and flatter, which could mean that the temperature in the soil is more stable.



*Figure 4-2 Load cell 2*

From figure 4-3 we see load cell 3. The graph goes a bit up and down from the start of January 2017 to the end of February 2017. Then the graph has a rise before it goes down again in the start of June 2017. From June 2017 to November 2017, the graph is flatter before it goes up again and down in May 2018. It stays somewhat flat again until October 2018. Then it goes up and comes back down to the same level at the end of June 2019. Here the graph is somewhat flat until October 2019 before it rises until the end of the graph.

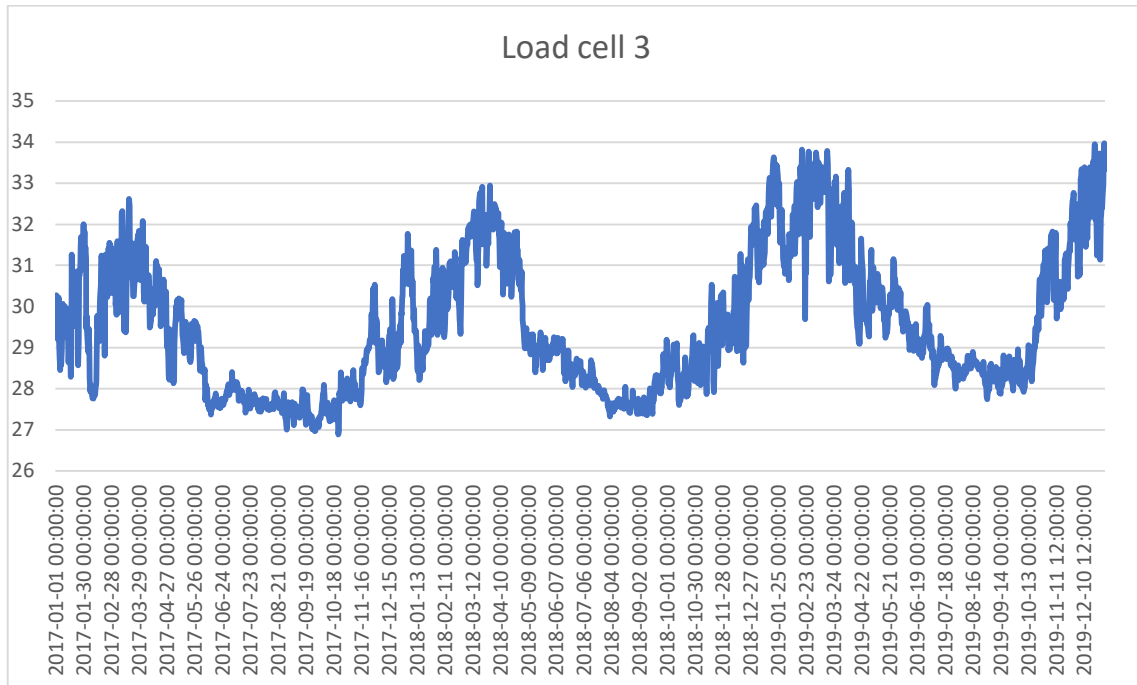


Figure 4-3 Load cell 3

From figure 4-4 we can see Load cell 4. This graph is slightly different from the other ones, because of the rapid changes. It also looks like this one has more weight on the tip in the warmer months and less in colder months.

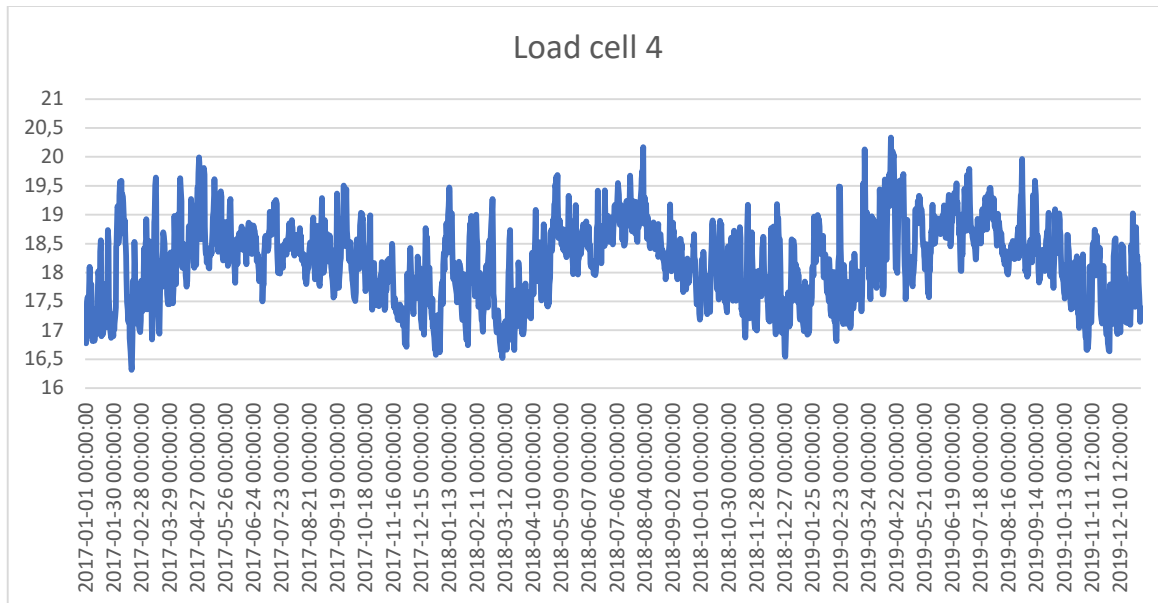


Figure 4-4 Load cell 4



From figure 4-5 we can see all four of the load cells during the period from 1<sup>st</sup> of January 2020 to the 31<sup>st</sup> of December 2020. From the graph we can see that load cell number 1 registers lowest weight and load cell number 3 registers the highest weight. Loadcell number 2 and 4 are quite similar when it comes to the overall weight. It looks like three of the loadcells registers that the weight is higher from approximately 1<sup>st</sup> of January to the end of march, and from around September to the end of December. The weight is lowest from the start of April to September. Also, here it looks like load cell number 4 is different from the other ones by having more weight in warmer months and less in colder months.

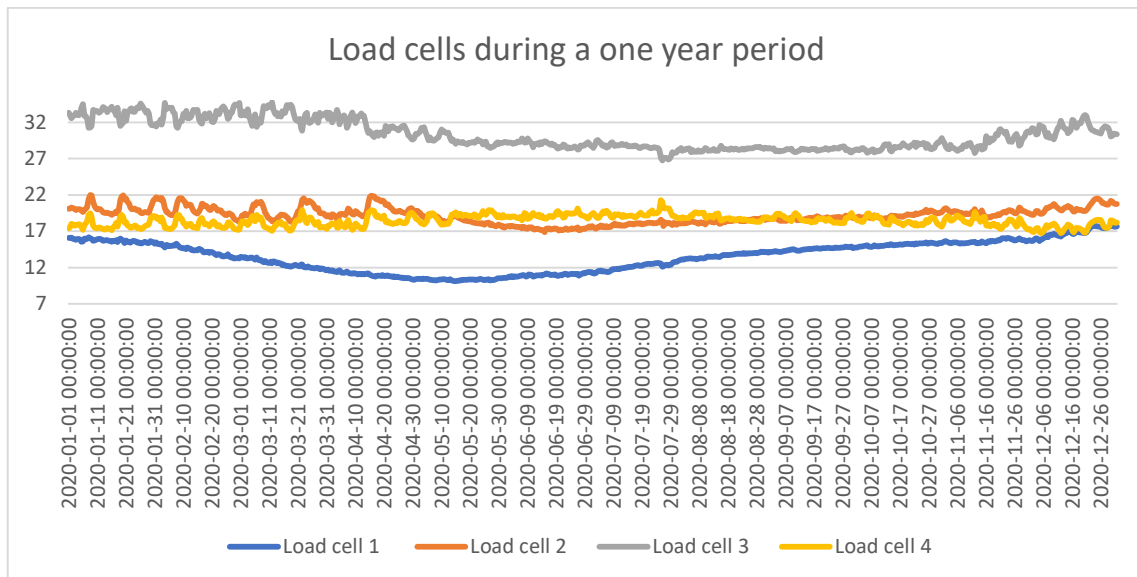


Figure 4-5 Load cells during a one year period

## 5. Discussion

From results we found out that there is more weight on the tip of the pile in fall and winter, and least weight in the spring and summer months on three of the piles. On pile number 4 it is opposite. From before we have learned that piles settle in the summer and in the winter, they are affected by frost heave. Based on this theory, only the pile with load cell number 4 meets our expectations.

From figure 5-1 we can see how the force on the piles acts in summer versus how they act in fall and winter. We see that in summer the thawed soil makes the pile settle, and the permafrost holds the pile up. In fall and winter, we have a different scenario. When the ground starts to freeze, the pile will be pushed upwards. The permafrost will then work as an anchor and prevent the pile from coming up.

**FIGURE 7-32** Seasonal forces acting on axially loaded piles in permafrost.

Source: Adapted from Linell and Lobacz 1980.

Design is about how to find necessary embedment length:

$P$ =structural load

$P_b$ =end bearing

$P_a$ =active shaft adfreeze force due to frost heave

$P_p$ =passive shaft adfreeze force (adfreeze bond)

$P_n$ =downdrag force due to consolidation of thawed strata

For summer conditions:

$$P + P_n < P_p$$

For winter conditions:

$$P_a < P + P_n + P_p$$

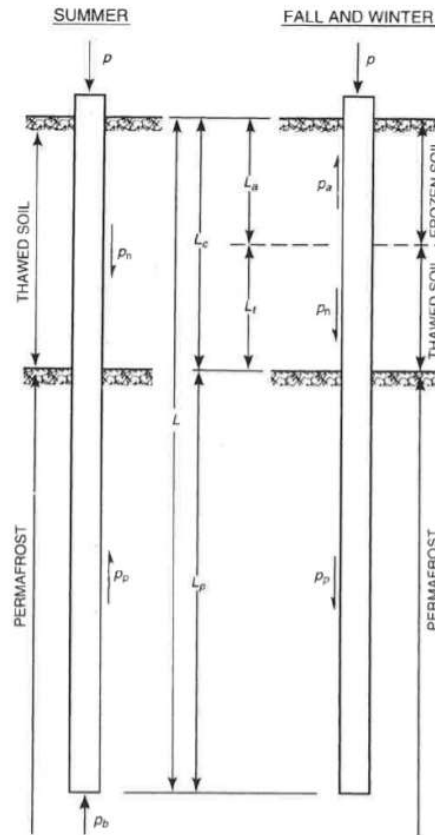


Figure 5-1 Behavior of piles in permafrost in summer vs winter [3]

A theory on why only 3 of the piles meet our expectations could be that the temperature in the permafrost is higher in the fall and winter because of temperature delay in the soil. If the soil is colder, it could cause more friction that would lead to less weight on the pile tip.

To investigate this, I got provided with some data for ground temperatures in the UNIS area from my student college. From table 5-1 you can see the ground temperature in different depths from October 2018 to September. And from table 5-2 you can see the ground temperature at 12 meters depth.

As we can see the temperatures in most depths is higher in summer and lower in winter, which means that there is not much proof in this theory.

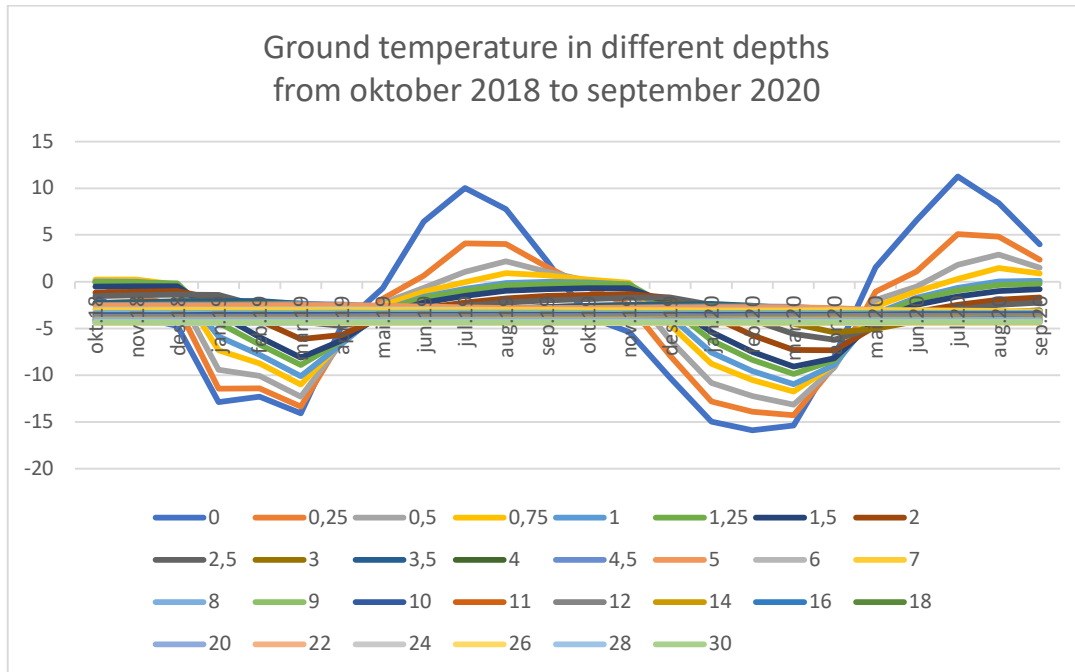


Figure 5-1 Ground temperature in different depths

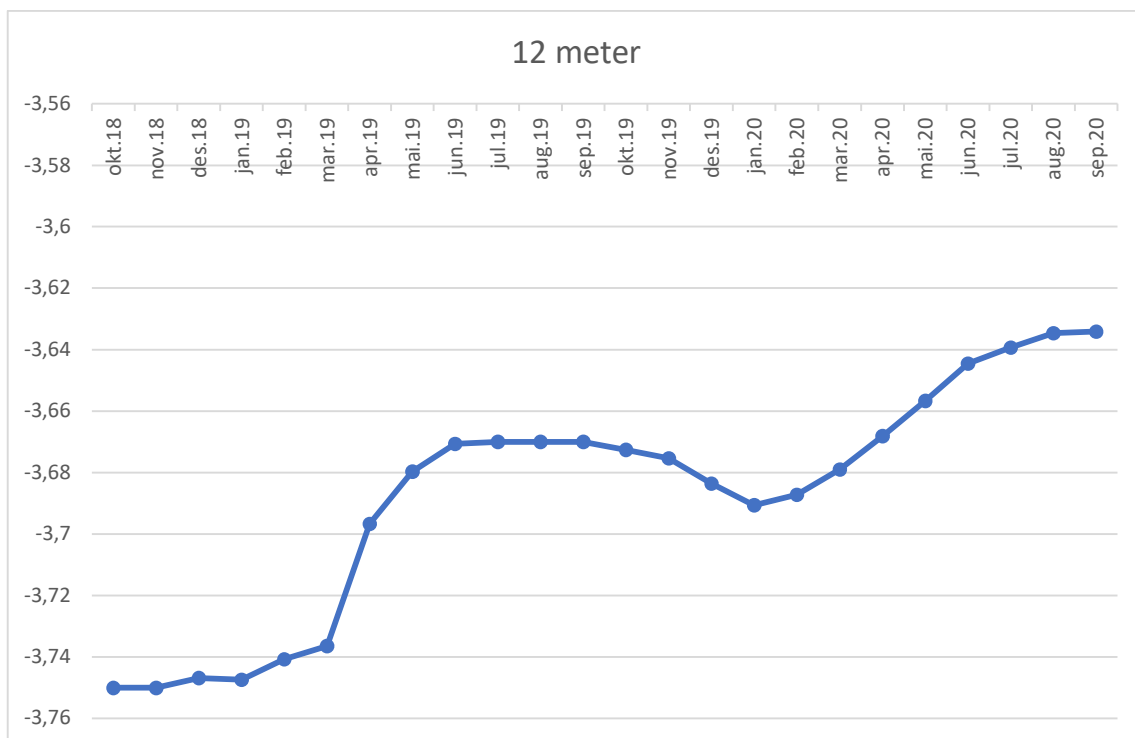


Figure 5-2 Ground temperature at 12 m depth

Another theory could be that in the winter, the top part of the soil is cold while it is warmer underneath the surface. This could lead to expansion of the pile and therefore press the tip of

the pile down. To check if thermal expansion affects the pile pressure, we will look a situation where the top of the pile is locked (cannot move) so that we only look at the end-bearing.

As an example we will look at the pile with load cell number 3 (Figure 4-3). From figure 4-3 we see that the max load is approximately at 1<sup>st</sup> of march and min load is approximately at 1<sup>st</sup> of October. For min we will use 2<sup>nd</sup> of October, since we didn't have data for the 1<sup>st</sup>. The most critical situation will be where is the biggest  $\Delta T$  over the whole profile from figure 5-3. To simplify, we will look at one conservative  $\Delta T$  for the whole profile.

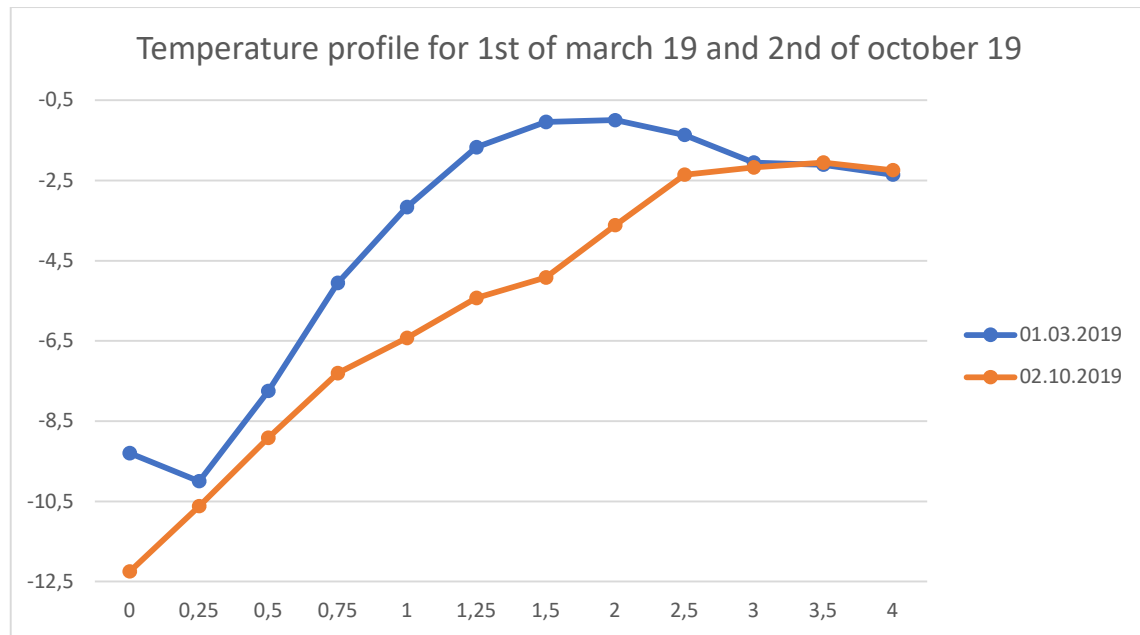


Figure 5-3 Plot of temperature in different depths

The formula we use to find  $\Delta L$  is  $\Delta L = \alpha L \Delta T$  [6]

$\Delta L$  = change in length

$\alpha$  = thermal expansion coefficient for steel =  $12 \times 10^{-6} \text{ m/m } ^\circ\text{C}$  [6]

L = length of pile (here we use 3 m, since the rest of the pile is not affected by temperature change.)

$\Delta T$  = change in temperature (from table 5-3)

Tabell 5-1. Table of temperature in different depths.

Depth	Max °C	Min °C	$\Delta T$ °C
0	-9,3	-12,25	2,95
0,25	-10	-10,62	0,62
0,5	-7,75	-8,92	1,17
0,75	-5,06	-7,31	2,25
1	-3,17	-6,43	3,26
1,25	-1,68	-5,43	3,75
1,5	-1,05	-4,92	3,87
2	-1	-3,62	2,62
2,5	-1,37	-2,36	0,99
3	-2,06	-2,18	0,12

For depth 1,5 m we have the biggest  $\Delta T$  of 3,87 °C. We will use this.

$$\Delta L = 12 \times 10^{-6} \text{ m/m } ^\circ\text{C} \times 3 \text{ m} \times 3,87 \text{ } ^\circ\text{C} = \underline{0,14 \text{ mm}}$$

Now let's say we take an estimate of 5 m,  $L = 5 \text{ m}$

From this calculation, we get a temperature expansion of 0,14 mm. This is so small that it is neglectable in a bigger context, considering we often have frost heave of 10-20 cm.

Some other theories that could maybe be worth looking more into is for example that snow load on the roof in the winter could cause more weight on the piles in winter. However, the roof on the new part of unis is designed to not hold on too much snow, and therefore this theory is also not that likely.

My last theory is that because of warmer temperatures in the summer we get less hold in the tip of the pile than in winter, and that this could be the reason for our results.

## 6. Conclusion

The conclusion for three of the piles, the tip of the pile has least weight in the spring and summer months, and most weight in the fall and winter months. For pile number 4 it is the opposite. In the discussion part I found that there is no good explanation for the findings, but there are some theories that could be investigated further.

## References

1. Andreassen HF. Øya som tiner cicero.oslo.no: CICERO - Senter for klimaforskning; 2019 [Available from: <https://cicero.oslo.no/no/posts/klima/oya-som-tiner>.
2. Aalberg A, Shestov A. Piles in permafrost - bearing strength and settlements. UNIS 2021 19.02.
3. Andersland OB, Ladanyi B. Frozen Gound Engineering. Second Edition ed: John Wiley & Sons, Inc. ; 2004.
4. Civil Engineering. What is Pile Foundation? Types of Pile Foundation civiltoday.com: Civil Engineering; [Available from: <https://civiltoday.com/geotechnical-engineering/foundation-engineering/deep-foundation/176-pile-foundation-definition-types>.
5. Jullum R., Sandven R., Horvli I., et al. Frost i Jord. vegvesen.brage.unit.no: Statens Vegvesen; 2005.
6. Unknown. Thermal Expansion of Solids and Liquids courses.lumenlearning.com [Available from: <https://courses.lumenlearning.com/physics/chapter/13-2-thermal-expansion-of-solids-and-liquids/>.