INSTANES AS

Forventede klimaendringers påvirkning på byggegrunn i Longyearbyen-området

Delrapport 2 i oppdraget «Bygging og forvaltning på Svalbard i et langsiktig Klimaperspektiv»

Arne Instanes og Johanna L. Rongved
11.10.2017

INSTANES AS

Sammendrag

Delrapport 2 fokuserer først og fremst på grunnforholdene i Longyeardalen. Det vurderes også grunnforhold ved Kjell Henriksen Observatoriet på Breinosa, samt i noe grad ved Svalbard Globale Frøhvelv. Det er ikke utført egne grunnundersøkelser for dette prosjektet, men vurderingene og beregningene er basert på tilgjengelige resultater fra tidligere utførte undersøkelser i de aktuelle områdene. Det er heller ikke utført egne temperaturmålinger i grunnen.

Delrapport 1 er benyttet som grunnlagsdata for geotermiske analyser presentert i denne rapporten. Det vises til delrapport 1 for utdypende forklaring om både historisk klima og beregnet fremtidig klimautvikling.

Rapporten starter med en gjennomgang av regelverk og standarder for geoteknisk prosjektering i arktiske strøk, samt anbefalinger knyttet til praktisk bruk. Det er videre nevnt ulike forhold som er spesielle for permafrostområder, og som i liten grad er nevnt i gjeldende Europeiske og nasjonale standarder. Eksempel på et slikt forhold er dimensjonerende brukstid (forventet levetid) for konstruksjoner, som i permafrostområder typisk vil være betydelig lavere enn for ikke-permafrostområder.

Kunnskap til geologiske prosesser, utførte grunnundersøkelser, samt erfaringer fra tidligere prosjekter danner grunnlaget for vurdering av grunnforholdene i Longyeardalen. I dalbunnen består grunnen hovedsakelig av elvemasser av sand og grus, over mer finstoffholdige, marine masser av silt og leir. Erfaringsmessig forventes det stor dybde til berg, relativt høy salinitet og stedvis mye is i grunnen. Saliniteten er typisk økende mot fjorden. For områdene lenger opp i dalsidene, som Skjæringa, Lia og i Gruvedalen, kan det forventes mindre dybder til berg. I sjøområdet forventes elvemasser og fyllmasser over gammel sjøbunn.

Det er ikke utført grunnundersøkelser for Kjell Henriksen Observatoriet, men undersøkelser fra EISCAT, lenger nede på Breinosa, samt topografien på stedet antyder relativt beskjedne dybder til berg.

Grunnforholdene ved Frøhvelvet er etter hvert godt kartlagt, etter at det er utført omfattende grunnundersøkelser og installert flere termistorstrenger, både i byggegropen for adkomsttunnelen og mellom selve hvelvene. Da det pågår egne prosjekter for å sikre Frøhvelvet for fremtidig forventede klimaendringer er Frøhvelvet bare kort nevnt i denne rapporten, og det er fokusert mer på de andre aktuelle lokalitetene.

Delrapport 2 beskriver videre generelle prinsipper for bygging i permafrostområder, hvor hovedmålet er å unngå å forstyrre temperaturprofilet i bakken, som i de fleste tilfeller fører til oppvarming og tining av permafrost. Dette blir typisk løst ved å løfte byggene opp fra bakken, enten på betongfundamenter eller på peler, for på den måten å tillate lufting under bygget. For bygg som er spesielt følsomme for differansesetninger, eller hvor det ønskes lang levetid, kan det benyttes kunstig kjøling for å redusere temperaturen i grunnen, og dermed setningshastighetene.

Frosset jord, spesielt der den er salt og isrik som i Longyearbyen, vil være svært utsatt for krypsetninger ved belastning. Dette er deformasjoner som utvikler seg over tid, og som er forårsaket av is i porene, som får jorden til å oppføre seg som en seigtflytende veske. Setningshastigheten er

blant annet sterkt avhengende av temperaturprofilet i grunnen. Økende temperatur i permafrosten vil derfor kunne medføre økte setninger, med konsekvenser varierende fra noe økt vedlikehold til store setningsskader og til slutt kollaps.

Rapporten omfatter resultater fra geotermiske beregninger utført på grunnlag av de forventede temperaturutviklingene presentert i delrapport 1. Det er utført analyser for temperaturer og grunnforhold relevante for de aktuelle lokaliteter for Statsbygg sine viktigste bygg i og rundt Longyearbyen. Beregningene antyder at mektigheten på aktivt lag må forventes å øke fra i størrelsesorden 1,5 m til nærmere 2,5 m frem mot 2100. Beregningene antyder videre at temperaturen i grunnen må forventes å øke, men at temperaturøkningen i dybden (dypere enn 10-20 m) vil gå saktere enn den forventede temperaturøkningen ved terrengoverflaten. Ved år 2100 antyder beregningene at temperaturen på 20 m dyp fortsatt vil ligge på rundt -2 til -3°C (i forhold til dagens temperatur på ca. -4 ^{o}C).

Selv om beregningene viser at det fortsatt vil være permafrost i Longyearbyen til langt etter 2100 så forventes det at de økte temperaturene i grunnen vil medføre dårligere bæreevne og økte setningshastigheter. Dette må tas hensyn til ved fremtidig planlegging og prosjektering av nye bygg og installasjoner. Det kan være aktuelt å vurdere lengre peler og/eller peler med en større diameter enn det som er vanlig i dag. Det kan heller ikke utelukkes at det vil være økt behov for aktive fundamenteringsmetoder som kunstig kjøling, spesielt for særlige viktige bygg eller for bygg med levetid lengre enn 50 til 100 år. For områder med små dybder til berg kan det være aktuelt å vurdere masseutskifting eller peling til berg, som er tiltak ofte benyttet på fastlandet i «ikke-permafrostområder» med krevende grunnforhold.

Et våtere og varmere klima må påregnes å få konsekvenser for eksisterende bygninger, ikke bare i form av økte setningshastigheter, men også ved for eksempel ved økt råte på eksisterende trepeler. Vann, både overflatevann fra snøsmelting og regnvann, må forventes å måtte tas mer hensyn til i kommende år. Forventede konsekvenser for Statsbygg sine eksisterende bygninger i Longyearbyen og fremtidige byggeprosjekter vil bli nærmere vurdert i delrapport 3.

Sammendrag 2
1. Innledning 6
2. Grunnlagsmateriale 6
2.1 Lover og regelverk 6
2.1.1 Innledning 6
2.1.2 Designkriterier -Eurokode – Plan- og bygningsloven 6
2.1.3 Levetidsbetraktninger 7
2.1.4 Naturlaster 7
2.2 Klimadata fra delrapport 1 7
2.2.1 Innledning 7
2.3 Grunnforhold 9
2.3.1 Innledning 9
2.3.2 Svalbard Globale Frøhvelv 9
2.3.3 Longyeardalen 10
2.3.4 Kjell Henriksen Observatoriet 19
3 Dagens situasjon – generelt om fundamentering og tilstand 19
3.1 Generelt om bygging i kaldt klima 19
3.2 Fundamentering og geoteknikk 20
3.2.1 Bæreevne- og setningsanalyser 20
3.2.2 Skråningsstabilitet, skred og flom 21
4 Utførte beregninger og vurderinger 21
4.1 Geotermiske analyser 21
4.1.1 Svalbard Globale Frøhvelv 24
4.1.2 Longyeardalen 24
4.1.3 Kjell Henriksen Observatoriet 34
4.2 Vurdering av bæreevne og setninger 34
4.2.1 Svalbard Globale Frøhvelv 34
4.2.2 Longyeardalen 34
4.2.3 Kjell Henriksen Observatoriet 35
5 Oppsummering - Forventet påvirkning av byggegrunn og fundamentering 35

Figurliste:

Figur 1: Oversiktskart (toposvalbard.npolar.no) 8
Figur 2: Oversiktskart aktuelle lokaliteter i Longyeardalen 10
Figur 3: Flyfoto av Longyearbyen år 1936 tatt sørover (toposvalbard.npolar.no) 11
Figur 4: Flyfoto dagens situasjon (toposvalbard.npolar.no) 12
Figur 5: Temperaturmålinger ved Sysselmannsgården. Temperatur fra referansestrengen er vist ved blå, kraftig linje (fra ref. /12/) 14
Figur 6: Temperaturer målt ved Telenorbygget (ref. /12/) 14
Figur 7: Benyttet jordprofil for Skjæringa ved Sysselmannsbygget 15
Figur 8: Benyttet jordprofil for Forskningsparken 16
Figur 9: Temperaturer målt for Kulturhuset (fra ref. /12/) 17
Figur 10: Jordprofil benyttet for sentrumsområdet 18
Figur 11: Modellert årsmiddeltemperatur mottatte dataserier fra Arctic CORDEX RCP4.5 22
Figur 12: Modellert årsmiddeltemperatur serie 4 og 5 23
Figur 13: Beregnet temperaturutvikling på Skjæringa – dybde 20 m, 10 m og 7,5 m 26
Figur 14: Beregnet temperaturutvikling på Skjæringa - DYBDE 1,5M, 2 m, 2,5 m og 5 m 27
Figur 15:Beregnede temperaturer Forskningsparken, 10 m og 20 m dybde 29
Figur 16: Beregnede temperaturer Forskningsparken - små dybder 30
Figur 17: Beregnede temperaturer sentrumsområdet - 10 m og 20 m dybder 32
Figur 18: Beregnede temperaturer for sentrumsområdet - små dybder 33

Tabelliste:

Tabell 1: Oppsummering beregnede temperaturer fra serie 5 34

Vedlegg:

1. Beregningsresultater serie 4

1. Innledning

Statsbygg har igangsatt prosjektet «Bygging og forvaltning på Svalbard i et langsiktig klimaperspektiv» for å få utarbeidet en vurdering av hvilke konsekvenser forventede klimaendringer de neste 100-200 år vil medføre for Statsbygg sine bygg og konstruksjoner på Svalbard.

Oppdraget er delt i tre deler, og det skal utarbeides en delrapport for hvert deloppdrag. Delrapport 1 ble ferdigstilt våren 2017. Denne er utarbeidet av Meteorologisk institutt (MET), og fokuserer på forventede klimaendringer på Svalbard, spesielt knyttet til temperatur, nedbør og vind.

Foreliggende rapport utgjør delrapport 2 i oppdraget. Rapporten fokuserer i hovedsak på grunnforholdene ved de aktuelle konstruksjonene som skal vurderes, samt klimaendringenes forventede påvirkning på byggegrunnen. Det er utført geotermiske analyser for vurdering av temperaturutvikling i grunnen, hvor klimadata fra delrapport 1 er benyttet som grunnlagsmateriale for analysene.

Delrapport 3 vil gå mer inn på de konkrete bygninger som er aktuelle for Statsbygg, og fremtidig byggegrunn i Longyearbyen-området. Denne rapporten vil gi en grov beskrivelse av nå-tilstand og av fundamentering, men vil også gjøre en vurdering av fremtidig bæreevne, stabilitet mm for byggene. I tillegg til å omtale eksisterende bygg, vil delrapport 3 omfatte anbefalinger for fremtidig planlegging og bygging i Longyearbyen-området.

2. Grunnlagsmateriale

2.1 Lover og regelverk

2.1.1 Innledning

Bygging på permafrost er i neglisjerbar grad omhandlet i Eurokodene som ellers benyttes for geoteknisk prosjektering. Dette avsnittet vil gi en kort orientering om hvilke regelverk og standarder som er aktuelle, og som anbefales benyttet, samt kort om spesielle forhold rundt dimensjonerende brukstid (levetid). Naturlaster er til en viss grad omfattet av Eurokodene, men nevnes likevel kort her.

2.1.2 Designkriterier -Eurokode – Plan- og bygningsloven

Generelt i Norge er det Plan- og Bygningsloven, med Byggteknisk forskrift (ref. /2/) som angir regler og krav for å sikre kvalitet og funksjon av byggeprosjekter. Plan- og Bygningsloven gjelder i utgangspunktet ikke på Svalbard. Det er imidlertid vedtatt en egen byggeforskrift for Longyearbyen (vedtatt 15.11.2016), som *«skal sikre forsvarlig offentlig saksbehandling og at bygge- og anleggsvirksomhet innenfor Longyearbyen planområde er i samsvar med intensjonene i plan- og bygningsloven.»* Denne forskriften sammenfatter hvilke paragrafer i Plan- og bygningsloven som gjelder for Longyearbyen planområde, samt hvilke paragrafer i byggesaksforskriften og byggteknisk forskrift som **ikke** gjelder for Longyearbyen planområde. Forskriften angi imidlertid også at Longyearbyen Lokalstyre kan fatte vedtak om de lokale tilpasninger som er nødvendig.

Plan- og Bygningsloven angir blant annet nødvendige vurderinger for sikkerhet mot naturpåkjenninger, mens TEK17 angir at grunnleggende krav til motstandsevne og stabilitet normalt

vil være oppfylt ved prosjektering etter Eurokodene. Selv om Eurokodene i svært liten grad dekker permafrost som byggegrunn, så vil sikkerhetsprinsippene som skal benyttes i prosjekteringen og utførelse være de samme. De siste årene er det for prosjektering av byggeprosjekter generelt lagt til grunn prosjektering iht. PBL, med byggteknisk forskrift og Eurokodene.

I Canada pågår det et relativt omfattende arbeid knyttet til regelverk for regulering av byggeprosjekter i Arktis. Det er for eksempel utarbeidet en teknisk veiledning for klimatilpasning for infrastruktur i permafrostområder. I EU-systemet er det også på trappene å utarbeide en egen standard for arktisk infrastruktur, men denne ligger sannsynligvis 4-5 år frem i tid.

2.1.3 Levetidsbetraktninger

Generelt må det regnes med kortere levetid for bygninger som er fundamentert på permafrost enn hva som er normalt på fastlandet. Forventet levetid vil naturlig nok kunne variere avhengig av type bygg, fundamenteringsmetode og grunnforhold, men generelt bør det regnes med en levetid på maksimalt 30-50 år. Grunnen til dette er at store deler av Longyearbyen består av til dels isrike masser, med relativt høy salinitet. Ved belastning over tid vil krypsetninger føre til deformasjoner på konstruksjonen, og økt vedlikeholdsbehov. Ved behov for lenger levetid, eller ved svært strenge krav til deformasjoner, kan det benyttes aktive tiltak som for eksempel kunstig kjøling, for å redusere kryphastigheten, eller så må det fundamenteres på fryse-/tinestabile masser som for eksempel berg eller steinfylling over berg.

Statsbygg går generelt ut fra en levetid på 60 år for sine nye bygg.

2.1.4 Naturlaster

Naturlaster er i utgangspunktet definert av Eurokodene, også for Svalbard. Unntaket er seismiske laster, hvor Svalbard og permafrost i svært liten grad er omtalt av Eurokoden, og eventuelt islaster. I hovedsak er vind den naturlasten som er viktig å ta hensyn til, i tillegg til eventuell bølgepåkjenning og islaster for bygg i strandsonen. Svalbard har svært lav årsnedbør (årsmiddel ca. 190 mm), men det må tas hensyn til at snøen kan samle seg i store fonner ved langvarig vind på lesiden av bygninger og konstruksjoner, og at den derfor likevel kan utgjøre en stor belastning på byggegrunn og bærende konstruksjoner. På grunn av den lave årsnedbøren har regn tradisjonelt vært et svært lite problem for bygninger på Svalbard, men et varmere klima kan også medføre at større deler av årsnedbøren kan komme som regn og derfor i større grad må tas hensyn til i prosjektering.

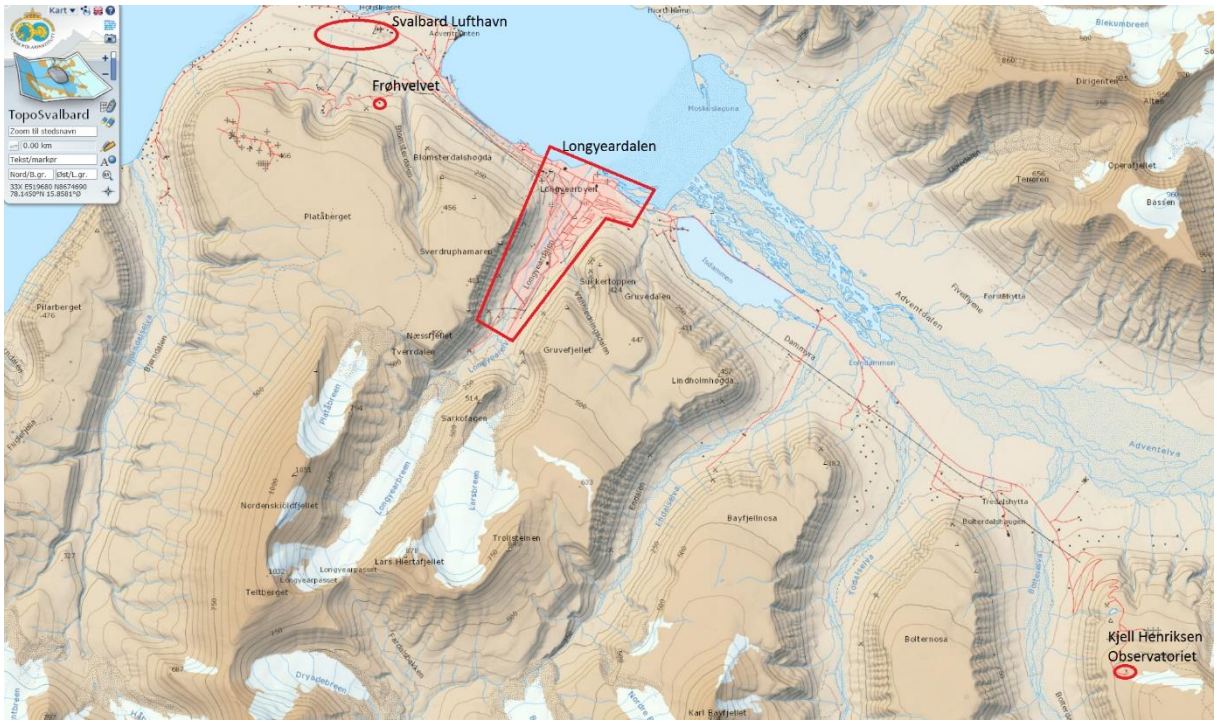
Eurokode 8 definerer 7 ulike seismiske grunntyper basert på stratigrafisk profil og jordartsparametre (skjærbølgehastighet, relativ fasthet og udrenert skjærstyrke). Permafrost vil naturlig falle i kategori A (fjell eller fjell-liknende geologisk formasjon) på grunn av høy skjærbølgehastighet (> 1000 m/s) og høy skjærfasthet ved rask pålasting. Ved økning i aktivt lag og eventuell tining av permafrost må seismisk grunntype revurderes.

2.2 Klimadata fra delrapport 1

2.2.1 Innledning

I delrapport 1 er det gitt en fyldig gjennomgang av både historisk klimautvikling og forventet utvikling i Longyearbyen og nærliggende områder.

Nærmeste offisielle målestasjon til Longyearbyen er stasjonen ved Svalbard lufthavn, på 28 moh. Beregningene som er presentert i delrapport 1 vedrørende forventet utvikling referer seg i utgangspunktet til Svalbard Lufthavn, og MET har derfor gitt en anbefalt temperaturkorreksjon for Longyearbyen, Svalbard Globale Frøhvelv og Kjell Henriksen Observatoriet i forhold til Svalbard Lufthavn. Her anbefales at Svalbard Lufthavn og Longyearbyen ses på under ett (altså null-korreksjon), mens det anbefales noe lavere temperaturer for Frøhvelvet og Kjell Henriksen Observatoriet. Anbefalt korreksjon for de ulike lokalitetene er å finne i tabell 3.1.4 i delrapport 1. De ulike lokalitetenes plassering i forhold til hverandre er vist i Figur 1.



FIGUR 1: OVERSIKTSKART (TOPOSVALBARD.NPOLAR.NO)

Som grunnlag for geotermiske beregninger er det mottatt grunnlag fra tre ulike utslippsscenarier; RCP8.5, RCP2.6 og RCP4.5. Det er per i dag ikke mulig å konkludere med et mest sannsynlig utslippsscenario, men det er valgt å benytte RCP4.5 («midlere alternativ») som grunnlag for videre geotermiske beregninger. I samråd med MET er det det valgt å prioritere data fra Arctic CORDEX i de geotermiske beregningene. Dette er nedskalerte modeller, og det er mottatt 5 dataserier for utslippsscenario RCP4.5.

For videre informasjon om utførte klimamodeller og forventet klimautvikling vises det til delrapport 1.

2.3 Grunnforhold

2.3.1 Innledning

I dette avsnittet vil grunnforholdene for ulike lokasjoner i og rundt Longyearbyen oppsummeres. Vurderingene av grunnforholdene er basert på rapporter fra tidligere utførte grunnundersøkelser, samt egne erfaringer. Det er ikke utført egne grunnundersøkelser for dette oppdraget, og heller ikke direkte på alle de aktuelle tomtene. Beskrivelse av grunnforholdene må derfor ses på som overordnet. Der det er utført grunnundersøkelser spesifikt for det aktuelle bygget så er dette nevnt i teksten.

2.3.2 Svalbard Globale Frøhvelv

Det ble utført grunnundersøkelser ved Frøhvelvet i 2016, med utførelse av totalsonderinger, skovlprøvetaking og nedsetting av termistorstrenger for måling av temperatur i grunnen. Undersøkelsene ble utført av Multiconsult, og er rapportert i ref. /1/ og /4/. Totalsonderingene viser en dybde til berg på i størrelsesorden 2 – 7 m, hvor de største løsmassemektighetene er registrert mot nordre del av adkomsttunnelen.

Prøvetakingen antyder at løsmassene i hovedsak består av siltig, sandig, grusig materiale, men med lavere innhold av grus under det aktive laget. Vanninnholdet i prøvene ligger i hovedsak mellom 10-15 % for løsmassene. Det er imidlertid boret gjennom en islinse i ett av prøvepunktene, hvor det mineralske innholdet er rapportert å være svært lavt.

Det er tatt prøver fra oppknust berg i ett av prøvehullene, og fra disse prøvene er vanninnholdet målt til ca. 5 %.

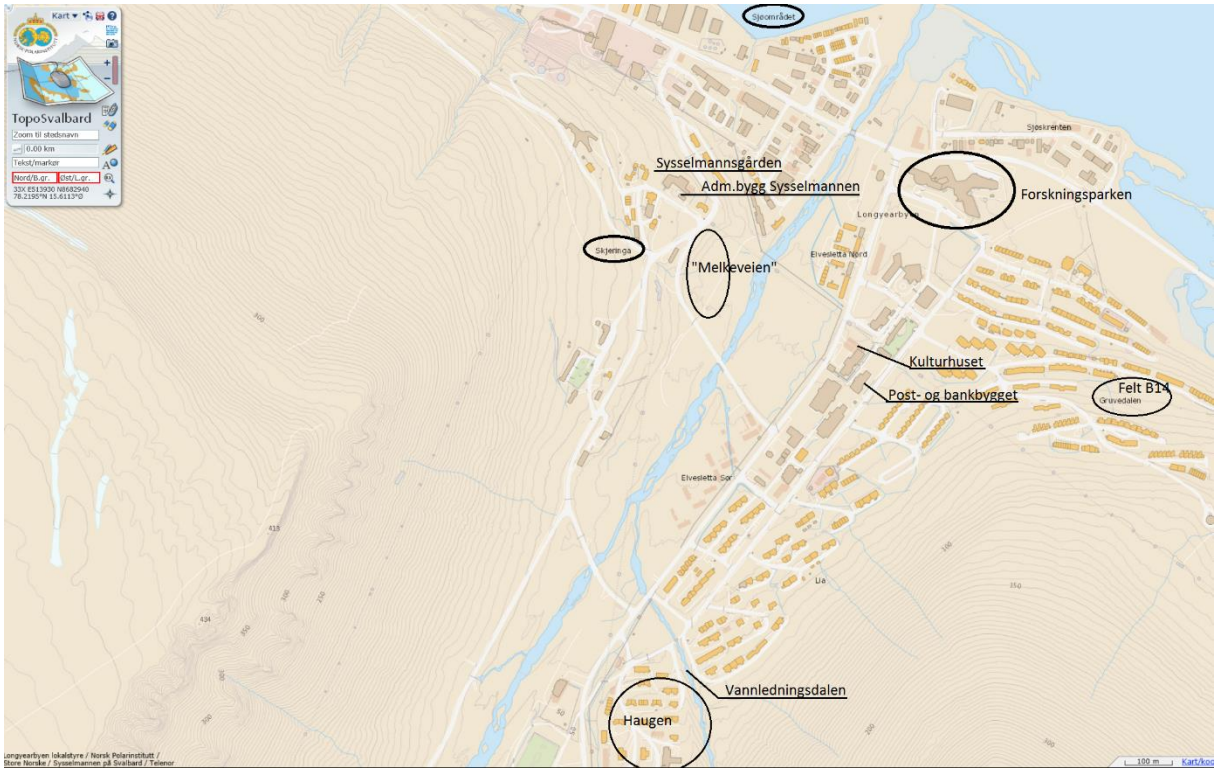
I forbindelse med grunnundersøkelsene ble det installert 6 termistorstrenger for måling av temperaturer i grunnen rundt hvelvene. Det er i tillegg installert en referansestreng lenger vest for adkomsttunnelen, samt tre temperaturstrenger i byggegropen langs «løsmassedelen» av adkomsttunnelen.

Da det pågår et eget oppdrag med utbedring av adkomsttunnelen av Frøhvelvet, er dette anlegget ikke omtalt i noen stor grad videre i denne rapporten.

2.3.3 Longyeardalen

Generelt

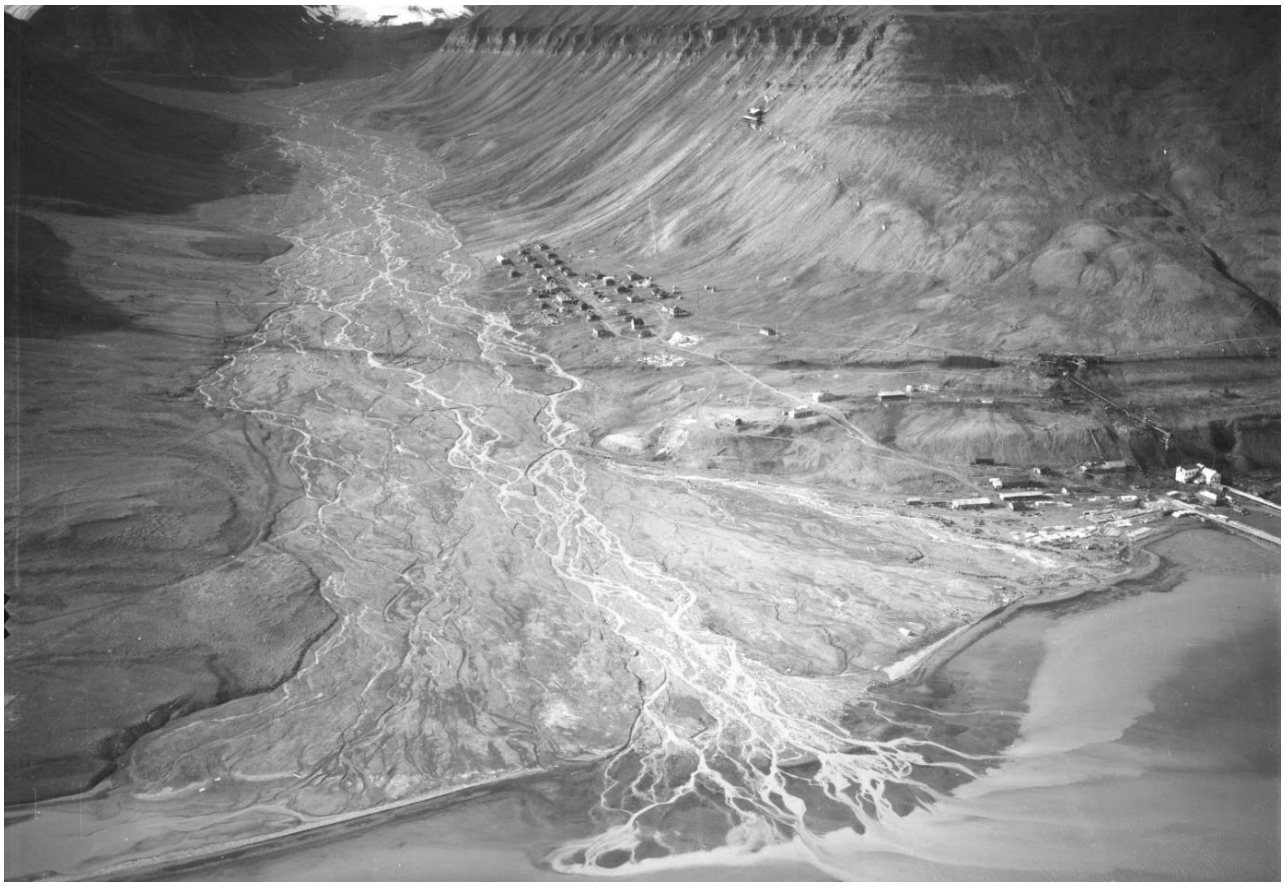
De aktuelle lokalitetene nevnt for Longyeardalen er merket på oversiktskart i Figur 2.



FIGUR 2: OVERSIKTSKART AKTUELLE LOKALITETER I LONGYEARDALEN

Det har vært betydelig landheving på Svalbard i tiden etter siste istid, og spor etter havet kan finnes høyt over dagens strandlinje. I ref. /11/ er det estimert at marin grense i Bjørndalen og på Vestpynten ligger minst 60 – 70 meter over havet. Det forventes at marin grense i Longyearbyen ikke avviker svært mye fra det som er estimert i Bjørndalen. For store deler av Longyeardalen må det derfor forventes marine sedimenter.

Opprinnelig bebyggelse i Longyearbyen var lokalisert på Skjæringa, nordvest i dalen. Dalbunnen var dominert av Longyearelva (se Figur 3).



FIGUR 3: FLYFOTO AV LONGYEARBYEN ÅR 1936 TATT SØROVER (TOPOSVALBARD.NPOLAR.NO)

Figur 4 viser dagens situasjon. Longyearbyen sentrum har nå i hovedsak beliggenhet på den gamle elvesletta, og elva er presset inn i et smalere løp langs vestre side av dalen.

FIGUR 4: FLYFOTO DAGENS SITUASJON (TOPOSVALBARD.NPOLAR.NO)

I 1995 utførte NGI grunnundersøkelser på Elvesletta, i et profil som strakk seg fra Sjøområdet i nord og ca. 1 km oppover dalen, til like nord for hvor vannledningsdalen møter Longyearelva. Disse undersøkelsene viser et generelt løsmasseprofil bestående av elvemasser av sand og grus over marin leire. Undersøkelsene viser også en økende salinitet nordover i dalen – mot sjøen.

Nede i Longyeardalen vil det generelt altså forventes å finne elvemasser over mer finstoffholdige masser av silt og leire. Det må forventes stedvis høy salinitet, og lokale islinser av varierende størrelse. For Skjæringa, samt oppover i Lia og i Gruvedalen vil grunnforholdene ha mindre grad av

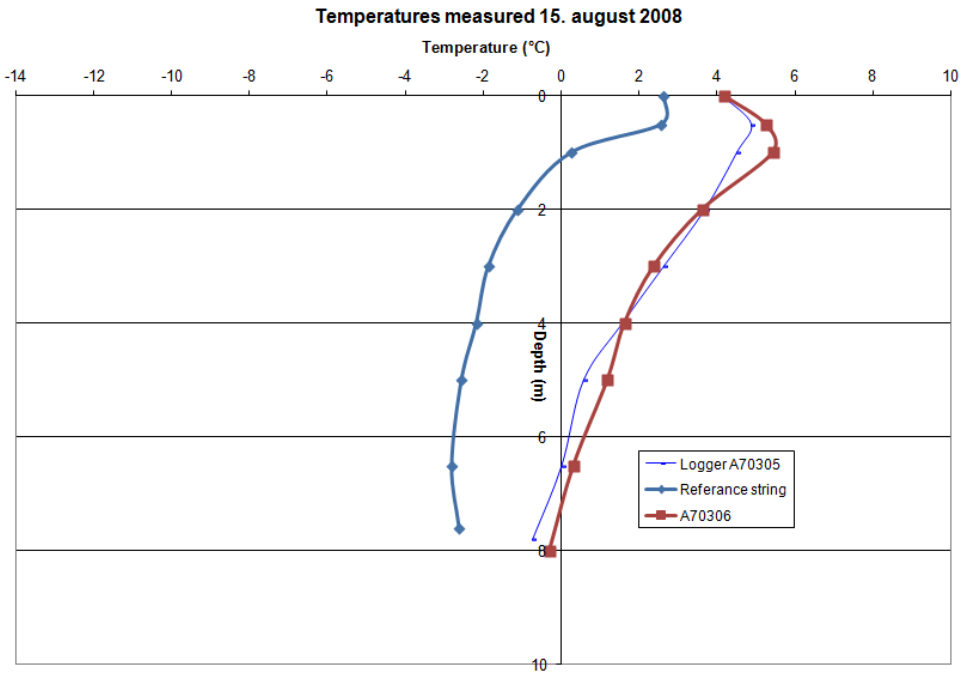
elvepåvirkning, og her forventes derfor større variasjoner fra forholdene nede i dalen. Oppover på Skjæringa og i Gruvedalen vil det blant annet forventes mindre dybder til berg. Også øverst på Haugen er det registrert til dels små dybder til berg.

Det er utført grunnundersøkelser flere steder i Longyearbyen i løpet av de siste ca. 30 årene. Undersøkelser utført for større og viktige bygg er oftest godt dokumentert, og flere av disse er referert til i denne rapporten. Det kjennes også til at det er utført flere, enklere former for grunnundersøkelser i forbindelse med mindre bygg, boligbygg etc. Disse er oftest ikke rapportert i egne grunnundersøkelsesrapporter, og er dermed vanskeligere å finne tilbake til.

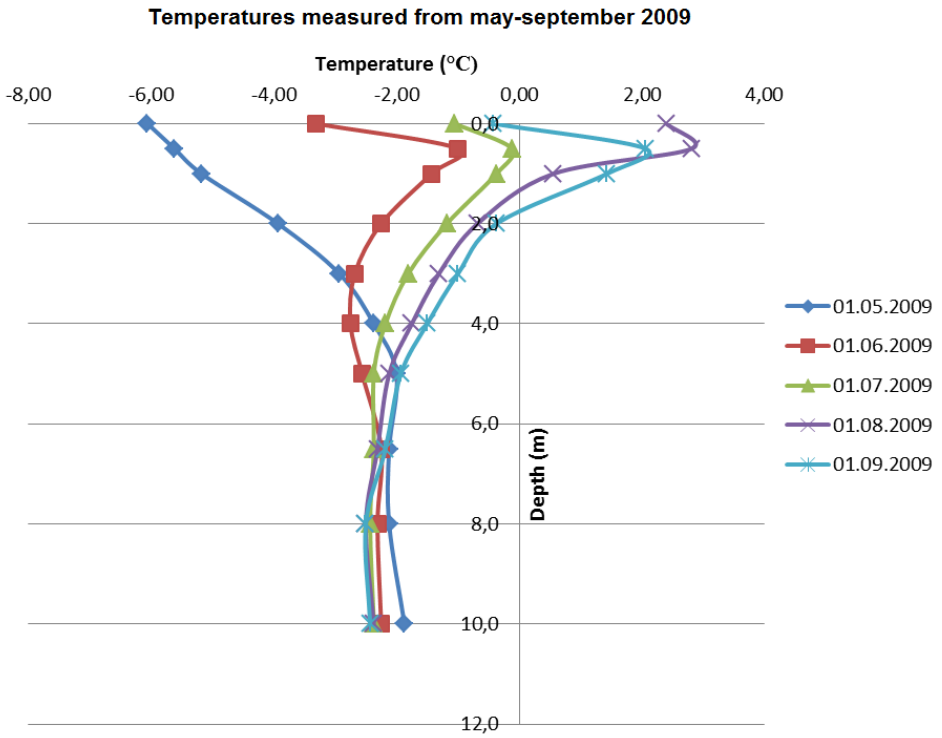
De videre avsnitt vil gå nærmere inn på forventede og registrerte grunnforhold ved ulike lokasjoner i Longyearbyen. I de tilfeller det er utført grunnundersøkelser vil dette også bli referert til.

Skjæringa (Svalbard kirke, Sysselmannsbygget, boliger og Statsbyggs kontorer)

Grunnforholdene på Skjæringa er i hovedsak kjent fra grunnundersøkelser utført ved Sysselmannsgården, samt erfaringer fra Sysselmannsbygget. Det finnes temperaturdata både fra en referansestreng installert nord for Sysselmannsgården samt for en termistorstreng installert like ved Telenorbygget. Grunnundersøkelser utført ved Sysselmannsgården i 2008 viser at grunnen i området i hovedsak består av sand og grus over silt og leire. Salinitet i prøvene ble målt til mellom 0,1 og 0,4 %, og vanninnhold ble funnet å ligge mellom 14,7 og 29,6 %. Bergnivå ved Sysselmannsgården ble funnet å ligge ca. 8 m under terreng ved denne undersøkelsen, men det må forventes potensielt store lokale variasjoner i dybde til berg i området ved Skjæringa. I forbindelse med undersøkelsene utført ved Sysselmannsgården ble det installert 3 stk. termistorstrenger, hvorav den ene av disse ble installert som en referansestreng, noe nord for selve bygget. Temperaturdata fra 2008 er vist i Figur 5 og antyder en temperatur i grunnen på ca. -2,5 °C fra ca. 5 m dybde. De to andre målingene vist på figuren er forstyrret av varme fra bygget. Dette samsvarer også med senere erfaringer fra Telenorbygget (se Figur 6), som også har beliggenhet på Skjæringa (/12/). Temperaturdataene antyder også et aktivt lag i området på i størrelsesorden 1-2 m.



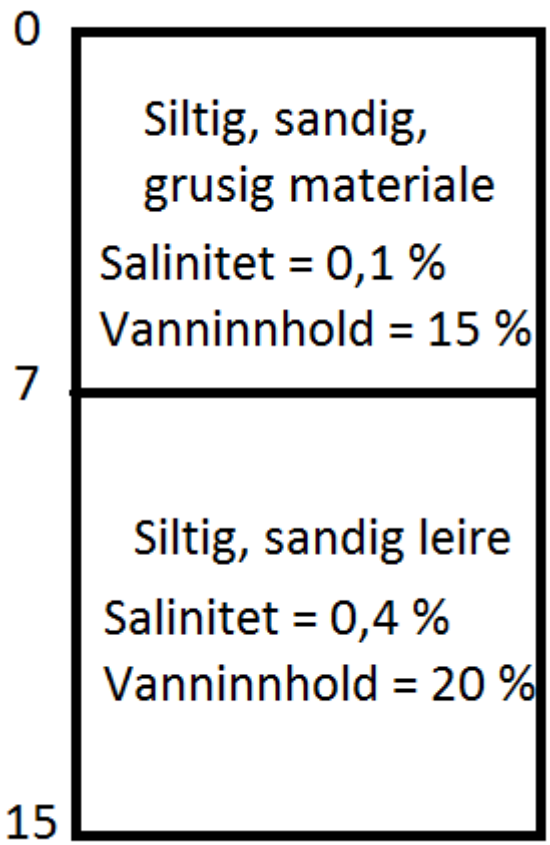
FIGUR 5: TEMPERATURMÅLINGER VED SYSSELMANNSGÅRDEN. TEMPERATUR FRA REFERANSESTRENGEN ER VIST VED BLÅ, KRAFTIG LINJE (FRA REF. /12/)



FIGUR 6: TEMPERATURER MÅLT VED TELENORBYGGET (REF. /12/)

I forbindelse med utvidelsen av Sysselmannsbygget (adm.bygget) ble det gjort boringer i 2 punkter i området for det planlagte tilbygget. Boringene ble utført av LNS Spitsbergen, med laboratorieundersøkelser av Multiconsult. Begge boringene ble utført til 15 m dybde, og det er ikke nevnt å ha påtruffet berg. Boreresultatene antyder i hovedsak siltig, sandig, grusig materiale over sandig, siltig leire. Borhull 2 viser økende vanninnhold med dybden, fra 10,4 – 21,8 %. Borhull 1 viser vanninnhold økende fra 10,7 ved 1,5 m, til 21,5 % ved 12 m. Dypeste prøven i dette hullet er fra 15 m, og har et målt vanninnhold på 14,2 %. Det ble ikke installert egne temperaturstrenger ved Sysselmannsbygget, men ble benyttet data fra referansestrengen installert ved Sysselmannsgården.

Ved valg av jordprofil for de geotermiske beregningene er det lagt mest vekt på undersøkelsene fra Sysselmannsbygget. Det er benyttet et jordprofil som vist i Figur 7.



FIGUR 7: BENYTTET JORDPROFIL FOR SKJÆRINGA VED SYSSELMANNSBYGGET

Sjøområdet (Lager Statsbygg og sjøgarasjen)

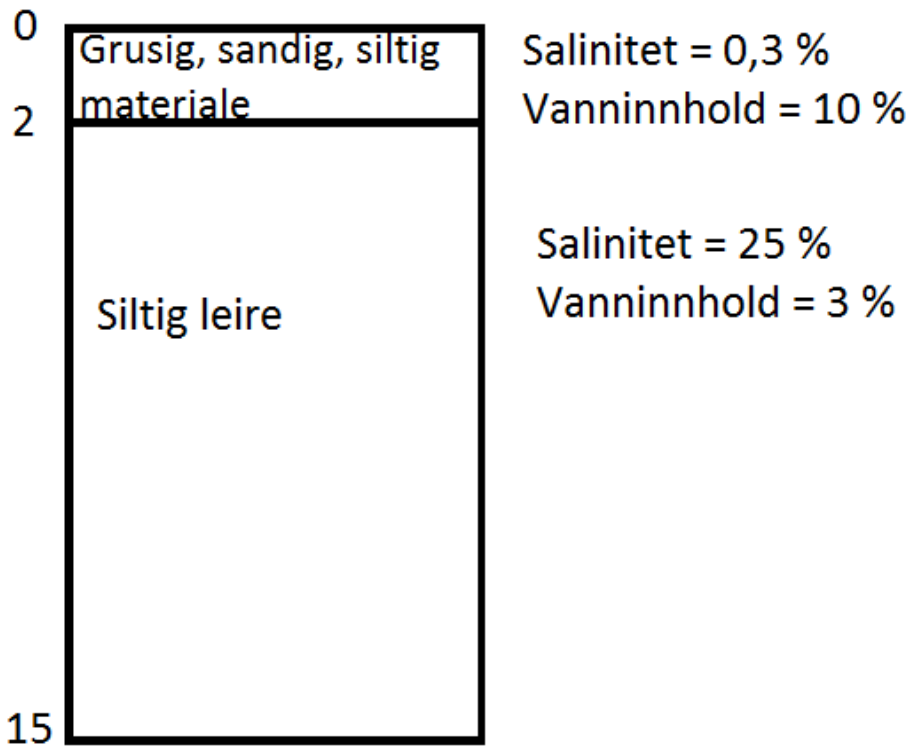
Sjøområdet består delvis av elvedelta, hvor Longyearelva møter Adventfjorden, og delvis av utfylt område, hvor det er fylt ut i sjøen vestover mot flyplassen. Det er i flere omganger utført grunnundersøkelser i sjøen, som viser at grunnforholdene i stor grad består av normalkonsolidert, bløt til middels fast leire (ref. /8/). Det kjennes ikke til om det er utført grunnundersøkelser ved de aktuelle byggene i sjøområdet, men generelt forventes det å være stor grad av dårlig byggegrunn

med stort setningspotensiale i området, med masser bestående av elvemasser av grus, sand og silt over mer leirige sedimenter. På grunn av nærheten til fjorden forventes det høye temperaturer i bakken og høy salinitet.

Forskningsparken

NGI utførte i 2002 grunnundersøkelser på stedet for byggetrinn 2 av forskningsparken. Det ble boret i 7 punkter, med opptak av til sammen 102 poseprøver (ref. /7/). Terrengnivået i området ble funnet å variere mellom ca. +8 og +11. Det ble boret inntil 15 m i de dypeste hullene, men ble ikke truffet berg i noen punkter.

Løsmassene på tomten ble funnet å bestå av et ca. 2 – 2,5 m tykt topplag av grusig, sandig, siltig jordmateriale, med vanninnhold på ca. 10% og saltinnhold i størrelsesorden 2 – 4 g/l. Under topplaget ble det funnet siltig leire med innhold av sand og grus. Vanninnholdet ble funnet å variere fra 20 – 30 %, og saliniteten ble funnet å være økende fra ca. 3 g/l ved kote +8 til ca. 35 g/l ved kote -2. I de fleste borpunktene ble det rapportert om is ned til ca. 4 -5 m dybde. I et av punktene ble det rapportert om is også ved 10 m dybde. Jordprofilet benyttet for de geotermiske beregningene er vist i Figur 8. Det foreligger ikke temperaturmålinger på stedet.

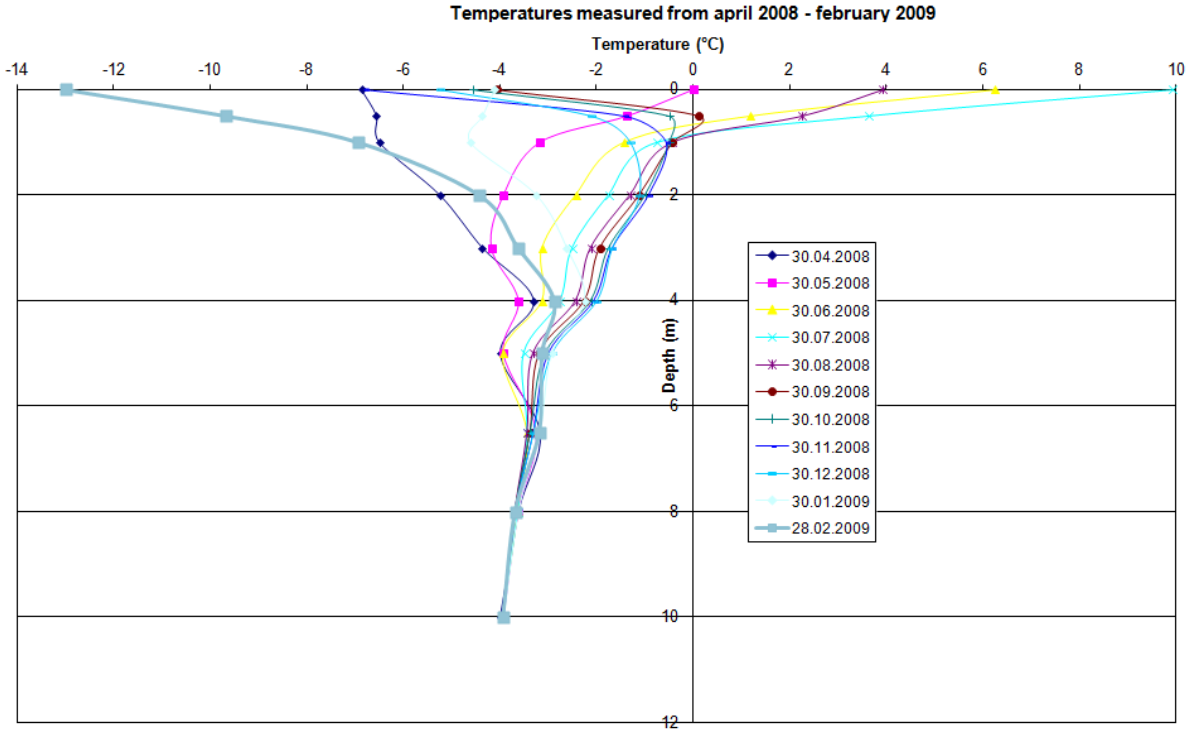


FIGUR 8: BENYTTET JORDPROFIL FOR FORSKNINGSPARKEN

Sentrum (Post og bankbygget og boliger)

I forbindelse med planleggingen av nytt Allaktivitetshus i Longyearbyen ble det i 2008 utført grunnundersøkelser på tomten like nord for Næringsbygget, som ligger ca. 60 m nordvest for Post- og bankbygget. Det ble også installert en termistorstreng for måling av temperatur i grunnen. Undersøkelsene viste et ca. 1 m tykt topplag av fyllmasser, over masser av silt og leire med varierende sandinnhold. Mektigheten på aktivt lag ble vurdert til ca. 1,5 m, og det ble funnet mye is ved overgangen fra aktivt lag til permafrost. Også i større dybder (6-7 m dybde) ble det observert islinser med tykkelse opp til flere cm.

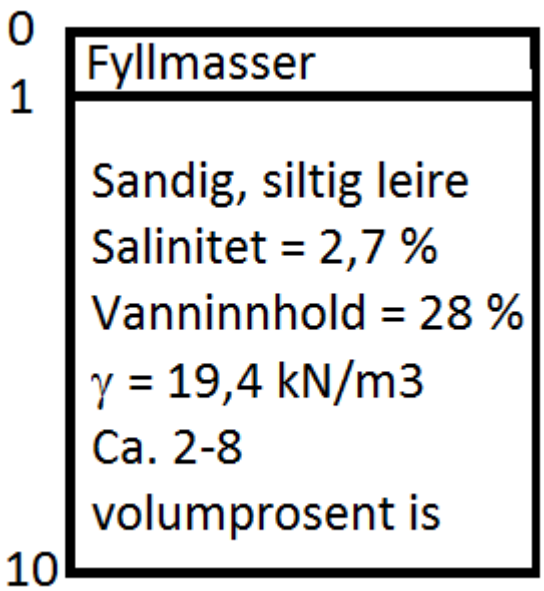
Det ble målt et vanninnhold i prøvene varierende fra 22 – 40 %, og salinitet fra 0,4 – 2,7 %. Temperaturprofilet er basert på målinger utført fra april 2008 til februar 2009, og viser en temperatur i dybden på ca. -4 ^{o}C.



FIGUR 9: TEMPERATURER MÅLT FOR KULTURHUSET (FRA REF. /12/)

Det er kjent at det ved planlegging av Post- og bankbygget også ble avdekket mye is i grunnen, og at det der ble foretatt masseutskifting av isrike masser /5/. Det er ikke kjent til hvilken dybde masseutskiftingen ble utført, men det regnes som lite sannsynlig at det ble masseutskiftet noe særlig mer enn mektigheten av aktivt lag.

Figur 10 viser jordprofilet benyttet i geotermiske beregninger for sentrumsområdet. Det er sett på sentrum generelt, og ikke utført beregninger spesielt for Post- og bankbygget. Masseutskiftingen for Post- og bankbygget er derfor ikke tatt hensyn til i beregningen.



FIGUR 10: JORDPROFIL BENYTTET FOR SENTRUMSOMRÅDET

Haugen (Boliger)

Det er ikke funnet grunnundersøkelser utført på Haugen. Det er imidlertid kjent at det ved boring rundt Spitsbergen Hotel ble funnet relativt små dybder til berg (i størrelsesorden <10m), med minste dybder på østsiden mot Gruvefjellet.

Gruvedalen (felt B14 - planlagt område for boligbygging)

Instanes AS utførte våren 2017 vurderinger knyttet til byggegrunn og fundamentering av boligbygg i felt B14 i Gruvedalen. Vurderingene som ble utført var basert på boringer og prøvetaking, med laboratorieundersøkelser av løsmassene. For detaljer vedrørende boremetoder og -resultater henvises det til ref. /9/.

Det aktuelle området ligger i hellende terreng, med terrenghelning generelt varierende mellom 8-15° på tomtens lavereliggende del, med noe brattere helning (20-24° med lokale brattheng) i de høyereliggende områdene.

Det ble boret i 5 lokasjoner, og boringene viste en løsmasseoverdekning på 1-3 m i de borete lokasjonene. Bergoverflaten er løs de øverste meterne, og boringene antyder slepper (sprekker i berget) med is.

Det ble målt temperaturer i grunnen over en 24-timers periode 19.-20. april 2017. Målingene viste en temperatur på 6,2 m dyp på ca. -2,2 ^{o}C.

På grunn av de små løsmasseoverdekningene anbefaler ref. /9/ fundamentering på utstøpte stålrørspeler, evt. masseutskifting til fast berg. Håndtering av overflatevann er nevnt som en viktig faktor i videre planlegging av prosjektet.

«Melkeveien» (planlagt område for boligbygging)

Rambøll har utført vurdering av grunnforholdene i et område nord for vei 503 (Melkeveien). Området er planlagt benyttet for boligbygging, og undersøkelsene ble utført våren 2017. Detaljer om utførelsen kan finnes i ref. /10/.

Det ble utført 8 fjellkontrollboringer på tomten, som viste dybder til berg varierende fra 9 til 19 m. Borrapporten antyder at det i hovedsak er boret i morene, med enkelte islinser med tykkelser i størrelsesorden 10-20 cm. I et av borpunktene er det rapportert om leire.

Ref. /11/ gir ingen anbefalinger vedrørende fundamenteringsmetoder.

2.3.4 Kjell Henriksen Observatoriet

Kjell Henriksen Observatoriet har beliggenhet på Breinosa, lenger inn i Adventdalen i forhold til Longyearbyen. Observatoriet ligger på ca. kote +500. Det er antatt å være relativt beskjedne dybder til berg på stedet, men det er ikke utført grunnundersøkelser som eventuelt kan bekrefte dette. /8/ inneholder imidlertid sammendrag fra undersøkelser utført ved EISCAT, som har beliggenhet ca. 100 m lavere ned på Breinosa. Iht. ref. /8/ ble det ved EISCAT funnet relativ små dybder til berg, med dybder varierende fra ca. 2 – 5 m. Løsmassene ble der karakterisert som en siltrik morene. Aktivt lag ble visuelt vurdert til 1 m. Kjell Henriksen Observatoriet har beliggenhet ca. 100 høydemeter over EISCAT, og grunnforholdene forventes ikke å være dramatisk avvikende fra forholdene funnet ved EISCAT. Peleplan for Kjell Henriksen Observatoriet angir at pelene skal installeres til berg eller i permafrost, men innboringslengder er ikke spesifisert. Basert på topografien i området, samt boringene fra EISCAT forventes det at pelene sannsynligvis er installert til berg.

3 Dagens situasjon – generelt om fundamentering og tilstand

3.1 Generelt om bygging i kaldt klima

Permafrost er definert ved grunn som er permanent frosset, og ikke tiner i løpet av sommeren. Over permafrostlaget vil det befinne seg et «aktivt lag» som tiner om sommeren og fryser til igjen om vinteren. Ved bygging i permafrostområder er det generelt ønskelig å unngå å forstyrre temperaturprofilet i grunnen. Dette innebærer å unngå inngrep som kan tilføre varme til grunnen, men også å fortsatt tillate at de lave vintertemperaturene får trenge ned i grunnen på vinteren. En vanlig misforståelse ved bygging på permafrost er at temperaturøkning i grunnen kan unngås ved bruk av store mengder isolasjon. Bruk av isolasjon i for stort omfang vil imidlertid også isolere ute kulden om vinteren (varmestrøm fra jorden til atmosfæren).

En typisk byggemetode for bygg i permafrostområder er å løfte byggene opp over terrengoverflaten, enten på betongfundamenter eller på peler, dette for å tillate sirkulasjon av luft under bygget.

For bygg med ønske om lang levetid, eller med lav toleranse for setninger, kan det være aktuelt å benytte aktive kjøleteknikker for å holde temperaturprofilet i bakken kunstig lavt. Både metoder som ventilert fylling og bruk av kjøleplate er benyttet på Svalbard (ref. /12/).

For fundamentering på fryse-/tinestabile masser, evt. på berg, er det i prinsippet ikke nødvendig å ta hensyn til permafrosten, og det kan benyttes fundamenteringsteknikker som vanlig for ikke-permafrost områder. Dette forutsetter imidlertid at det ikke finnes islinser i grunnen som kan tine.

3.2 Fundamentering og geoteknikk

3.2.1 Bæreevne- og setningsanalyser

Frosset jord har generelt svært god bæreevne, men bæreevnen vil normalt reduseres dersom temperaturen i grunnen stiger, og vil potensielt kunne reduseres dramatisk dersom temperaturen stiger til det punkt at permafrosten tiner. Ved svært høye vanninnhold eller mye is i grunnen vil jorden være svært sensitiv for tining, der bæreevnen i utgangspunktet er svært god, men blir tilnærmet null ved tining. Konsekvensen av tining kommer i de fleste tilfeller gradvis og vil ikke være like dramatisk som brudd i for eksempel sensitive leirer. Ved fundamentering på frosne masser er det imidlertid en forutsetning at massene holdes frosne gjennom byggets levetid. Unntakene er dersom det fundamenteres på godt berg uten store islinser, eller på fryse-/tinestabile masser som for eksempel sprengstein.

Da bæreevnen til frossen jord normalt er svært god er det erfaringsmessig tillatte setninger som blir bestemmende for hvor mye et fundament eller en pel kan belastes. Frosset jord vil være utsatt for krypsetninger når den belastes. Dette er tidsavhengige setninger som utvikler seg over tid, og som kommer av at is i porene får jorden til å oppføre seg som en seigtflytende veske. Hvor raskt disse setningene utvikler seg vil i stor grad avhenge av is-innhold og det ufrossete vanninnholdet i massene. Dette igjen er sterkt avhengig av blant annet salinitet og temperatur. Økende temperatur må med andre ord påregnes å medføre både dårligere bæreevne og større setningshastigheter, noe som vil kunne medføre konsekvenser med alt fra noe økt vedlikeholdsbehov til store skader og til slutt kollaps.

I arktiske strøk anbefales normalt en noe kortere levetid på konstruksjoner enn hva som er standard på fastlandet. Uten tiltak som for eksempel kunstig kjøling er det urealistisk å forvente en levetid på mer enn ca. 30-50 år uten omfattende vedlikeholdsbehov. For Statsbygg sine nye bygg skal det gås ut fra en levetid på 60 år, noe som kan medføre at det må påregnes andre fundamenteringsmetoder enn det som tradisjonelt har vært benyttet på Svalbard.

Mange av dagens bygninger i Longyearbyen har allerede overskredet forventet levetid, noe som i hovedsak kommer til syne som setninger av varierende grad. Enkelte av disse byggene har gjennomgått omfattende rehabilitering og refundamentering, med det formål å forlenge levetiden. Andre bygg, typisk de eldre boligbyggene, må vurderes om det vil være mest hensiktsmessig å bygge nytt fra grunnen av.

3.2.2 Skråningsstabilitet, skred og flom

Iht. delrapport 1 er det beregnet at både årsnedbør og sesongnedbør forventes å øke. En økende del av nedbøren forventes også å komme i form av regn, og nedbørsmengden på dager med kraftig nedbør er beregnet å øke.

Vindstyrken er beregnet å avta noe, blant annet i Longyearbyen-området, men stormaktiviteten i Barentshavet er forventet å øke.

Det er kjent at svært kraftig nedbør øker skredrisikoen, og det må derfor påregnes at antall skredhendelser potensielt kan øke dersom det i fremtiden blir et økende antall ekstremværhendelser med sterk nedbør.

Det pågår forskningsarbeid, blant annet ved Universitetssenteret på Svalbard (UNIS), som analyserer historisk stormfrekvens og styrke, samt effekter av klimaendringer på ekstreme værhendelser. Resultatene fra forskningsprosjektene forventes å foreligge i løpet av de nærmeste årene.

Det vises også til NVEs rapport nr. 91-2016, som omfatter skredfarekartlegging i utvalgte områder på Svalbard.

4 *Utførte beregninger og vurderinger*

4.1 Geotermiske analyser

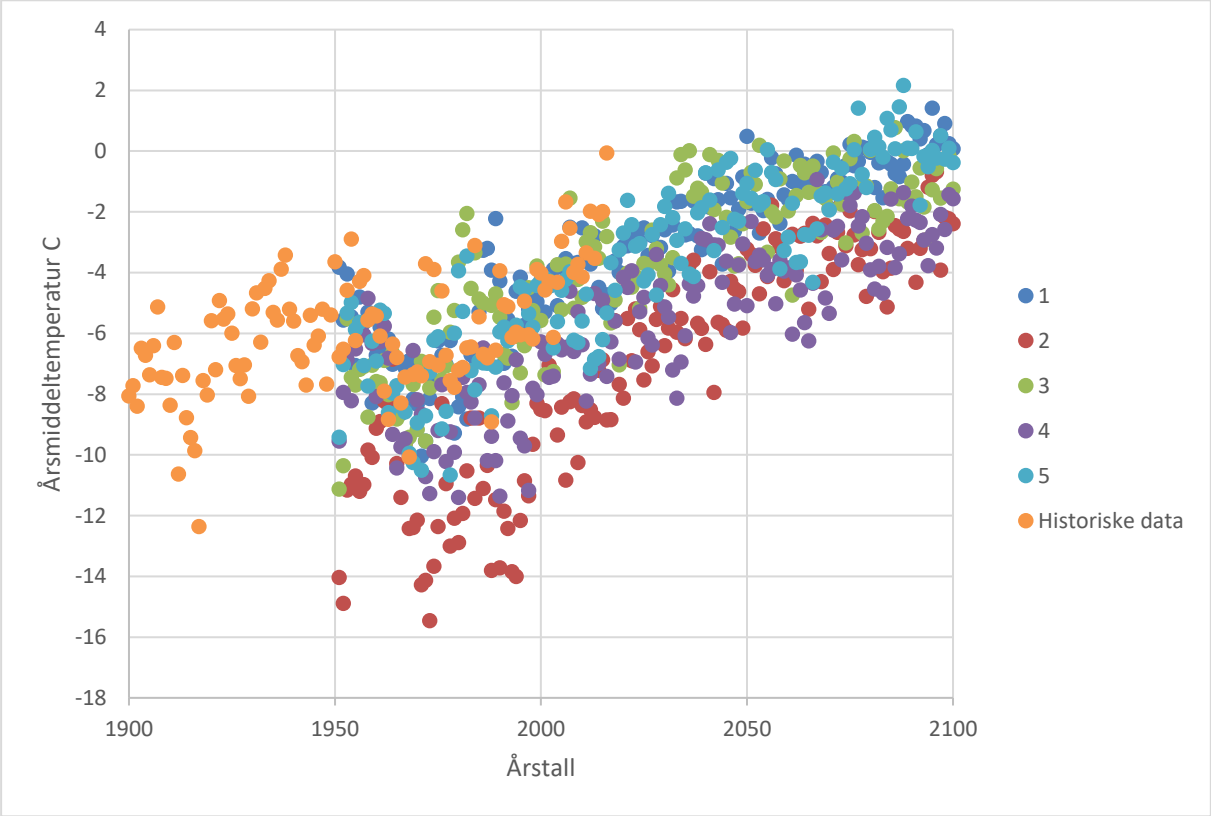
For å få et bedre grunnlag for å vurdere konsekvens av de modellerte klimaendringene på ulike steder i og rundt Longyearbyen er det utført flere geotermiske analyser med elementprogrammet Temp/W, utviklet av Geo-Slope International ltd. Analysene er utført som forenklede 1-D modeller. Dvs. at den faktiske topografien på stedet, samt konstruksjoner og annen infrastruktur ikke er medtatt i modellene. Det er benyttet historiske klimadata for å modellere en «nå-tilstand» for temperaturprofil i bakken. Beregnet fremtidig temperaturutvikling fra delrapport 1 er deretter benyttet for å beregne hvordan utviklingen i lufttemperatur vil påvirke temperaturen i permafrosten. Effekten av blant annet snødekke og overlateavrenning av vann er ikke medtatt i beregningene. Dette er rimelige antagelser, da byggegrunn i permafrostområder i prinsippet skal holdes snøfrie (det skal ikke være snøakkumulasjon rundt eller under bygg) og overflatevann skal ikke demmes opp eller erodere byggegrunn.

Det foreligger omfattende data med forventet temperaturutvikling for Svalbard lufthavn frem til 2100. For hele Longyearbyen er det benyttet temperaturer som beregnet for Svalbard Lufthavn. Det er ikke utført egne beregninger for Frøhvelvet, da dette anlegget er omfattet av egne prosjekter. Kjell Henriksen Observatoriet er antatt fundamentert til berg, og en eventuell temperaturøkning i permafrosten vil derfor ikke påvirke hverken bæreevnen eller setninger for dette bygget. Et potensielt våtere klima kan imidlertid tenkes å påvirke selve pelematerialet, og dette vil bli nærmere diskutert i delrapport 3.

Som nevnt i kapittel 2.2.1 er det prioritert temperaturdata fra Arctic CORDEX, for utslippsscenario RCP4.5 for de geotermiske beregningene. Det er mottatt 5 dataserier for Arctic CORDEX RCP4.5, og

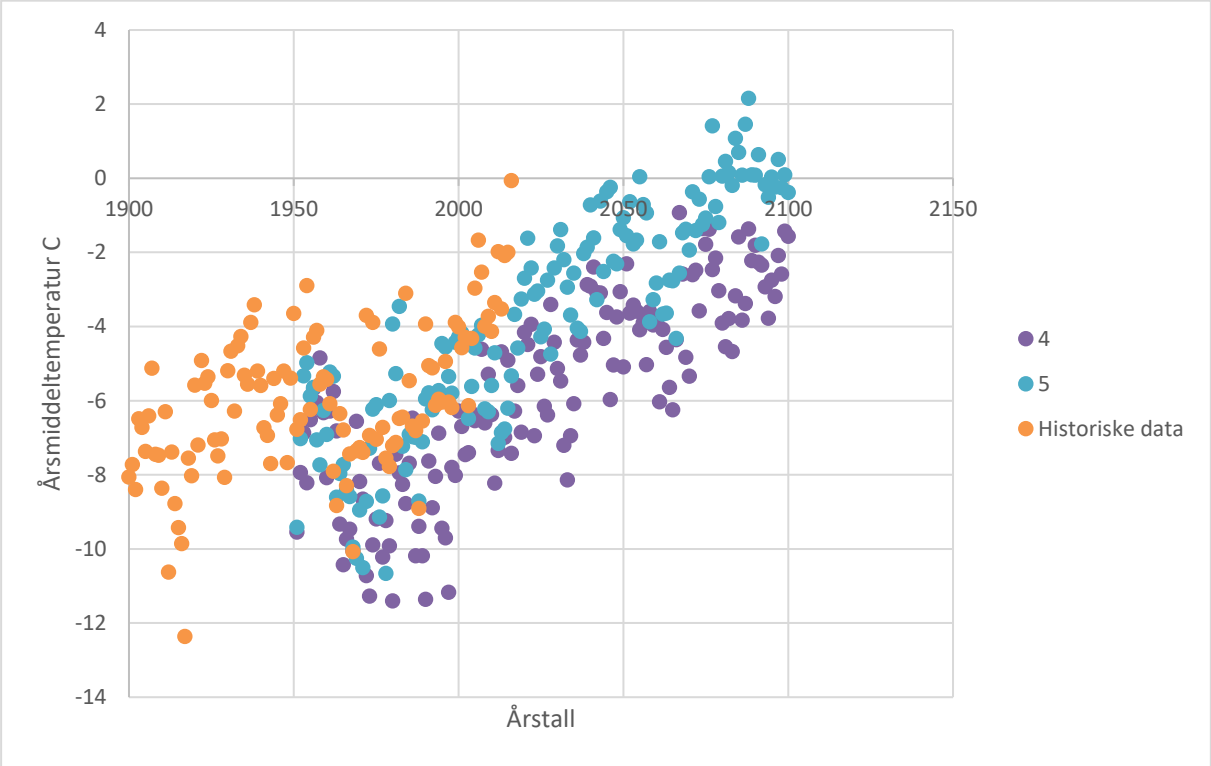
data er oppgitt som modellert månedsmiddeltemperatur, fra 1951 – 2100. Meteorologisk institutt har påpekt at usikkerhetene i estimatene etter år 2100 er så stor at det ikke er hensiktsmessig å gjøre detaljerte analyser for tidsrommet etter 2100. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) har antydet kun en moderat økning i global middeltemperatur etter år 2100 for utslippsscenario RCP4.5 (se www.ipcc.ch)

For å vurdere hvilke dataserier å benytte i videre modellering ble årsmiddeltemperatur for alle fem dataseriene plottet sammen med historiske temperaturmålinger fra Svalbard Lufthavn (se Figur 11). De historiske målingene strekker seg fra 1912 til 2016, mens de modellerte dataene omfatter perioden 1951 – 2100.



FIGUR 11: MODELLERT ÅRSMIDDELTEMPERATUR MOTTATTE DATASERIER FRA ARCTIC CORDEX RCP4.5

Det ble valgt å utføre geotermiske beregninger med temperaturinput fra serie 4 og serie 5, hvor serie 5 antyder noe høyere temperaturutvikling enn serie 4 fra slutten av 1970-tallet. For å bedre synliggjøre forskjellen mellom de to valgte seriene er data fra serie 1-3 fjernet, og bare serie 4 og 5 (samt historiske data) presentert i Figur 12.



FIGUR 12: MODELLERT ÅRSMIDDELTEMPERATUR SERIE 4 OG 5

Både serie 4 og serie 5 samsvarer ganske bra med observerte årsmiddeltemperaturer i tidsrommet ca. 1960 til begynnelsen av 1970-tallet. Etter denne perioden samsvarer serie 5 bedre med de målte verdiene, frem til begynnelsen av 2000-tallet. I perioden fra begynnelsen av 2000-tallet og frem til og med 2016 ligger de faktisk observerte årsmiddeltemperaturene på Svalbard lufthavn høyere enn de modellerte temperaturene fra serie 5. Modelleringen synes med andre ord å underestimere temperaturøkningen for de siste ca. 15 år.

Beregningene er bygget opp på følgende måte:

1. Et *steady-state* analyse, for å etablere et «startpunkt» med en konstant temperatur i hele profilet/elementnettet.
2. En *transient* analyse som kjøres fra 1912 – 2016, ved å benytte månedsmiddel temperaturdata målt ved Svalbard lufthavn som grensebetingelse for overflatetemperatur
3. En *transient* analyse kjørt fra 2017-2100, hvor det er benyttet modellerte månedsmiddeltemperaturer som grensebetingelse for overflatetemperatur.

Det er benyttet jordprofiler med mektighet i størrelsesorden 90 m. For steady-state analysen er det lagt inn grenseverdi på -3°C for topp av profilet, og -1,5^{o}C i bunn av profilet. Den transiente analysen er kjørt uten en definert grensebetingelse i bunn av profilet.

Hver «delanalyse» har resultatene fra «opphavsanalysen» som startpunkt. Det er kjørt beregninger for både serie 4 og serie 5.

Både serie 4 og serie 5 representerer resultater fra utslippsscenario RCP4.5. Det er imidlertid stor forskjell på temperaturutviklingen for de to seriene. Hvor høyeste årsmiddeltemperatur i perioden 2017-2100 ligger på ca. -1 grad for serie 4, så viser serie 5 beregnede årsmiddeltemperaturer i samme periode som på et tidspunkt overstiger +2 grader. Dette illustrerer noe av usikkerheten i denne type vurderinger. Da serie 5 samsvarer best med de faktisk observerte temperaturer de siste årene er det valgt å fokusere på disse resultatene i selve rapporten. Resultater fra beregninger med serie 4 kan finnes i vedlegg 1, sammen med en tabell som oppsummerer resultatene både fra beregninger med serie 4 og med serie 5.

4.1.1 Svalbard Globale Frøhvelv

Da det pågår egne prosjekter for å sikre Frøhvelvet, er det ikke utført egne geotermiske beregninger for hvelvet i denne rapporten.

4.1.2 Longyeardalen

Det er utført geotermiske analyser for tre ulike lokaliteter i Longyeardalen: Forskningsparken, Sentrumsområdet og Skjæringa. For sentrumsområdet er grunnundersøkelser utført for Kulturhuset benyttet som grunnlag. For Skjæringa er det benyttet grunnlag fra Sysselmannsgården og Sysselmannsbygget. For Forskningsparken er det benyttet datagrunnlag fra de utførte grunnundersøkelsene for byggetrinn 2.

Skjæringa:

I Figur 13 vises beregnet temperaturutvikling for dybder på 10 og 20 m. I 2009 ble det gjort en temperaturmåling til 7,5 m dybde ved Sysselmannsgården, og resultat fra denne er lagt inn sammen med beregnet temperatur fra samme dybde og årstall. For å undersøke effekten på aktivt lag er det tatt ut temperatur for mindre dybder, og plottet i eget diagram i Figur 14.

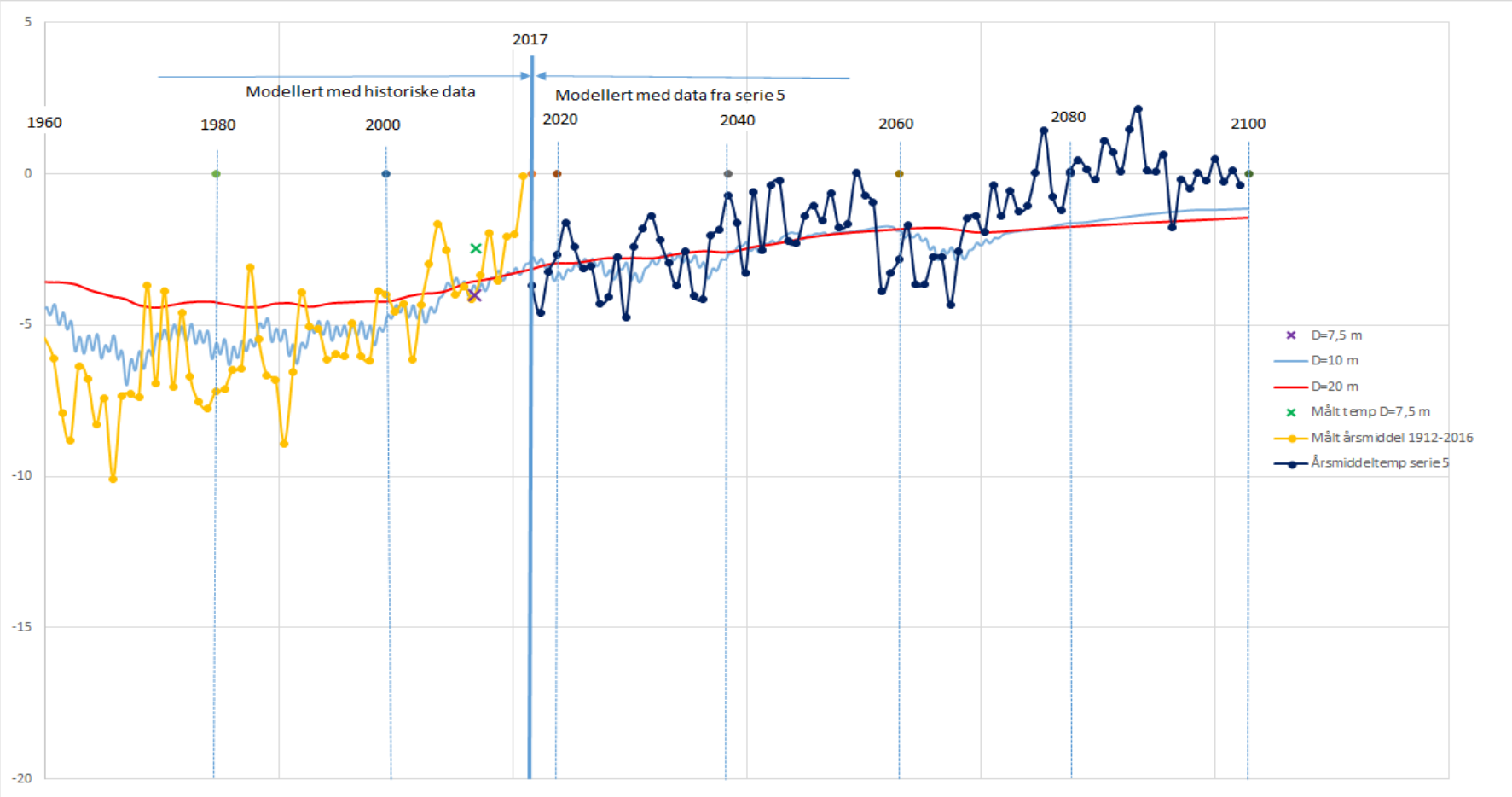
Beregningene er kjørt fra år 1912. Beregnede temperaturer de første årene vil imidlertid være påvirket av det «kunstige» temperaturprofilet satt opp i steady-state analysen, og det er derfor valgt å vise beregningsresultatene fra 1960 og fremt til 2100.

Figuren viser hvordan påvirkningen fra endring i lufttemperatur blir mindre på større dybder i grunnen. Beregnede temperaturer fra 10 m dybde har en tydelig amplitude som responderer (med noe tidsforsinkelse) på de årlige variasjonene i lufttemperatur. Ved 20 m dyp er imidlertid de beregnede temperaturene mindre påvirket av tilfeldige fluktuasjoner i temperaturene på overflaten, og mer påvirket av langsiktige trender i lufttemperatur. Figuren viser også at temperaturen ved 20 m dyp frem til ca. år 2000 generelt har vært høyere enn den målte årsmiddeltemperaturen. Den raske oppvarmingen som er observert i Longyearbyen etter år 2000, har medført at temperatur ved 20 m etter år 2000 ligger nærmere observert – og etterhvert modellert – årsmiddellufttemperatur. Fra ca. år 2070 ligger beregnet temperatur i dybden lavere enn modellert årsmiddeltemperatur. Dette illustrerer at temperaturøkning i luft går relativt raskt, mens temperaturen i dybden får en tidsforsinkelse og ikke klarer å «holde følge».

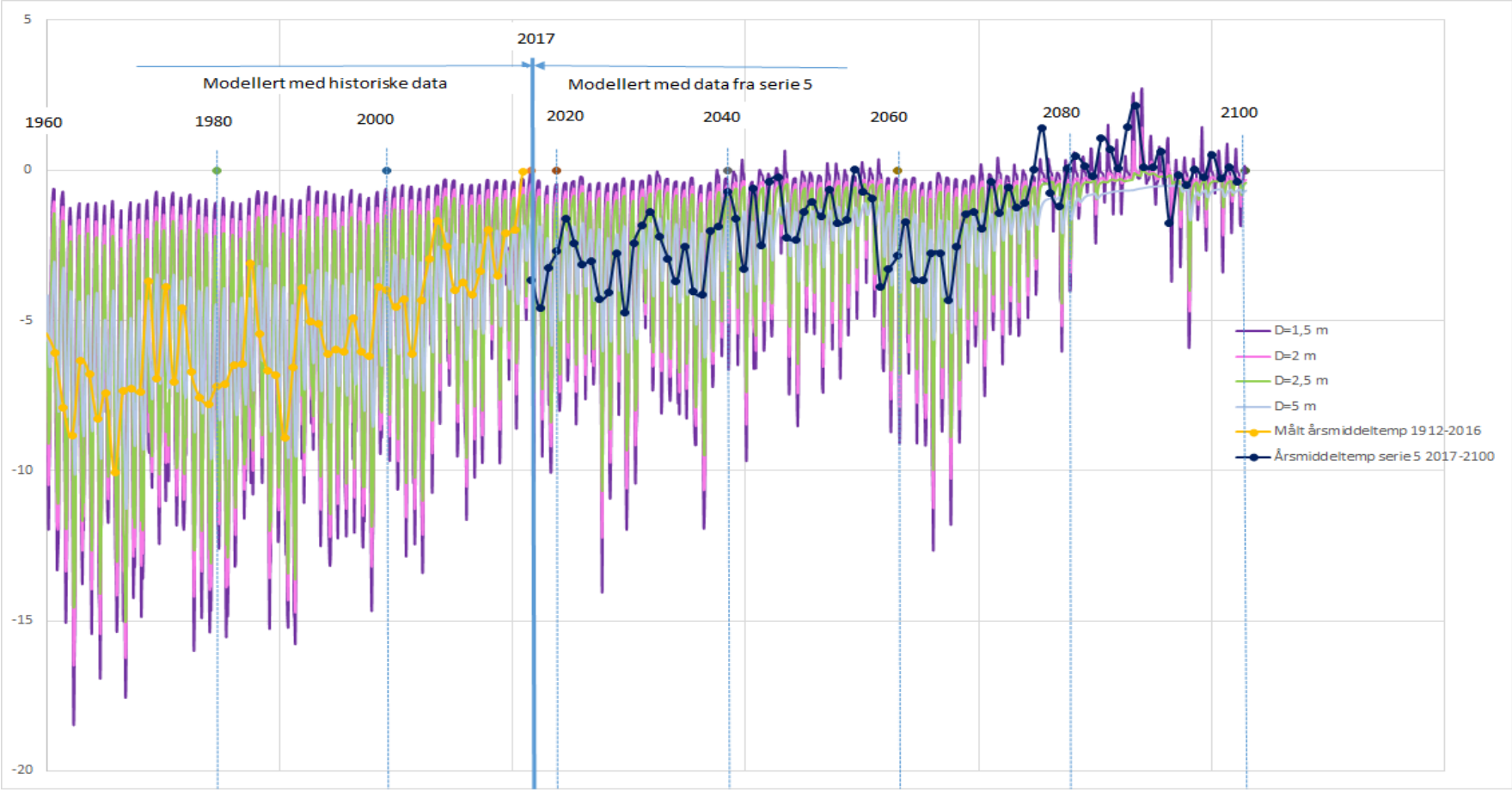
Figuren viser også målt temperatur på 7,5 m dyp i 2009. Målingen er utført i en referansestreng plassert nord for Sysselmannsgården. Målinger fra denne strengen viser noe høyere temperatur enn beregnede temperaturer fra samme dybde og tidsrom. Da modellen ikke tar hensyn til effekter av

f.eks. solstråling, vann og snødekke er dette en antydning om at de faktiske temperaturene på Skjæringa kan være høyere enn modellert.

Merk at det for beregningene av temperaturer i grunnen er tatt ut temperaturer ca. for hver måned i perioden 1960-2100. Lufttemperaturer er imidlertid presentert som årsmiddeltemperaturer.



FIGUR 13: BEREGNET TEMPERATURUTVIKLING PÅ SKJÆRINGA – DYBDE 20 M, 10 M OG 7,5 M



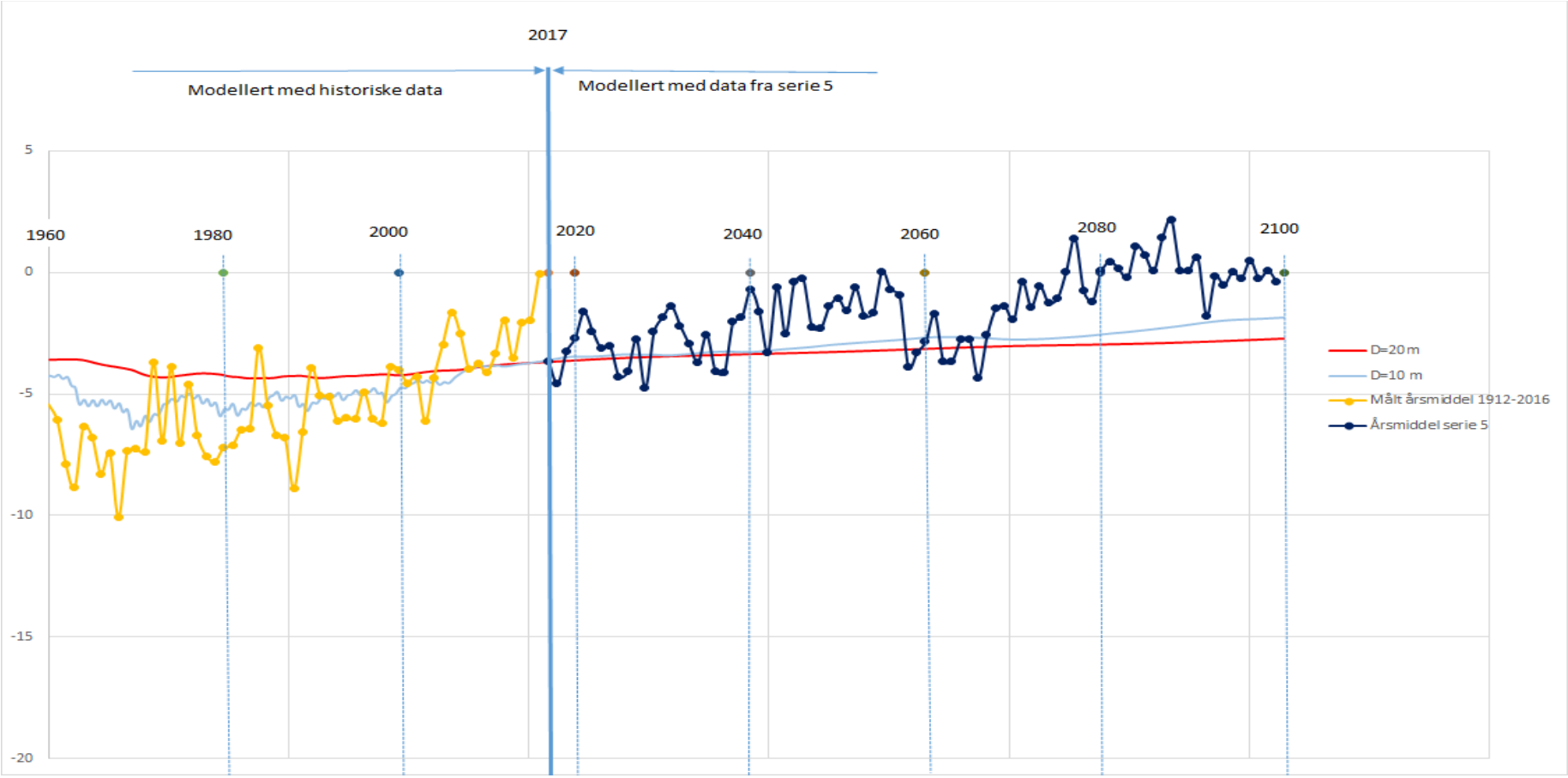
FIGUR 14: BEREGNET TEMPERATURUTVIKLING PÅ SKJÆRINGA - DYBDE 1,5M, 2 M, 2,5 M OG 5 M

Figur 14 viser at beregnet aktivt lag per i dag ligger på i underkant 1,5 m. Dette samsvarer godt med observert mektighet aktivt lag på Skjæringa. Mot år 2100 antyder beregningene en økning i aktivt lag til i størrelsesorden 2,5 m. Det er imidlertid antydet svært høye temperaturer helt ned til 5 m dybde. Det er kjent at det kan finnes stedvis høyt saltinnhold i porevannet for massene på Skjæringa, noe som medfører at frysepunktet for massene kan ligge noe lavere enn 0 °C. Liten løsmasseoverdekning i området kan potensielt medføre at grunnen ved år 2100 i praksis vil være tint til berg enkelte steder på Skjæringa. For fremtidig bygging i dette området vil det derfor være nærliggende å vurdere fundamenteringsmetoder som er mer vanlig i ikke-permafrostområder, det vil si masseutskifting eller peler til berg

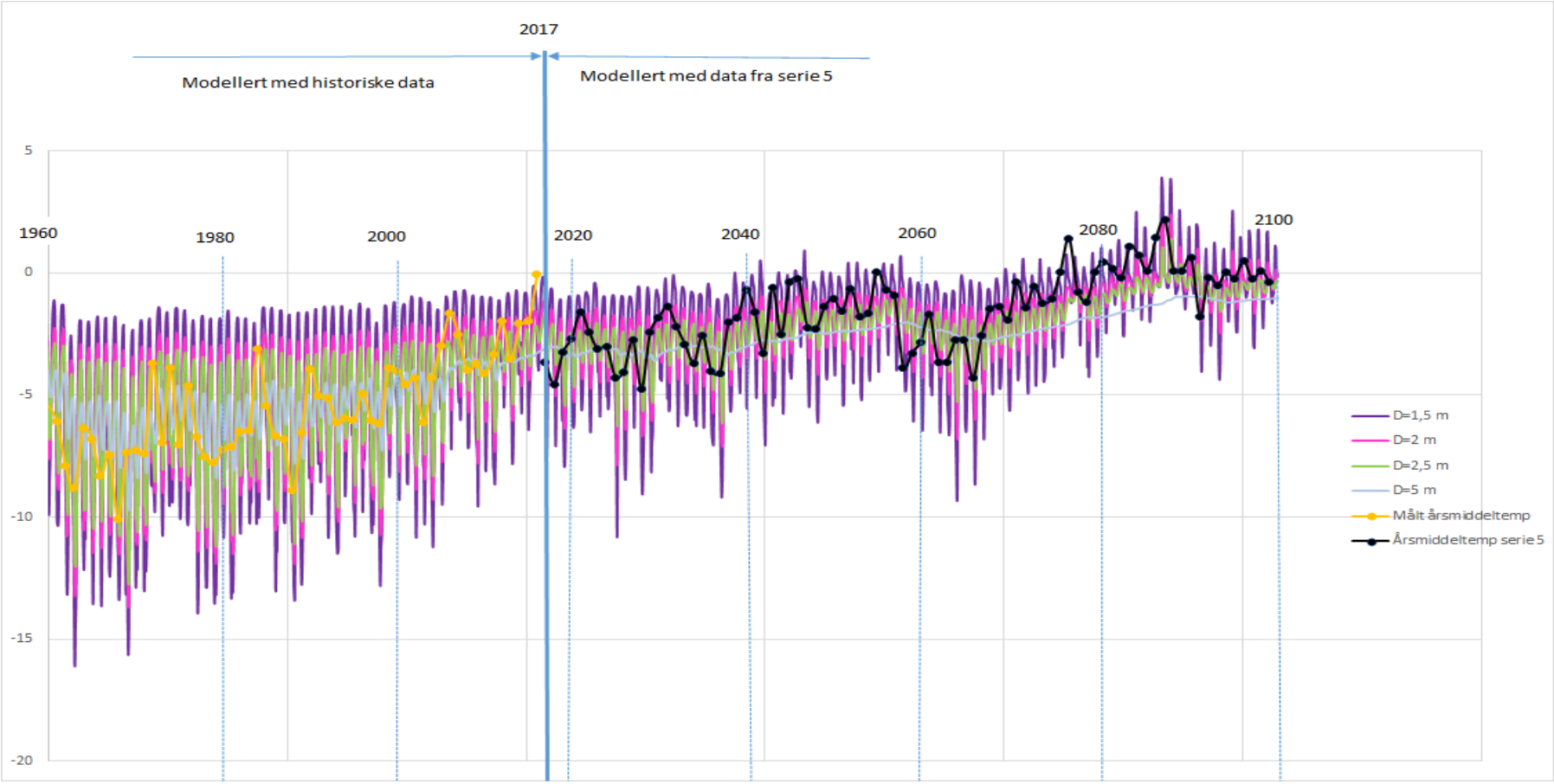
Forskningsparken:

Beregningsresultatene for Forskningsparken er vist i Figur 15. Forskningsprosjektet Nasjonale Geoforsøksfelt (se https://www.ngi.no/Prosjekter/NGTS-Nasjonale-Geoforsoeksfelt) installerte i mai 2017 nye termistorstrenger til 30 meters dybde ca. 100 meter øst for Forskningsparken. Foreløpige resultater fra disse målingene viser temperaturer på henholdsvis -3,6 °C, -3,8 °C og -3,9 °C på 10 m, 20 m og 30 meters dybder i august 2017. Dette er i relativt godt samsvar med modellerte temperaturer på Figur 15. Ellers viser figuren samme trend som for Skjæringa, med at temperatur fra høyere nivåer samsvarer best med modellert lufttemperatur. Det er større forsinkelse i temperaturutviklingen ved større dybder.

Figur 16 viser at beregnet aktivt lag pr i dag ligger på i underkant av 1,5 m (temperaturmåling 30.august 2017 viser at aktivt lag har nådd en tykkelse på ca. 0,9 meter. Bakken tiner fortsatt og aktivt lag forventes ikke å få maksimal dybde før i oktober/november). Mot år 2100 antyder beregningene en økning i aktivt lag til i størrelsesorden 2,5 m. Det er imidlertid kjent at saliniteten i området er svært høy, og i praksis vil det derfor forventes at aktivt lag har større mektighet enn beregnet.



FIGUR 15:BEREGNEDE TEMPERATURER FORSKNINGSPARKEN, 10 M OG 20 M DYBDE

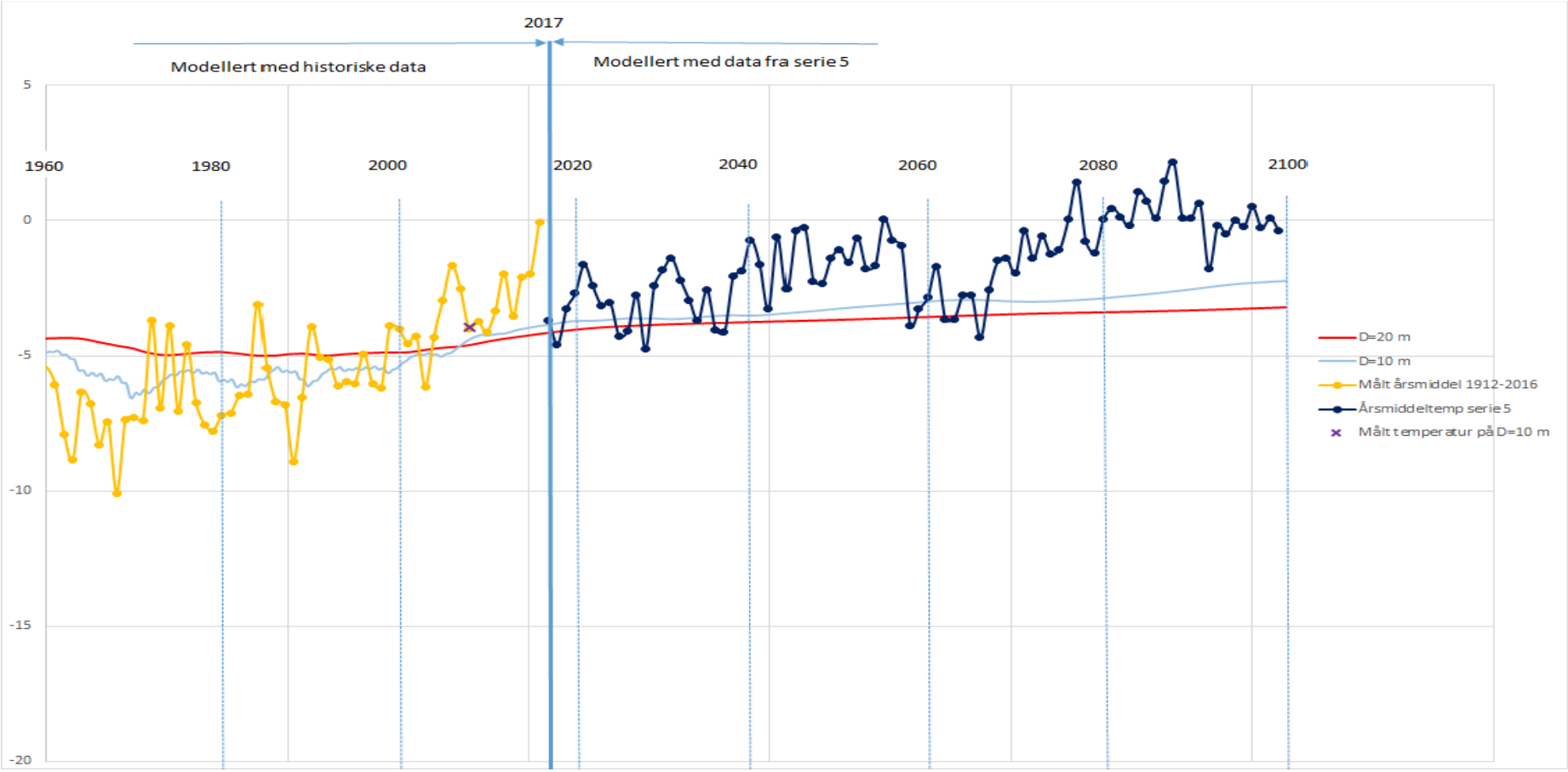


FIGUR 16: BEREGNEDE TEMPERATURER FORSKNINGSPARKEN - SMÅ DYBDER

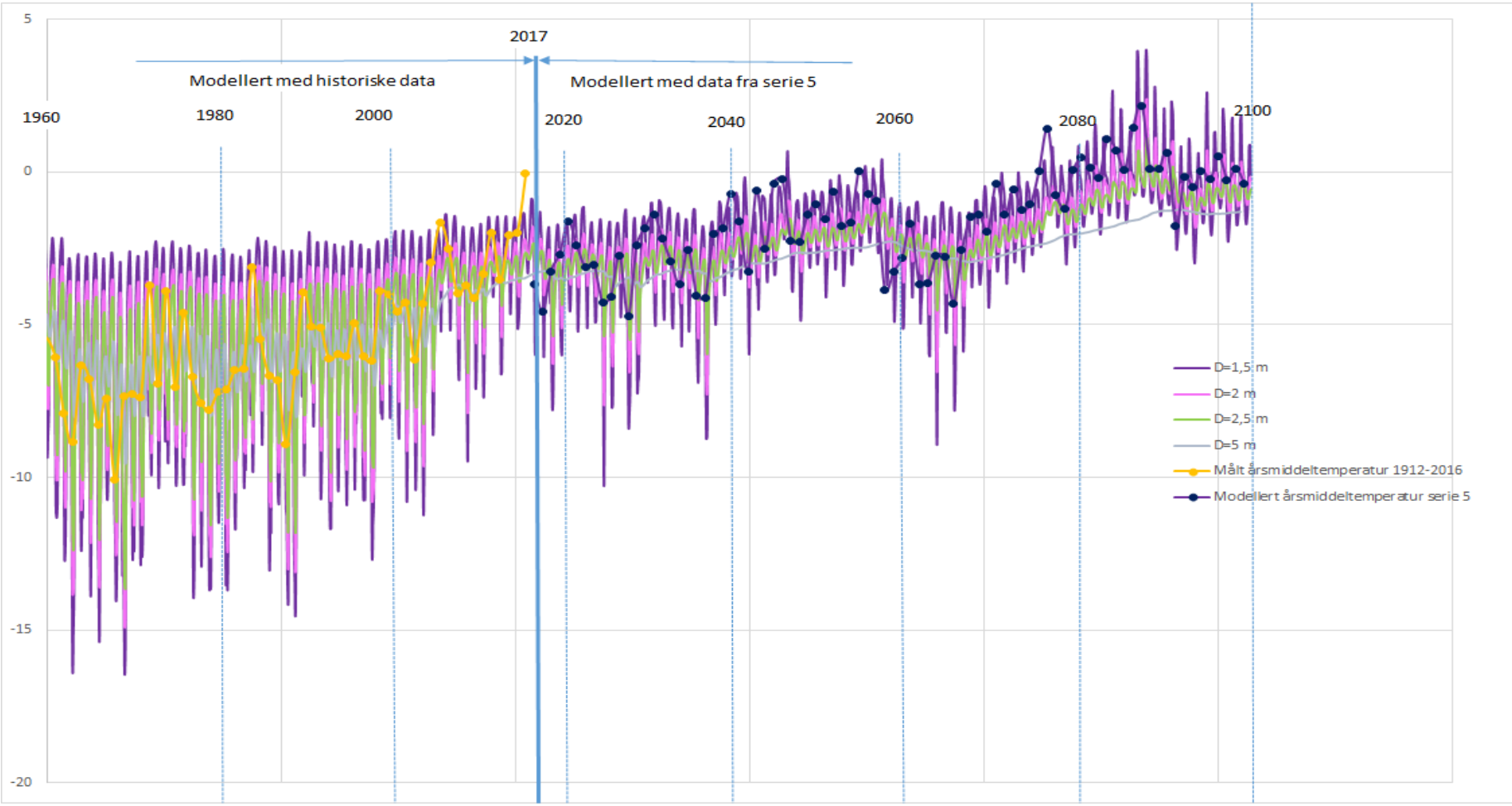
Sentrum:

Beregningsresultatene for sentrumsområdet er vist i Figur 17. Figuren viser en temperaturutvikling som samsvarer med beregningene utført for Skjæringa og Forskningsparken. I tillegg til beregnet temperaturutvikling på henholdsvis 10 og 20 m dybde, er det også lagt inn resultat fra en kjent temperaturmåling for Kulturhuset fra 2009. Målingen er fra 10 m dybde og viser en målt temperatur ca. 0,2 ^{o}C høyere enn beregnet. Ellers vises samme trend som for Skjæringa og Forskningsparken, med at temperatur fra høyere nivåer samsvarer best med modellert lufttemperatur. Det er større forsinkelse i temperaturutviklingen ved større dybder.

Figur 18 viser at beregnet aktivt lag pr i dag er mindre enn 1,5 m, noe som samsvarer bra med det som er observert. Mot år 2100 antyder imidlertid beregningene en økning i aktivt lag til i størrelsesorden 2,5 m. Da det er kjent at saliniteten i området er til dels høy, må det i praksis forventes at aktivt lag har større mektighet enn beregnet.



FIGUR 17: BEREGNEDE TEMPERATURER SENTRUMSOMRÅDET - 10 M OG 20 M DYBDER



FIGUR 18: BEREGNEDE TEMPERATURER FOR SENTRUMSOMRÅDET - SMÅ DYBDER

4.1.3 Kjell Henriksen Observatoriet

Det er ikke utført egne geotermiske beregninger for Kjell Henriksen Observatoriet. Grunnen til dette er at bygget i utgangspunktet ikke vil være sårbart for tining av permafrost, da det er antatt fundamentert til berg. Selv om det er kjent at temperaturutviklingen går fortere i berg enn i løsmasser, så vil ikke oppvarming av berget medføre setningsrisiko for bygget, med mindre oppvarmingen medfører tining av eventuelle islinser i berget.

4.2 Vurdering av bæreevne og setninger

4.2.1 Svalbard Globale Frøhvelv

Selve Frøhvelvene er etablert i berg, med adkomsttunnel i berg og løsmasser. For Frøhvelvet er det derfor ikke spesielle utfordringer knyttet til bæreevne og setninger. Problemstillingene omkring Frøhvelvet er ivaretatt i egne prosjekter, og omtales derfor ikke videre her.

4.2.2 Longyeardalen

For Longyeardalen er det utført geotermiske beregninger over forventet temperaturøkning i bakken for Skjæringa, sentrumsområdet og for Forskningsparken. Resultatene fra beregningene er oppsummert i Tabell 1, hvor det er oppgitt beregnede temperaturer på 10 og 20 m dybde for år 2017 og 2100. Beregnet endring i mektighet aktivt lag er også inkludert i tabellen.

Alle beregningene viser at temperaturen i grunnen må forventes å stige med økende lufttemperatur. Resultatene viser imidlertid at temperaturøkningen i bakken – særlig på dyp over 10 til 20 m – er betydelig tregere enn den modellerte økningen i lufttemperatur. Både for Forskningsparken og sentrum antyder beregningene at temperaturen på 20 m dyp fortsatt vil ligge på rundt -3 ^{o}C i 2100. På Skjæringa er det imidlertid antydet noe høyere temperaturer i grunnen, noe som sannsynligvis kan forklares med at det er betydelig mindre dybde til berg på Skjæringa enn for både sentrum og Forskningsparken.

TABELL 1: OPPSUMMERING BEREGNEDE TEMPERATURER FRA SERIE 5

	Modellert årsmiddeltemperatur		**Modellert temperatur i bakken**				**Mektighet aktivt lag**	
			10 m dybde		20 m dybde			
	2017	2100	2017	2100	2017	2100	2017	2100
Sentrum	-3,7	-0,4	-3,9	-2,3	-4,2	-3,2	1-1,5 m	Ca. 2,5 m
Skjæringa	-3,7	-0,4	-2,8	-1,1	-3,1	-1,4	Ca. 1,5 m	Ca. 2,5 m
Forskningsparken	-3,7	-0,4	-3,6	-1,9	-3,7	-2,7	Ca. 1,5 m	Ca. 2,5 m

De utførte beregningene antyder videre at mektigheten av aktivt lag må forventes å øke med i størrelsesorden 1 m frem til 2100. Her påpekes imidlertid at det må påregnes store lokale variasjoner som følge av varierende vegetasjonsdekke, vannstrømning, sol og snødekke.

Selv om beregningene antyder at det i 2100 fortsatt vil være permafrost fra ca. 2-3 m dybde, så viser beregningene at temperaturen i bakken må forventes å stige. Dette vil medføre at grunnens mekaniske egenskaper forringes, og det må påregnes dårligere bæreevne og større

setningshastigheter. I Longyearbyen er det generelt krav til setninger som ender opp å bli dimensjonerende, og økende setningshastigheter kan medføre at nybygg bør/må planlegges med andre fundamenteringsløsninger enn det som hittil har vært vanlig. Peler av tre vil for eksempel bli stadig mer utsatt for råte.

For områder med små dybder til berg kan det bli aktuelt å prosjektere i større grad som på fastlandet, med masseutskifting av masser med fryse-tinestabile masser, eventuelt ved bruk av peler til berg. For områder med store dybder til berg må det sannsynligvis påregnes større og lengre peler, eventuelt bruk av aktive fundamenteringsmetoder som kunstig kjøling.

4.2.3 Kjell Henriksen Observatoriet

Kjell Henriksen Observatoriet er fundamentert på trepeler til antatt berg. Oppvarming og tining av permafrosten vil derfor i utgangspunktet ikke påvirke bygget, med mindre der finnes islinser i berget som kan tine. Det foreligger imidlertid ingen boreprotokoller fra byggingen, og dette er derfor ikke mulig å undersøke uten grunnundersøkelser.

Økt oppvarming og nedbør vil imidlertid kunne medføre økt risiko for, eventuelt fremskynde, problematikk som råte og soppskade på pelene.

5 *Oppsummering - Forventet påvirkning av byggegrunn og fundamentering*

Beregningene antyder at mektigheten på aktivt lag må forventes å øke fra i størrelsesorden 1,5 m til nærmere 2,5 m frem mot 2100. Beregningene antyder videre at temperaturen i grunnen må forventes å øke, men at temperaturøkningen i dybden (dypere enn 10-20 m) vil gå saktere enn den forventede temperaturøkningen ved terrengoverflaten. Ved år 2100 antyder beregningene at temperaturen på 20 m dyp fortsatt vil ligge på rundt -2 til -3°C. Dette kan forklares ved at løsmassene har relativt stort isinnhold, og vil derfor ha betydelig treghet mot tining på grunn av latent varme som må tilføres for å smelte is.

Selv om beregningene viser at det fortsatt vil være permafrost i Longyearbyen til langt etter 2100 så vil det forventes at de økte temperaturene i grunnen vil medføre dårligere bæreevne og økte setningshastigheter. Dette må tas hensyn til ved fremtidig planlegging og prosjektering av nye bygg og installasjoner. Det kan være aktuelt å vurdere lengre peler og/eller peler med en større diameter enn det som i dag er vanlig. Det kan heller ikke utelukkes at det vil være økt behov for aktive fundamenteringsmetoder som kunstig kjøling, spesielt for særlig viktige bygg eller for bygg med ønske om dimensjonerende brukstid (levetid) utover 50 til 100 år. For områder med små dybder til berg kan det være aktuelt å vurdere masseutskifting eller peling til berg, som er tiltak ofte benyttet på fastlandet i «ikke-permafrostområder» med utfordrende grunnforhold.

I delrapport 3 vil forventede langsiktige konsekvenser bli nærmere vurdert, både for eksisterende bygg i Longyearbyen, men også for planleggingen av fremtidige bygg. Beregningene presentert i delrapport 2 vil danne grunnlaget for vurderingene i delrapport 3.

Referanser

/1/ Meteorologisk Institutt, Klimascenarioer for Longyearbyen-området Svalbard. Delrapport 1 for Statsbygg Oppdrag: «Bygging og forvaltning på Svalbard i et langsiktig klimaperspektiv».
/2/ Direktoratet for Byggkvalitet, Byggteknisk forskrift (TEK10) Publikasjonsnr. HO-2/2011
/3/ Multiconsult, Grunnundersøkelser Frølageret, datarapport, 713586-RIG-RAP-001, 11. november 2016/00
/4/ Multiconsult, Site investigation Global seed vault, 713586-RIG-RAP-001
/5/ Permafrost engineering on Svalbard, Bjarne Instanes, Proceedings of International Workshop on permafrost engineering, june 2000, pp.3 – 23.
/6/ NGI, Elvesletta, Longyearbyen – Grunnundersøkelser Rapport nr. 950080-1. Datert 6.12.1995
/7/ NGI, Svalbard Forskningspark, Grunnundersøkelser, 20021442-1, 3. oktober 2002
/8/ NTNU v/Marit Bratland Pedersen og Øyvind Skeie Hellum, En sammenstilling av grunnundersøkelser i Longyearbyen, 12. desember 2007
/9/ Instanes AS v/Arne Instanes, Veg 232 Gruvedalen, Longyearbyen. Geotekniske vurderinger felt B14. Notat nr IPAS2186-1, datert 27. april 2017
/10/ Rambøll AS, Grunnundersøkelser Longyearbyen, rapport nr 1350021401 G-rap-001, datert 24.03.2017
/11/ Lena Rubensdotter m.fl. 2015, Landskapsformer og løsmasser Bjørndalen-Vestpynten, Svalbard
/12/ Rongved J.L og Instanes A. Foundation Engineering in Svalbard 1950-2012 Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost (TICOP), Volume I: International Contributions, pp.341-346.
/13/ NVE Rapport nr 91-2016 Skredfarekartlegging i utvalgte områder på Svalbard