



Sluttrapport etter 20 år med overvåking av seks områder med palser i Norge

Geir Arnesen, Bendik Sivertsen og Elin Plathe



Anbefalt referanse:

Arnesen, G., Sivertsen, B og Plathe, E.: Sluttrapport etter 20 år med overvåking av seks områder med palser i Norge. Sállir rapport 35.

Nøkkelord:

Permafrost, svakt kontinental, Dovre, global oppvarming, temperaturøkning

Prosjektnummer:

94

Tilgjengelighet:

Åpen

Fremsiden:

En smeltende pals i våtmarkssystemet Mouvresáhti (Kautokeino) i 2023. Foto: Geir Arnesen

Oppdragsgiver/kontaktperson:

Miljødirektoratet M-2636 | 2023

Prosjektansvarlig hos Sállir natur AS:

Geir Arnesen

Sammendrag:

Det gjennomføres overvåking av seks våtmarkslokaliteter med palser i Norge. Tre av lokalitetene ligger på Dovrefjell (Haukskardmyrin, Haugtjørnin og Leirpullan) og de tre andre ligger i Finnmark og Indre Troms (Ferdesmyra i Sør-Varanger, Goahteluoppal i Kautokeino og Ostojeakkit i Bardu). Leirpullan ligger høyt til fjells og har frosthevede mineraljordsstrukturer, såkalte lithalsaer. De andre fem lokalitetene ligger nær skoggrensa og er tradisjonelle palser i myr. Det er registrert markhøyde over grunnvannsspeil, teledyp, markslag og funksjonelle vegetasjonsgrupper i målepunkter langs rette transekter som krysser palser ved første omdrev. I perioden 2004-2023 (20 år) er det gjennomført fire omdrev (hvert 5. år).

Høyden på palsene har gått sakte nedover i de fleste områdene, men på Ferdesmyra har palsene sunket raskt og det er nå ingen aktive palser igjen som krysses av transektene. Når en etablerer overvåking på eksisterende palser må anta at en reduksjon av høyden på palsene vil observeres siden dette er midlertidig strukturer. Det virker likevel sannsynlig at det er en gjennomgående reduksjon av høyden på palsene i områdene. Denne antagelsen støttes også av at det er påvist en reduksjon av andelen målepunkter der det ble påvist tele og at antallet målepunkter som hadde markslag «pals» også har gått ned. De to siste parameterne indikerer også en lateral reduksjon av palsene og permafrosten.

Andel målepunkter med tele viste seg å være positivt korrelert med frostreelaterte klimadata, slik som lav høst og vintertemperatur, samt akkumulert frost. Det er forventet at reduksjonen av palser vil fortsette med økt hastighet i tiårene fremover.

Forord

Overvåkingen av våtmarker med palser i Norge er finansiert av Miljødirektoratet. Programmet kom i gang i 2004 etter at et forstudium ble presentert i 2003 som konkluderte med at det ikke var nok kunnskap om hvordan klimaendringer påvirker våtmarkssystemer med palser. Spesielt ble det påpekt at det var mangel på data som ble samlet inn med konsekvent metodikk. Etter 20 år med overvåkning settes det nå av tid for å oppsummere og evaluere innsamlingen av data etter nåværende metodikk. Norsk institutt for Naturforskning har stått for den faglige utviklingen av programmet og gjennomføring av alle omdrevene fra 2004 og frem til 2021. De to siste omdrevene (2022 og 2023) ble utført av Sállir natur AS. Stor takk til Miljødirektoratet for god tilrettelegging under arbeidet.

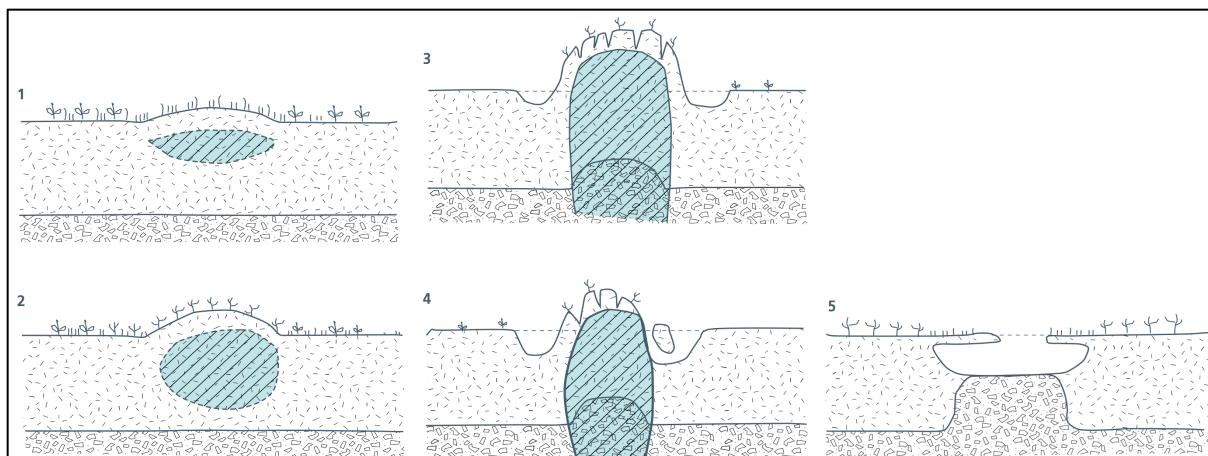
Innhold

1	INNLEDNING	5
2	METODE	9
2.1	LOKALITETENE SOM HAR BLITT OVERVÅKET	9
2.1.1	Generelt om valg av lokaliteter for overvåking	9
2.1.2	Dovre - Haukskardmyrin	11
2.1.3	Dovre – Haugtjørnin	12
2.1.4	Bardu – Ostojeakkit	13
2.1.5	Kautokeino – Goahteluoppal	14
2.1.6	Sør-Varanger – Ferdesmyra	15
2.2	DATAINNSAMLING I FELT	16
2.2.1	Generelt om prosjektets design	16
2.2.2	Registrerte variabler	16
2.2.3	Analysert langs transekter	17
2.2.4	Gjennomsnittlig palshøyde	18
2.3	FORKLARINGSVARIABLER	18
2.3.1	Generelt om forklaringsvariabler	18
2.3.2	Data om temperatur og nedbør	18
2.3.3	Kombinerte variabler	19
2.3.4	Korrelasjonsanalyse	19
3	RESULTATER	20
3.1	UTVIKLING AV PALSHØYDE	20
3.2	UTVIKLINGEN AV TELE	23
3.3	UTVIKLING AV MARKSLAG LANGS LINJENE	23
3.4	KORRELASJONER MED KLIMADATA	26
4	DISKUSJON	27
5	REFERANSER	29

1 Innledning

Når telen i marka varer igjennom hele barmarkssesongen kalles det permafrost. Fenomenet er vanlig i Arktis, og lengst nord er permafrosten ofte sammenhengende. Kun den øvre delen av markoverflaten tiner, og den opptinte delen kalles for det «aktive laget». Sørøver fra Arktis blir permafrosten gradvis mer usammenhengende og fragmentarisk, og den aller mest perifere formen for slik kontinuerlig frost i bakken er palsdannelse i våtmarker (Sollid og Sørbel, 1998). Grunnen til at de mest perifere permafrostforekomstene finnes i myrer er fordi relativt tørr myrtorv har gode isolerende egenskaper som beskytter isen fra smelting gjennom sommeren.

I kalde miljøer der frostinngangen i marka er stor nok, og det er tørt nok om sommeren til at myrtorva tørker noe ut vil det derfor skje at fragmenter av tele nede i torva ikke smelter under ekstra kalde vintre. De kaldeste flekkene vil bli hevet opp på grunn av at is utvider seg ved lavere temperaturer (Fig. 1.1). Frosthevingen skjer ved at det dannes islinser i overgangen mellom frosset overflatelag og underliggende lag som har underkjølt vann i kapillære porer. Fordi vandamptrykket over is er lavere enn over underkjølt vann ved samme temperatur vil kapillært vann eller vandamp alltid vil forflytte seg mot islinsen som dermed vokser i størrelse. Dette fører til at den overliggende jorda løftes. For mer detaljer om frostheving og islinsedannelse se Rempel (2007) eller Pisart (2013).

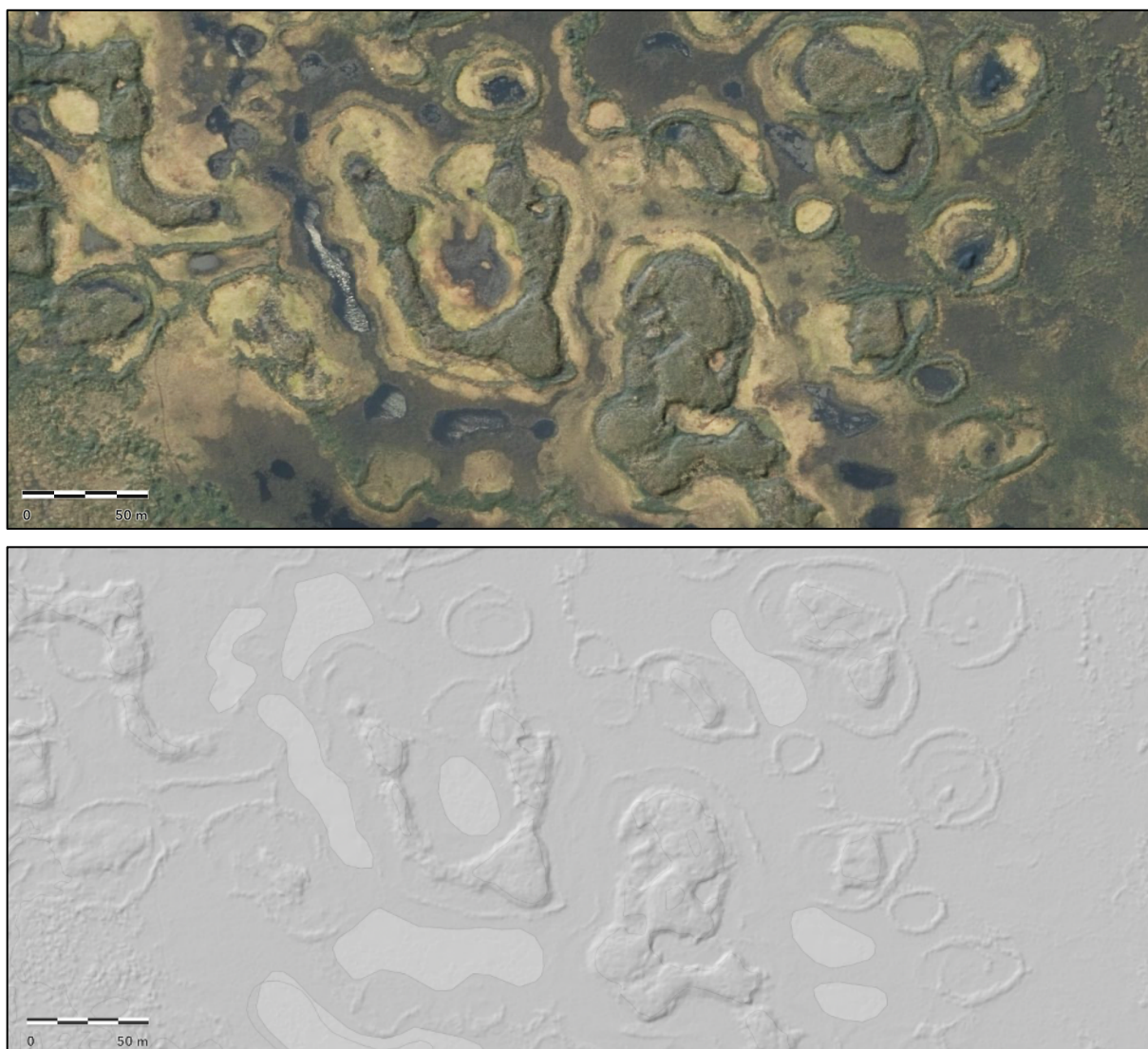


Figur 1.1 Livsløpet til en pals. Etter vintre med spesielt stor frostinngang vil det skje at tele ikke smelter om sommeren. Tørr overflatetorv om sommeren er sentralt for å hindre smeltingen og frosthevingprosesser i kalde perioder får jordoverflaten til å heve seg noe (1). Den hevede strukturen får mindre snø om vinteren på grunn av vinden og dermed økt frostinngang (2). Palsen øker i størrelse, og frosten når ofte ned i sedimentene under myra. Økningen i størrelse fører også til sprekkdannelse i torva på grunn av den økte kurvaturen (3). Gjennom sprekkeene blir det store brudd i torvas isolerende lag, og palsen starter nå på en degenereringsfase med nedsmelting av iskjernen og kollaps av den hevede strukturen. Åpent vann er vanligvis synlig rundt palsen (4). Til slutt forsvinner hele torvstrukturen under grunnvannsspeilet og etterlater seg en dam som kalles termokarstinnsjø (5). Rundt kanten av termokarstinnsjøen står det ofte igjen en torvkant fra palsens maksimale utbredelse (palsringer). Figuren er hentet fra NINA temarapport 80 (Hofgaard m.fl. 2005).

Den opphevede strukturen får enda mer frostinngang i påfølgende vintre fordi snøen blåses av og får mindre isolerende effekt. Hevingen er altså selvforsterkende, og det blir etter hvert dannet tydelige forhøyninger i myroverflaten. Strukturene fortsetter å vokse opp av det flate våtmarkslandskapet og får etter hvert utviklet en sonering med erosjonspreg på toppen som kan sammenlignes med prosessene som skjer på rabber i fjellet. Mot kantene er det mer snøbeskyttelse med lyng og busker før en kommer ned på det omkringliggende

våtmarkssystemet med myrvegetasjon. Det er disse forhøyningene med den typiske soneringen som kalles palser. De kan være fra en halv meter til flere meter høye.

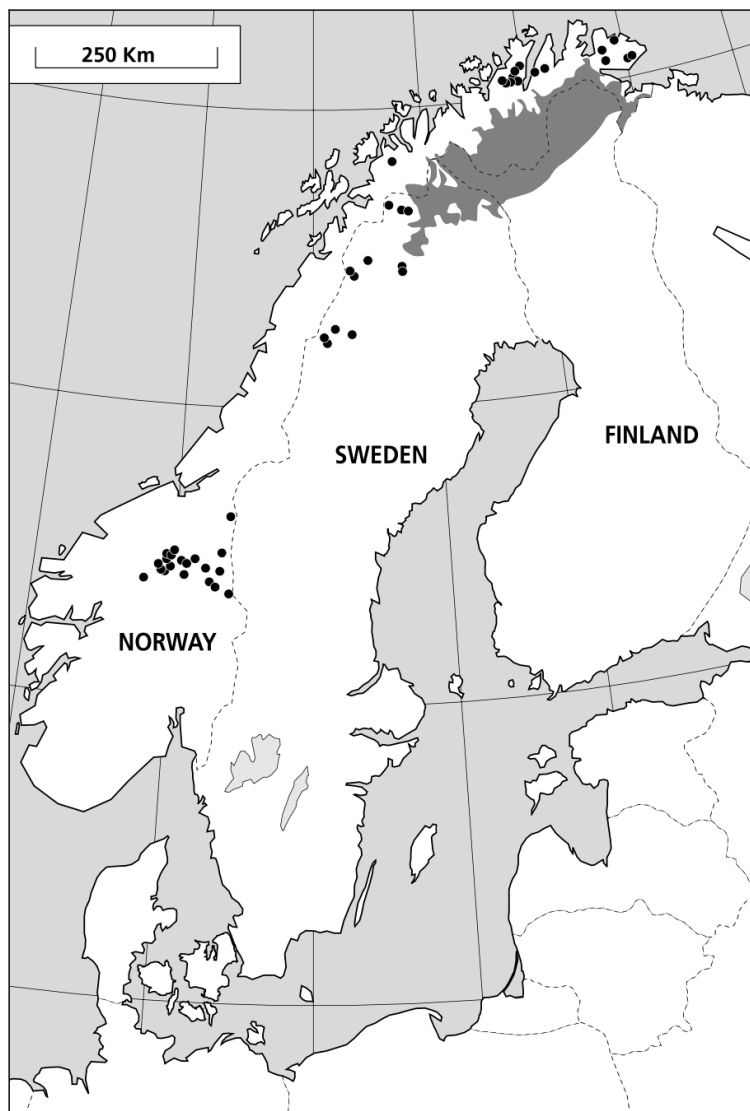
Selv under stabile klimatiske forhold er ikke palser en varig struktur. Palser når etter hvert en høyde eller størrelse som gjør at den får sprekkdannelser i torva, og dette gjør at smeltingen av iskjernen i barmarksesongen tiltar fordi det blir et hull i det isolerende torvlaget. Palsen vil da gå inn i en degenerasjonsprosess med økt sprekkdannelse, utglidninger og sammensynking. Den arealmessige utbredelsen blir mindre og hele strukturen synker under grunnvannet som trenger inn rundt den kollapsende palsen. På ganske få år synker hele strukturen ned i vannet og etterlater seg en dam (termokarstsjø). Rundt dammen står det ofte igjen en torvkant som er rester etter palsens maksimale utbredelse. Dammen gror igjen til løsmatter og etter hvert fastmatter i myrsystemet. I et våtmarkssystem med palser vil det derfor være mange spor av kollapsende palser som viser seg som dammer, gjengroende dammer og såkalte palsringer som er torvkanten etter palsens største utbredelse (figur 1.2). For mer informasjon anbefales NINA temahefte 80 (Hofgaard m.fl. 2005).



Figur 1.2 Illustrasjon som viser de typiske strukturene og vekslingene i et våtmarkssystem med palser ved Muovresáhti i Kautokeino. På flyfotoet øverst kan en se selve palsene som oppstående arealer, samt dammer (termokarstinnsjøer), løsmatter (mørke) og fastmatter (lyse) områder. Nedenfor vises et skyggerelieff hvor selve palsstrukturene og palsringer står mer tydelig ut. Palsringer er gjenstående rester etter palser som har kollapset og angir omrisset av palsenes maksimale utbredelse. Data fra hoydedata.no.

Forekomst av palser er knyttet til nordboreale og lavalpine miljø som har kalde vintre og en barmarksesong som ikke er så lang og varm at telen rekker å smelte helt der det finnes isolerende torv. Et viktig poeng er at tørr myrtorv isolerer veldig godt, mens fuktig torv, som typisk forekommer i regnfulle miljø, isolerer vesentlig dårligere. For at palsene ikke skal smelte ut er det avgjørende at somrene er tørre, dette er viktigere enn temperaturen i smeltesesongen (Borge m.fl. 2017).

I Skandinavia finnes det passende forhold for utvikling av palser i overgangsseksjonen mot de kontinentale sonene og i svakt kontinental seksjon (Fig 1.3). I Norge vil dette i praksis si store deler av Finnmark og i Indre Troms. I de nordøstre fjellområdene i Sør-Norge er det også fragmentariske forekomster av palsdannelse. De aller fleste av disse har nå kun spor av palser som har smeltet. Regionen med palser i Skandinavia fortsetter inn i de nordlige og høyereliggende deler av Finland og Sverige. I periferien av områdene som per i dag har eller nylig har hatt aktive palser, finnes mange våtmarkssystemer som kun har eldre rester etter palsdannelse. Det antas at dette er systemer som utviklet palser under kuldeperioden «den lille istid» som varte fra ca. 1500-tallet og frem til siste halvdel av 1800-tallet.



Figur 1.3. Kart over hvor det fantes palsdannelse i Skandinavia på 1990-tallet (fra Seppälä 1997). Skravert område viser arealer med hyppig forekomst, mens prikker viser enkeltforekomster.

I marginalt kaldere områder finnes det enkelte lokaliteter hvor det utvikles større palsstrukturer som har en mer permanent karakter. Slike strukturer karakteriseres som palsplatåer, og fremstår som sammenhengende opphevede arealer med plan overflate i våtmarker som har en vesentlig større arealmessig utbredelse enn de mindre haugformede palsene.

Siden palsdannelse representerer marginen for dannelse av permafrost, er det forventet at dette fenomenet responderer på klimaendringer og global oppvarming. Dette understrekes av det faktum at temperaturen i skandinaviske palser ikke er spesielt lav. Temperaturer rett under 0 °C er vanlig (Christiansen m.fl., 2010; Johansson m.fl., 2011). Det er da også mange rapporter om at palser har kollapset og smeltet de siste tiårene. Zuidhoff, F. S. og Kolstrup, E. (2000 og 2002) har for eksempel dokumentert dette i Nord-Sverige, og tilsvarende utvikling rapporteres fra Dovrefjell (Sollid og Sørbel, 1974 og 1998). Årsrapportene fra omdrevene i dette overvåkingsprosjektet peker også i samme retning (Hofgaard m.fl. årlige rapporter i perioden 2004-2022).

Det foreligger nå forskningsresultater som fokuserer på degenerering av palser og hvilke faktorer som påvirker dem. De viktigste bidragene er trolig Borge m. fl (2017) som oppsummerer tilbakegangen i areal for palsområder i Finnmark ved hjelp av flyfotostudier, i tillegg til Olvmo m. fl. (2020) som går igjennom de miljøvariablene som er mest relatert til nedsmelting av palser. Sistnevnte studie har foregått i Nord-Sverige og har sammenholdt utviklingen av palser (flybildestudier) med meteorologiske data. Begge studier konkluderer med at tilbakegangen av palser har pågått lenge, trolig i løpet av hele 1900-tallet, men at utviklingen har akselerert de siste tiårene. Det er derfor verdt å merke seg at de siste 20 år, som er tidsrommet for dette overvåkingsprogrammet, ligger i den foreløpige slutten av en vesentlig lengre periode med tilbakegang av denne type permafrost.

Utviklingen i våtmarkssystemer med palser er åpenbart en god indikator på effektene av de pågående klimaendringene i den aktuelle bioklimatiske nisjen, og det har derfor stor interesse å dokumentere utviklingen. På mange måter kan overvåking og forskning på systemer med palser sammenlignes med tilsvarende fokus på tilbaketrekning av isbreer som også er en svært god indikator på effekter av global oppvarming og klimaendringer. Bresystemer oppstår i fjellområder der nedbøren som snø er stor nok og temperaturforholdene ligger til rette for det. Palsdannelse på sin side krever sprengkulde om vinteren, og generelt tørre forhold slik at det er lite isolerende snø. Det må også være såpass tørt om sommeren at de øvre torvlagene i myrssystemene tørker ut slik at torva får sine isolerende evner om sommeren og hindrer permafrosten i å smelte. Overgang til fuktigere klima og mindre sprengkulde er altså negativt for palsene. Bresystemer og palssystemer der derfor gode indikatorer på klimaendringer i hver sine bioklimatiske nisjer. Bresystemene er kystbundne og oseaniske, mens palssystemer finnes de mer kontinentale og tørre områdene.

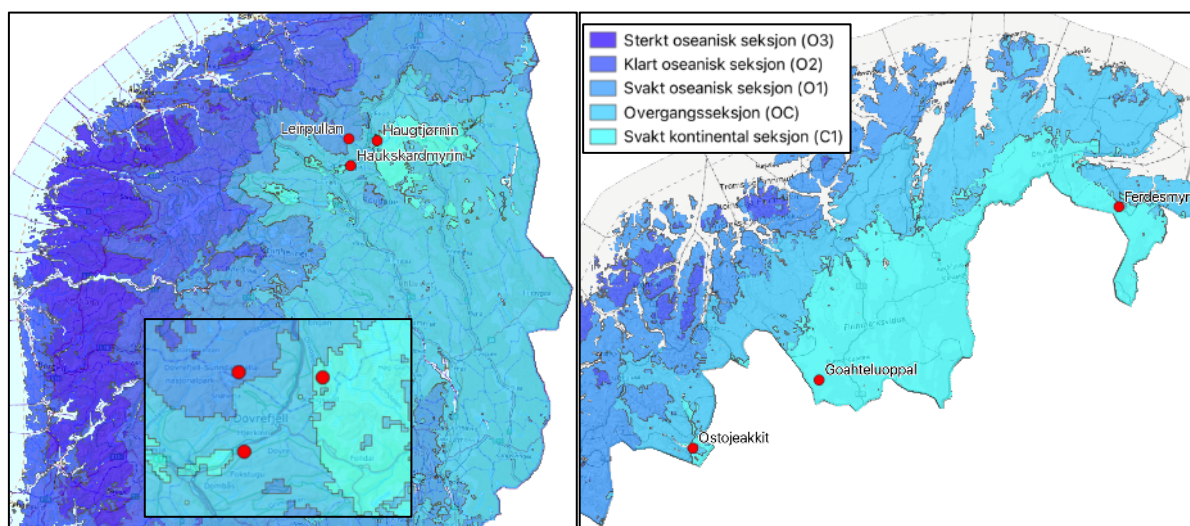
For å dokumentere utviklingen i våtmarkssystemer med palser i Norge ble derfor programmet «overvåking av palsmyr» utviklet i perioden 2002-2003 (Hofgaard 2003). Programmet ble satt i gang i 2004 og har hatt årlig aktivitet siden den gang. Arbeidet er blant annet oppsummert i årsrapportene etter fjerde omdrev (Hofgaard m.fl 2020, 2021, 2022, Plathe og Arnesen 2022).

2 Metode

2.1 Lokaltetene som har blitt overvåket

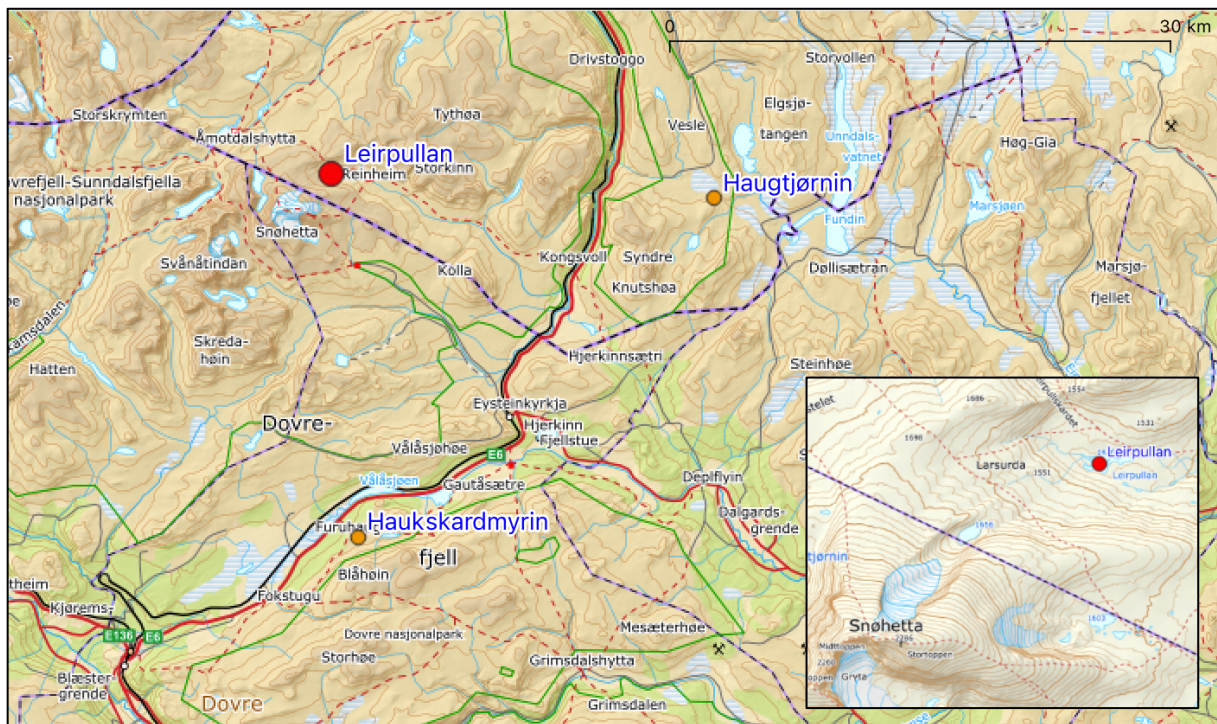
2.1.1 Generelt om valg av lokaliteter for overvåking

De seks lokalitetene ble i henhold til oppstartsrapporten for overvåkingsprogrammet (Hofgaard 2004) valgt ut med tanke på at de skulle dekke en gradient innen påvirkning fra atlantiske luftmasser. Noen sørlige lokaliteter på Dovrefjell skulle representere de med mest atlantisk påvirkning, mens lokaliteter i Troms og østover i Finnmark hadde gradvis mindre atlantisk påvirkning og desto mer arktisk (kontinentalt) preg. I 2023 har en bedre modeller over bioklimatiske forhold og det er interessant å se hvordan lokalitetene forholder seg til vegetasjonsseksjoner som representerer en kyst-innlandsgradient (Fig 2.1).



Figur 2.1. Overvåkingslokalitetenes posisjon i forhold til bioklimatisk seksjon. Leirpullan og Haukskarmyrin ligger på Dovrefjell i et område med bratte bioklimatiske gradienter forårsaket av fjellene i området. Leirpullan ligger nær Snøhetta og har mindre innlandspreg enn Haukskarmyrin og Hauktjørnin som ligger mer i nedbørsskyggen. Lokalitetene i Troms og Finnmark ligger alle i svakt kontinental seksjon, men Ostojeakkitt og Ferdesmyra ligger nær grensa mot overgangsseksjonen. Goahteluoppal i Kautokeino er derfor lokaliteten som har den mest kontinentale beliggenheten.

Dovre – Leirpullan



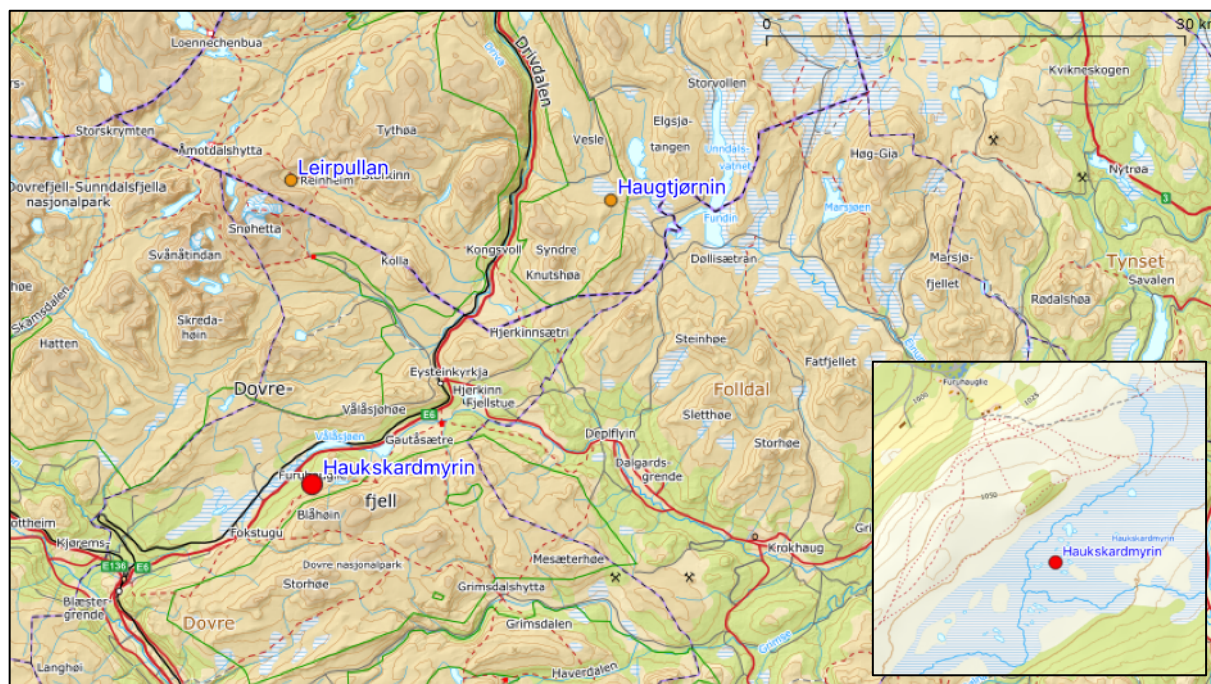
Figur 2.2 Regional og lokal plassering av overvåkingslokaliteten Haukskardmyrin på Dovrefjell. De to andre overvåkingslokalitetene på Dovre vises med små oransje symboler.

Leirpullan skiller seg fra de andre overvåkningsområdene ved at det *ikke* er et myrområde. Palsene i Leirpullan er utviklet i bresedimenter (silt og leire) som blir avsatt i et basseng nedenfor den nordre breen på fjellet Snøhetta, og det er ikke nevneverdig torvdannelse som i et myrområde (Fig 2.3). Korrekt benevnelse for frosthevinger i slikt materiale er «lithalsa», og dette er vesentlig mindre vanlig fenomen enn palser i torvmyrer. Den bioklimatiske utbredelsen for lithalsaer er også forskjellig fra palser. Overvåkingsområdet på Leirpullan skiller da seg også ut ved å ligge langt oppe i høyfjellet på 1436 moh, på grensen mellom lavalpin og mellomalpin bioklimatiske sone, og vesentlig mer oseanisk enn alle de andre lokalitetene. Alle disse forskjellene gjør at Leirpullan ikke egentlig kan sammenlignes helt med de andre lokalitetene.



Figur 2.3 Fotografi fra Leirpullan på Dovrefjell. Foto: Geir Arnesen

2.1.2 Dovre - Haukskardmyrin



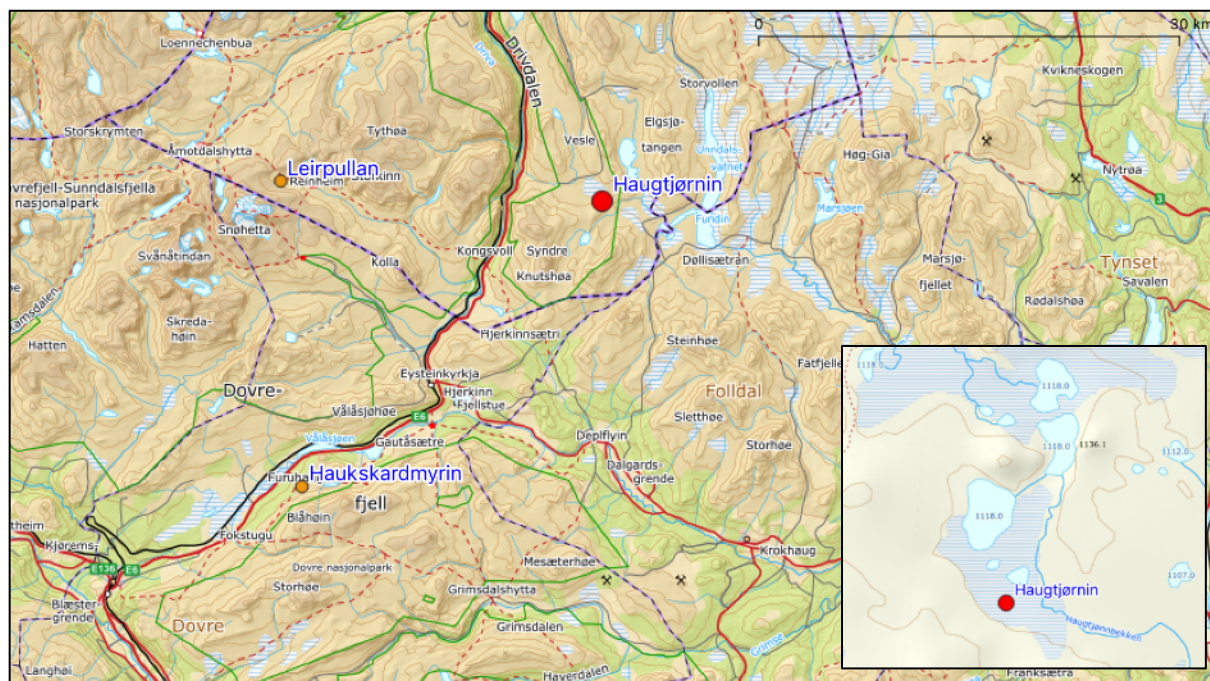
Figur 2.4. Regional og lokal plassering av overvåkingslokaliteten Haukskardmyrin på Dovrefjell. De to andre overvåkingslokalitetene på Dovre vises med små oransje symboler.

Haukskardmyrin er et våtmarksområde med myrer lokalisert noen få kilometer nordøst for Fokstumyra (Fig 2.4 og 2.5). Området ligger i overgangen mellom nordboreal og lavalpin sone på ca. 1050 moh. Arealet ligger i overgangsseksjonen mellom svakt kontinental og svakt oseanisk seksjon i henhold til modellen for oseanitet.



Figur 2.5 Motiv fra overvåkingsområdet på Haukskardmyrin rett nordøst for Fokstumyra. Foto: NINA.

2.1.3 Dovre – Haugtjørnin



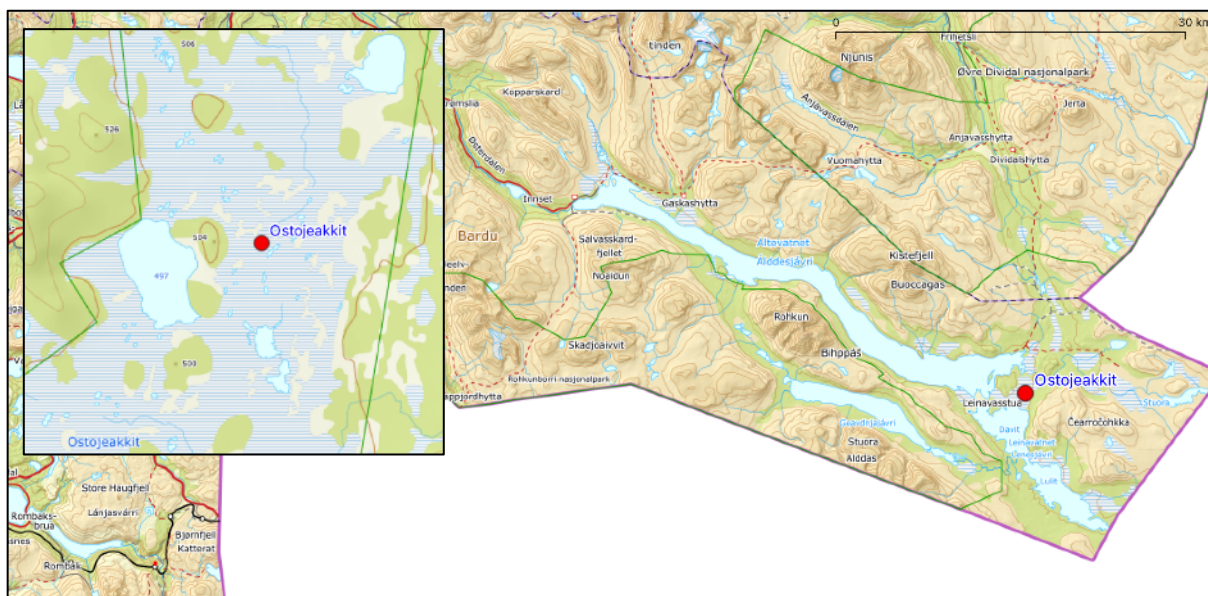
Figur 2.6. Regional og lokal plassering av overvåkingslokaliteten Haugtjørnin på Dovrefjell. De to andre overvåkingslokalitetene på Dovre vises med små oransje symboler.

Haugtjørnin ligger nordøst for Kongsvold i den nordøstre delen av Dovrefjell øst for Drivdalen. Det er store forskjeller i bioklimatologi i denne regionen, og Haugtjørnin er den av de tre overvåkingslokalitetene med mest kontinental beliggenhet i dette området (figur 2.1). Våtmarksområdet med palser ligger rett sør for vannene i området som ligger 1118 moh. i lavalpin sone (Fig 2.6 og 2.7).



Figur 2.7 Motiv fra overvåkingsområdet på Haugtjørnin nordøst for Kongsvold på Dovrefjell. Foto: NINA.

2.1.4 Bardu – Ostojeakkit



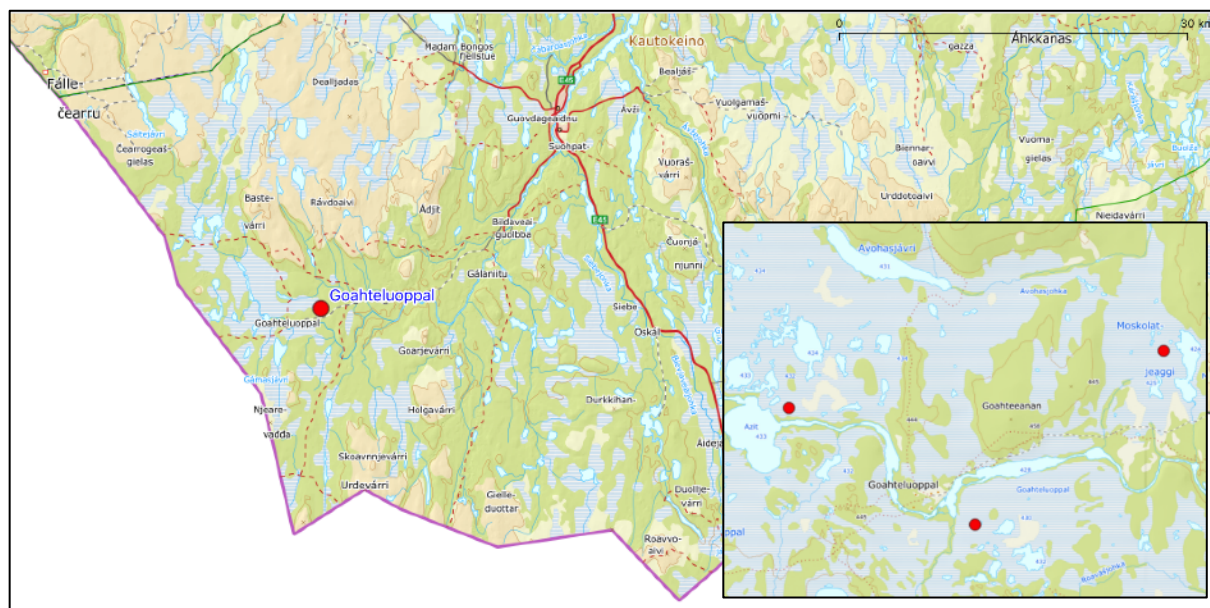
Figur 2.8 Regional og lokal plassering av overvåkingslokaliteten ved Ostojeakkit ved Altevannet i Bardu.

Ostojeakkit ligger mellom Altevannet og Leinavannet inn mot grenseområdene i Troms (Fig 2.8). Det er et åpent fjellområde med spredt fjellbjørkeskog rundt (Fig 2.9). Lokaliteten ligger dermed nær grensa mellom nordboreal og lavalpin sone, og så vidt inne i svakt kontinental seksjon.



Figur 2.9 Motiv fra overvåkingslokaliteten i våtmarksområdet Ostojeakkit i Bardu. Foto: NINA.

2.1.5 Kautokeino – Goahteluoppal



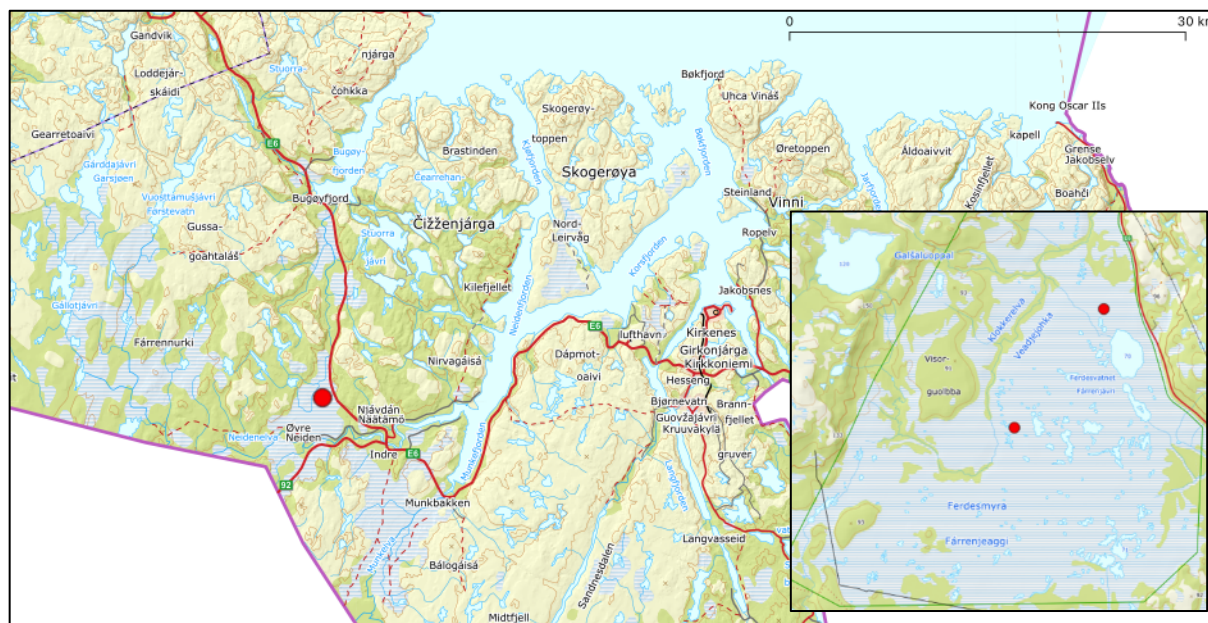
Figur 2.10 Regional og lokal plassering av overvåkingslokaliteten ved Goahteluoppal i Kautokeino. Analysene har foregått i tre lokale områder som ligger noen få km fra hverandre.

Goahteluoppal ligger på Finnmarksvidda nær Alta-Kautokeinoelvas kilder (Fig 2.10 og 2.11). Det er den klart mest kontinentalt beliggende lokaliteten blant de seks overvåkingslokalitetene (Fig 2.1), og ligger innenfor en region der paldannelse er hyppig forekommende. Det er ca. 70 høydemeter opp til skoggrensa i området, og det er derfor så vidt nordboreale forhold selv om den alpine grensa er nær.



Figur 2.11 Motiv fra overvåkingsområdet ved Goahteluoppal i Kautokeino. Foto: NINA.

2.1.6 Sør-Varanger – Ferdesmyra



Figur 2.12 Regional og lokal plassering av overvåkingslokaliteten ved Ferdesmyra. Overvåkingen på denne lokaliteten foregikk i to delområder som lå ca 1,5 km ifra hverandre.

Ferdesmyra ligger langt øst i Finnmark i Sør-Varanger kommune, og er klart den østligste av de seks overvåkingslokalitetene (Fig. 2.12 og 2.13). Det er også den lokaliteten som ligger lavest under skoggrensa, og dermed et sted der en kan forvente noe mer moderate klimamessige forhold sammenlignet med de andre lokalitetene.



Figur 2.13 Motiv fra overvåkingslokaliteten på Ferdesmyra. Foto: Elin Plathe.

2.2 Datainnsamling i felt

2.2.1 Generelt om prosjektets design

Utviklingen i palssystemene er en respons på variasjon i klima. Data som samles i systemene om deres utvikling og derivater fra disse dataene må derfor ses på som responsvariabler. Med unntak av temperaturloggere som ble utplassert på én av lokalitetene (Haugskardmyrin) ble det ikke eksplisitt samlet data om klimaets utvikling og påvirkning. Det er data om temperatur, nedbør, snødekke og snødybde som typisk vil være de aktuelle forklaringsvariablene som kan relateres til palsenes utvikling.

Når det gjelder våtmarksystemene med palser, er overvåkingen designet slik at en følger arealer med utviklede palser. Hvert område besøkes hvert femte år, og i løpet av den 20-årige prosjektperioden er alle de seks prosjektområdene besøkt fire ganger. Prosjektområdene på Haukskardmyrin og Haugtjørnin på Dovrefjell ble besøkt samme år, mens de fire andre områdene ble besøkt separate år. På denne måten ble det et omdrev hvert femte år. Målet med datainnsamlingen er å finne trender i hvordan palsene og områdene rundt utviklet seg med tanke på høyde over grunnvannsspeilet, vegetasjon, markslag og tilstedeværelse av tele. Det ble derfor definert variabler om funksjonelle grupper i vegetasjon, samt utført målinger av markhøyde over grunnvannsspeil og teledyp.

2.2.2 Registrerte variabler

Tabell 2.1 Følgende data ble registrert i prosjektet, se også kapittel 2.2.3 om hvordan det ble registrert.

Variabel	Verdi	Forklaring
Markslag	Lagg	Brem av jordvannsmyr rundt pals eller annen nedbørsmyr
Kun én av verdiene velges	Myrflate	Del av myrsystem som ikke har vegetasjonsmessig preg av skogsarter
	Pals	Del av myr som er hevet opp på grunn av permafrost. Etter hvert utvikles en særegen sonering av vegetasjonen.
	Palsring	Ringformet forhøyning som er rester fra den maksimale arealmessige utbredelsen av en pals som kollapser eller har kollapset
	Tue	Myrstruktur som står og har mistet kontakten med jordvannet
	Dam	I denne sammenheng vanndam som har oppstått på grunn av en kollapsende pals.
	Bruddkant	Overflate som kommer til syne der det skjer utglidninger av palskanten
Bunnsjikt	Lav	
Kun én av verdiene velges	Mose	
	Torvmose	
	Død torv	
	Strø	
	Vann	

Variabel	Verdi	Forklaring
Feltsjikt	Starr	
Kun én av verdiene velges. En registrerer den gruppen som treffes først ved å sikte ovenifra	Molte Lyngarter Kvitlyng Sneller Bjørnnskjegg Myrullarter Død myrull	
Busksjikt	Dvergbjørk	
Kun én av verdiene velges.	Finnmarkspors Vierarter Bjørk	
Teledybde	Måles i cm	Avstand fra pals/myroverflate og ned til tele
Høyde over grunnvannsspeilet	Måles i cm	Høyden på markoverflaten ble målt i forhold til grunnvannet i myra.
Torvsprekker	Antall, og bredde i cm	

2.2.3 Analyser langs transekter

Variablene ble registrert langs faste linjer i terrenget som ble merket opp i felt med plastpinner som ble satt ned i marka. Linjene ble plassert slik at de ved første omdrev krysset arealer som hadde palser og fikk med seg en del av arealene utenfor kantene eller mellom palsene. Lengden varierte fra rundt 8 meter til over 300 meter. For hver meter langs linjene ble det registrert data om teledybde, markhøyde, markslag og vegetasjon i henhold til tabell 2.1, dette er målepunktene. På hver lokalitet var det plassert ut flere linjer, og totalt er det registrert data fra 42 linjer på de seks overvåkingslokalitetene (tabell 2.2).

Tabell 2.2 Oversikt over antall linjer og målepunkter ved hvert overvåkingsområde

Overvåkingsområde	Antall linjer	Antall målepunkter
Dovre - Leirpullan	9	371
Dovre - Haukskardmyrin	6	625
Dovre - Haugtjørnin	2	175
Bardu - Ostojeakkit	9	1306
Kautokeino - Gohteluoppal	7	791
Sør-Varanger - Ferdesmyra	9	864
Alle områder	42	4 132



Figur 2.14 Eksempel på hvordan transektene ble lagt ut i våtmarksområdet.

2.2.4 Gjennomsnittlig palshøyde

For å få et samlet uttrykk for generell utvikling av palshøyde på hver av overvåkingslokalitetene ble det basert på høydemålingene regnet ut den gjennomsnittlige markhøyden over grunnvannsspeilet for alle målepunkter der markslaget var registrert som pals i et eller flere av omdrevene.

2.3 Forklaringsvariabler

2.3.1 Generelt om forklaringsvariabler

Det er naturlig å legge til grunn at variasjoner innen temperatur og nedbør gjennom året er det som i all hovedsak påvirker utviklingen i selve palsene. Under prosjektperioden ble det kun logget temperatur ved én av lokalitetene (Haukskardmyrin på Dovre), men dataene har foreløpig ikke blitt tilgjengeliggjort. For å kunne diskutere resultatene i forhold til klimadata har vi derfor hentet ut data fra aktuelle værstasjoner og brukt rådata samt kombinasjoner av disse for å korrelere med dataene som ble målt på overvåkingslokalitetene.

2.3.2 Data om temperatur og nedbør

Tre variabelgrupper ble inkludert i analysene for å se hvordan utviklingen av tele i palsene fra de seks forskjellige studieområdene får en felles påvirkning fra totale endringer i klimatiske forhold.

Temperaturmålinger ble hentet fra målestasjoner i Dividalen (Dividalen 1 & 2, stasjon SN89950 og SN89940), Kautokeino (Kautokeino, stasjon SN93700), Kirkenes (Kirkenes Lufthavn, stasjon SN99370) og Dovre (Fokstua og Fokstugu, stasjon SN16611 og SN16610). To ulike temperaturdataserier ble samlet; daglige middeltemperaturer (01.09.2003-01.09.2023)

og årlig sesonggjennomsnitt (1958 – 2023) for vinter, sommer, vår og høst. Temperaturene ble korrigert med $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ for forskjell i høyde mellom målestasjonene og de respektive studieområdene. Manglende data ble korrigert med interpolasjon basert på de årlige sesongsvingningene.

Sesongnedbør i forhold til normalen for 1991-2020 ble hentet fra målestasjonene Dividalen (Dividalen 1 & 2, stasjon SN89950 og SN89940), Kautokeino (Kautokeino 1 & 2, stasjon SN93700 og SN93710), Kirkenes (Kirkenes Lufthavn, stasjon SN99370) og Dovre (Fokstugu, stasjon SN16610). Verdier i forhold til normalen reflekterer en endring i nedbør som kan være proporsjonal med endringer i det nærliggende studieområdet, og dermed er en indikatorverdi for parallell utvikling over tid som da ikke trenger korrigerings for geografisk plassering. Manglende verdier ble ikke korrigert.

2.3.3 Kombinerte variabler

Tre årlige variabler ble konstruert fra temperatur og dager uten snødekke; antall dager med grader lik null eller mindre ble brukt for å indikere frost-dannelse, summen av minusgradene ble brukt som et intensitetsmål av frostdannelsen og summen av plussgrader på dager uten snødekke ble brukt som en smelteindikator. Sammen gjengir variablene forhold som en antar kan være relatert til variasjon av permafrost i palser.

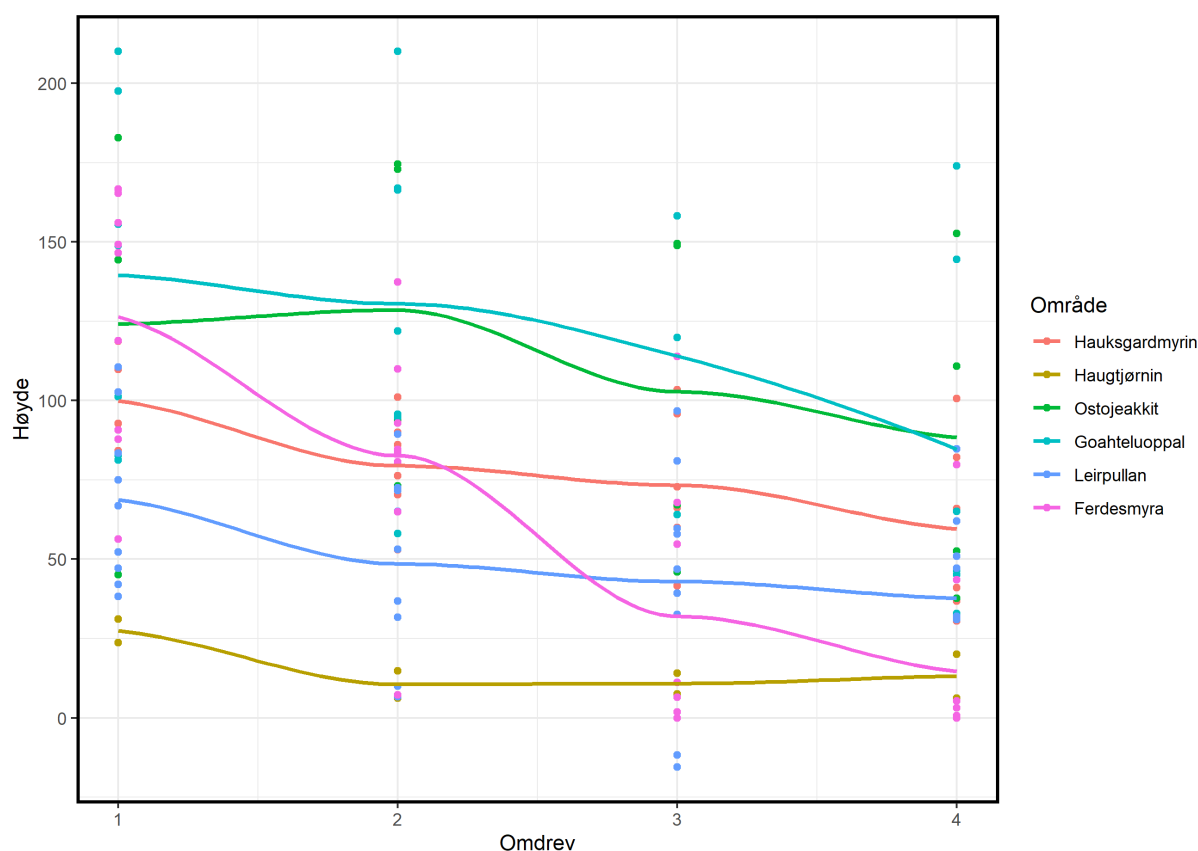
2.3.4 Korrelasjonsanalyse

Styrken og retningen av sammenhengene mellom standardiserte variabler ble vurdert ved hjelp av Kendalls rangkorrelasjonskoeffisient, en ikke-parametrisk korrelasjonstest (Kendall, 1938). Denne testmetoden ble valgt på grunn av dens robusthet mot avvik og evne til å behandle data som ikke møter forutsetningene som kreves i parametriske tester. Kendalls rangkorrelasjonskoeffisient (τ) kvantifiserer graden av overensstemmelse eller uoverensstemmelse mellom to rangerte variabler. Verdien av τ strekker seg fra -1 til 1 , der positive verdier indikerer en positiv sammenheng, negative verdier indikerer en negativ sammenheng, og verdier som ligger nær 0 tyder på ingen eller liten sammenheng mellom variablene.

3 Resultater

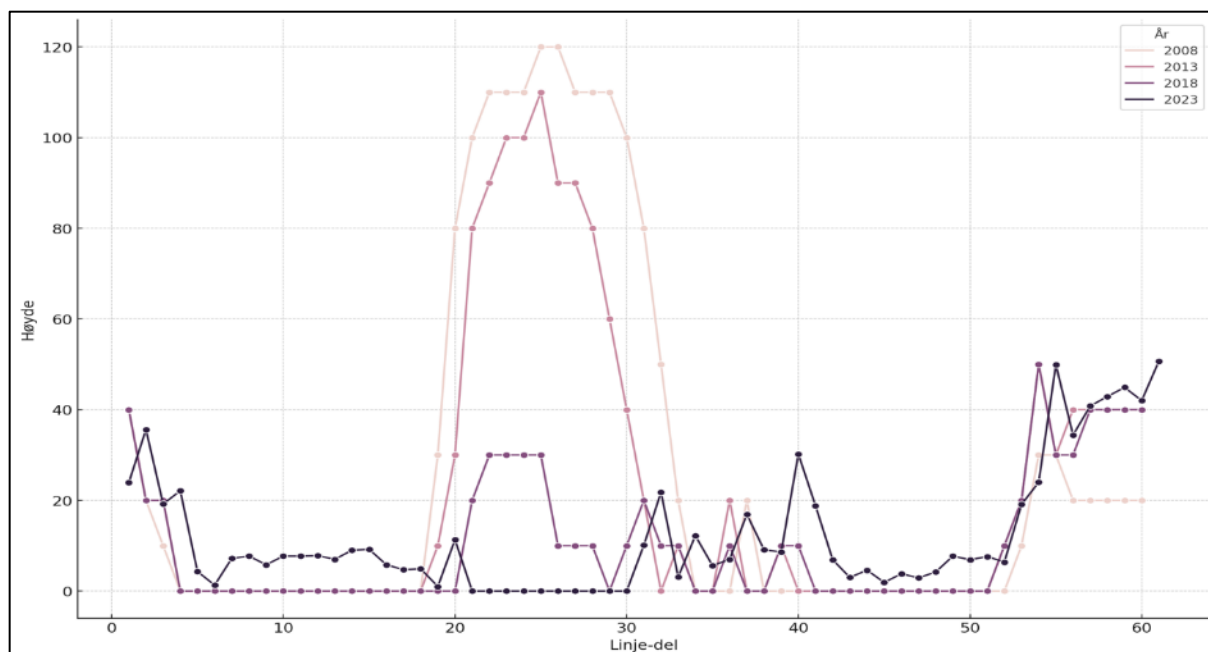
3.1 Utvikling av palshøyde

Overvåkningsprogrammet er designet slik at transektene der det samles inn data krysser over palser som ble lokalisert ved programmets oppstart. Siden palser er midlertidige strukturer som med tiden kollapser naturlig, må en forvente at høydemålingene i større grad fanger opp reduserte høyder og i mindre grad fanger opp økning i høyder. En bør likevel forvente å se forskjeller i utviklingen mellom et system som er under utsmelting og et system som er mer i en dynamisk likevekt. Figur 3.1 viser gjennomsnittlig palshøyde for hvert omdrev på de seks lokalitetene der det drives overvåking.

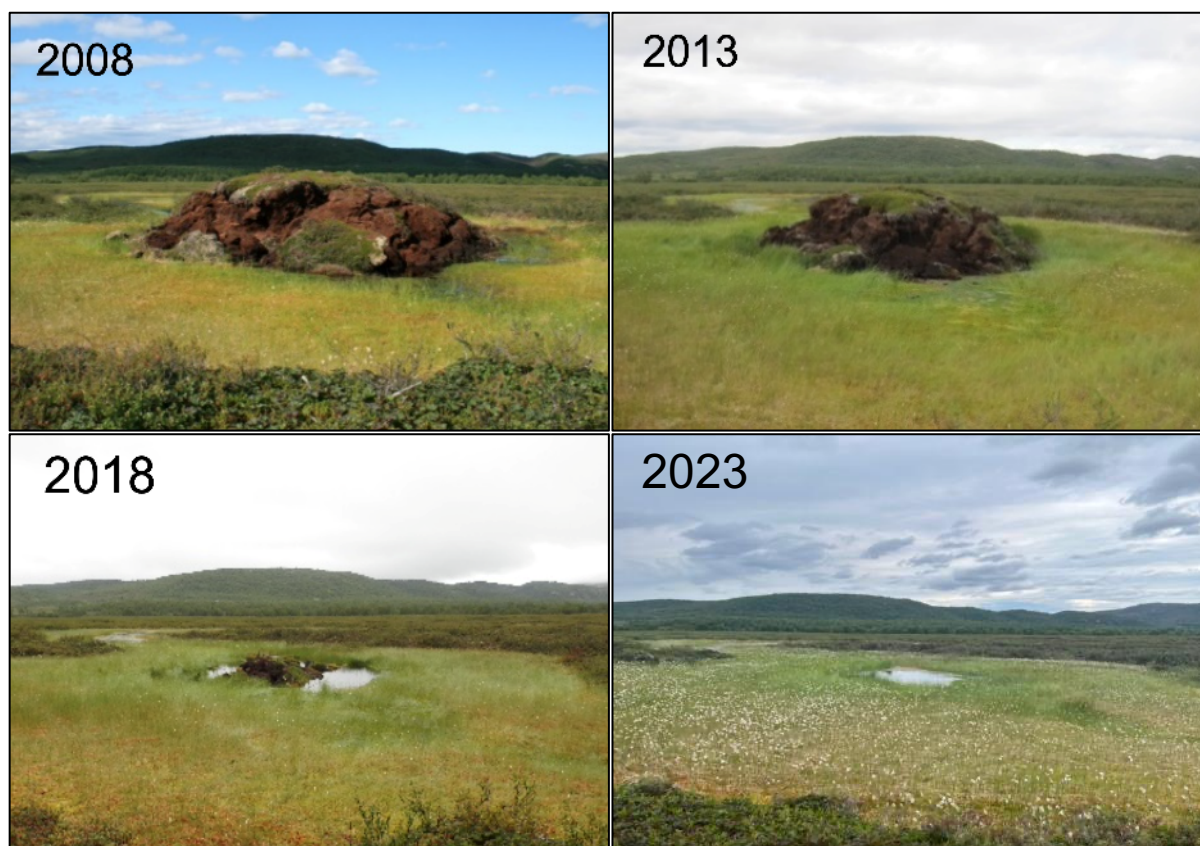


Figur 3.1 Utvikling av høyde på palser gjennom 20 år. Grafene viser gjennomsnittlig høyde pr omdrev på alle målepunkter der det ble registrert markslag «pals» i en eller flere av omdrevene og hvordan gjennomsnittet har endret seg gjennom overvåkingsperioden. Siden alle etablerte palser vil kollapse er en svak nedgang å forvente i også i et stabilt palsmiljø, mens en kraftig nedgang slik som observeres for lokaliteten Ferdesmyra klart indikerer en nedgang i permafrosten.

I henhold til figur 3.1 har utviklingen av terrenghøyden over grunnvannsspeilet på palser stort sett vært negativ. Ostojeakkit og Goahteluoppal har de høyeste palsene, mens utviklingen på disse to er temmelig lik den på Hauksgardmyrin og Leirpullan. På Haugtjørnin er det temmelig stabilt, mens Ferdesmyra har en tydelig negativ utvikling der palsene så og si har forsvunnet på de 20 årene de har blitt fulgt. Figur 3.2 og 3.3 viser hvordan en pals på Ferdesmyra har kollapset på 20 år.



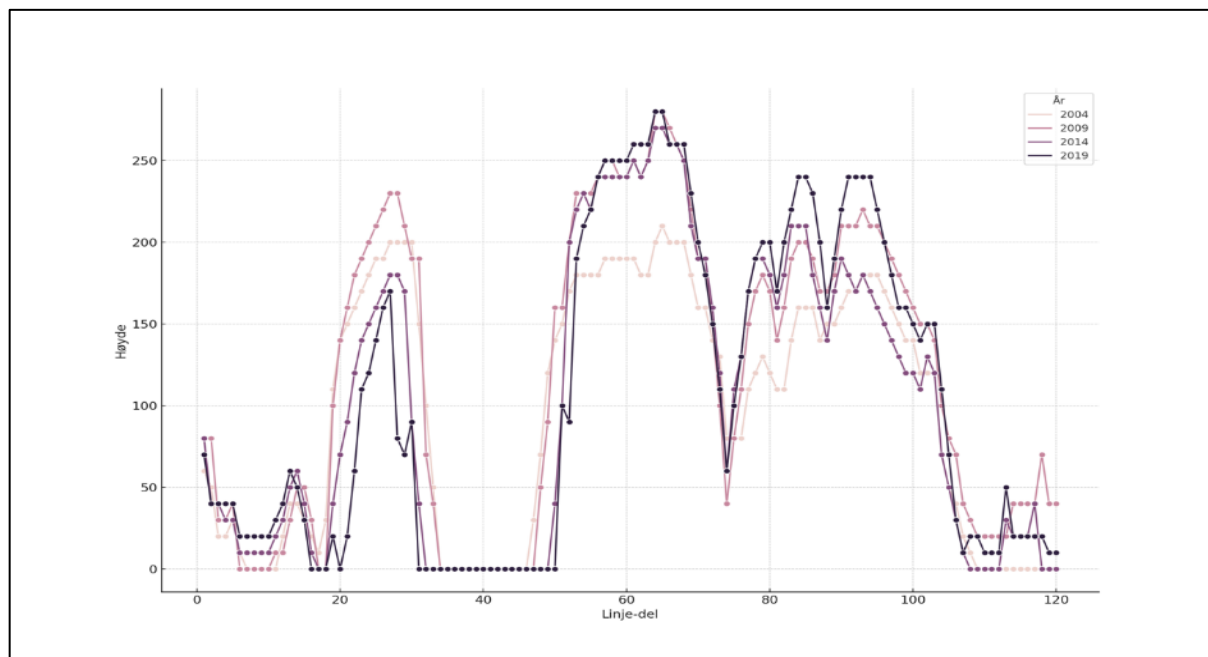
Figur 3.2 Eksempel på utviklingen i markhøyde gjennom fire omdrev av målinger langs én av linjene på Ferdesmyra. Sentrale deler av linja krysser en pals ved programmets oppstart, men er nå i 2023 helt borte.



Figur 3.3 Pals på Ferdesmyra som har blitt borte i løpet av overvåkingsperioden. Foto: Elin Plathe (2023) NINA (alle andre år).

På lokaliteten ved Ostojeakkitt som er et av de mer stabile systemene har også den gjennomsnittlige markhøyden over grunnvannsspeilet på palsene sunket langs de overvåkede

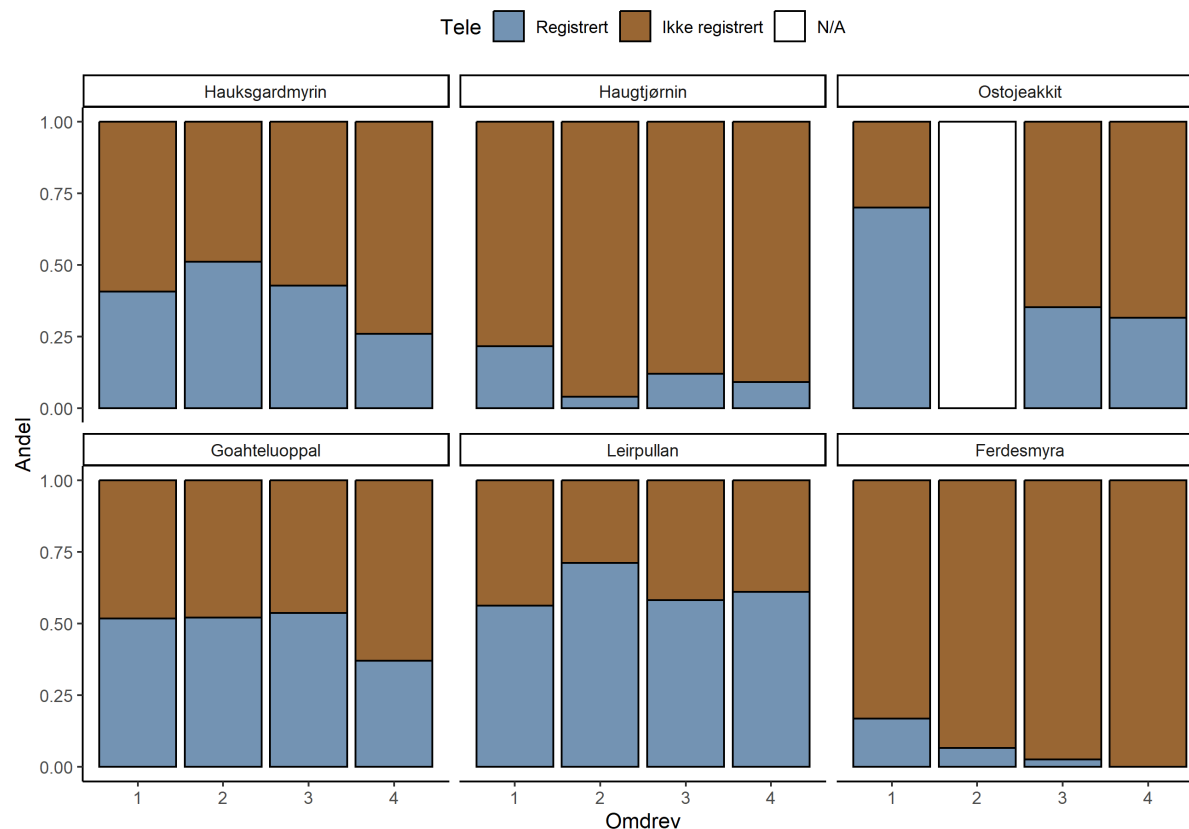
linjene sunket, men det er også eksempler på at markhøyden har steget. Utviklingen langs en slik linje er vist i figur 3.4.



Figur 3.4 Eksempel på utviklingen i markhøyde gjennom fire omdrev av målinger langs én av linjene på Ostojeakkit. Linja krysser flere palser, og to av dem har vokst igjennom prosjektperioden, mens en annen har sunket noe sammen.

3.2 Utviklingen av tele

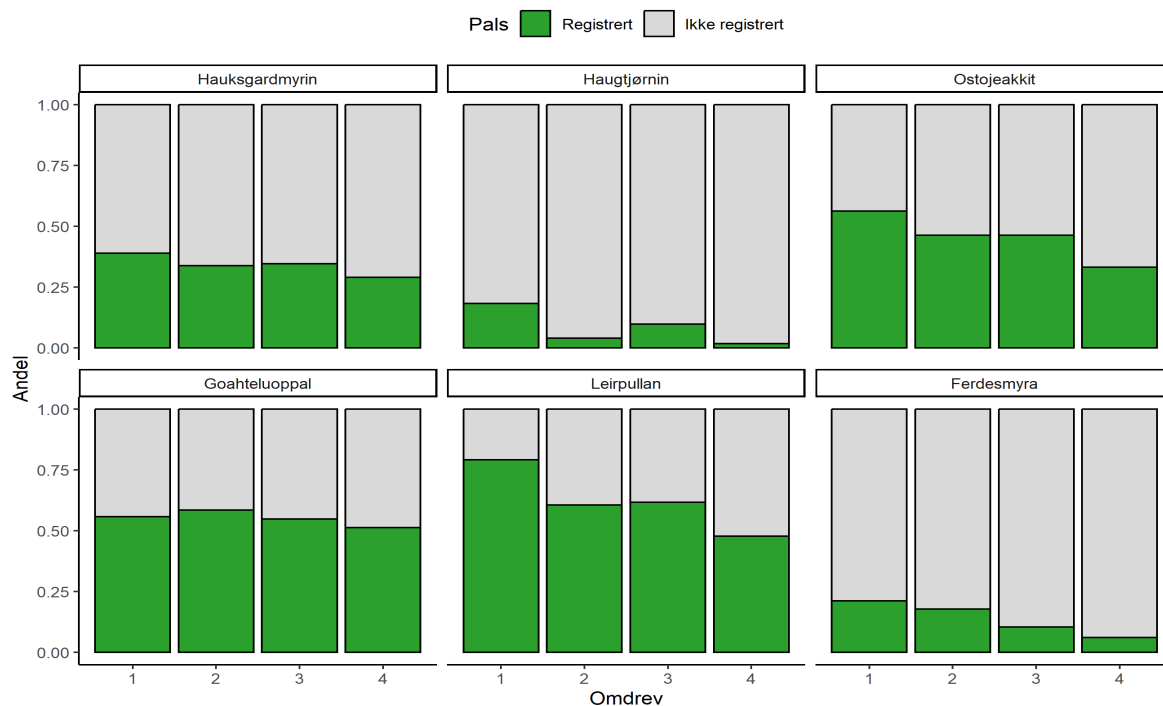
Det er interessant å se på ved hvor mange målepunkter det ble påvist tele. En utvikling der det påvises færre målepunkter med permafrost tyder på at det er en lateral reduksjon av palsene. Det er laget et diagram som viser utviklingen i totalt antall målepunkter der det ble påvist permafrost for hvert omdrev per lokalitet (Fig 3.5). Kun Leirpullan ser ut til å ha et relativt stabilt antall målepunkter med tele. Ved alle andre lokaliteter har arealet med permafrost blitt mindre. Ved Goahteluoppal er reduksjonen liten. Variasjon i selve teledypet er en respons på smeltesesongen det enkelte året, og ikke meningsfylt å presentere når en kun har fire omdrev å sammenligne.



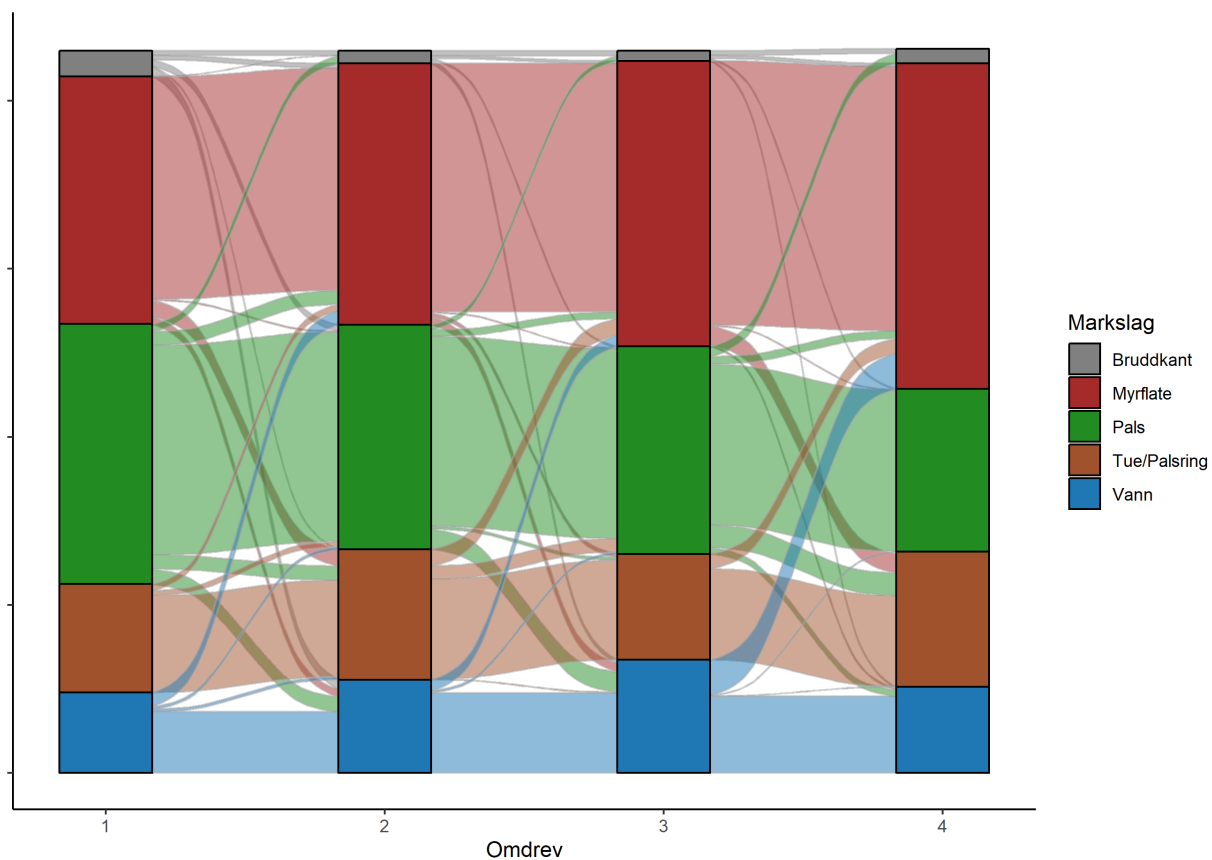
Figur 3.5 Diagrammet viser utviklingen per lokalitet i antall målepunkter det ble registrert tele. Under andre omdrev ved Ostojeakkitt ble det ikke målt teledyp ved alle linjene og søylen vises derfor ikke.

3.3 Utvikling av markslag langs linjene

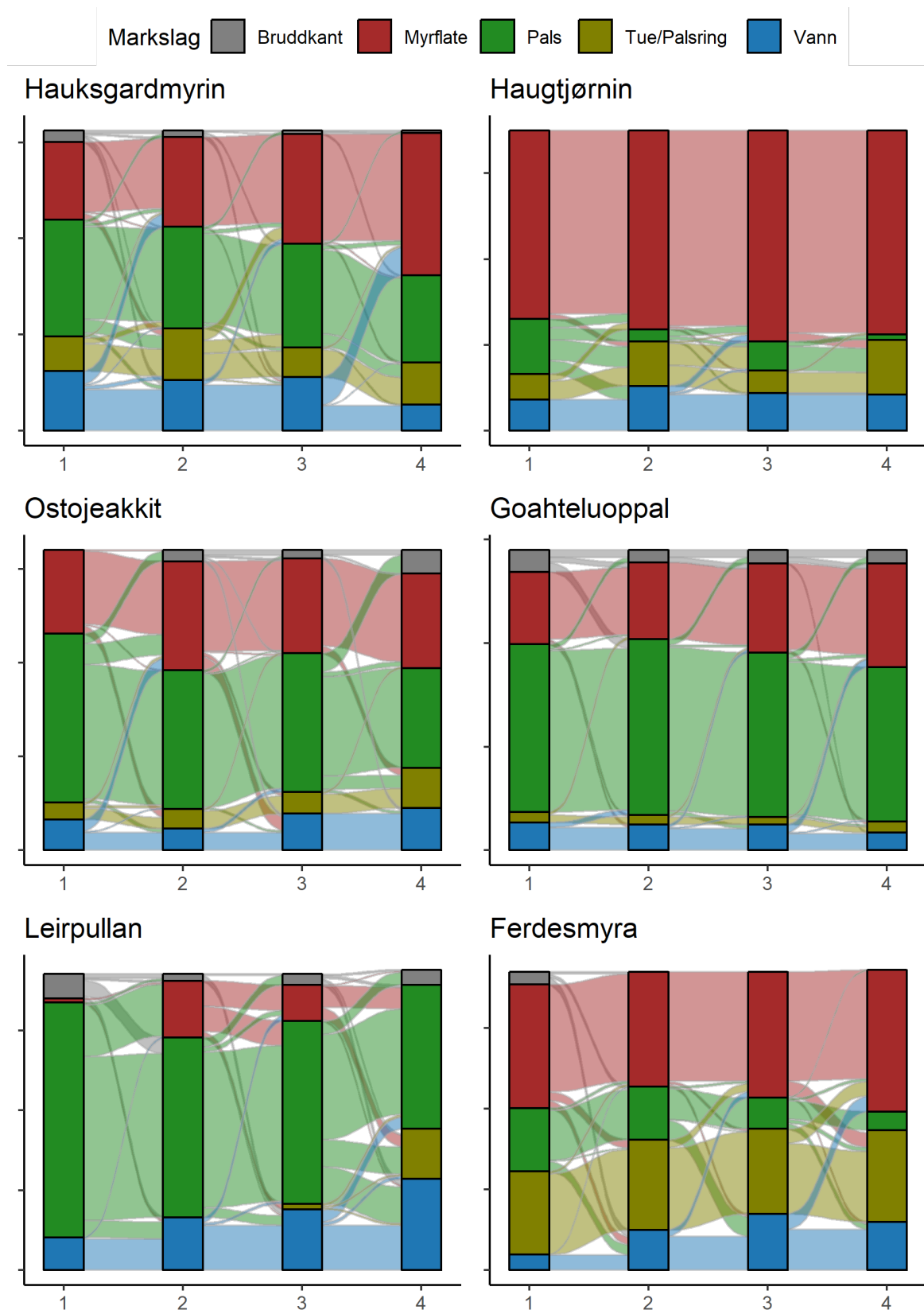
Det ble registrert markslag ved hvert av målepunktene. Det er spesielt interessant å se på hvordan markslag «pals» har utviklet seg på de seks overvåkingslokalitetene gjennom de fire omdrevene. Dette er vist i figur 3.6. Det er også laget diagrammer som viser hva markslag ved de ulike målepunkter har utviklet seg fra og til (Fig 3.6 og 3.7). Det er klart en synkende trend for markslag «pals» langs linjene, og målepunkter som ble registrert som pals ble senere oftest registrert som vann eller myrflate. Dette er naturlig når palser kollapser og etterlater termokarstinnsjøer og tilliggende myrområder. Det er også en klar trend med av målepunkter i vann senere blir registrert som myrflate, noe som gjenspeiler gjengroingen av termokarsinnsjøene til mykmatter i myr.



Figur 3.5 Diagrammet viser utviklingen av andelen målepunkter der det ble registrert markslag pals for hver lokalitet.



Figur 3.6 Utviklingen i andelen av de registrerte markslagene per omdrev på tvers av overvåkingslokalitetene (uten Leirpullan).



Figur 3.7 Utviklingen i andelen av de registrerte markslagene per omdrev ved de seks overvåkingslokalitetene.

3.4 Korrelasjoner med klimadata

Foreløpig er det bare fire omdrev i dette programmet for hver lokalitet. Det er for lite til å kunne gjøre statistiske tester av de innsamlede dataene mot klimadata. For å likevel forsøke å vise noen sammenhenger er det gjort noen tester der alle registreringene fra alle lokalitetene og alle omdrevne er med ($n = 6 \text{ lokaliteter} \times 4 \text{ omdrev} = 24$). Det ble gjort tester der ulike klimarelaterte variabler ble korrelert med antall målepunkter der det ble registrert tele. Variabler knyttet til kulde og frost ble funnet å være korrelert. Resultatene er presentert i tabell 3.1. Tilsvarende tester ble gjort der gjennomsnittlig teledyp i centimeter ble korrelert med de samme variablene. Disse testene påviste ingen signifikante korrelasjoner.

Tabell 3.1. Korrelasjon (Kendalls tau) mellom ulike klimarelaterte forklaringsvariabler og antall målepunkter det ble målt tele på hver lokalitet og hvert omdrev ($n=6 \times 4$ omdrev). Korrelasjoner med p-verdier under 0,05 er markert med fete typer.

Forklaringsvariabel	Korrelasjons-koeffisient	P-verdi
Antall frostdager i året	0,089319	0,678108
Akkumulert frost pr år	-0,5208	0,009072
Temperatursum i barmarksesongen	-0,11768	0,583952
Nedbør om høsten	0,265209	0,232933
Nedbør om våren	-0,13872	0,527877
Nedbør om sommeren	0,193816	0,375553
Nedbør om vinteren	-0,02595	0,906424
Gjennomsnittlig temperatur høst	-0,41669	0,042811
Gjennomsnittlig temperatur vår	-0,25725	0,224921
Gjennomsnittlig temperatur sommer	-0,09172	0,669936
Gjennomsnittlig temperatur vinter	-0,48019	0,017556

4 Diskusjon

Det er gjort fire omdrev ved de seks overvåkingslokalitetene. Generelt er dette for få gjentagelser til å påvise signifikante endringer og gjøre statistiske analyser som relaterer endringene på hver lokalitet til de antatte klimarelaterte parametrene som forårsaker endringene. Resultatene som presenteres er derfor i stor grad diagrammer som kun viser trender i dataene som er samlet inn.

Palshøyde er kanskje det målet som gir mest inntrykk av hvordan det går med palsstrukturene som overvåkes. Grafene i figur 3.1 indikerer en generell nedgang i høyde til de palsene som blir krysset av linjene. Ved Goahteluoppal, Ostojeakkitt, Haukskardmyrin og Leirpullan er høydereduksjonen svak, men kontinuerlig. Når en konsentrerer overvåkingen rundt eksisterende palser så er det naturlig at en vil registrere en tilbakegang siden palser er midlertidige strukturer. Det er vanskelig å bedømme hvorvidt denne svake tilbakegangen skyldes naturlig kollaps av palser eller om det er en trend i systemet. Det ser i hvert fall ut til at reduksjonen i høyde er temmelig lik i alle disse fire systemene.

Når det gjelder Haugtjørnin så observeres det at palsene har en svært stabil og lav høyde. Om dette området vet vi at det har vært stor nedsmelting av en større pals i området før overvåkingen kom i gang og de gjenværende svært lave palsene virker stabile. En mulig forklaring er at disse ikke synker fordi de står på fast grunn under myra og egentlig har mistet dynamikken som palser. Utviklingen på Ferdesmyra er mer dramatisk. Her har palshøyden sunket drastisk og nesten alle palsene har sunket under grunnvannsspeilet. I 2023 var det bare én palsstruktur igjen, men den var uten tele og virket stabil. Sprekkdannelsene på den hadde begynt å gro igjen med mose, noe som viser at den ikke er i nevneverdig bevegelse. Palser nær myrkanter der det ikke er så langt ned til fast grunn kan muligens «gå på grunn» og synker da ikke helt ned i dypet. Kollapsen av palsene på Ferdesmyra virker klart å være klimarelatert, og det er naturlig at dette observeres på denne lokaliteten som ligger bioklimatisk lavest av alle de seks overvåkingslokalitetene (Ca 110 høydemeter under skoggrensa). Nitidige studier av de nyeste flybildene over Ferdesmyra viser at det knapt er en eneste pals igjen i dette store våtmarksområdet nå.

Registreringene av markslagskategorier underbygger det samme bildet som tegnes av resultatene for gjennomsnittlig palshøyde. Totalt antall målepunkter registrert som pals eller palsplatå har gått nedover ved alle lokaliteter, og aller mest ved Ferdesmyra. Dette tilsier en lateral reduksjon i pals/palsplatå ved lokalitetene. Også ved Haugtjørnin er det en klar og jevn tilbakegang i markslag pals til tross for at høydene er svært stabile der. Dette styrker inntrykket av at denne lokaliteten har mistet paldynamikken og at de nåværende strukturene er stabile fordi de står på fast grunn under myra.

Når det gjelder forekomst av permafrost ved målepunktene er det også reduksjon som er hovedbildet, men trendene er kanskje ikke så klare. Ferdesmyra hadde en svært lav andel punkter med tele allerede ved starten av overvåkingen og har fått færre og færre punkter med tele for hvert omdrev helt til all tele langs linjene var borte i 2023. Leirpullan er lokaliteten som har høyest andel av tele i målepunktene (ca. 60%) og i tillegg stabil, mens Goahteluoppal også har en høy og ganske stabil andel (rundt 50 % i tre første omdrev, men sunket til rett under 40% i siste omdrev). Det er vanskelig å si om dette er starten på en trend ved denne lokaliteten, et artefakt av målingene eller en tilfeldig tilbakegang. Ostojeakkitt og

Haukskardmyrin har en lavere og synkende andel (rundt 30% ved siste omdrev). Haugtjørnin har en lav, men stabil andel på rundt 10%.

Det er målt teledybde langs alle transektene i programmet. Det er naturlig å relatere disse dataene til temperatur og nedbørsdata for samme år som det er målt teledyp. Ingen korrelasjoner ble påvist mellom klimadata og hvor dyp telen lå i myrene i de statistiske testene som ble gjort. Korrelasjon med andel målepunkter med tele på en lokalitet viste imidlertid å være korrelert med de ulike variablene som uttrykker frost og lave temperaturer høsten og vinteren i forkant av sommeren der teledyp blir målt. Det er altså frostinngangen under den forutgående høsten og vinteren som har størst betydning for forekomst av tele i første halvdel av august da målingene ble utført. Variabler relatert til smeltesesongen om sommeren var ikke korrelert, noe som er verdt å merke seg. Disse resultatene er i tråd med Olvmo m.fl. (2020) som undersøkte hvilke miljøvariabler som var best korrelert med degenerering av palser.

Andre studier som har studert degenerering av palser har gjort dette ved å se på endringer i palsenes laterale utbredelse, og ikke målt høyde (Borge m.fl. 2017, Olvmo et al 2020). Palsene kan da identifiseres på flybilder og det er mulig å beregne arealforskjeller mellom bilder fra ulike år, også fra år langt tilbake i tid. Resultater fra disse studiene konkluderer også med at palsene i Fennoskandia går tilbake. Dette er en trend som kan dokumenteres tilbake til 1950-tallet, og trolig har reduksjonen pågått kontinuerlig siden avslutningen av den lille istid på 1800-tallet. Dette underbygges av tallrike myrområder i Finnmark og andre steder som nå bare har eldre rester etter palser. De siste tiårene ser utviklingen ut til å ha akselerert, og det er ingen grunn til at denne trenden ikke skal fortsette. Det forventes derfor en økt reduksjon av palser i stadig mer kontinentale og høyereliggende områder.

Overvåkingsprogrammet for palsmyrer har til nå vært bygd opp rundt målinger av palshøyde, teledyp og markslag langs faste transekter. Det er en relativt krevende datainnsamling som gir informasjon om et svært begrenset utvalg av palsene i Norge. Med tanke på videre overvåking vil det være naturlig å tenke på de stadig nye mulighetene som ligger i fjernmåling som et supplement til feltregistreringer. Det vil gi et mye klarere bilde å overvåke større heldekkende arealer. Palsene endres ofte raskere i horisontal retning enn vertikalt. Når en pals først har begynt å smelte vil den bli omgitt av vann, og utglidninger på sidene gjør at palsen skrumper inn fra sidene. Det er også mulig å lage høydemodeller fra overlappende flyfotografier og overvåke endringer i markhøyde. Det blir mindre nøyaktige høydemålinger, men de kan utføres i veldig store arealer, noe som er av stor interesse. Den vegetasjonsmessige utviklingen i våtmarkssystemene med palser, samt forekomst av tele vil likevel kreve feltarbeid for å dokumenteres.

Det er også kjent at smelting av permafrost fører til utslipp av klimagasser. Alle våtmarker har også et naturlig metanutslipp. En bør trolig også vurdere hvordan disse utslippene kan kvantifiseres. Dette har foreløpig ikke vært et tema i overvåkingen av palsmyr i Norge.

5 Referanser

- Borge, A. F., Westermann, S., Solheim, I. & Etzelmüller, B. 2017. Strong degradation of palsas and peat plateaus in northern Norway during the last 60 years. *The Cryosphere*, 11, 1–16.
- Christiansen, H. H., Etzelmüller, B., Isaksen, K., Juliussen, H., Far- brot, H., Humlum, O., Johansson, M., Ingeman-Nielsen, T., Kristensen, L., Hjort, J., Holmlund, P., Sannel, A. B. K., Sigsgaard, C., Akerman, H. J., Foged, N., Blikra, L. H., Pernosky, M. A., & Ødegard, R. S. 2010. The Thermal State of Permafrost in the Nordic Area during the International Polar Year 2007–2009, *Permafrost Periglac.* 21, 156–181.
- Hofgaard, A. 2003. Effects of climate change on the distribution and development of palsa peatlands: background and suggestions for a natural monitoring project. NINA project report 21, 1-32.
- Hofgaard, A. 2004. Etablering av overvåkingsprosjekt på palsmyrer. NINA Oppdragsmelding 841, 1-32.
- Hofgaard, A., Kyrkjeeide, M. O. & Myklebost, H. E. 2020. Palsmyr – en naturtype vi er i ferd med å miste. NINA Temahefte 80, 1-32.
- Hofgaard, A., Kyrkjeeide, M. O. & Myklebost, H. E. 2020. Overvåking av palsmyr. Tredje gjenanalyse i Ostojeaggi, Troms. Endringer fra 2004 til 2019. NINA Rapport 1820, 1-50.
- Hofgaard, A., Kyrkjeeide, M. O. & Myklebost, H. E. 2021. Overvåking av palsmyr. Tredje gjenanalyse i Haukskardmyrin og Haugtjørnin, Dovre. Endringer fra 2005 til 2020. NINA Rapport 1980, 1-50.
- Hofgaard, A., Kyrkjeeide, M. O. & Myklebost, H. E. 2022. Overvåking av palsmyr. Tredje gjenanalyse i Gohteluoppal, Vest- Finnmark. Endringer fra 2006 til 2021. NINA Rapport 2128, 1-50.
- Johansson, M., Åkerman, J., Keuper, F., Christensen, T., Lantuit, H. & Callaghan, T. 2011. Past and Present Permafrost Temperatures in the Abisko Area: Redrilling of Borehole. *Ambio* vol. 40, 558–565.
- Pissart, A. 2013. Palsas and lithalsas. *Treatise on geomorphology*, 8(16), 223 – 237.
- Plathe, E. og Arnesen, G. 2022: Overvåking av palsmyrer i Norge - Årsrapport 2022, med resultater fra Leirpullan, Dovre i Trøndelag. Sállir rapport 24, 1-17.
- Rempel, A. W. 2007. Formation of ice lenses and frost heave. *Journal of Geophysical Research, Earth Surface*, 112(F2), 1-17.
- Seppälä, M. 1997. Distribution of premafrost in Finland. *Bulletin of the geological Society of Finland* 69, part 1, 87-96.
- Sollid, J. L. & Sørbel, L. 1974. Palsa bogs at Haugtjørnin, Dovrefjell, South Norway, *Norsk Geogr. Tidsskr.*, 28, 53–60.
- Sollid, J. L. & Sørbel, L. 1998. Palsa bogs as a climate indicator – Examples from Dovrefjell, southern Norway. *Ambio* 27, 287–291.
- Zuidhoff, F. S., & Kolstrup, E. 2000. Changes in palsa distribution in relation to climate change in Laivadalen, northern Sweden, especially 1960–1997. *Permafrost and periglacial processes*, 11(1), 55-69.

Zuidhoff, F. S., & Kolstrup, E. 2005. Palsa development and associated vegetation in northern Sweden. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 37(1), 49-60.



Brannull er ofte den karplantearten som dominerer i gjengroende dammer der palser har kollapset. Foto: Geir. Arnesen.

Sállir rapport er et elektronisk tidsskrift der Sállir natur AS publiserer oppdragsrapporter.
Sállir natur AS er et naturfaglig konsulentselskap med ekspertise på nordområdene og Arktis.

Kontaktinformasjon:

Solheimveien 12
9415 Harstad
Org.nr 924 582 022

www.sallirnatur.no