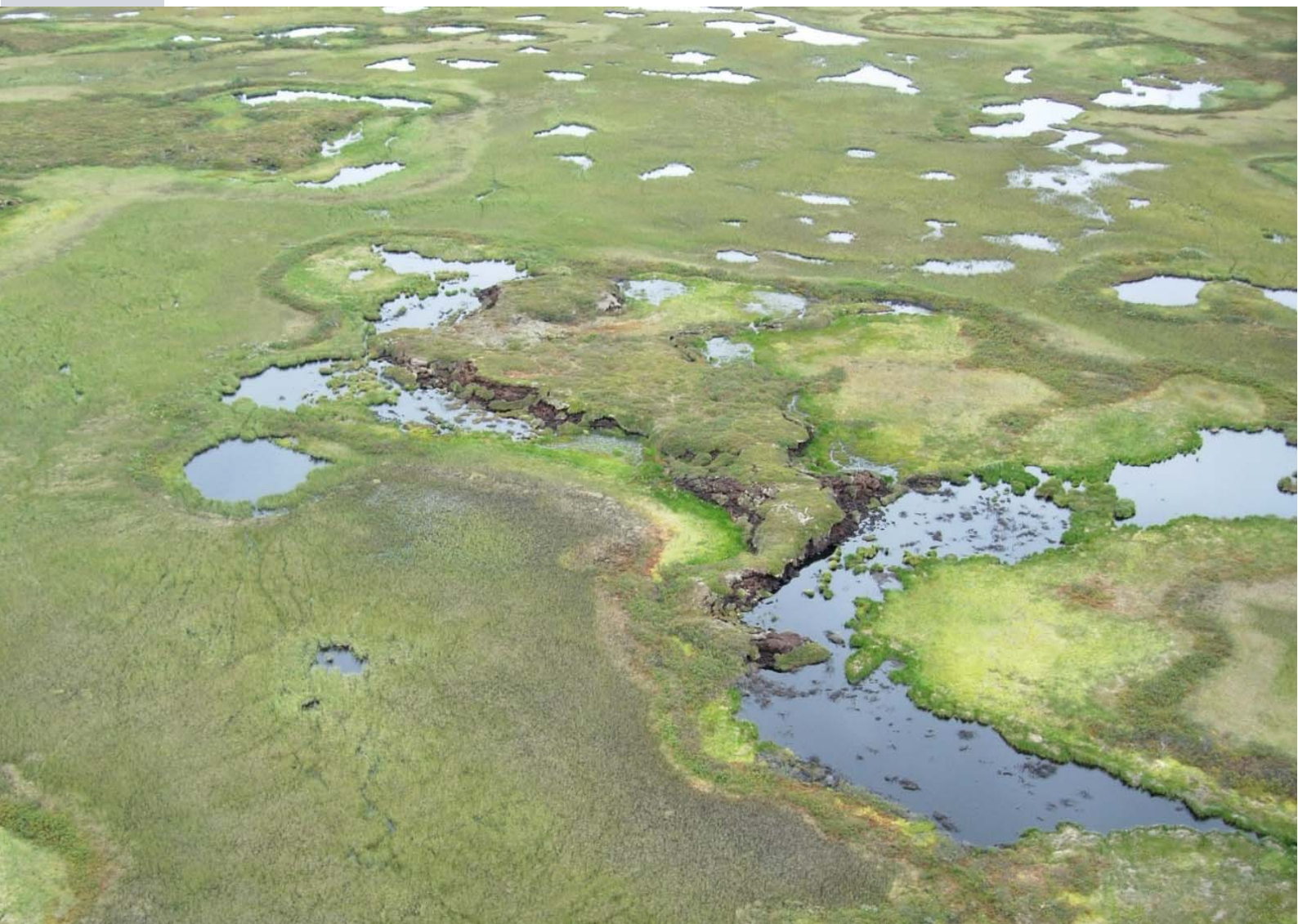


Overvåking av palsmyr

Andre gjenanalyse i Goahteluoppal, Vest-Finnmark. Endringer fra 2006 til 2016

Annika Hofgaard & Heidi Myklebost



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er en elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

NINA Kortrapport

Dette er en enklere og ofte kortere rapportform til oppdragsgiver, gjerne for prosjekt med mindre arbeidsomfang enn det som ligger til grunn for NINA Rapport. Det er ikke krav om sammendrag på engelsk. Rapportserien kan også benyttes til framdriftsrapporter eller foreløpige meldinger til oppdragsgiver.

NINA Temahefte

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Overvåking av palsmyr

Andre gjenanalyse i Goahteluoppal, Vest-Finnmark. Endringer
fra 2006 til 2016

Annika Hofgaard
Heidi Myklebost

Hofgaard, A. & Myklebost, H. 2017. Overvåking av palsmyr. Andre gjenanalyse i Goahteluoppal, Vest-Finnmark. Endringer fra 2006 til 2016. – NINA Rapport 1353. 48 s.

Trondheim, april 2017

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-3062-9

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Annika Hofgaard

KVALITETSSIKRET AV

Per Arild Aarrestad

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningssjef Signe Nybø (sign.)

OPPDRAKSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Miljødirektoratet

OPPDRAKSGIVERS REFERANSE

M-766|2017

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Else Løbersli

FORSIDEBILDE

Pals med tydelige erosjonskanter mot omgivende dammer og våte myrområder i sentrale deler av Goahteluoppal. Foto: A. Hofgaard

NØKKEWORD

Goahteluoppal, palsmyr, permafrost, overvåking, vegetasjon

KEY WORDS

Goahteluoppal, monitoring, palsa peatlands, permafrost, vegetation

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Sluppen
7485 Trondheim
Telefon: 73 80 14 00

NINA Oslo

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon: 73 80 14 00

NINA Tromsø

Framsenteret
9296 Tromsø
Telefon: 77 75 04 00

NINA Lillehammer

Fakkeltgården
2624 Lillehammer
Telefon: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Hofgaard, A. & Myklebost, H.E. 2017. Overvåking av palsmyr. Andre gjenanalyse i Goahteluoppal, Vest-Finnmark. Endringer fra 2006 til 2016. – NINA Rapport 1353. 48 s.

Overvåking av palsmyr er et nasjonalt overvåkingsprogram initiert av Direktoratet for naturforvaltning (nåværende Miljødirektoratet), med oppstart i 2004. Programmet er designet for å spore endringer i klimasensitive økosystemer og omfatter i alt seks utvalgte overvåkingsområder fra Finnmark i nord til Dovre i sør. Områdene analyseres hvert femte år. I denne rapporten presenteres resultater fra gjenanalyser i Goahteluoppal i Vest-Finnmark, ti år etter førstegangsundersøkelser i 2006. Dokumenterte endringer baseres på overvåkingsdata fra 2006, 2011 og 2016, og flybilder fra perioden 1958 til 2012. Rapporten gir også en kortfattet bakgrunn for behovet for overvåking av palsmyr, relevante klimadata for Goahteluoppal, og benyttede overvåkingsmetoder (analyser av palsformasjoner, markslagsfordeling, teledybde og vegetasjonsfordeling). I vedlegg gis detaljer for klimatiske forutsetninger og endring av palsmyrer i tid og rom. Goahteluoppal er et ca. 15 km² stort myrområde med palsformasjoner i store deler av området. Tre delområder innen området er brukt i overvåkingsstudiet. Palsformasjoner, dammer og erosjonsområder ble analysert langs syv permanente analyselinjer i 2006 og 2011, med hensyn til palsstørrelse, teledybde og vegetasjon. I 2016 ble kun tre av linjene analysert grunnet høy vannstand på myrene. Registreringene danner grunnlaget for analyser av endringer over tid, sammen med fotodokumentasjon langs linjene og utvalgte palsformasjoner. Resultatene fra linjeanalysene er presentert i tabeller og figurer som visualiserer småskalafordelingen av markslag (10 variabler), bunn-sjikt (6 variabler), feltsjikt (8 variabler), busksjikt (3 variabler), teledybde og palshøyde.

Overvåkingen av palsmyrområdene i Goahteluoppal viser raske endringer i permafrostens utbredelse, men studiene viser også at det er betydelig treghet i palsmyrenes respons på endret klima. Flybilder fra 1958 viser omfattende utbredelse av store palser, men også tegn på allerede da pågående palsreduksjon som følge av klimaoppvarming før 1950-tallet. En del av palsene fra 1958 eksisterer fortsatt, men størrelsen av palsene er betydelig redusert. Linjeanalyser innen mindre våte myrområder viser relativt langsom reduksjon i eldre velutviklede palsers størrelse og telens utbredelse i perioden 2006 til 2016. Det ble ikke registrert noen nye palsformasjoner. Registreringer fra helikopter viste imidlertid en relativt omfattende reduksjon i dominerende palsformasjoner innen området våtere partier hvor linjeanalyser ikke er mulig. Tilbakegangen i dominerende palsformasjoner skyldes først og fremst endringer i regionens klima over lang tid, men registrert variasjonen mellom år langs linjene skyldes også ulike værforhold mellom analyseårene. Ulike værforhold mellom år er i tillegg avgjørende for hastigheten og trenden i den langsiktige utviklingen. I tørrere deler av Goahteluoppal, som domineres av store palser, og der tilfeldig økning av permafrost motvirker den generelle tilbakegangen, vil palsmyrbiotopen sannsynligvis finnes i mange tiår fremover. Denne vurderingen tar imidlertid ikke hensyn til en eventuell generell endring av telenivå og vegetasjon på palsene, noe som vil kunne endre hastigheten til prosessen betraktelig. Buskdominerte områder har økt på palsene fra 2006 til 2016, samtidig som lavdekket er redusert. Dette er vegetasjonsforhold som er ugunstige for langsiktig overlevelse av eldre palser fordi høyere og mindre lysreflekterende vegetasjon har negativ påvirkning på telenivået. Neste analyse av området er planlagt i 2021.

Annika Hofgaard og Heidi Elin Myklebost. NINA Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim.
annika.hofgaard@nina.no

Abstract

Hofgaard, A. & Myklebost, H.E. 2017. Monitoring of palsa peatlands. Second re-analysis at Goahteluoppal, Vest-Finnmark. Changes from 2006 to 2016. – NINA Report 1353. 48 pp.

The monitoring of palsa peatlands is a national monitoring project which was started in 2004 by the Norwegian Directorate for Nature Management (current Norwegian Environment Agency). The project is designed to reveal changes in climate-sensitive ecosystems, and includes six selected monitoring areas from Finnmark in the north of Norway to the Dovre region in the south. This report presents the results from reanalyses ten years after the initial investigations in 2006 at Goahteluoppal, Vest-Finnmark. Documented changes are based on data from 2006, reanalyses in 2011 and 2016, and air photos from the period 1958 to 2012. The report also presents a short background to the need for palsa peatland monitoring, climate data relevant to the Goahteluoppal area, and monitoring methods (analyses of palsa formations, distribution of land cover types, ground frost and vegetation). Details for climatic requirements and spatiotemporal changes of palsa peatlands are given in an appendix. Goahteluoppal is a ca. 15 km² peatland area with palsas over large parts of the area. Three sub-areas are used in the monitoring study. Palsa formations, thermokarst ponds and erosion areas were analysed along seven permanent sampling lines in 2006 and 2011 with respect to palsa size, thaw depth and vegetation. In 2016 only three of the lines were analysed due to high water levels on the mires. The line-recordings form together with photos along the lines and of selected palsa formations, the basis for analyses of temporal and spatial changes. Results from the line-analyses are presented in tables and figures visualising small scale distribution of land cover types (10 variables), bottom layer (6 variables), field layer (8 variables), shrub layer (3 variables), thaw depth, and palsa height above surrounding mire areas.

The monitoring of palsa peatlands at Goahteluoppal shows both rapid changes in the permafrost distribution, but also considerable inertia in palsa peatland response to climate changes. Air photos from 1958 show widespread distribution of large palsas, but also signs of decaying palsas as a result of climate warming before the 1950s. Some of the palsas present in 1958 still exist, but their size is markedly reduced. Line-analyses in less wet mire areas show a relatively slow decrease in both the size of old well-developed palsas and in permafrost distribution in the period 2006 to 2016. No new palsa formations were recorded. However, recordings from helicopter showed relatively extensive reduction of dominating palsas in the wetter sections of the area, where line analyses are not possible. The decline in old dominating palsa formations is primarily related to long-term regional climate changes, but recorded variation among years is also related to different weather conditions between individual sample years. Weather differences between years are, in addition, vital to the rate and trend in the long-term development. In less wet parts of Goahteluoppal, which are dominated of large palsas, and where occasional formation of new permafrost counteracts the dominating recession process, the palsa biotope will most likely remain for many decades. However, this assessment does not take into account a possible general change of thaw depth and vegetation structure of palsas, which could significantly change the speed of the process. Shrub dominated areas on the palsas has increased during the 2006-2016 period, while the lichen cover is reduced. These are vegetation conditions that are unfavourable for long-term survival of old palsas because taller and less light reflecting vegetation has a negative impact on ground frost depth. The next analysis of the area is scheduled to 2021.

Annika Hofgaard and Heidi Elin Myklebost. NINA, P.O. Box 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim, Norway. annika.hofgaard@nina.no

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	4
Innhold	5
Forord	7
1 Innledning	8
2 Overvåkingsstudiens design	11
2.1 Overvåkingsområder.....	11
2.2 Metoder.....	12
2.2.1 Analysefrekvens.....	12
2.2.2 Linjeanalyser.....	12
2.2.3 Fotodokumentasjon.....	13
2.2.4 GPS-registreringer.....	14
2.2.5 Flybilder.....	14
3 Områdedata - Goahteluoppal	15
3.1 Områdebeskrivelse.....	15
3.2 Klimadata.....	16
3.2.1 Lufttemperatur.....	16
3.2.2 Nedbør.....	18
3.2.3 Snødybde.....	18
3.3 Fly og satellittbilder.....	20
3.4 Overvåkingsdata og status ved starten for overvåkingen.....	20
3.4.1 Områder og palsformasjoner.....	20
3.4.2 Linjeanalyser.....	22
3.4.3 Sprekkfrekvens.....	23
3.4.4 Artfrekvens.....	23
3.5 Datainnsamling.....	24
4 Resultat	25
4.1 Palsformasjoner.....	25
4.1.1 Endringer siden 1950-tallet.....	25
4.1.2 Endringer i overvåkingsperioden 2006 til 2016.....	27
4.2 Linjeanalyser.....	29
4.2.1 Tele og markslag.....	29
4.2.2 Sprekkfrekvens.....	30
4.2.3 Artsfrekvens.....	32
4.3 Menneskelig påvirkning.....	35
5 Diskusjon	36
6 Tidsplan	38
7 Referanser	39
7.1 Rapporter fra overvåkingsprosjektet.....	39
7.2 Annen sitert litteratur.....	39
8 Vedlegg 1: Klimatiske forutsetninger og endring av palsmyrer i tid og rom	42
8.1 Sammensättning och struktur.....	42
8.2 Utbredning och klimatiska förutsättningar.....	43

8.3	Palsmyrdynamik.....	45
8.3.1	Temporala förändringar	45
8.3.2	Rumsliga förändringar	47
8.4	Referanser til Vedlegg 1.....	48

Forord

Overvåking av palsmyr er et nasjonalt overvåkingsprogram som finansieres av Miljødirektoratet (tidligere Direktoratet for naturforvaltning, DN) og som ble initiert av DN i 2002/2003 med oppstart i 2004. Norsk institutt for naturforskning (NINA) har det faglige og praktiske ansvaret for overvåkingen og for analyser av innsamlet data og rapportering. Foreliggende rapport er den andre statusrapporten i programmet fra Goahteluoppal i Vest-Finnmark med resultater fra gjenanalysen i 2016, ti år etter førstegangsanalysen i 2006 (Hofgaard 2007). Første statusrapport omfattet perioden fra 2006 til 2011 (Hofgaard & Myklebost 2012). Denne rapporten sammenstiller og diskuterer endringer for hele overvåkingsperioden 2006 til 2016.

I tillegg gir rapporten en kortfattet bakgrunn for valg av metoder, områder med palsformasjoner og plassering av analyselinjer for palsstruktur, markslagsfordeling, teledybde og vegetasjonsfordeling. I et vedlegg til rapporten gis detaljer for klimatiske forutsetninger og endring av palsmyrer i tid og rom. Rapportens fotografier er tatt av førsteforfatteren.

Vitenskapelig begrunnelse for prosjektet og det nasjonale og internasjonale behov for overvåking av palsmyrutvikling er presentert i rapportene "Effects of climate change on the distribution and development of palsa peatlands: background and suggestions for a national monitoring project" (Hofgaard 2003) og "Etablering av overvåkingsprosjekt på palsmyrer" (Hofgaard 2004). Noe av innholdet i disse rapportene er gjengitt i rapportene for enkeltområder, også i foreliggende rapport, for at de enklere skal kunne leses som selvstendige dokumenter. For mer fullstendig informasjon om begrunnelse og prosjektdesign, henvises til ovenfor nevnte rapporter.

En vitenskapelig referansegruppe var tilknyttet overvåkingsprogrammet i oppstartsfasen, med deltagende forskere fra et bredt spekter fra norske universiteter og forskningsinstitutter (se Hofgaard 2003).

Takk til Miljødirektoratet og kolleger på NINA for kommentarer og nyttige diskusjoner under arbeidet med prosjektets ulike faser.

Trondheim, april 2017

Annika Hofgaard

1 Innledning

Palsmyrer er subarktiske myrkomplekser med permanent frosne torvhauger (palser). Disse myrkompleksene er karakteristiske og unike trekk på høye, nordlige breddegrader i deler av Fennoskandia, Russland, Canada og Alaska hvor diskontinuerlig permafrost karakteriserer store områder. I senere tid har permafrost- og palssystemer i hele det sirkumpolare utbredelsesområdet vært karakterisert av degenerering, men hastigheten i denne trenden er høyst usikker og variabel (Payette et al. 2004, Fronzek et al. 2009, Sannel 2010, Sannel & Kuhry 2011, Baltzer et al. 2014, Beck et al. 2015, Jones et al. 2017). Forventet global oppvarming spesielt på høye nordlige breddegrader har økt behovet for overvåkingsprogrammer som er designet for å spore endringer i sensitive økosystemer og de edafiske og biotiske strukturer de er avhengige av (IPCC 2001, 2007, ACIA 2005).

Palsmyrer omfatter både sensitive edafiske strukturer og sensitive biotiske samfunn. Den romlige og tidsmessige fordelingen av palser er avhengig av lokale og regionale klimafaktorer, og hvordan disse forandrer seg over tiår og århundrer (Farbrot et al. 2013, Sannel et al. 2015). Det antas at ytterligere klimaoppvarming forbundet med, eller uten, nedbørsøkning vil resultere i degenerering av de fleste palsområdene i de mest marginale områdene i løpet av noen få tiår (Sollid & Sørbel 1998, Christensen et al. 2004, Luoto et al. 2004, Payette et al. 2004, Fronzek et al. 2009, Sannel 2010). Økosystemene langs middelårsisotermer for 0 °C er sannsynligvis de som er mest sårbare for klimaendringer, og myrområder i disse regionene har betydelig utveksling av drivhusgassene metan og karbondioksid med atmosfæren (Fronzek et al. 2009, Jones et al. 2017). Mengden karbon som er lagret i permafrosten, og som avgis til atmosfæren når palsmyrene tiner, styres av over hvor lang tid karbonakkumulasjonen har pågått. Karbon akkumuleres kontinuerlig i myrene, men det kan ta flere århundrer til årtusener for å gjenopprette myrenes karbonmengde fra før permafrosten tinte (Jones et al. 2017).

De klimatiske mest sårbare palsmyrområdene er også svært sårbare for menneskelige aktiviteter som påvirker de hydrologiske forholdene, torvoverflaten eller vegetasjonsstrukturen i myrområdene. Økt klimatisk marginalisering gjør at også beskjeden menneskelig påvirkning kan virke destabiliserende. Dette kan sette langsiktig overlevelse av arter med preferanse for det spesielle palsmyrmiljøet på spill, både lokalt og regionalt.

Unike trekk ved palsmyrer er at de er svært dynamiske over tid, med et heterogent miljø grunnet vekst og forfall av palser (Seppälä 1986, Luoto & Seppälä 2003). Foruten de unike myrkomponentene representerer palsmyrene sensitive heterogene biologiske systemer med distinkte økosystemtjenester som er avhengige av at myras struktur og dynamikk er opprettholdt. De er lokalt svært viktige områder for bærplukking (i hovedsak molte), samtidig som de er viktige hekkeområder for en artsrik fuglefauna og som rasteplasser for trekkende fugl. Fra et biodiversitetssynspunkt er det kritisk at den gradvise forsvinningen av de unike palsmyrhabitatene er en enveisprosess. Disse habitatene vil ikke bli erstattet i et fremtidig varmere klima. I naturtypebevaringssammenheng er palsområder høyt verdsatt i Europa; de er en av 65 prioriterte naturlige habitattyper i Annex I av EU-direktivet "The Habitats Directive" (2007).

Palsmyrer forekommer først og fremst i grenseområdene mellom de arktiske og boreale regionene, men også mellom de alpine og boreale regionene (Luoto & Seppälä 2002). Palsene, som er torvdekte hauger skapt av permafrost, reiser seg karakteristisk over den omkringliggende myroverflaten. Palsenes høyde varierer fra under en meter til flere meter og kan ha en overflatedekning på mange tusen kvadratmeter, hvor de større utgjør palsplatåer (Laberge & Payette 1995, Sollid & Sørbel 1998). I tillegg til palser og palsplatåer karakteriseres palsmyrer av en mosaikk av markslag: torvmark uten permafrost, våte starr- og myrullområder, dammer forårsaket av tidligere palser som har falt sammen, torvringer rundt disse dammene, erosjonsområder, og midlertidige eller nye permafrostformasjoner som kun hever seg noen få desimeter over myroverflatens nivå. Tilsammen utgjør disse terrengformasjonene og myrkomponentene palsmyrsystemer som er svært dynamiske over tid som følge av nydannelse, vekst og nedbrytning av

palsene. Myrkomponentenes fordeling påvirker myrenes vegetasjonsstruktur, for eksempel gjennom innflytelse på hydrologiske faktorer og vindeksponering. Samtidig virker vegetasjonsstrukturen inn på fordelingen av permafrost gjennom innflytelse på snøfordeling, fuktighet og jordtemperatur. Dette gjør at fordelingen av tre-, busk-, urte-, gress-, mose- og lavdominert vegetasjon varierer på en påfallende mosaikkartet måte på myrene. Denne variasjonsbredden i det abiotiske og biotiske miljøet har en avgjørende betydning for palsmyrøkosystemenes struktur og funksjon i tid og rom.

I tillegg til torvpalser finnes mineralpalser med høyt innhold av uorganisk materiale. Mineralpalsene er mer sjeldne, men ligner i sin form og dynamikk på torvpalsene. De karakteriseres av et tynt mose- eller lavdekte permafrostforårsakede sandhauger som reiser seg over omgivelsene. Goahteluoppal, som omhandles i foreliggende rapport, er karakterisert av torvpalser i sene utviklingsstadier (**Figur 1-4**), men mellomformer mellom torv- og mineraldominerte palser forekommer sjeldent. Detaljer for palsoppbygging og forutsetninger for palsvekst og palsnedbrytning er presentert i **Vedlegg 1**.



Figur 1. Del av en større pals som hever seg ca. to meter over myroverflaten.
Foto: A. Hofgaard. © NINA 2017.



Figur 2. Palsplatå med dam.
Foto: A. Hofgaard. © NINA 2017.



Figur 3. En mosaikk av torvmark med og uten permafrost, våte starr- og myrullområder og dammer etter tidligere palsformasjoner karakteriserer palsmyene nord for Goahteluoppal Fjellstue.
Foto: A. Hofgaard. © NINA 2017.



Figur 4. Pals med bruddkant og et vind-erosjonsområde på den mest vindutsatte siden (linje D, se kapittel 4.2).
Foto: A. Hofgaard. © NINA 2017.

I Norge forekommer palsformasjoner i myr hovedsakelig innen to regioner, en i sør og en i nord. Regionen i sør er mer eller mindre helt avgrenset til Dovreområdet, mens regionen i nord er mer utstrakt og dekker store deler av Troms og Finnmark, unntatt kystnære områder. Den kontinentale eller lokalkontinentale klimatypen som er rådende i disse områdene både i nord og sør, er en forutsetning for utvikling og overlevelse av palser i den relativ varme og fuktige klimaregionen som Skandinavia tilhører (se **Vedlegg 1**).

Skandinavias relativt varme og fuktige klima styres i hovedsak av transporten av luftmasser fra Atlanterhavet. Klimaendringer som påvirker den regionale eller lokale innflytelsen av disse luftmassene, det vil si graden av oseanitet, vil ha innflytelse på palsmyrenes utbredelse og struktur i Skandinavia. Følgelig vil palsmyrenes økologiske betydning på landskaps- og økosystemnivå også bli påvirket. I løpet av siste del av 1900-tallet og begynnelsen av 2000-tallet har naturtypen vist sterk tilbakegang, selv om noe nyutvikling av palsformasjoner har forekommet (Hofgaard 2005, 2008, Hofgaard & Wilmann 2011). Dette har økt behovet for hensiktsmessig og metodisk overvåking.

Det norske overvåkingsprogrammet for palsmyrer ble startet i 2004. Metodisk konsistente og langsiktige overvåkingsprosjekter for skandinaviske palsmyrområder har tidligere vært en mangelfull, selv om det har pågått forskning innen fagområdet over lang tid (se Hofgaard 2003, 2004, Wramner et al. 2012). Tidligere dokumentasjon har imidlertid hatt et litt ensidig fokus på sene utviklingsstadier, og helhetsbildet har vært uklart. Et overvåkingsprogram må kunne fange opp bredden av endringer forårsaket av permafrostendringer. For at reelle konklusjoner skal kunne dras, må dette inkludere forskjellige palsstrukturer, dannelse og gjengroing av dammer sammen med analyser av endringer i vegetasjonsstruktur og menneskelig påvirkning. Etableringen av det norske overvåkingsprogrammet gir derfor verdifull informasjon med relevans for forvaltningen og det vitenskapelige miljøet, både nasjonalt og internasjonalt. Dynamikken i palsmyrer utgjør en verdifull og egnet indikator innen temaområdet «effekter av klimaendringer».

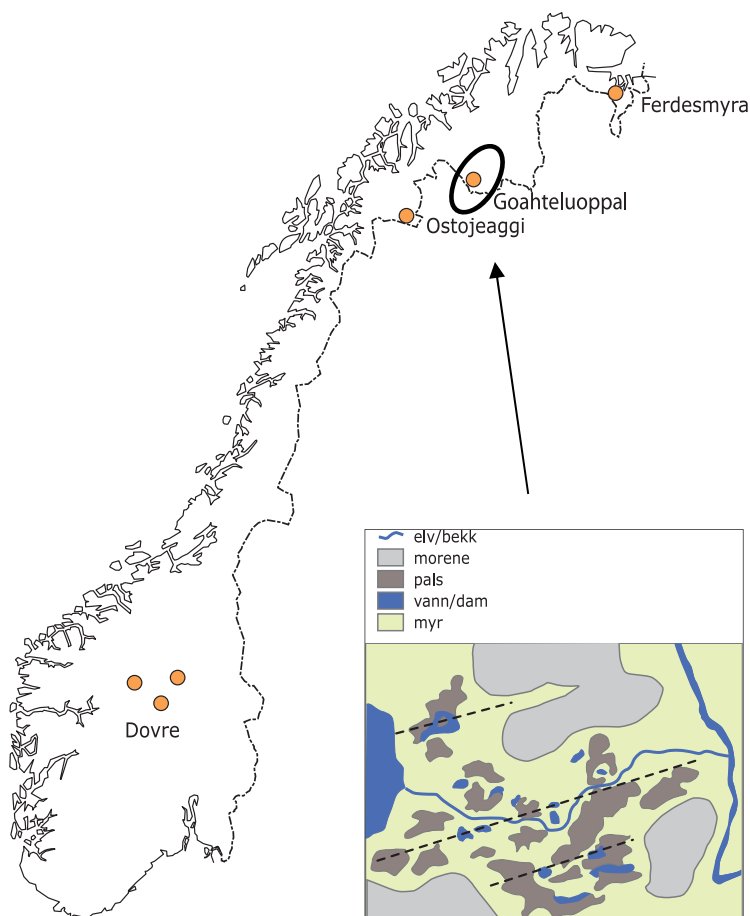
Det norske overvåkingsprogrammet er av særlig stor verdi fordi det omfatter områder i store deler av det skandinaviske utbredelsesområdet for palsmyr, fra sørligste forekomst (Dovre) til den nordligste (Øst-Finnmark). Den klimatiske bakgrunnen og hvordan frekvensen av de ulike myrkomponentene med og uten permafrost endres i tid og rom er grundig beskrevet i rapportene fra oppstarten av overvåkingsprosjektet (Hofgaard 2003, 2004) og presenteres her kortfattet i **Vedlegg 1**.

2 Overvåkingsstudiens design

2.1 Overvåkingsområder

Seks hovedområder fordelt på Finnmark og Troms i nord og Dovre-området i sør inngår i overvåkingsprosjektet: Ferdesmyra og Goahteluoppal i Finnmark, Ostojeaggi i Troms, og Haukskardmyrin, Haugtjørnin og Leirpullan i Dovre-området (**Figur 5**). Områdene er valgt for å representere dominerende geografiske og klimatiske miljøgradienter i Norge. Hovedgradienten følger den avtakende innflytelsen av atlantiske luftmasser og den økende innflytelsen av arktiske luftmasser, fra sør til nord. Denne gradienten dekker den sørlige utbredelsesgrensen for sporadisk og fragmentert forekomst av permafrost i Skandinavia, og samtidig den vestlige utbredelsesgrensen av den Nord-Eurasiske permafrostregionen. Områdene i sør representerer i tillegg en høydegradient, der Leirpullan som er et mineralpalsområde, er valgt for å tydeliggjøre høydegradienten. Områdene i nord representerer en vest-øst gradient. I regionen mellom det sørlige og nordlige utbredelsesområdet for palsmyrer forekommer det palser på noen få steder i Norge, men ingen av disse lokalitetene er inkludert i overvåkingsprogrammet.

I hvert overvåkingsområde er det valgt ut delområder for detaljerte overvåkingsstudier. Grunnet forskjeller i størrelse mellom områdene (fra ca. 0,1 til 15 km²) er andelen av myrområdene som omfattes av overvåkingen ulike. De mindre områdene inngår mer eller mindre i sin helhet, mens tilgjengelighet og representativitet har vært avgjørende for valg av delområder på de større palsmyrene. Permanente analyselinjer er plassert i de utvalgte delområdene, og linjenes lengde og antall er tilpasset delområdenes størrelse og palsformasjonenes karakter og omfang.



Figur 5. Studiedesign med utvalgte overvåkingsområder i Sør- og Nord-Norge. Området som er presentert i denne rapporten, er markert med en oval. Det innfelte kartet viser eksempel på palsområde med analyselinjer for innsamling av abiotisk og biotisk datamateriale. © NINA 2017.

2.2 Metoder

2.2.1 Analysefrekvens

Overvåkingen er basert på gjenanalyser hvert femte år, der bare ett område er analysert per år. I løpet av overvåkingens første fem år (2004-2008) ble alle de utvalgte overvåkingsområdene (se **Figur 5**) analysert en gang (førstegangsundersøkelser). I neste femårsperiode (2009-2013) ble første gjenanalyse utført i alle områder. I inneværende femårsperiode (2014-2018) blir andre gjenanalyse utført i alle områder. Detaljer for hvilke områder som analyseres hvilke år, er presentert i slutten av rapporten (se Tidsplan, **kapittel 6**).

2.2.2 Linjeanalyser

Linjeanalysene er designet for å fange opp variasjoner og endringer i palsstruktur, dominerende vegetasjon, frekvens av ulike markslag og tele/permafrost i utvalgte områder. Dette gjøres ved hjelp av detaljregistreringer i syv variabelkategorier: markslag, bunnsjikt, feltsjikt, busksjikt, teledybde, palshøyde og torvsprekker (**Tabell 1**). Individuelle linjers lengde bestemmes av palsformasjonenes størrelse og frekvens av ulike markslag i de enkelte palsområdene. Minimum linjelengde er som regel 50 meter, men dette er avhengig av områdets og palsenes størrelse. Registreringsfrekvensen langs linjene er *én* meter, det vil si at for hver meter registreres verdier for hver kategori og dominerende variabel innen hver kategori. Da registreringsarbeidet er relativt tidkrevende, er metodene utarbeidet slik at linjeanalysene kan gjøres med to ulike intensiteter: *detaljlinjer* der alle variabler registreres, og *generelle linjer* der kun markslag, dominerende vegetasjon og torvsprekker registreres. Ved bruk av begge intensitetsnivåene bør minst en tredjedel av den totale linjelengden analyseres detaljert. Ettersom vegetasjonen i hvert markslag og dominerende vegetasjonskategori er relativt homogen, kan de innsamlede dataene fra de to intensitetsnivåene sammenlignes og sammenstilles. Dette utgjør dermed et samlet grunnlag for analyse av endringer over tid.

For torvsprekker registreres antall sprekker og sprekkbredde langs alle linjene (se **Tabell 1**). I partier med aktiv og sterk degenerering, som for eksempel bruddkanter, er det vanskelig eller umulig å definere de enkelte sprekker og bredder. Derfor er bruddkantpartier angitt med total lengde langs linjene og inngår ikke i beregningen av antall sprekker per meter. Dette gjør at de to tallene må ses i sammenheng for at frekvensen av partier med sannsynlig endring ikke undervurderes. Ved bruk av sprekker som variabel for sammenligning over tid, må man være klar over at variabelverdien til dels er avhengig av fuktigheten i jordsmonnet ved analysetidspunktet. Antallet sprekker vil ikke forandres mye med fuktigheten, men bredden til enkelte sprekker vil kunne variere noe.

I tillegg til analyser langs palsstrukturelinjene er vegetasjonens artssammensetning analysert langs tilfeldig plasserte *artslinjer* innen utvalgte delområder. Linjene representerer vegetasjonen på palsoverflaten og palsens grensesoner i delområdene, men ikke delområdet i sin helhet. Artslinjedataene er et grunnlagssupplement til de relativt grove analysene langs de lange palsstrukturelinjene. Artslinjenes lengde er fem meter og registrering gjøres ved hjelp av en punktfrekvensmetode tilpasset linjeanalyser. Første vertikale punkttreff (punktbredde er 1 millimeter) av tilstedeværende arter/variabler registreres for hver tiende centimeter langs linjene, dvs. 50 verdier per linje. I tillegg er dominerende vegetasjon registrert for hver meter. Det er brukt de samme variablene som langs de lengre linjene, men variabelen *lyng* er delt opp og registrert til art. Navnsetting følger Lid & Lid (2005).

Tabell 1. Variabler som er registrert ved linjeanalysene samt forkortelser som er brukt i feltprotokollene. © NINA 2017.

markslag	lagg	vannsamling rundt eller langs palskanter, ev. dekket av torvmose og myrull
	mf	"myrflate" - myras 0 m-nivå, nivå for dammer og bløtmyr
	p	pals
	pr	palsring
	t	"tue" – torvhaug uten permafrost
	d	dam
	bk	bruddkant; erosjonskant med sandblokker delvis eller helt uten vegetasjon
bunnsjikt	lav	kollektivt for lav
	mo	mose - alt utenom torvmose
	sph	kollektivt for torvmose (<i>Sphagnum</i> spp.)
	st	strø
	va	vann
	dt	død torv - sorte områder uten vegetasjon
feltsjikt	cx	kollektivt for starr (<i>Carex</i> spp.)
	hj	molte (<i>Rubus chamaemorus</i>)
	ris	kollektivt for lyngarter (<i>Vaccinium</i> spp. <i>Empetrum</i> spp.)
	ros	kvitlyng (<i>Andromeda polifolia</i>)
	equ	kollektivt for snellearter (<i>Equisetum</i> spp.)
	siv	bjønnskjegg (<i>Trichophorum cespitosum</i>)
	ull	kollektivt for alle myrullarter (<i>Eriophorum</i> spp.)
	dull	død ull, kollektivt for alle ullarter (<i>Eriophorum</i> spp.)
busksjikt	bn	dvergbjørk (<i>Betula nana</i>)
	skv	finnmarkspors (<i>Rhododendron tomentosum</i>)
	sa	kollektivt for vier (<i>Salix</i> spp.)
	bp	bjørk (<i>Betula pubescens</i>)
	()	arten forekommer men er ikke dominerende som busksjikt
teledybde	150	målt i cm, en målning per meter
	"150"	usikkert om det er tele eller sediment
	150+	tele ikke nådd på målt dybde
torvsprekker	s	angis i antall og bredde
høyde	60	angis i cm over omgivende myrflate

2.2.3 Fotodokumentasjon

Palsstrukturlinjene er fotodokumentert for å visualisere både innsamlede data og endringer over tid. Dokumentasjonen er gjort i linjenes retning, ved start, slutt og ved hver femtiende meter langs linjene. Metodikken er valgt for å gjøre gjenfotografering ved neste gangs analyse lettere. I tillegg er enkelte fotopunkter valgt ut for å representere ulike utviklingsstadier innen palser og palsplataer, som for eksempel erosjonskanter, dammer og kortvarige palsformasjoner. Artslinjene er ikke fotodokumentert.

2.2.4 GPS-registreringer

Linjene er GPS-registrert (UTM: WGS 84 sone 32W) for å gjøre det lettere å gjenopprette linjer og analyseposisjoner ved gjenanalyser. Artslinjene er ikke GPS-registrert. Posisjon for de ulike linjene er også brukt ved analyser av flybilder.

2.2.5 Flybilder

Flybilder brukes i analyser av storskalaendringer i palsmyrenes struktur, dvs. frekvens av ulike markslagskomponenter (se **Tabell 1**). Flybilder og informasjon om tilgjengelige bilder er hentet fra Norge i Bilder (www.norgeibilder.no) og Statens kartverk som har ansvaret for og forvalter det nasjonale sentralarkivet for flybilder. Noen av overvåkingsområdene (**Figur 5**) mangler nyere flybilder, og det eldre flybildematerialets kvalitet varierer sterkt mellom tidsperioder. Dette er begrensende for detaljerte tidsanalyser av palsmyrenes endringer, men utgjør et grunnlag for grovskala-analyser av både endringer før overvåkingsprogrammet startet og av endringer i større deler av de utvalgte palsmyrene.

3 Områdedata - Goahteluoppal

3.1 Områdebeskrivelse

Goahteluoppal er et stort myrområde ca. 30 km sørvest for Kautokeino i Vest-Finnmark (**Figur 6**). Området inkluderer et stort antall myrsystemer, store og små vann, dammer og bekker. Området har et kontinentalt klima med en årsmiddeltemperatur på ca. -2.5°C og en årsnedbør på ca. 380 mm (Moen 1999). Omtrent halvparten av nedbøren kommer i løpet av sommeren og kun ca. 70 mm i perioden desember–mars. Området er dekket av snø cirka 200 dager i året og vegetasjonsperioden er ca. 110-120 dager (Moen 1999). Detaljerte data om området og dens myr- og vegetasjonstyper er publisert i en rapport fra Tromsø museum (Granmo 1988). I rapporten er Goahteluoppal-området oppdelt i seks områder (**Figur 7**) med individuelle beskrivelser som inkluderer informasjon om palsforekomst, myrstruktur og vegetasjon.

Store deler av området er relativt utilgjengelig. Dette gjelder spesielt for områdene nord for Goahteluoppal Fjellstue (mesteparten av område 3 og områdene 5 og 6 i Granmo 1988) som karakteriseres av våte myrområder med fragmenterte palser, torvringer fra tidligere palser, dammer og laggområder (se forsidebilde; område 3). Noe mer tilgjengelige og tørrere myrområder med kuppelpalser og store palsplatåkomplekser med varierende grad av fragmentering forekommer innen myrområdene øst og sør for Goahteluoppal Fjellstue (områdene 1 og 2 i Granmo 1988). Palsene i de utilgjengelige delene er opp til fire-fem meter høye (Granmo 1988) og alderen er blitt anslått til 2000-3000 år (Åhman 1977), men nydannelse av palser har også forekommet i senere tid (Granmo 1988).



Figur 6. Myrområdet Goahteluoppal sørvest for Kautokeino, Vest-Finnmark. © NINA 2017.



Figur 7. Delområder innen myrområdet Goahteluoppal sørvest for Kautokeino, Vest-Finnmark. Inndelingen følger Granmo (1988; røde siffer). Områder med linje-analyser er markert med ovaler. © NINA 2017.

Grunnet områdets størrelse (ca. 15 km²) så kan kun meget begrensede deler dekkes av overvåkingens linjeanalyser. Tilgjengelighet sammen med representativitet utgjør grunnlaget for valg av delområder med linjeanalyser innen overvåkingen generelt. Innen Goahteluoppal har tilgjengelighet fått relativt sett stor betydning, og følgelig er deler innen områdene 1, 2 og 3 valgt for linjeanalyser (se **Figur 7**).

Nedenfor gis informasjon om status, beliggenhet, berggrunn og vegetasjon samt tilgjengelige klimadata og ulike typer områdedokumentasjon (**Tabell 2**). Berggrunnsinformasjonen er henta fra www.ngu.no og informasjon om vegetasjonsgeografisk region og vegetasjonsperiodens lengde (antall dager med temperatur på >5°C) stammer fra Moen (1999). Alle klimadata er hentet fra Meteorologisk institutt i Oslo (www.met.no). Goahteluoppal (**Figur 6**) tilhører i likhet med de fleste områdene i overvåkingen den svakt kontinentale seksjonen av den nordboreale vegetasjonssone (Nb-C1) (Moen 1999).

Tabell 2. Områdeinformasjon for Goahteluoppal, Vest-Finnmark. © NINA 2017.

Status	Uten vernestatus
Kart	Adjit 1832 IV
Geografisk beliggenhet	Finnmark, Kautokeino kommune, 68°55'N 22°22'E
Høyde over havet	435 m.o.h.
Areal	6 områder på totalt ca. 15 km ²
Berggrunn	Diorittisk til granittisk gneis, migmatitt
Meteorologisk stasjon	Kautokeino, Suolovuopmi, Sihcjavri
Vegetasjonsgeografisk seksjon	Nb-C1
Dominerende myrtyper	Palsene er et iøynefallende trekk i myrlandskapet som forøvrig består av flatmyr med starr og ull, tueblandingsmyr, strengblandingsmyr
Litteratur	Granmo (1988), Hofgaard (2007), Hofgaard & Myklebost (2012)
Satellittbilder	Landsat TM/ETM fra 1987, 1988, 1992, 2000
Flybilder	1958 serie 2033 (1:20000) bilde B 7-9, C 12-16, D 11-13 2003 og 2012; digitale bilder (1:40000)
Fotodokumentasjon	Granmo (1988), Nilsen (2004), Hofgaard (2006), (2011), (2016)
Adkomst	Sjøfly, helikopter, traktorvei

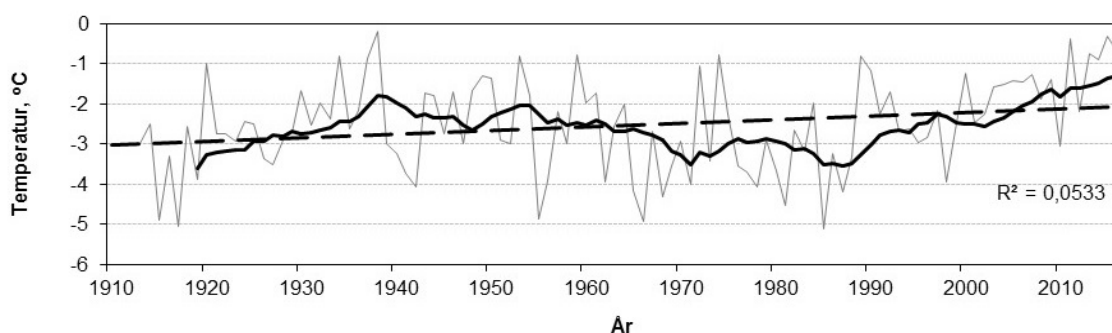
3.2 Klimadata

Tre klimastasjoner med daglige registreringer av temperatur og nedbørsdata, men med ulike driftsperioder finnes innen en avstand på ca. 30-47 km fra Goahteluoppal. Disse er: **Kautokeino** 30 km nordøst for området med registreringer av klimadata siden 1996; **Suolovuopmi** 40 km i øst-sørøst med registreringer siden 1963; og **Sihcjavri** 47 km øst-sørøst for Goahteluoppal med registreringer siden 1912 (temperatur siden 1913). For detaljer se www.met.no. De to stasjonene Suolovuopmi og Sihcjavri representerer Goahteluoppal godt, både terrengmessig og høydemessig, dvs. deres beliggenhet i områder med lavvokst bjørkeskog, myr og relativt store vann tilsvarende området ved Goahteluoppal. Sihcjavri har de kvantitativt beste klimadataene av de to stasjonene og egner seg godt for analyser og beskrivelse av klimautviklingen i overvåkingen området.

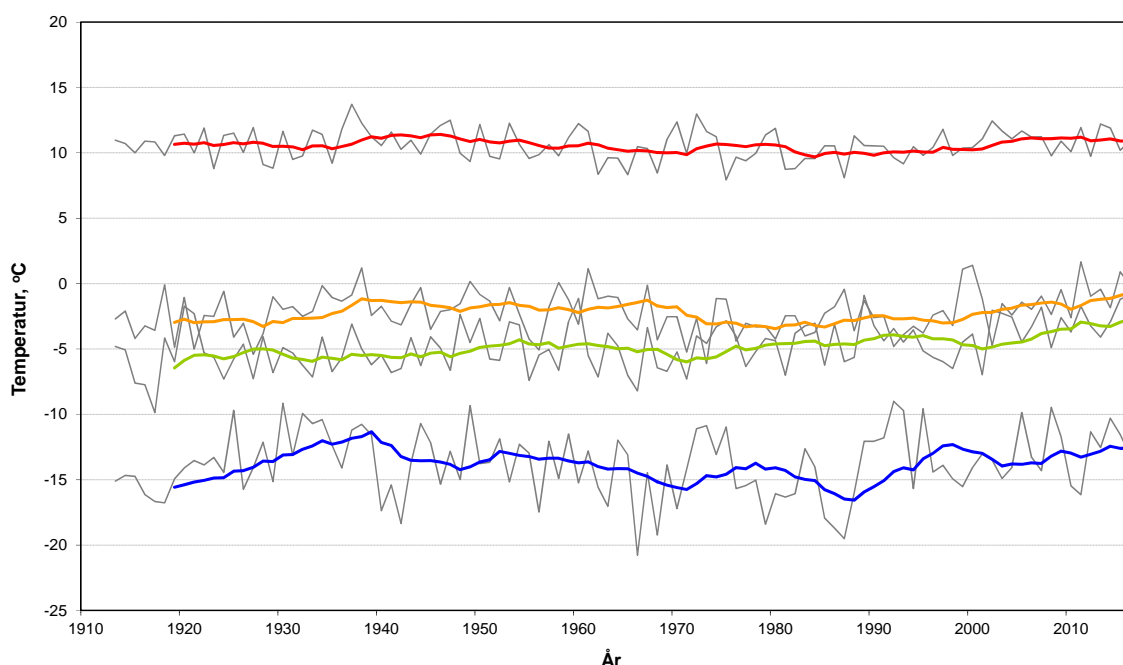
3.2.1 Lufttemperatur

Ifølge data fra Sihcjavri viser temperaturutviklingen i området en svak men signifikant økende trend i årsmiddelverdi over hele perioden siden 1913 (en grad siden 1913; **Figur 8**). Området karakteriseres av sterke variasjoner mellom år og mellom perioder av år, og temperaturtrendens signifikans skyldes utviklingen i de siste to tiårene. De tre varmeste årene er 1938, 2011 og 2015

med en årsmiddeltemperatur på $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Det kaldeste registrerte året er 1985 med $-5,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. 1930-, 1950- og 2000-tallet er de varmeste periodene, mens slutten av 1960-tallet til midten av 1980-tallet var preget av en serie av kalde år. Det er kun sommeren (juni-august) som har middeltemperaturer over null grader (**Figur 9**) med en middsverdi for hele perioden på $10,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. 1930-tallet og 2000-tallet er de varmeste tiårene med temperaturer på over $11\text{ }^{\circ}\text{C}$. Den varmeste sommeren er 1937 med $13,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, og kun elleve år er registrert med sommertemperaturer over $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ siden målingen startet. Middels høsttemperatur er ca. $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, men noen få år er registrert med temperaturer over $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vinteren har den mest variable middeltemperaturen av sesongene med den kaldeste vinteren på $-20,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1966) og den varmeste på $-9,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1992). Fordelingen av relativt kalde og varme perioder/tiår følger mønsteret for årsmiddeltemperatur. Perioden mars-mai (vår/vårvinter) viser en svakt økende trend siden begynnelsen av 1900-tallet fra ca. $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ til ca. $-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, men variasjonene mellom år og mellom tiår er store. Kaldeste registrerte vår er 1917 med $-9,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ og varmeste 1989 og 2016 med $-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$.



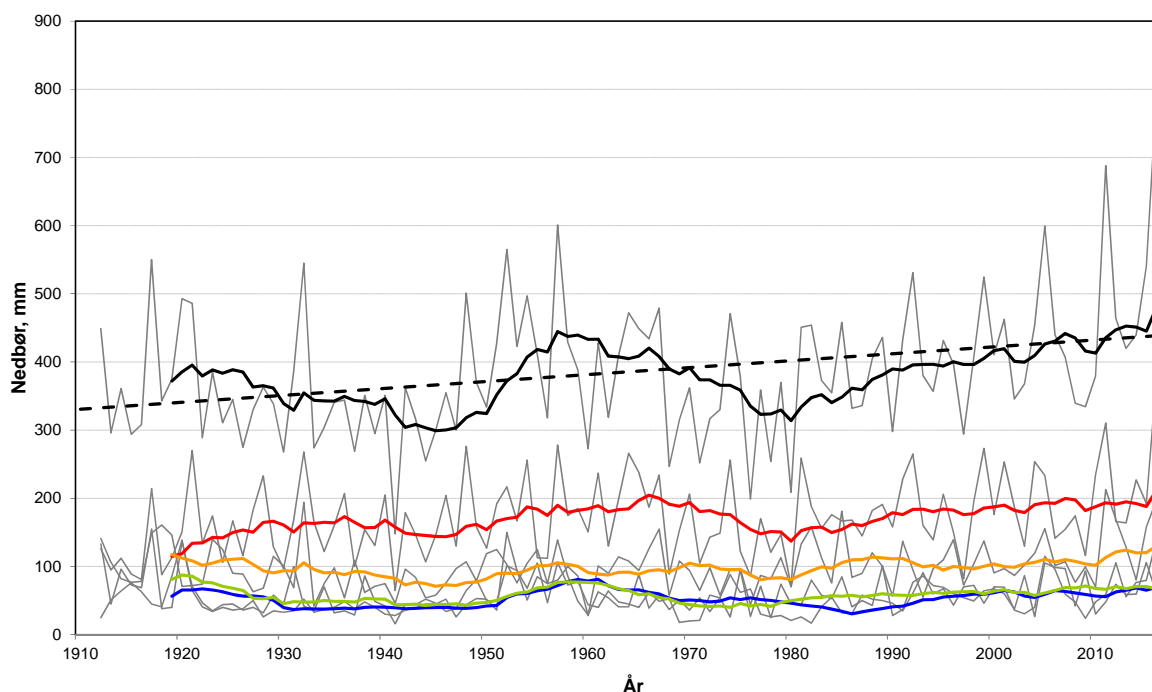
Figur 8. Årsmiddelverdier for temperatur fra Sihcajavri i perioden 1913 til 2016. Tykk linje viser utviklingen i løpende 10-årsmiddelverdi og den stiplede linjen trenden for utvikling over hele perioden. Kilde: www.met.no. © NINA 2017.



Figur 9. Temperaturutvikling per år og årstid for Sihcajavri i perioden 1913 til 2016. De fargede linjene viser utviklingen i løpende 10-årsmiddelverdier for **vinter**-, **vårvinter**-, **sommer**- og **høst**temperatur. Kilde: www.met.no. © NINA 2017.

3.2.2 Nedbør

Områdets årsnedbør har økt fra ca. 390 mm i begynnelsen av måleperioden til ca. 480 mm i slutten av perioden 1912 til 2016 (**Figur 10**). Den største og raskeste endringen skjedde i perioden 1944-1957 da den årlige nedbørsmengden økte med drøyt 40 %. Denne økningen kom av en synkron nedbørsøkning i alle sesonger. Etter denne økningen minket nedbøren fram til 1980, etterfulgt av en ny økning i senere del av måleperioden. Nedbøren varierer også sterkt mellom sesonger og mellom år. Nesten halvparten av årsnedbøren kommer i perioden juni til august og ca. en fjerdedel om høsten. Mengden nedbør som kommer i løpet av vinter og vårvinter, er stort sett like i hele perioden. Det tørreste registrerte året siden starten av målingene er 1941 med 148 mm, og de to mest nedbørrike årene er 2011 med 688 mm og 2016 med 791 mm. I sommeren 2016 var nedbøren mer enn doblet sammenliknet med middelverdi for hele perioden.

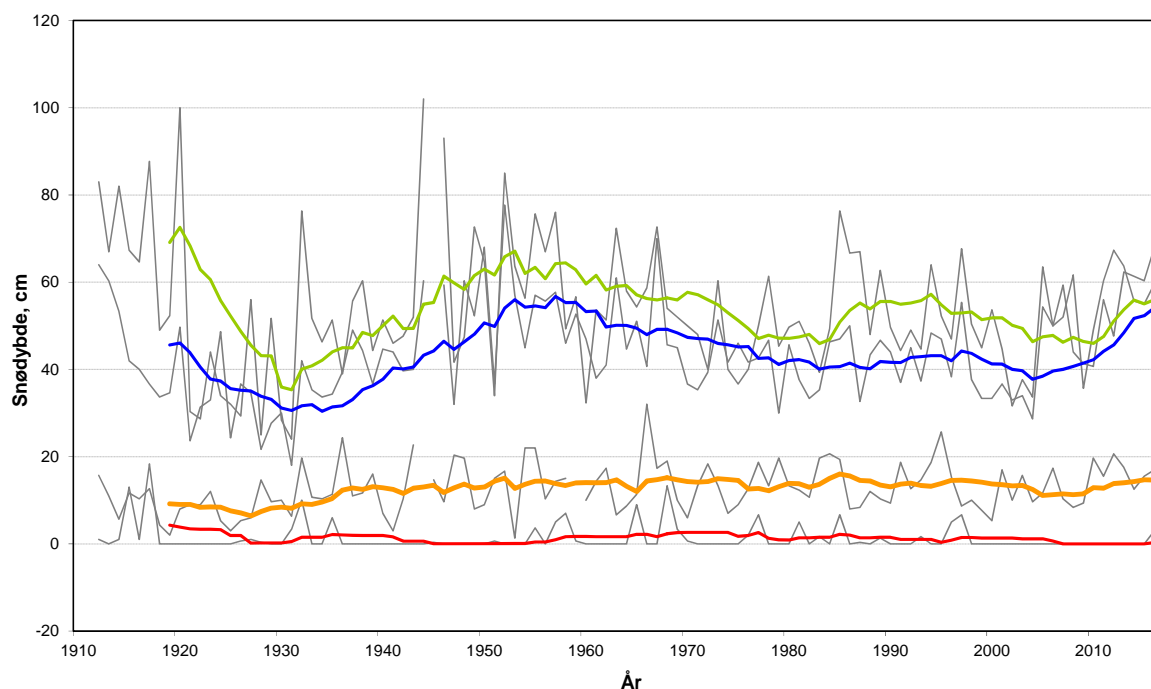


Figur 10. Nedbørutvikling i Sihcjavri i perioden 1912 til 2016. De fargede linjene viser utviklingen i løpende 10-årsmiddelverdier for års-, vinter-, vårvinter-, sommer- og høstnedbør, samt lineær trend for årsverdiene over hele perioden. Kilde: www.met.no. © NINA 2017.

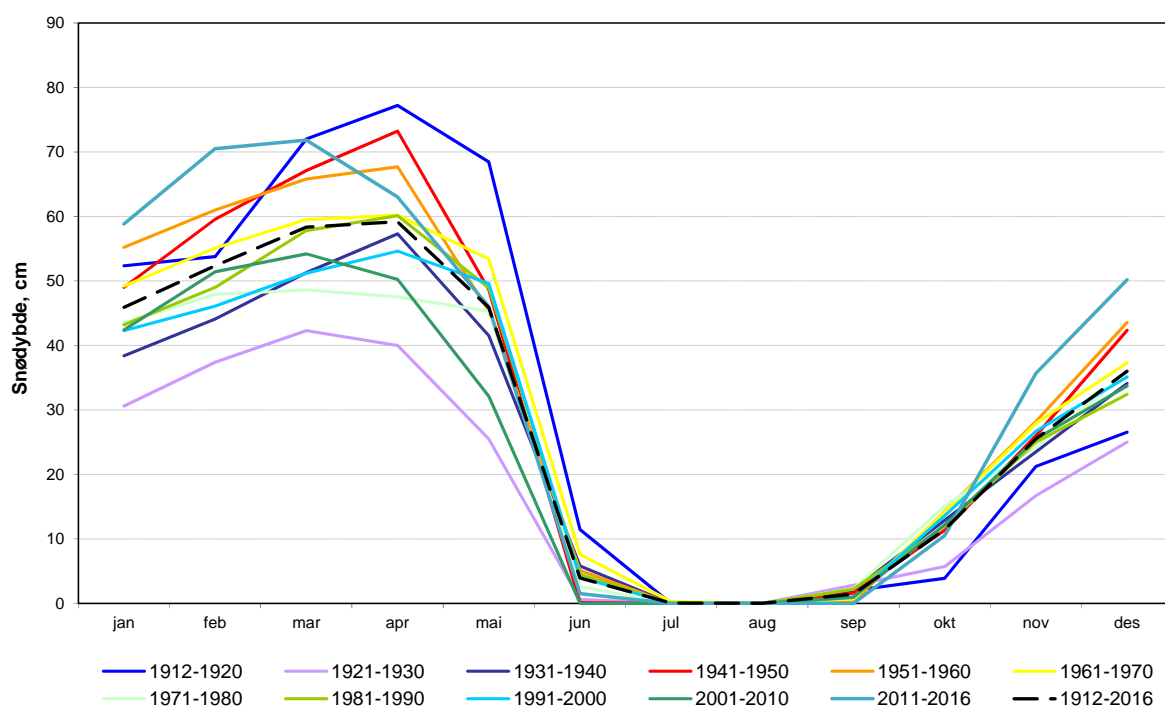
3.2.3 Snødybde

Området karakteriseres av store mellomårsvariasjoner i snømengde/snødybde, og mengden varierer også sterkt mellom lengre tidsperioder (**Figur 11**). Generelt minket snømengden (maksimum snødybde i slutten av vinteren) fra begynnelsen av 1900-tallet og fram til 1931. Deretter økte den fram til midten av 1950-tallet for igjen å minke fram til begynnelsen av 1980-tallet. Snødybden minket også i perioden 1997–2010.

Snøakkumulasjonen begynner de fleste år i september/oktober og pågår fram til og med april måned (**Figur 12**). I periodene 1912–1920 og i 1921-1930 var snødybden i oktober vesentlig lavere enn for øvrige tiår. Enkelte år er den akkumulerte snødybden i april (måned med generelt størst snødybde) lavere enn 30 cm, mens den i snørike år kan gå opp til mer enn én meter. De laveste verdiene for senvinter er registrert i perioden 1921–1931 og 1960, og de høyeste på 1910-tallet, midt på 1940-tallet og i 1952 (**Figur 11**). Den raskeste snøsmeltingsperioden er andre halvdel av mai og i juni (**Figur 12**). Kun august er uten registrert snødybde.



Figur 11. Snødybde for Sihcajavri i perioden 1912 til 2016 presentert som sesongvise middelværdier av største snødybde for enkeltmåneder. De fargede linjene viser utviklingen i løpende 10-års-middelværdier for *vinter*-, *vårvinter*-, *sommer*- og *høst*snødybde. Data mangler for perioden oktober 1944 til mai 1945. Kilde: www.met.no. © NINA 2017.



Figur 12. Årsvariasjon i snødybde for Sihcajavri fordelt på tiår og for hele perioden 1912 til 2016, beregnet fra største registrerte snødybde per måned. Kilde: www.met.no. © NINA 2017.

3.3 Fly og satellittbilder

Det finnes flybilder for Goahteluoppal fra 1958 i skalaen 1:20000 og fra 2003 og 2012 i skalaen 1:40000. Skalaen 1:20000 og 1:40000 gir ikke høy nok oppløsning for å analysere utviklingen i myrområdene i detalj, men kan gi en relativt god oversikt over storskalaendringer i myrområdene dominerende palsmyrstrukturer, som for eksempel frekvens og form av større palser og vannsamlinger.

Satellittbilder finnes fra begynnelsen av 1970-tallet og utgjør dermed et ca. 30-årig grunnlag for kontinuerlig overvåking av utviklingen. Disse gir likevel bare en grov indikasjon på tilstedeværelse eller tidligere tilstedeværelse av palsformasjoner som har gitt opphav til større dammer i myrområdene. Strukturelle endringer på en skala mer egnet for overvåkingsprogrammet kan skaffes via for eksempel høyoppløselige satellittbilder (Quickbird), men disse medfører en meget stor kostnad (se "Appendix I" i Hofgaard 2003 og Lauknes et al. 2012 for mer informasjon om muligheter med satellittbilder).

3.4 Overvåkingsdata og status ved starten for overvåkingen

3.4.1 Områder og palsformasjoner

Palsformasjoner forekommer innen mesteparten av Goahteluoppal-området, men frekvensen av kuppelpalser og fragmenterte palsplataer varierer mellom ulike deler. Over store områder dominerer bløt flatmyr med starr og myrull. De største kuppelformede palsene er 3-5 m høye og deres dekning i areal varierer sterkt fra noen hundre kvadratmeter til opptil flere tusen kvadratmeter. Palsplataene er vanligvis fragmenterte og inneholder partier med kuppelpalser. Tre delområder representert med fragmenterte palsplataer og større og mindre kuppelpalser i ulike utviklingsstadier, er valgt som overvåkingsområder med linjeanalyser (**Figur 13**). Mellomformer mellom kuppelpalser og palsplataer forekommer vanligvis både innen myrområdet i sin helhet og innen de utvalgte delområdene.

Delområde 1 representerer de typiske fragmenterte palsplataene innen Goahteluoppal-området. Et ca. 700 x 300 meter stort "palsplata" dominerer delområdet. En 320 m lang linje (linje A) er plassert på tvers av det tidligere sammenhengende plataet. "Plataet" er sterkt fragmentert og karakteriseres av palspartier, dammer og erosjonsflicker, og av noen meter høye bruddkanter mot flankerende bløte myrområder. Området ligger på vestsiden av et relativt stort vann, Moskolatjavri (**Figur 14**).

Delområde 2 ved sørsiden av vannet Goahteluoppal, er karakterisert av vekselvis sumpskog og myr med små, spredte palser og palsområder i ulike utviklingsstadier. Spredte ca. 3 m høye kuppelpalser med markerte bruddkanter mot omringende lagg og dammer forekommer i området, sammen med lave og flate palser uten bruddkanter. Tre analyselinjer (linjene E, F og G) er plasserte innen delområdet for å representere de ulike typene av palser, degenereringsområder, flatmyr og laggområder (**Figur 15**).

Delområde 3 karakteriseres i sør av store og høye palser, som til dels henger sammen i palskonglomerat, og et omfattende flatmyrområde med fragmenterte palser og palsringer i nord (se forsidebilde). Tre analyselinjer (linjene B, C og D) er plasserte innen delområdets søndre del, rett nordøst for vannet Azit. Disse representerer områdets store palser med vekstområder, degenereringsområder, dammer og laggområder, samt flankerende myrområder (**Figur 16**).



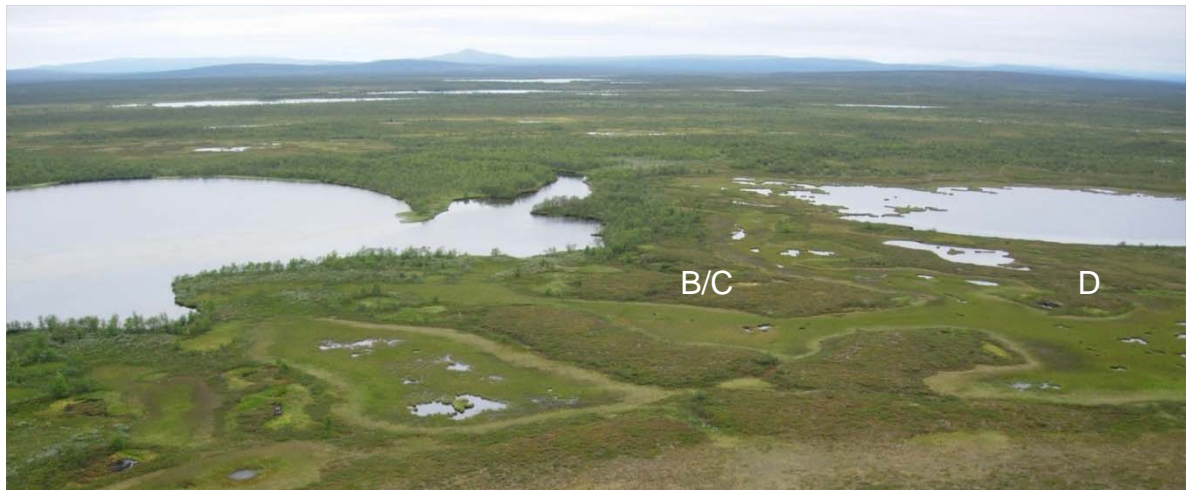
Figur 13. Plassering av analyselinjer i overvåkingsområdene innen Goahteluoppal. Delområdene er nummerert. © NINA 2017.



Figur 14. Delområde 1. Linje A krysser palsplatået og dammen i bildets venstre del. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2017.



Figur 15. Delområde 2. Linjene F og G krysser den bueformede palsen (markert med pil). Foto: A. Hofgaard. © NINA 2017.



Figur 16. Delområde 3. Linjene B, C og D krysser to av palsene i vestre del av området. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2017.

Flybildene for området fra 1958 og 2003 gav grunnlag for analyser av endringer over tid innen overvåkingen startet, men den relativt grove skalaen på 1:20000 og henholdsvis 1:40000 medførte at detaljerte analyser ikke var fullt mulig. En sammenligning av markslagsfordelingen innen myrene over 45-årsperioden viste tydelige endringer innen store deler av Goahteluoppal, men begrensede endringer innen andre deler. Spesielt i de våteste myrområdene hadde arealet med pals minket, samtidig som våte myrflateområder økte. I de tørrere områdene var markslagsfordelingen mer eller mindre den samme for de to tidspunktene, selv om noen palspartier rundt dammer var blitt borte og utviklet til myrflateområder, og at noen åpne dammer fra 1958, i 2003 var bevokst med myrull og starr.

Innen delområde 2 hadde de vestre delene gjennomgått relativt store endringer. Dette er et begrenset område, der de fleste palsene fra 1958 enten var blitt borte eller var i en sterk nedbrytningsfase i 2003. I de østre delene, som har få våte myrområder, var endringene over 45-årsperioden beskjedne. De søndre delene av delområde 3 hadde i likhet med de østre delene av delområde 2 ikke gjennomgått store endringer. Innen de sentrale og nordre delene, som domineres av våte utilgjengelige myrområder, var imidlertid endringene til dels store, med avtagende palsstørrelse, gjengroing av dammer og nydannelse av dammer. Det ble ved starten av overvåkingen i 2006 ikke registrert nydannelser av palser i noen av områdene.

3.4.2 Linjeanalyser

Til sammen 7 linjer ble i 2006 plassert ut innen de tre delområdene (**Figur 13**): én linje i delområde 1, tre linjer i delområde 2 og tre linjer i delområde 3; med en total lengde på 791 meter. Detaljer for linjenes plassering, lengde og trekk er vist i **Tabell 3**. Fordeling av tele, markslag, bunn-, felt- og busksjiksvegetasjon, samt palsenes høyde over omliggende myr er presentert i de enkelte linjefigurene (se nedenfor). Linjene ble plassert slik at de fanger opp mest mulig av variasjonen i palsområdene.

Linje A (delområde 1) krysser et fragmentert palsplatå og inkluderer syv palsformasjoner, to dammer og partier med myrflate (**Figur 14**). Linje B og C (delområde 3) krysser en stor pals med noen dammer, et bruddkant- og laggområde og flankerende myr (**Figur 16**). Palsen er en av de høyeste i området. Endringene langs linjene A, B og C var beskjeden i perioden mellom 1958 og 2006. Linje D krysser den østre delen av en relativt smal pals nord for palsen med linjene B og C. Palsen er relativt lav og linjen inkluderer palsens erosjonskanter, en dam og flankerende myr (**Figur 16**). I 1958 var mesteparten av linjens myrflateområder en del av palsen. Linje E

(delområde 2) krysser to synkende og relativt lave palser og flankerende lagg og myr. De to palsene hengt delvis sammen i 1958. Linjene F og G (delområde 2) krysser en ca. 2,5 meter høy pals med erosjonskanter av ulik alder på alle sider (**Figur 15**), men palsen viste beskjedne endringer siden 1958.

Tabell 3. Analyselinjenes plassering, lengde og trekk. © NINA 2017.

Linje-navn	Del-område	Lengde (m)	Formasjon	Linjestart	Linjeslutt	Retning (°)	Kommentarer
A	1	320	palsplatå	palsring	myrflate	86	Linjen krysser syv palser og tre dammer innen det fragmenterte palsplatået
B	3	140	pals	bjørkekratt	myrflate	65	Linjen krysser en stor pals, en gammel dam, en markert bruddkant og en dam på palsen; linjen krysser linje C
C	3	100	pals	palsring	myrflate	352	Linjen krysser linje B, og inkluderer i tillegg til palsen tre bruddkanter og to dammer
D	3	50	pals	palsring	myrflate	68	Linjen krysser områder med myrflate, lagg, bruddkant, pals og palsring
E	2	81	pals	myrflate	myrflate	270	Linjen krysser to synkende palser
F	2	50	pals	palsring	myrflate	227	Linjen krysser en relativt høy men synkende pals omkranset av markerte laggområder
G	2	50	pals	myrflate	myrflate	324	Samme pals som linje F krysser

3.4.3 Sprekkfrekvens

Antallet torvsprekker og sprekkbredde ble i 2006 analysert langs alle linjene. Antallet sprekker varierte langs linjene avhengig av antallet og omfanget av områder med palsdegenerering langs linjene. Det ble registrert sprekker langs fem av linjene, med høyeste verdi for linje F innen delområde 2. Linjene B, C, D og F krysser flere aktive fragmenteringsområder og bruddkanter som gav lokalt høy frekvens av sprekker. Linjene E og G hadde ingen registrerte sprekker. Innen partier med aktiv og sterk degenerering, som for eksempel bruddkanter, kan det være vanskelig eller umulig å definere enkeltsprekker og bredder. Slike partier ble derfor angitt med total lengde langs linjene og inngikk ikke i beregningen av antall sprekker per meter. Detaljdata for 2006 er presentert nedenfor sammen med data fra 2011 og 2016 (se kapittel 4.2.2).

3.4.4 Artfrekvens

Finskala variasjon i bunn-, felt- og busksjiktvariabler ble i 2006 analysert langs 21 tilfeldig plasserte linjer innen delområde 1 og 3. Linjene fordelte seg på markslagene pals (12 linjer), myrflate (5) og lagg (4). De samme variablene som langs de lengre linjene (se **Tabell 1**) ble registrert, men variabelen for lyng ble delt opp og registrert til art: krekling, blokkebær, blåbær og tyttebær. Ettersom linjene ble tilfeldig plassert inkluderte de også deler av andre markslag enn den kategorien de er klassifisert til. For eksempel inkluderte lagg, som karakteriseres av torvmose, mose og molte, elementer som tilhører overgangssoner mot palsområder (f.eks. forekomsten av strø, lyng og busker). Mange karakteriserte generelt overgangssonene mellom habitatene. Dette gjaldet også innen pals- og palsplatåområdene der mange små ujevnheter og fordypninger gir gode moltehabitater. Grunnet nattefrost uken før analysene i 2006 ble frekvensen for molte noe lavere

enn den ellers ville vært. Palslinjene var karakterisert av lavvokst dvergbjørk, finnmarkspors og lyng. I kantsonene av palsene gikk den lavvokste dvergbjørken og finnmarksporsen over til en større buskform.

3.5 Datainnsamling

Datainnsamlingen ble i 2016 utført på samme måte som i 2006 og 2011, og i henhold til de beskrevne metodene (se kapittel 2.2), men grunnet mye overflatevann i alle delområdene var analyser kun mulig i delområde 3. Artsfrekvens langs de tilfeldig valgte 5-meterslinjene (artslinjer; se kapittel 3.4.4) ble i 2011 og 2016 kun registrert for linjer som representerte palsoverflaten (18 respektive 9 linjer). I 2006 og 2011 ble palsområdet nord for delområde 3 fotografert fra helikopter, men dette var ikke mulig i 2016 grunnet dårlig vær. Datainnsamlingsperioden er den samme i alle tre årene: 2006 (9.–16. august), 2011 (8.–12. august) og 2016 (7.–13. august)

4 Resultat

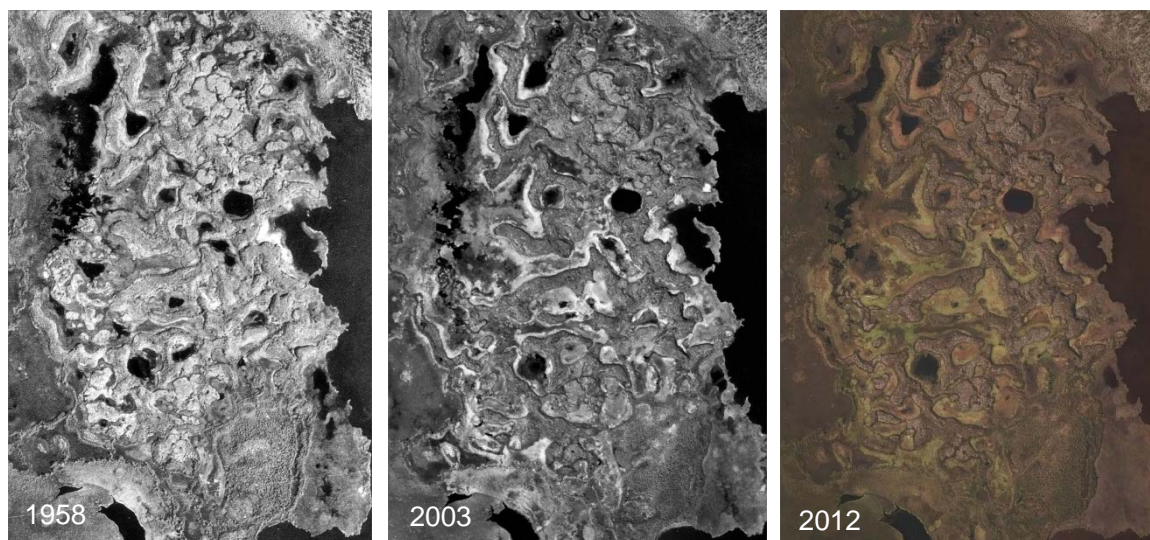
4.1 Palsformasjoner

4.1.1 Endringer siden 1950-tallet

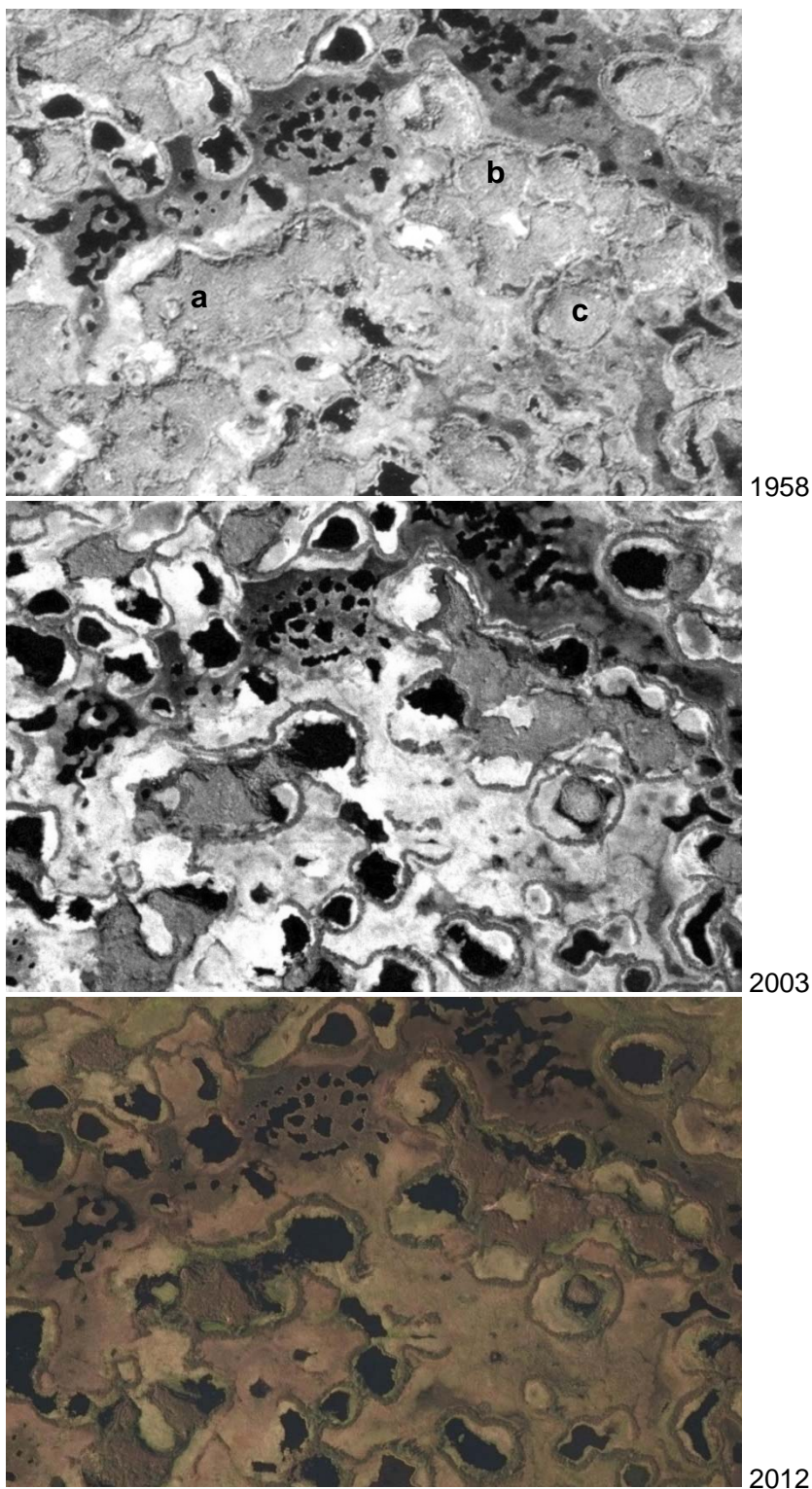
Flybildene fra 1958 viser at store sammenhengende palser karakteriserte myrene i Goahteluoppal for ca. 60 år siden, men dammer ved palskantene viser også at permafrosten allerede da var i ferd med å tine (**Figur 17** og **18**). Flere av disse dammene har vokst betraktelig frem til 2012, og i de våteste partiene er store deler av palsene fra 1958 blitt borte (**Figur 18**). Ettersom det ikke finns bilder fra tiden mellom 1958 og 2003 er det vanskelig å si noe om dynamikken i endringene innen disse 45 årene, kun at til dels store endringer har skjedd i de våteste myrene (**Figur 17** og **18**) og relativt beskjedne endringer i mindre våte områder (**Figur 19**). Denne prosessen har fortsatt frem til 2012. Bildet fra 2012 viser også at flere av dammene fra 1958 har grodd igjen med myrvegetasjon, samtidig som noen av dammene har vokst sammen til større dammer. Bildene fra området nord for delområde 3 fra 1950-talet og fremover viser klart hvordan opprinnelige palser suksessivt blir omformet til starr og myrullbevokst myr, alt ettersom permafrosten tiner (se for eksempel pals **c** i **Figur 18**).

For delområde 1, som i 1958 var dominert av et platåalignende konglomerat av sammenvokste palser, viser det eldste bildet at store deler av det opprinnelige platået var sterkt fragmentert allerede på 1950-talet (**Figur 17**). Bildene viser også at størrelsen på mange av palsene i platåets nordre deler er nesten uforandret frem til 2012. I platåets midtre deler (som krysses av linje A; se **Figur 7**) har palsene minket betraktelig i størrelse mellom 1958 og 2003, men i liten grad mellom 2003 og 2012.

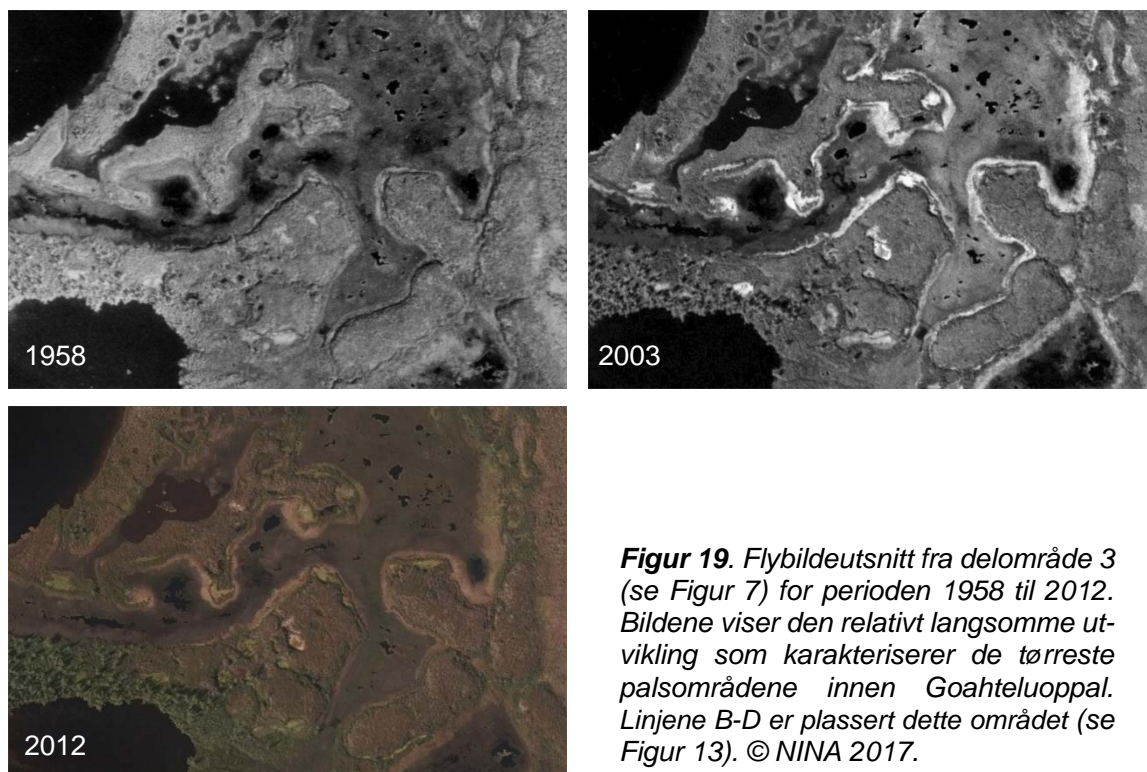
For delområde 3, der linjene B-D er plassert (se **Figur 7**) er endringene siden 1950-talet små, selv om noen palskanter har trukket seg tilbake (**Figur 19**). Disse kantene er erstattet med myrvegetasjon dominert av myrull og starr. I tillegg til endringer i palsenes kanter har en dam utviklet seg sentralt på en av de større palsene. Dammen fantes ikke i 1958, men var allerede i 2003 dekket av myrvegetasjon. Dammens plassering indikerer en begynnende fragmentering av tidligere intakte større palser.



Figur 17. Flybildeutsnitt fra delområde 1 (se **Figur 7**) for perioden 1958 til 2012. Bildene viser utviklingen i det opprinnelige palsplatået med linje A (se **Figur 13**). © NINA 2017.



Figur 18. Sentrale deler av Muvrreáhpí (myrområdet nord for delområde 3; se Figur 7) var i slutten av 1950-talet karakterisert av store til dels sammenhengende palser, men er i senere tid karakterisert av palsringer og tinende palser. **a**, **b** og **c** i bildet fra 1958 markerer noen palser som gjennomgått store endringer siden 1950-talet. Disse palsene vises også i Figur 20 nedenfor. © NINA 2017.



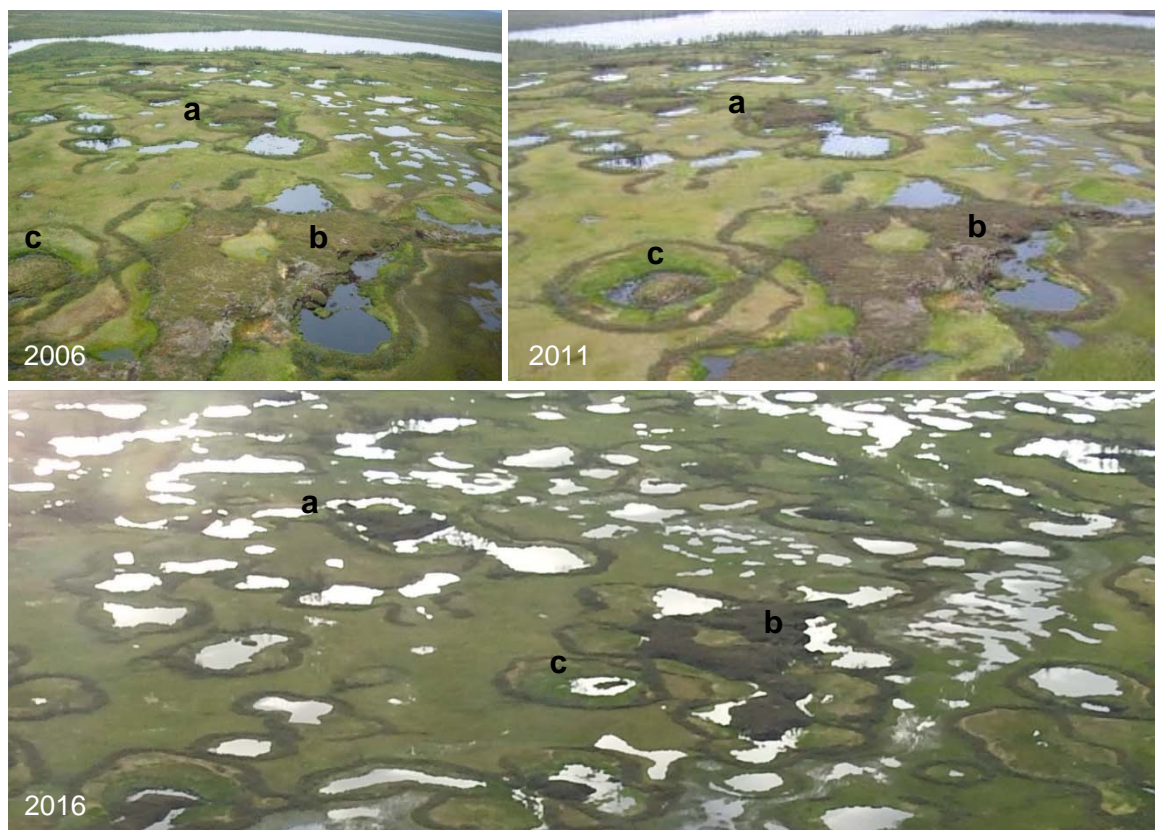
Figur 19. Flybildeutsnitt fra delområde 3 (se Figur 7) for perioden 1958 til 2012. Bildene viser den relativt langsomme utvikling som karakteriserer de tørreste palsområdene innen Goahteluoppal. Linjene B-D er plassert dette området (se Figur 13). © NINA 2017.

4.1.2 Endringer i overvåkingsperioden 2006 til 2016

Utbredelsen av eldre velutviklede palser har minket noe i overvåkingsperioden, men i området med linjene B-D er endringene totalt sett relativt liten. Nesten alle palsformasjoner som ble registrert i 2006 eksisterte fortsatt i 2016, men for enkelte palsformasjoner er endringen stor (detaljer er presentert i kapittel 4.2). Innen de nordlige våtere områdene av Goahteluoppal hvor det ikke er etablert analyselinjer (**Figur 7**; delområdene 5 og 6, og mellom 3 og 6), er endringene tilsynelatende mer omfattende med palsdegenerering generelt. Dette kan imidlertid ikke kvantifiseres i detalj, men flybilder (se kapittel 4.1.1) og bilder tatt fra helikopter viser tydelige endringer i perioden fra 2006 til 2016 (**Figur 20-22**).

Endringene i overvåkingsperioden er som vist for perioden siden 1950-tallet, størst i de våteste delene av myrene (**Figur 20-21**) og minst i mindre våte områder (**Figur 22**), selv om variasjonen er stor mellom individuelle palsformasjoner. Sett under ett er reduksjonen i palsstørrelse og palsforekomst tydelig og klart merkbar i hele Goahteluoppal-området.

Det ble verken i 2011 eller 2016 registrert nye palsformasjoner i områdene ved hjelp av linjeanalyser, men områder med død myrull og død torvmose forekom i 2011, noe som tyder på at det i tiden før 2011 har forekommet nye permafrostområder som hatt noen års varighet. Teledybden på nye permafrostfelter er om sommeren normalt ca. 20 til 40 centimeter (Hofgaard & Myklebost, 2015). Dersom telen blir værende utover hele sommeren, dør myrvegetasjonen og danner lyse lett gjenkjennbare og karakteristiske områder.



Figur 20. Bildene, som er tatt fra helikopter, viser en del av et stort palsområde nord for delområde 3 (se Figur 7). Palsformasjon **a** har minket betydelige i perioden 2006 til 2016, **b** viser kun mindre endringer og **c** er nesten blitt borte. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2017.



Figur 21. Bildene, som er tatt fra helikopter, (2016 i dårlig vær og omvendt retning) viser en pals nord for delområde 3 (se Figur 7) der endringene har vært betydelige i overvåkingsperioden (2006 til 2016; 2016 vises med stiplet oval). Foto: A. Hofgaard. © NINA 2017.



Figur 22. Palsplatå med dam der kun svært små endringer har skjedd i perioden 2006 til 2016. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2017.

4.2 Linjeanalyse

Plassering og trekk for individuelle linjer er presentert i avsnitt 3.4.2. Her presenteres kun endringene i perioden 2006 til 2016 ved hjelp av statistikk for forekomst av tele, teledybde, markslag og vegetasjon for linjene B-D. Detaljert figureksempel gis for en av linjene (**Figur 23-24**).

4.2.1 Tele og markslag

Antall meter med tele langs analyselinjene, sammenlagt for linjene B-D, har avtatt i perioden 2006 til 2016 (**Tabell 4**). Fordelt på 5-årsperioder så var reduksjonen i antall meter med tele relativt langsom mellom 2006 og 2011 og noe raskere i siste periode. Totalt motsvarer reduksjonen ca. 7 % av analysert palslengde.

Variasjonen i hastighet for teleutbredelsens reduksjon kan skyldes at dyptliggende tele varierer mellom årene (**Figur 23**). Det kan imidlertid ikke utelukkes at forskjeller i registrering kan ha påvirket resultatet, ettersom tele som ligger dypere enn ca. 1,5 meter er vanskelig å detektere. Formen på de ulike palsformasjonene tyder på at endringen har vært begrenset (**Figur 23**). For perioden 2006 til 2011 (da alle linjer ble analyserte) viste område 3 (linje A) en svak økning i teleutbredelse samtidig som område 2 (linje E-G) viste en sterk reduksjon (**Tabell 4**). Den store tilbakegangen i teleutbredelse i delområde 2 skyldes først og fremst endringer langs linje E. Linjen hadde i 2006 to palser, men den minste av palsene hadde tint og blitt borte i perioden 2006 til 2011. Den andre palsen hadde minket kraftig i størrelse og telemengde.

Middeldybden for telens forekomst langs palsdelene av analyselinjene B-D var ved målingstidspunktet i 2016 ca. 65 cm, med et standardavvik på 24 cm (**Tabell 4**). Sammenlignet med posisjonen i 2006 representerer dette en senkning av middeldybden med 14 cm, men det er relativt store variasjoner mellom og innen linjene. Minste oppmålte teledybde for linjene er relativt konstant mellom 2006 og 2016, selv om middeldybden for telen lå betydelig grunnere i 2011 (**Tabell 4**).

Markslagsfordelingen langs linjene viser til dels tydelige endringer i overvåkingsperioden (**Tabell 5**, **Figur 24**). Pals, som er det dominerende markslaget, har minket noe, men dekker likevel over 50 % i alle tre analyseårene. Myrflate har økt noe i overvåkingsperioden men varierer mellom år, med en reduksjon i første 5-årsperiode og økning i den siste (**Tabell 5**). Økningen av myrflatefrekvens er først og fremst forårsaket av gjengroing av dammer og lagg langs linjene, mens reduksjon forårsakes av palsdegenerering. Markslagstypen dam ble redusert noe mellom 2006 og 2011 men har siden da vært konstant. Flere detaljer for markslagsendringer i perioden 2006 til 2016 per linje er presentert i **Tabell 5**, og bildeeksempel fra to av linjene er presentert i **Figur 25-27**.

Tabell 4. Telens fordeling, frekvens og dybde langs linjene i årene 2006, 2011 og 2016. Linjenes totale lengde i meter er gitt i parentes etter linjenavnet. SD= standardavvik. © NINA 2017.

Linjenavn	Antall meter			Frekvens, %			Gj.snitt dybde, cm*			Maks dybde, cm*			Min dybde, cm*			SD dybde*		
	2006	2011	2016	2006	2011	2016	2006	2011	2016	2006	2011	2016	2006	2011	2016	2006	2011	2016
A (320)	149	187		47	58		51,6	74,9		140	190		35	40		14,4	44,2	
B (140)	84	81	76	60	58	54	56,3	64,9	84,4	150	180	175	35	35	45	20,4	31,9	40,1
C (100)	68	67	65	68	67	65	49,3	53,4	61,4	95	150	180	35	30	35	9,4	21,5	23,0
D (50)	16	16	15	32	32	30	46,6	48,8	49,7	70	110	130	40	35	35	7,9	18,1	22,6
E (81)	42	20		52	25		55,0	55,0		140	95		30	35		21,2	14,0	
F (50)	33	29		66	58		56,4	62,1		75	80		35	35		9,5	11,1	
G (50)	18	13		36	26		57,8	65,4		80	130		35	50		10,2	20,3	
Sum/ gj.snitt linje B-D	168	164	156	53	52	50	50,7	55,7	65,2	105	147	162	37	33	38	12,6	23,8	28,6

*Beregninger basert kun på metre hvor tele forekommer

Tabell 5. Endring i markslagsfordeling for linjene B, C og D individuelt og samlet, angitt i prosent. © NINA 2017.

Markslag	B			C			D			Totalt B-D		
	2006	2011	2016	2006	2011	2016	2006	2011	2016	2006	2011	2016
<i>Antall meter</i>												
bruddkant	11	8	6	5	2	6	2	2	1	18	12	13
dam	17	17	15	10	8	10	0	0	0	27	25	25
lagg	14	22	17	0	0	1	0	2	4	14	24	22
myrflate	14	6	21	17	17	16	25	27	27	56	50	64
pals	81	84	79	67	71	65	17	15	15	165	170	159
palsring*	3	3	2	1	2	2	6	4	3	10	9	7
<i>Frekvens</i>												
bruddkant	7,9	5,7	4,3	5,0	2,0	6,0	4,0	4,0	2,0	6,2	4,1	4,5
dam	12,1	12,1	10,7	10,0	8,0	10,0	0	0	0	9,3	8,6	8,6
lagg	10,0	15,7	12,1	0	0	1,0	0	4,0	8,0	4,8	8,3	7,6
myrflate	10,0	4,3	15,0	17,0	17,0	16,0	50,0	54,0	54,0	19,3	17,2	22,1
pals	57,9	60,0	56,4	67,0	71,0	65,0	34,0	30,0	30,0	56,9	58,6	54,8
palsring*	2,1	2,1	1,4	1,0	2,0	2,0	12,0	8,0	6,0	3,4	3,1	2,4

*palsring og tue er slått sammen til palsring

4.2.2 Sprekkfrekvens

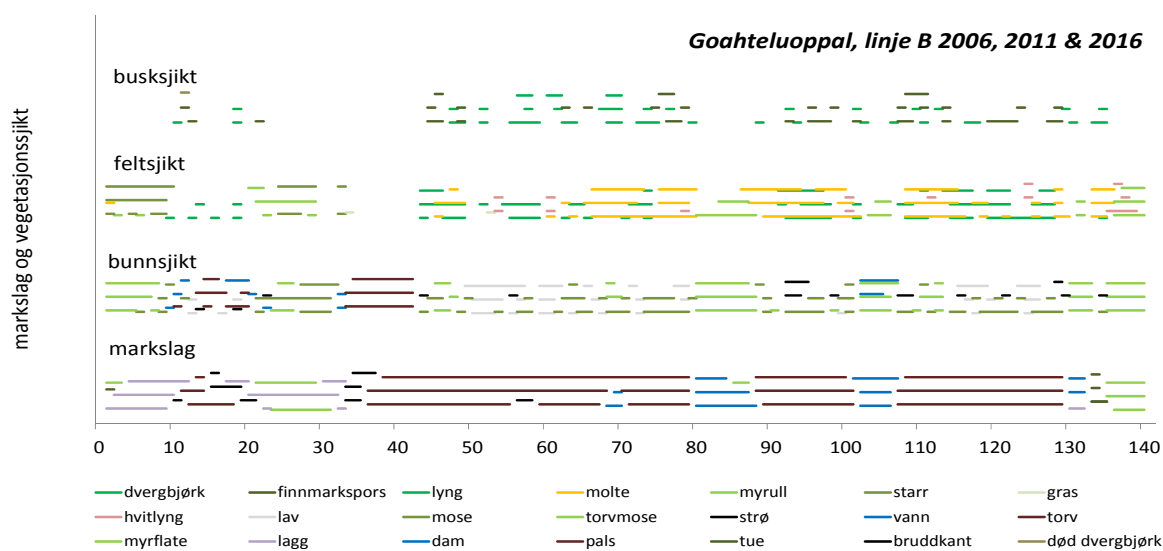
Antallet sprekker per meter, samlet for linjene B, C og D, har økt i analyseperioden, samtidig som bruddkantfrekvensen har blitt redusert (**Tabell 6**). Endringene skyldes først og fremst endringer langs linje B, og økningen er størst for små sprekker. Reduksjon i antall meter med bruddkant skyldes at deler av bruddkanter fra 2006 har rast sammen og forsvunnet ned i tilgrensende dammer.

Tabell 6. Frekvensen av sprekker langs linjene, fordelt på sprekkbredde og antall per meter total for linjene og per breddekategori. Bruddkant er gitt i total lengde (m) og inngår ikke i beregningen av antall sprekker per meter. © NINA 2017.

Linje- navn	Antall sprekker									Antall per kategori											
	totalt			per meter			0-5 cm			6-10 cm			11-20 cm			21-50 cm			bruddkant		
	2006	2011	2016	2006	2011	2016	2006	2011	2016	2006	2011	2016	2006	2011	2016	2006	2011	2016	2016	2011	2016
A (320)	13	20		0,04	0,06		5	13		1	3		5	2		2	2				
B (140)	4	5	13	0,03	0,04	0,09		1	6	2		3	1	1	3	1	3	1	11	8	6
C (100)	2	4		0,02	0,04		1				2		1	2					5	2	6
D (50)	1			0,02									1						2	2	1
E (81)		1		0,00	0,01									1							1
F (50)	7	7		0,14	0,14		2			3	3			3		2	1		4		
G (50)	3	4		0,06	0,08		1	2		1	1		1	1							
Sum B-D	7	9	13	0,02	0,03	0,04	1	1	6	2	2	3	3	3	3	1	3	1	18	12	13



Figur 23. Høydestruktur og teledybde for linje B i 2006, 2011 og 2016. Brune linjer viser mark-høyde og blå linjer teleforekomstens dybdenivå under overflaten. Merk at maksimal høydenivå ble målt noe forskjellig i de tre årene (pga. myras helling). © NINA 2017.



Figur 24. Fordeling av markslag og dominerende vegetasjon for linje B i 2006, 2011 og 2016. De fire grupperingene med linjer viser markslagsvariabler (nedre linjegruppering), bunnsjiktsvariabler (nest nederst), feltsjiktsvariabler (nest øverst) og busksjiktsvariabler (øverst). Innen hver gruppering vises informasjon for 2006 nederst, 2011 i midten og 2016 øverst. Fargekodenens betydning vises nederst i figuren. © NINA 2017.



Figur 25. De tinende palsene langs linje B (foto fra linjestart) er karakterisert av buskvegetasjon med dvergbjørk og finnmarkspors. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2017.



Figur 26. Vannivåene i dammene langs linje B varierer sterkt mellom analyseårene på grunn av variasjoner i sommernedbøren (se Figur 10). Foto: A. Hofgaard. © NINA 2017.



Figur 27. Aktive erosjonskanter karakteriserer palsen langs linje D (foto fra linjestart). Foto: A. Hofgaard. © NINA 2017.

4.2.3 Artsfrekvens

Variasjonen i busk-, felt- og bunnsjikt ble i 2016 analysert for 9 palsoverflatelinjer og sammenlignet med 2006 (12 linjer) og 2011 (18 linjer). Vegetasjonen på palsene er i de tre årene karakterisert av dvergbjørk og finnmarkspors i busksjiktet, molte og krekling i feltsjiktet, og av strø og lav eller mose i bunnsjiktet. Tilsammen dekker busk- og feltsjiktene ca. 60-70 % av overflaten i årene 2006 til 2016, selv om frekvensen for de dominerende artene varierer noe mellom årene. Samlet har busksjiktet dominert vegetasjon økt fra 2006 til 2016, samtidig som bunnsjiktet dominerende områder har avtatt med ca. 30 % (**Tabell 7**). Et lavt og glissent busksjikt av dvergbjørk og finnmarkspors forekommer over store deler av de høyere palsene og langs analyselinjene (**Figur 28**), samtidig som et høyere busksjikt karakteriserer lavere palser, forsenkninger og hellinger mot lavereliggende myrområder (**Figur 29**).

Det er til dels tydelige endringer i enkelte feltsjiktsarters frekvens mellom 2006 og 2016, selv om feltsjiktet totalt kun viser små endringer. Noen av de mest påfallende frekvensendringene er økningen i molte over hele perioden, reduksjon av tyttebær i 2011 og hele perioden, og økningen av kvitlyng i 2011 etterfulgt av reduksjon i 2016 (**Tabell 7**). Nedgangen i bunnsjiktsdominert vegetasjon skyldes først og fremst nedgang i frekvensen av både lav og mose. Nedgangen i lav merkes tydelig på lave palser (**Figur 29**). I tillegg til disse endringene indikerer en i 2011 ny art (tranebær) og ny artsgruppe (torvmose) at overflatemiljøet er blitt fuktigere. Imidlertid er registrerte endringer, særlig for arter med liten forekomst eller liten endring, usikre ettersom variasjonen i artslinjenes plassering mellom undersøkelse årene kan påvirke resultatene.

Tabell 7. Endring i palsoverflatens busk-, felt- og bunnsjikts-sammensetting, Goahteluoppal 2006, 2011 og 2016. © NINA 2017.

Vegetasjons-sjikt	antall treff*			% dekning			% endring		
	2006	2011	2016	2006	2011	2016	2006-2011	2011-2016	2006-2016
Busksjikt	133	155	153	22,2	17,2	34,0	-22,3	97,4	53,4
Dvergbjørk	92	78	71	15,3	8,7	15,8	-43,5	82,1	2,9
Finnmarkspors	41	77	82	6,8	8,6	18,2	25,2	113,0	166,7
Feltsjikt	219	357	169	36,5	39,7	37,6	8,7	-5,3	2,9
Molte	69	110	68	11,5	12,2	15,1	6,3	23,6	31,4
Blokkebær	7	10	7	1,2	1,1	1,6	-4,8	40,0	33,3
Tyttebær	54	42	24	9,0	4,7	5,3	-48,1	14,3	-40,7
Krekling	78	153	58	13,0	17,0	12,9	30,8	-24,2	-0,9
Tranebær	0	3	4	0,0	0,3	0,9	+	166,7	+
Kvitlyng	11	39	7	1,8	4,3	1,6	136,4	-64,1	-15,2
Myrullarter	0	0	1	0	0	0,2	0	+	+
Bunnsjikt	248	388	128	41,3	43,1	28,4	4,3	-34,0	-31,2
Død torv	12	3	0	2,0	0,3	0	-83,3	-100,0	-100,0
Lav	93	136	19	15,5	15,1	4,2	-2,5	-72,1	-72,8
Mose	51	91	32	8,5	10,1	7,1	19,0	-29,7	-16,3
Torvmose	0	16	6	0	1,8	1,3	+	-25,0	+
Strø	92	142	71	15,3	15,8	15,8	2,9	0	2,9

*beregnet på 12 linjer i 2006, 18 linjer i 2011, og 9 linjer i 2016



Figur 28. Et lavt busksjikt med dvergbjørk og finnmarkspors karakteriserer palsene i Goahteluoppal sammen med krekling og molte i feltsjiktet og lav og strø i bunnsjiktet (bildet er fra linje A, 2011). Foto: A. Hofgaard. © NINA 2017.



2006



2011



2016

Figur 29. Vegetasjonen i busk-, felt- og bunnsjikt endres med avtagende palshøyde. Goahteluoppal ved linje D: 2006, 2011 og 2016. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2017.

4.3 Menneskelig påvirkning

Palsområder er meget sårbare for menneskelige aktiviteter som påvirker de hydrologiske forholdene rundt palsene eller palsoverflatene. Påførte skader kombinert med økt klimatisk marginalisering grunnet endringer i klimaet gjør at også en beskjeden menneskelig påvirkning kan virke destabiliserende. Palsene i Goahteluoppal-området har ikke vist noen tegn på at dokumenterte endringer som kan knyttes til menneskelig aktivitet, men områdene rundt palsene er brukt til ulike typer av motorisert ferdsel. Dette vises tydelig langs kartfestede kjøretraseer og spredte tilfeldige kjøretraseer (**Figur 30**) som ser ut til å ha økt i overvåkingsperioden. Samlet gjør dette at vegetasjonsskader forårsaket av barmarkskjøring og kjøring seint i vintersesongen når snøen er delvis borte, er relativt vanlige i Goahteluoppal. Se også **Figur 21** der bildet fra 2006 kun viser sportraseer fra fugl (sangsvane og andre fugler) der de beveger seg mellom dammene. Bildene fra 2011 viser i tillegg spor etter firhjulring- og snøskuterkjøring (**Figur 21** og **30**).



Figur 30. Kjørespor etter motorisert ferdsel vises tydelig i myrområdene nord for Goahteluoppal Fjellstue der det tidligere kun var sportraseer fra fugl. Bildet er fra 2011. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2017.

5 Diskusjon

Overvåkingen av palsmyrområdene i Goahteluoppal viser raske endringer i palsenes struktur, permafrostens utbredelse og floristisk sammensetning på palsene, men også at det er betydelig tregheit i systemet. Flybilder fra 1958 viser omfattende utbredelse av store palser, men også tegn på pågående palsreduksjon som følge av klimaoppvarming før 1950-tallet. Storparten av nåværende palsutbredelse innen de nordvest-europeiske og subarktiske områdene har sin opprinnelse i den Lille istid, en kjølig periode fra ca. 1450 til 1880 (Grove 1988, Vorren & Vorren 1976, Payette et al. 2004). 1900-tallets betydelig varmere og generelt fuktigere klima har vært ugunstig for vekst og overlevelse av palser (Laberge & Payette 1995, Payette et al. 2004). Den første temperaturstigningen etter slutten av den Lille istid, dvs. mellom midten av 1910-tallet og slutten av 1930-tallet, var omtrent like omfattende og rask som den i nyere tid (Hanssen-Bauer et al. 2015). Det er trolig at sporene etter tidligere palser, som vises som gjengroende dammer og torvringer i de eldste flybildene fra 1958, er forårsaket av denne klimatiske oppvarmingen tidlig på 1900-tallet. Det er også trolig at frekvensen av dammer i myrlandskapet før den tid var svært lav.

Palsfrekvens og palsstørrelse i de utvalgte delområdene i Goahteluoppal viser relativt liten endring i overvåkingsperioden fra 2006 til 2016, men overvåkingen viser samtidig at en relativt rask palsreduksjon preger de våtere og utilgjengelige delene av Goahteluoppal. Langtidsendringene i regionens klima styrer dynamikken i palsmyrsystemene, sammen med klimatiske ulikheter mellom år og eventuelle direkte menneskelige påvirkninger. Ettersom palsene i Goahteluoppal-området ikke viser betydelige tegn på forstyrrelse av menneskelig aktivitet med påvirkning på de hydrologiske forholdene, antas det at de dokumenterte endringene fra 2006 til 2016 hovedsakelig har en klimatisk årsak.

Selv om registreringene av den totale frekvensen av tele langs linjene viser på en langsom reduksjon, viser bildene tatt fra helikopter en relativt omfattende reduksjon av permafrostens utbredelse i områder som ikke er tilgjengelige for linjeanalyser. Samlet viser dette palsmyrendringenes komplekse karakter. Den totale tiningen av en av palsene langs linjene og tilbakegang av de større palsene i de våtere områdene i Goahteluoppal er et resultat av en prosess som har pågått over lang tid og er i tråd med endringene mot et allerede varmere og fuktigere klima. Siden midten av 1980-talet har årsmiddeltemperaturen økt med ca. 2 °C selv om den fortsatt ligger under 0 °C. Denne temperaturutviklingen er imidlertid ugunstig for palsenes vekst og overlevelse.

Palsformasjoner i de våteste delene av myrene er mest følsomme for denne type klimaendring. Store palser i tørrere deler av myrene vil kunne eksistere over lengre tid, også i et ugunstig klima. Det er trolig at den relativt sett mer balanserte dynamikken i myras palsstruktur, som er dokumentert for de tre delområdene med linjeanalyser, kan forklares av forskjellene i myrenes struktur. Men det er også trolig at dersom trenden i regionens klima fortsetter vil permafrostforandringene kunne bli endret til et raskere forløp også i disse områdene, enn det som er avdekket i overvåkingsperioden. Klimaendringer som har pågått over lang tid har ført til, og fører til, endringer som kan registreres. Selv om temperaturutviklingen for området siden begynnelsen av 1900-tallet hovedsakelig viser svingninger og med liten langsiktig trend (**Figur 8**), så kan det ikke utelukkes at disse temperaturvariasjonene har betydning. Imidlertid er det mer sannsynlig at den langsiktige økningen i nedbør (**Figur 10**) siden begynnelsen av 1900-tallet har vært mer avgjørende for reduksjon i palsstørrelse innen særlig de våtere områdene.

Til tross for et over flere tiår forverret klima for palsoverlevelse og palsvekst, så viste områder med avdøding av vegetasjon i 2011 at ny permafrostutvikling kan forekomme. Det er imidlertid lite trolig at nydannelse eller vekst av palsene vil kunne kompensere for tapet av eldre palsformasjoner, selv om embryonale palser kan forekomme tilfeldig.

De registrerte endringene i teledybde, og til dels telens utbredelse, kan trolig også skyldes ulike værforhold mellom analyseårene. I de tre årene teledybden ble målt, var årstemperaturen 1 °C

varmere i 2011 enn i 2006 (-1,4 °C i 2006; -0,4 °C i 2011; -0,7 °C i 2016), men den mest betydningsfulle klimatiske forskjellen mellom analyseårene er at vintertemperaturen i 2011 var ca. 3 °C kaldere enn i de to andre årene (-13,3 °C i 2006; -16,1 °C i 2011; -13,2 °C i 2016) kombinert med at vinternedbøren var betydelig lavere jevnført med i 2006 og 2016 (96 mm i 2006; 59 mm i 2011; 139 mm i 2016). Disse værfor forskjellene mellom år er betydningsfull for hastigheten og trenden i den langsiktige utviklingen, men det er stor usikkerhet omkring både hvor stor betydning værforholdene har for årlig variasjon i permafrostens utbredelse og for hastigheten til den langsiktige trenden (Frontzek et al. 2009, Sannel 2010).

Selv om telens posisjon har gått nedover til dypere nivå siden starten av overvåkingen i 2006, gir ikke dataene grunnlag for å trekke en sikker konklusjon om denne forskjellen representerer en endring over tid eller at den kun skyldes ulike værforhold mellom år. Været, både temperatur og nedbør, i de enkelte somre og vintre styrer teledybden mer enn trenden i klimaet. For eksempel må man helt tilbake til begynnelsen av 1980- og 1930-tallet for å finne tilsvarende tynt snødekke over en rekke av år som ved starten av overvåkingen (**Figur 11**), men variasjonen mellom enkelte år er stor. De relativt beskjedne endringene over analyseperioden tyder på at palsmyrbiotopen i Goahteluoppal vil sannsynligvis eksistere i mange tiår fremover, særlig i de tørrere delene av området. Denne vurderingen tar imidlertid ikke hensyn til en eventuell generell endring av telenivå og vegetasjon på palsene som vil kunne endre hastigheten til prosessen betraktelig. Selv om palser vil eksistere i det studerte området i mange tiår, vil permafrostnedgangen føre til tydelige og økologisk viktige endringer. Dette fordi de nåværende palsdominerte myrene vil bli forvandlet til myrer dominert av myrflate og gjengroende dammer, men nesten uten nydannelse av dammer.

Artsfrekvensanalysene viser at det i 2016 var både større andel med høyere snøfangende vegetasjon (busksjiktarter) og molte enn i 2006, mens lavdominerte områder er redusert i overvåkingsperioden. Disse artsendringer, særlig endringene i busksjiktet og frekvens av lavdekke er en ugunstig utvikling for langsiktig overlevelse av eldre palser. Tilstedeværelse av et busksjikt og sammensetningen av felt- og bunnsjikt er av betydning for telens utvikling, og de registrerte endringene i vegetasjonen kan få negativ påvirkning på telenivået. Økningen av molte, som er begünstiget av kantsoner og lave forsenkninger i palsenes overflate, vil på sikt gi ytterligere endringer i palsoverflatens småskalastruktur – dvs. økt frekvens av forsenkninger og tuer. Disse endringen av overflatestrukturen gir et tykkere, mer kontinuerlig og mer isolerende snødekke om vinteren. Mer snø reduserer den nødvendige avkjølingen av palsene om vinteren. En reduksjon av lavdekket har størst betydning om sommeren da dette reduserer refleksjonen av solas varme-stråling, noe som vil lede til økt oppvarming av palsene. De to prosessene kan sammen gi stor negativ påvirkning på palsoverlevelsen, og i et varmere klima øker betydningen av palsoverflatens vegetasjon for palsenes overlevelse.

6 Tidsplan

Overvåkingen har siden starten i 2004 inkludert etablering og førstegangsanalyser av ett overvåkingsområde per år, med start i Ostojeaggi. I løpet av overvåkingens første fem år (2004-2008) ble alle overvåkingsområder (se **Figur 5**) analysert etter planen vist nedenfor. Deretter er alle fem områder gjenanalysert etter fem år (2009 til 2013), og tre områder er gjenanalysert etter ti år (Ostojeaggi i 2014, Haukskardmyrin og Haugtjørnin i 2015, og Goahteluoppal presentert i denne rapporten). Overvåkingen rapporteres med årlige rapporter til Miljødirektoratet (se **Referanseliste 7.1**).

Førstegangsundersøkelse	2004	Ostojeaggi
	2005	Dovre: Haukskardmyrin og Haugtjørnin
	2006	Goahteluoppal
	2007	Dovre: Leirpullan
	2008	Ferdesmyra
Gjenanalyse I	2009	Ostojeaggi
	2010	Dovre: Haukskardmyrin og Haugtjørnin
	2011	Goahteluoppal
	2012	Dovre: Leirpullan
	2013	Ferdesmyra
Gjenanalyse II	2014	Ostojeaggi
	2015	Dovre: Haukskardmyrin og Haugtjørnin
	2016	Goahteluoppal
	2017	Dovre: Leirpullan
	2018	Ferdesmyra
Gjenanalyse III	2019	Ostojeaggi
	2020	Dovre: Haukskardmyrin og Haugtjørnin
	2021	Goahteluoppal
	2022	Dovre: Leirpullan
	2023	Ferdesmyra

7 Referanser

7.1 Rapporter fra overvåkingsprosjektet

- Hofgaard, A. 2003. Effects of climate change on the distribution and development of palsa peatlands: background and suggestions for a national monitoring project. – NINA Project Report 21. 32 s.
- Hofgaard, A. 2004. Etablering av overvåkingsprosjekt på palsmyrer. – NINA Oppdragsmelding 841, 32 s.
- Hofgaard, A. 2005. Overvåking av palsmyr. Førstegangsundersøkelse i Ostojeaggi, Troms 2004. – NINA Rapport 42. 29 s.
- Hofgaard, A. 2006. Overvåking av palsmyr. Førstegangsundersøkelse i Dovre 2005, Haukskardmyrin og Haugtjørnin. – NINA Rapport 154. 35 s.
- Hofgaard, A. 2007. Overvåking av palsmyr. Førstegangsundersøkelse i Gohteluoppal, Vest-Finnmark 2006. – NINA Rapport 257. 33 s.
- Hofgaard, A. 2008. Overvåking av palsmyr. Førstegangsundersøkelse i Leirpullan, Sør-Trøndelag 2007. – NINA Rapport 364. 35 s.
- Hofgaard, A. 2009. Overvåking av palsmyr. Førstegangsundersøkelse i Ferdesmyra, Øst-Finnmark 2008. – NINA Rapport 476. 34 s.
- Hofgaard, A. & Wilmann, B. 2010. Overvåking av palsmyr. Første 5-årsundersøkelse i Ostojeaggi, Troms, 2009. – NINA Rapport 586. 42 s.
- Hofgaard, A. & Wilmann, B. 2011. Overvåking av palsmyr. Første 5-årsundersøkelse i Haukskardmyrin og Haugtjørnin, Dovre. – NINA Rapport 717. 42 s.
- Hofgaard, A. & Myklebost, H.E. 2012. Overvåking av palsmyr. Første gjenanalyse i Gohteluoppal, Vest-Finnmark. Endringer fra 2006 til 2011. – NINA Rapport 841. 44 s.
- Hofgaard, A. & Myklebost, H.E. 2013. Overvåking av palsmyr. Første gjenanalyse i Leirpullan, Dovrefjell i Sør-Trøndelag. Endringer fra 2007 til 2012. – NINA Rapport 958. 46 s.
- Hofgaard, A. & Myklebost, H.E. 2014. Overvåking av palsmyr. Første gjenanalyse i Ferdesmyra, Øst-Finnmark. Endringer fra 2008 til 2013. – NINA Rapport 1035. 49 s.
- Hofgaard, A. & Myklebost, H.E. 2015. Overvåking av palsmyr. Andre gjenanalyse i Ostojeaggi, Troms. Endringer fra 2004 til 2014. – NINA Rapport 1164. 46 s.
- Hofgaard, A. & Myklebost, H.E. 2016. Overvåking av palsmyr. Andre gjenanalyse i Haukskardmyrin og Haugtjørnin, Dovre. Endringer fra 2005 til 2015. – NINA Rapport 1258. 45 s.

7.2 Annen sitert litteratur

- ACIA 2005. Arctic climate impact assessment. – Cambridge University press, Cambridge.
- Baltzer, J.L., Veness, T., Chasmer, L.E., Sindehan, A.E. & Quinton, W.L. 2014. Forest on thawing permafrost: fragmentation, edge effects, and net forest loss. – *Global Change Biology* 20: 824-834.
- Beck, I., Ludwig, R., Bernier, M., Lévesque, E. & Boike J. 2015. Assessing permafrost degradation and land cover changes (1986-2009) using remote sensing data over Umiujaq, Sub-arctic Québec. – *Permafrost and Periglacial Processes* 26: 129-141.
- Christensen, T.R., Johansson, T., Akerman, H.J., Mastepanov, M., Malmer, N., Friberg, T., Crill, P. & Svensson B.H. 2004. Thawing sub-arctic permafrost: Effects on vegetation and methane emissions. – *Geophysical Research Letters* 31. L04501.

- Farbrot, H., Isaksen, K., Etzelmüller, B. & Gisås, K. 2013. Ground thermal regime and permafrost distribution under a changing climate in Northern Norway. – *Permafrost and Periglacial Processes* 24: 20-38.
- Fronzek, S., Johansson, M., Christensen, T.R., Carter, T.R., Friborg, T. & Luoto, M. (eds.) 2009. Climate change impacts on sub-arctic palsas mires and greenhouse gas feedbacks. – *Reports of Finnish Environment Institute* 3/2009.
- Granmo, A. 1988. Goatteluobbal – et våtmarksområde i Kautokeino. Botaniske verdier. – TROMURA, Tromsø Museums rapportserie nr. 64. 71pp.
- Grove, J.M. 1988. *The Little Ice Age*. – Methuen, London.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A. & Ådlandsvik, B. 2015. Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning i 2015. – NCCS report no. 2/2015
- IPCC 2001. Working Group I Assessment Report, Climate Change 2001: The Scientific Basis (Summary for policymakers). – www.gcric.org/online.html.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers. 10th session of Working group I of the IPCC. – IPCC, Paris.
- Jones, M.C., Harden, J., O'Donnell, J., Manies, K., Jorgenson, T., Treat, C. & Ewing S. 2017 Rapid carbon loss and slow recovery following permafrost thaw in boreal peatlands. – *Global Change Biology* 23: 1109-1127.
- Laberge, M.-J. & Payette, S. 1995. Long-term monitoring of permafrost change in a palsa peatland in Northern Québec, Canada: 1983-1993. – *Arctic Alpine Research* 27: 167-171.
- Lauknes, T.R., Larsen, Y., Høgda, K.A., Tømmervik, H. & Hofgaard, A. 2012. Bruk av fjernmåling i palsmyrovervåking. – NINA Rapport 803. 36 pp.
- Lid, J. & Lid, D.T. 2005. *Norsk flora*. – Det Norske Samlaget. Oslo.
- Luoto, M., Heikkinen, R.K. & Carter, T.R. 2004. Loss of palsa mires in Europe and biological consequences. – *Environmental Conservation* 31: 1-8.
- Luoto, M. & Seppälä, M. 2002. Modelling the distribution of palsas in Finnish Lapland with logistic regression and GIS. – *Permafrost and Periglacial Processes* 13: 17-28.
- Luoto, M. & Seppälä, M. 2003. Thermokarst ponds as indicators of the former distribution of palsas in Finnish Lapland. – *Permafrost and Periglacial Processes* 14: 19-27.
- Moen, A. 1999. *National Atlas of Norway. Vegetation*. – Norwegian Mapping Authority, Hønefoss, Norway. 200 s.
- Nilsen, S. 2004. Foton fra småfly, fotografert av Stein Nilsen, Fylkesmann Finnmark, juni 2004.
- Payette, S., Delwaide, A., Caccianiga, M. & Beauchemin, M. 2004. Accelerated thawing of sub-arctic peatland permafrost over the last 50 years. – *Geophysical Research Letters*, Vol 31, L18208, doi:10.1029/2004GL020358. 4 s.
- Sannel, A. B. K. 2010. Temporal and spatial dynamics in subarctic peat plateaus and thermokarst lakes. – *Doctoral Thesis in Physical Geography at Stockholm University*.
- Sannel, A.B.K., Hugelius, G., Jansson, P. & Kuhry, P. 2015. Permafrost warming in a subarctic peatland – which meteorological controls are most important. – *Permafrost and Periglacial Processes* DOI: 10.1002/ppp.1862
- Sannel, A.B.K. & Kuhry, P. 2011. Warming induced destabilization of peat plateau/thermokarst lake complexes. – *Journal of Geophysical Research* 116: G03035
- Seppälä, M. 1986. The origin of palsas. – *Geografiska annaler*, A68, 141-147.
- Sollid, J.L. & Sørbel, L. 1998. Palsa bogs as a climate indicator – examples from Dovrefjell, Southern Norway. – *Ambio* 27: 287-291.

- The Habitats Directive 2007. Council Directive 92/43/EEC on the Conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. Consolidated version 1.1.2007. – <http://ec.europa.eu/environment/nature/legislation/habitatsdirective>.
- Vorren, K.-D. & Vorren, B. 1976. The problem of dating a palsa. Two attempts involving pollen diagrams, determination of moss subfossil, and C14-datings. – *Astarte* 8: 73-81.
- Wramner, P., Backe, S., Wester, K., Hedvall, T., Gunnarsson, U., Alsam, S. & Eide W. 2012. Förslag till övervakningsprogram för Sveriges palsmyrar. – Länsstyrelsens rapportserie nr 16/2012. Länsstyrelsen i Norrbottens län.
- Åhman, R. 1977. Palsar i Nordnorge. – *Medd. Lunds Univ. Geografiska Institutionens Avhandlingar* 78, pp 165.

8 Vedlegg 1: Klimatiske forutsetninger og endring av palsmyrer i tid og rom

Teksten nedenfor er hentet fra rapporten "Etablering av overvåkingsprosjekt på palsmyrer. NINA Oppdragsmelding 841" (Hofgaard 2004).

8.1 Sammansättning og struktur

En pals är en permafrostorsakad torvklädd kulle som höjer sig över den omgivande myrytan (**Figur V1**). Kullarnas höjd varierar från mindre än en meter till flera meters höjd och kan täcka en yta av många hundra kvadratmeter varav de större bildar palsplatåer (Laberge & Payette 1995, Sollid & Sørbel 1998).



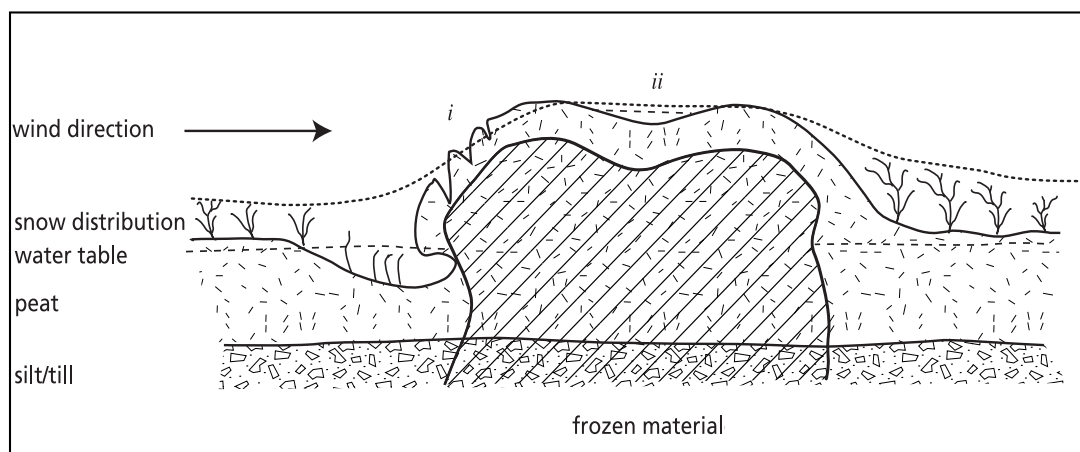
Figur V1. Kupolformad pals som höjer sig ca 2.5 m över den omgivande myrytan. Ferdesmyra, 5 juli 2004. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2017.

Ordet pals härstammar från de finska och samiska språken och betyder torvkulle eller upphöjning i myr, men definitionen av ordet varierar något i den vetenskapliga litteraturen. Här i föreliggande rapport används definitionen "peat hummocks with a core of frozen peat and/or mineral soil rising to a height of 0.5 – 10 m above a mire surface within the discontinuous permafrost zone" (Seppälä 1988). I tillägg till palsar och palsplatåer karakteriseras palsmyrar av en mosaik av torvmark utan permafrost, våta starrområden, och dammar orsakade av tidigare palsar som tinat och fallit ihop, samt torvringar runt dessa dammar. Ett sådant palsmyrsystem är mycket dynamiskt över tid till följd av nybildning, tillväxt och nedbrytning av palsar. Alla dessa terrängformationer är naturliga komponenter i palsmyren tillsammans med tillfälliga eller embryonala permafrostformationer som endast höjer sig någon eller några decimeter över myrytan (Sollid & Sørbel 1998; kallas pounus i Seppälä 1998). Dessa små och/eller tillfälliga permafrostformationer kan periodvis utgöra ett signifikant bidrag till myrens struktur.

Frekvensen av de olika komponenterna ändras i både tid och rum (beskrivs utförligare nedan) och påverkar på så sätt vegetationsstrukturen på myrarna genom främst förändringar av hydrologiska faktorer, vindexponering och betetryck. Samtidigt som fördelningen av palsmyrens komponenter påverkar vegetationsstrukturen så återverkar vegetationens struktur på fördelningen av permafrosten genom påverkan på snöfördelning, markfuktighet och mark-temperatur. Resultatet är att frekvensen träd-, busk-, ört-, gräs-, moss- och lavdominerad vegetation varierar på

ett utpräglat mosaikartat sätt över myrarna. Denna variationsbredd i den abiotiska och biotiska miljön har en avgörande betydelse för palsmyrekosystemens struktur och funktion i tid och rum.

Palsarnas huvudsakliga morfologiska komponent är den frusna torvkärnan omgiven av säsongsfusen torv (**Figur V2**). Tjockleken på det omgivande torvlagret varierar från någon decimeter till mer än en meter både inom och mellan olika palsmyrområden. Under den nivå som påverkas av tjäle omges palsens frusna del av ofrusen torv. Beroende på myrens torvdjup och palsens utveckling så kan permafrosten nå ner till eller inkludera myrens sediment- eller moränunderlag. Myrens vattenhaltiga minerogena underlag kan på så sätt bidra till palsens höjd expansion. I tillägg till frusen torv och sediment är islinser vanliga morfologiska strukturer i palsarna.



Figur V2. Palsuppbbyggnad, grundvattennivå i omgivande myrmark, och snöns fördelning under högvintern. Palsens frusna kärna är omgiven av ofrusen torv under sommaren, och vegetationens struktur på och runt palsen är formad av vind och snöförhållanden under vintern. i) exponerad yta som utsätts för vind och erosion; ii) tillfällig vattensamling (källa: Hofgaard 2003). © NINA 2017.

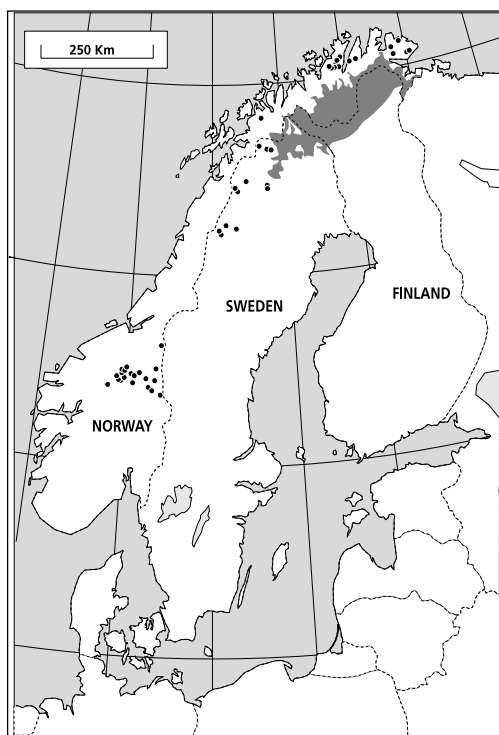
8.2 Utbredning och klimatiska förutsättningar

Palsmyrar förekommer i den circumpolära regionen med osammanhängande eller sporadisk permafrost i övergångszonen mellan boreala och arktiska/alpina områden. I detta vidsträckt område bildar palsar distinkta terrängformationer i subarktiska och subalpina myrmarker (Seppälä 1986, Laberge & Payette 1995). Utbredning indikerar ett nära samband med det periodiska och/eller årliga temperaturunderskottet som karaktäriserar övergångszonen mellan den slutna skogen och den arktiska eller alpina tundran. Palsar och palsplatåers lokala och regionala utbredningen i tid och rum styrs av hur lokala och regionala klimatfaktorer varierar och förändras över decennier och sekel, men även variationer på kortare sikt är av betydelse, t.ex. för förekomsten av små för det mesta kortlivade palsar, s.k. embryopalsar (som kan vara starten till nya mer långlivade palsar). Överlevnaden hos dessa palsar styrs av vädrets utveckling under individuella år (Seppälä 1998, Sollid & Sørbel 1998). Även om förutsättningarna för permafrostaggregering och permafrostdegenerering huvudsakligen styrs av förändringar i temperatur-nederbördsbalansen så kan i tillägg mänskliga och ingrepp som påverkar på torvens isolerande förmåga och myrens hydrologiska balans ha avgörande betydelse. Särskilt känsliga för påverkan är de palsmyrmarker som ligger nära den klimatiska gränsen för sin existens, dvs. den sydliga utbredningsgränsen för sporadisk permafrost.

Klimatets långsiktiga förändringar på det norra halvklotet under efteristiden (Holocene) visar på en dominerande trend med gradvis avkylning från tidig till sen holocen tid men avbruten av kallare och varmare perioder som avviker från huvudtrenden. Den senaste kallare perioden var den några sekel långa så kallade Lilla Istiden som upphörde i slutet av 1800-tallet (Grove 1988, Bradley & Jones 1992). Sedan dess har åter en period med uppvärmning dominerat det norra

halvklotet, även om stora tidsmässiga och geografiska variationer har präglat perioden (Houghton et al. 1996). Dessa storskalig klimatiska förändringarna påverkar utbredningen av zonen med osammanhängande eller sporadisk permafrost och förekomst och fördelning av permafrostformationer inom zonen

I Norge förekommer palsar i myrmarker främst inom två regioner, en i söder och en i norr men med några fåtal lokala förekomster däremellan (**Figur V3**). Den södra regionen är mer eller mindre helt begränsad till Dovre – Femunden området medan den norra regionen är mer generell och täcker stora delar av Troms och Finnmarks fylken förutom kustnära områden. Den kontinentala eller lokalkontinentala klimattyp som är förhärskande i dessa områden är förutsättningen för bildning och överlevnad av palsar i denna annars relativt varma och fuktiga klimatregion som Skandinavien tillhör med sin starka inverkan av atlantiska luftmassor. Klimatförändringar som påverkar det regionala eller lokala inflytande av dessa luftmassor, det vill säga påverkar graden av oceanitet, kommer att påverka palsmyrarnas utbredning och struktur i Skandinavien. Följaktligen kommer palsmyrarnas ekologiska betydelse på landskaps- och ekosystemnivå därmed också att påverkas.



Figur V3. Palsmyrutbredning i Fennoskandien

(källa: Seppälä 1997, Sollid & Sørbel 1998). © NINA 2017.

De klimatiska gränserna som angetts för den Skandinaviska palsmyrutbredningen varierar i litteraturen beroende på vilka studieområden de utgår ifrån. Generellt sett så ligger den begränsande årsmedeltemperaturen något högre i norra Norge än i till exempel den svenska palsmyr-zonen. Orsaken till detta är troligen att de nordnorska områdena har både mindre årsnederbörd och vinternederbörd (se Zuidhoff & Kolstrup 2000). I Sverige förekommer palsar främst i en zon som avgränsas av en årsmedeltemperatur på -2 till -3°C och mindre än 300 mm nederbörd under vintern (Zuidhoff & Kolstrup 2000). I norra Norge förekommer de huvudsakliga palsmyrmarkerna inom områden som avgränsas av en årsmedeltemperatur på upp till +1°C men med en vinternederbörd på ca 100 mm eller mindre (Åhman 1977). I Finland följer palsaregionens södra gräns mer eller mindre isotermin för -1°C och en årsnederbörd som ligger under 400 mm (Seppälä 1986). I södra Norges fjällområden där några av de klimatiskt mest marginella palsmyrområdena finns ligger årsmedeltemperaturen på ca 0°C. Detta är troligen nära eller över den temperatur som behövs för långsiktig överlevnad av palsmyrmarker (Sollid & Sørbel 1998) under rådande

nederbördsregim (ca 450 mm per år). Dessa relativt stora skillnader i temperatur- och nederbördsavgränsningar mellan de olika Skandinaviska områdena pekar på en känslig och viktig balans mellan de olika årstidernas temperatur- och nederbörds klimat, och kräver stor grad av försiktighet vid jämförelse mellan utveckling av permafrostformationer och enskilda klimatvariabler, som t.ex. vinternederbörd.

8.3 Palsmyrdynamik

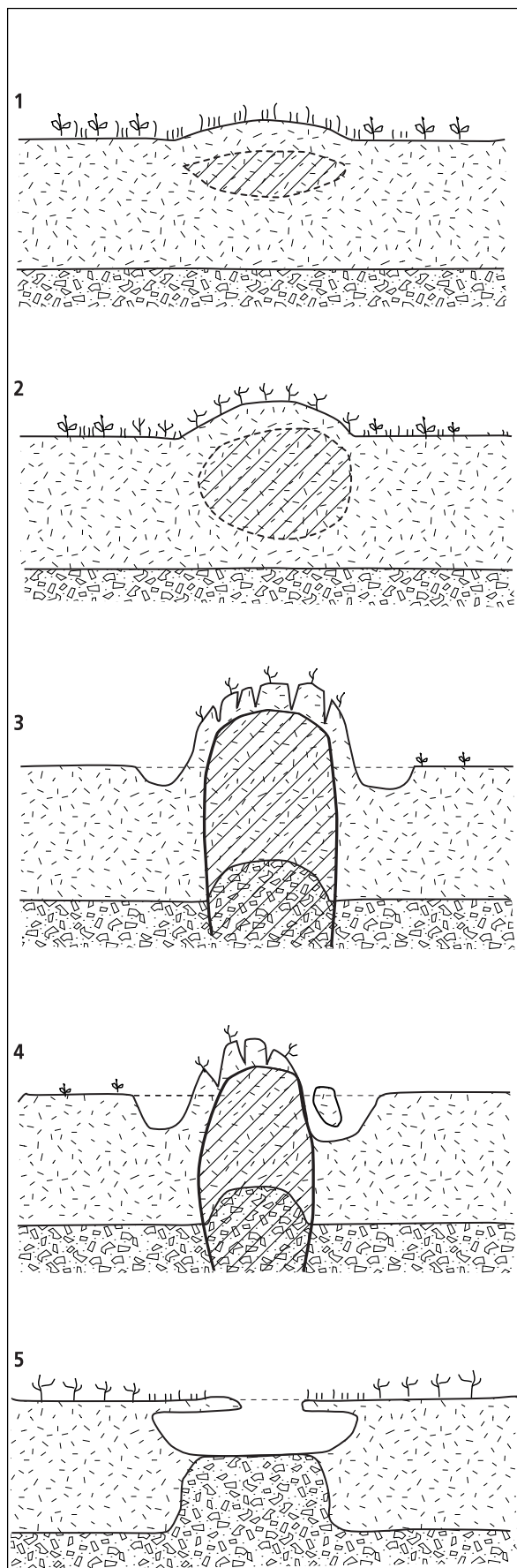
Lufttemperatur, snödjup och torvens isolerande förmåga är de tre dominerande faktorer som styr tillväxt och degenerering av palsar. Låga lufttemperaturer under både sommar och vinter är gynnsamt för palsutvecklingen, och snöns djup, fördelning och varaktighet under vintern är av essentiell betydelse för bildning och tillväxt av permafrost och islinser i myrmarken. Svala torra somrar gynnar bibehållandet och överlevnaden av palsar genom att torvens isolerande förmåga maximeras vid torra förhållanden vilket gör att värmeackumuleringen nedåt i palsen därmed blir minimerad och då särskilt under svala perioder. Varma fuktiga somrar har motsatt effekt och ökar nerbrytningsprocesser och försvinnande av palsar. Längre perioder med varmt och fuktigt klimat kan förvandla palsmyrmarker till myrmarker dominerade av våt moss- och starrvegetation och dammar men som huvudsakligen saknar torra upphöjda palsområden. Ett tjockt snötäcke hindrar kylan att tränga ner i myren och torven och en ökning av snötäckets tjocklek och varaktighet kan på så sätt hindra nybildning av palsar och gynna nedbrytning och försvinnande av permafrost i existerande palsar (Seppälä 1990, Zhang et al. 1990, Heimstra et al. 2002). Snödjup och torvtemperatur varierar emellertid lokal på grund av småskaliga variationer i topografi, vegetationsstruktur och vindens påverkan. I tillägg styr den inneboende successionen av utvecklingsstadier från initiering till förfall av individuella palsar dynamiken i palsmyrarna. Efter initiering och höjdtillväxt blir den upphöjda torven/palsen allt mer utsatt för erosion, en erosionsprocess som till slut orsakar total kollaps av palsen. Följaktligen så kommer påverkan av och interaktioner mellan de olika abiotiska och biotiska miljöfaktorerna att variera både i tid och rum. Palsmyrarnas utveckling kontrolleras således av komplexa relationer mellan edafiska, biotiska (vegetationsstruktur) och klimatiska förutsättningar.

8.3.1 Temporala förändringar

Både cykliska processer och episodiska händelser kan knytas till utvecklingen från initieringen till degenerering och kollaps av både kupolformade palsar och palsplatatåer (Vorren 1972, Seppälä 1986, Zuidhoff 2002). Ett brett spektra av kunskap om dessa processer finns tillgänglig i den vetenskapliga litteraturen och konceptet med cyklisk palsutveckling som presenterats av bland andra Seppälä (1986) används som ram för den följande presentationen av olika utvecklingsstadier och processer (**Figur V4**).

1. Palsformation initieras vid låga vintertemperaturförhållanden och ett tunt snötäcke som tillåter kylan att tränga ner till ett tillräckligt stort djup så att den bildade tjälen inte hinner smälta helt under efterföljande sommar. På grund av den kvarvarande tjälen så höjer sig ytan något över den omgivande myren.

2. Det behövs en serie av år med liknande förhållanden för att den frusna kärnan ska växa i storlek. Upphöjningen på myrens yta ökar i höjd också genom att vatten i torvens hålrum bildar islinser. Vid detta stadium när de övre delarna av palsen är tydligt markerade över myrtytan har vinden en betydande roll genom att torka ut ytskiktet och genom att minska snödjupet och varaktigheten under vintern. Genom upphöjningen kommer fuktighetsförhållandena att helt förändras i torvlagret vilket medför att vegetation strukturen förändras (artkomposition och frekvens). Ökad frekvens av lavar minskar ytterligare palsens absorption av värme under sommaren på grund av ökat albedo.



Figur V4. Palsutveckling. 1) Nybildning av palsar sker under vintrar med låga temperaturer och tunt snötäcke som tillåter kylan att tränga tillräckligt djup ner för att inte smälta helt under efterföljande sommar. På grund av den kvarvarande tjälen kommer myrytan att höja sig något. 2) Palsens höjd ökar under kalla och torra år. När den övre delen kommit ovanför den omgivande myrytan ökar vindens uttorkande effekt och snödjupet minskar vilket också medför att vegetationen förändras. Tillsamman gynnar de nya fuktighets och vegetationsförhållandena ytterligare tillväxt av palsen. 3) Palsen har nått sitt mognadsstadium när den frusna kärnan har expanderat ner till myrens underlag. Lokala förhållanden i myren och klimatiska förutsättningar styr palsens form, storlek och varaktighet i detta utvecklingsstadium. 4) Under palsens tillväxt bildas sprickor av ökande storlek och djup i torvtäcket, och ytan blir därmed exponerad för vind- och regnerosion. Detta medför också ökad värmetransport djupare ned i palsen. I tillägg bidrar ökande mängd med vatten runt palsen strakt till ytterligare nedbrytning. 5) Efter en fullständig kollaps syns lämningar av den gamla palsen eller palsområden i form av cirkel- eller delvis cirkelformade kantryggar av torv, öppna dammar eller grupper av dammar, våta torvområden med mycket sparsam vegetation, och igenväxande områden. Under klimatiskt gynnsamma förhållanden kan nya palsar bildas i denna myr miljö (Källa: främst Seppälä 1986).
© NINA 2017.

3. Palsen har nått sitt mognadsstadium när den frusna kärnan har expanderat ner till det morän- eller sedimentlager som utgör myrens underlag. Lokala förhållanden i myren och klimatiska förhållanden är avgörande för tillväxthastigheten och för palsens form, storlek och varaktighet i detta utvecklingsstadium. I norra Fennoskandien kan individuella palsar växa upp till ca 7 meters höjd (Seppälä 1986). Åldersdatering av torv från palsar i detta mognadsstadium visar på en stor åldersvariation genom zonen med osammanhängande eller sporadisk permafrost från några hundra år till några tusen (Vorren 1972, 1979, Zoltai 1993, Zuidhoff & Kolstrup 2000). Under den period som palsen växer till i storlek bildas det ofta en damm som kan komma att helt omge palsen.

4. Under palsens tillväxt bildas sprickor av ökande storlek och djup i torvtäcket. Dessa sprickor medför en ökad värmetransport djupare ned i palsen som med tiden kommer att föra till att torvblock lossnar från palsens kanter. Genom denna process med förlust av torv och vegetation från palsens yta blir den allt mer exponerad för vind- och regnerosion. I tillägg bidrar ökande mängd värmeackumulerande vatten runt palsen strakt till ytterligare nedbrytning och smältning av palsens kärna (Sollid & Sørbel 1998).

Vattenackumulation är en av de vanligaste orsakerna till erosion av palsar. När det gäller palsplataer så äger erosion rum både längs ytterkanter och på själva platån där försänkningar i ytan ger upphov till grunda vattensamlingar. Med tiden utvecklas vattensamlingarna till dammar som ytterligare ökar hastigheten på erosionsprocessen. I tillägg kan värmeackumulationen runt palsarna bidra till att upptiningen från botten ökar, och längre perioder (år, decennier) med sommar- och vinternederbörd över det normala har avgörande betydelse för bibehållande av palsar och permafrost.

5. Efter en fullständig kollaps syns lämningar av den gamla palsen eller palsområdet i form av cirkel- eller delvis cirkelformade kantryggar av torv, öppna dammar eller grupper av dammar, våta torvområden med mycket sparsam vegetation, och igenväxande områden. Under klimatiskt gynnsamma förhållanden kan nya palsar bildas i denna myrmiljö om både myrens torv- och hydrologiska förhållanden är i ett tillstånd som kan svara på klimatförhållanden som är gynnsamma för palsbildning (Laberge & Payette 1995).

Vid var och ett av de fem utvecklingsstadierna kan ogynnsamma väder- eller klimatförhållanden svänga utvecklingen eller förhindra ett tydligt cykliskt utvecklingsmönster. Till exempel så kan episodiska men dominerande erosionshändelser bli temporärt dominerande med mycket få tecken på cyklisitet.

8.3.2 Rumsliga förändringar

På den regionala skalan sätter dominerande klimatregimer gränserna för utbredning av palsmyrar och dess förändringar (se sektion 3). På den mindre landskapsskalan är förekomsten av myrmarker med lämpligt torvlager och lämpliga hydrologiska förhållanden avgörande för utbredningen (se sektion 2), och på den lokala skalan formar fördelningen av snö, de hydrologiska förhållandena, och vegetationsstrukturen utbredningen (se sektion 4.1). I tillägg är flera naturliga återverkningsmekanismer involverade på den lokala skalan. Till exempel, samtidigt som palsmyrens struktur och snöns fördelning är avgörande för utformningen av vegetationen så påverkar vegetationens struktur starkt den vindorsakade omfördelningen av snö, som i sin tur i stor utsträckning styr tillväxt och överlevnad av palsar.

Alla mänskliga aktiviteter som inverkar på palsmyrens hydrologiska förhållanden eller på vegetationens struktur kommer att på ett avgörande sätt påverka dess struktur. Ett ändrat betestryck kan till exempel genom att ändra vegetationsstrukturen förändra både torvens isolerande kapacitet och snöfördelningen, och bruket av terrängfordon kan förändra de hydrologiska förutsättningarna runt enskilda palsar och i myrmarkerna som helhet genom söndertrasning av torv och

rotsystem. Följaktligen blir de lokala miljöförutsättningarna för palsförekomst, tillväxt och nedbrytning förändrade.

På alla de tre rumsliga skalorna kommer klimatförändringar att orsaka förändringar i fördelningen av palsar, palsplåtar, dammar, våtmyrområden och olika vegetations typer. Av särskilt stor betydelse är förändringar i graden av oceanicitet som är en nyckelfaktor med stark inverkan på förekomst och frekvens av palsar, palsmyrmarker och vegetationstyper lokalt och regionalt (se Crawford 2000).

8.4 Referanser til Vedlegg 1

- Bradley, R.S. & Jones, P.D. 1993. "Little Ice Age" summer temperature variations: their nature and relevance to recent global warming trends. – *Holocene* 3: 367-376.
- Crawford, R.M.M. 2000. Ecological hazards of oceanic environments. – *New Phytologist* 147: 257-281.
- Grove, J.M. 1988. *The Little Ice Age*. – Methuen, London.
- Heimstra, C.A., Liston, G.E. & Reiners, W.A. 2002. Snow redistribution by wind and interactions with vegetation at upper treeline in the Medicine Bow Mountains, Wyoming, U.S.A. – *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 34: 262-273.
- Hofgaard, A. 2003. Effects of climate change on the distribution and development of palsa peatlands: background and suggestions for a national monitoring project. – NINA Project Report 21. 32pp.
- Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. & Maskell, K. (ed.) 1996. *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. – Cambridge University Press, Cambridge.
- Laberge, M.-J. & Payette, S. 1995. Long-term monitoring of permafrost change in a palsa peatland in Northern Québec, Canada: 1983-1993. – *Arctic Alpine Research* 27: 167-171.
- Seppälä, M. 1986. The origin of palsas. – *Geografiska Annaler* 68 A: 141-147.
- Seppälä, M. 1988. Palsas and related forms. – In: Clark, M.J. (ed.), *Advances in periglacial geomorphology*. John Wiley, Chichester. p. 247-278.
- Seppälä, M. 1990. Depth of snow and frost on a palsa mire, Finnish Lapland. – *Geografiska Annaler* 72 A: 191-201.
- Seppälä, M. 1997. Distribution of permafrost in Finland. – *Bulletin of the geological Society of Finland* 69, part 1: 87-96.
- Seppälä, M. 1998. New permafrost formed in peat hummocks (pounus), Finnish Lapland. – *Permafrost and Periglacial Processes* 9: 367-373.
- Sollid, J.L. & Sørbel, L. 1998. Palsa bogs as a climate indicator – examples from Dovrefjell, Southern Norway. – *Ambio* 27: 287-291.
- Vorren, K.-D. 1972. Stratigraphical investigations of a palsa bog in Northern Norway. – *Astarte* 5: 39-71.
- Vorren, K.-D. 1979. Recent palsa datings, a brief survey. – *Norsk Geografisk Tidsskrift* 33: 217-219.
- Zhang, T., Barry, R.G. & Haeberli, W. 1990. Numerical simulations of the influence of the seasonal snow cover on the occurrence of permafrost at high latitudes. – *Norsk Geografisk Tidsskrift* 55: 261-266.
- Zoltai, S.C. 1993. Cyclic development of permafrost in the peatlands of Northwestern Alberta, Canada. – *Arctic and Alpine Research* 25: 240-246.
- Zuidhoff, F.S. 2002. Recent decay of a single palsa in relation to weather conditions between 1996 and 2000 in Laivadalén, northern Sweden. – *Geografiska Annaler* 84 A: 103-111.
- Zuidhoff, F.S. & Kolstrup, E. 2000. Changes in palsa distribution in relation to climate change in Laivadalén, northern Sweden, especially 1960-1997. – *Permafrost and Periglacial Processes* 11: 55-69.
- Åhman, R. 1977. Palsar i Nordnorge. *Medd. Lunds Univ.* – *Geografiska Institutionens Avhandlingar* 78, pp 165.



Norsk institutt for naturforskning (NINA) er et nasjonalt og internasjonalt kompetansesenter innen naturforskning. Vår kompetanse utøves gjennom forskning, utredningsarbeid, overvåking og konsekvensutredninger.

NINAs primære aktivitet er å drive anvendt forskning. Stikkord for forskningen er kvalitet og relevans, samarbeid med andre institusjoner, tverrfaglighet og økosystemtilnærming. Offentlig forvaltning, næringsliv og industri samt Norges forskningsråd og EU er blant NINAs oppdragsgivere og finansieringskilder.

Virksomheten er hovedsakelig rettet mot forskning på natur og samfunn, og NINA leverer et bredt spekter av tjenester gjennom forskningsprosjekter, miljøovervåking, utredninger og rådgiving.

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-3062-9

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Hogskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger