

Overvåking av palsmyr

Andre gjenanalyse i Haukskardmyrin og Haugtjørnin, Dovre.
Endringer fra 2005 til 2015

Annika Hofgaard & Heidi Elin 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.

1258 Overvåking av palsmyr

Andre gjenanalyse i Haukskardmyrin og Haugtjørnin, Dovre.
Endringer fra 2005 til 2015

Annika Hofgaard & Heidi Elin Myklebost

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.

Trondheim, april 2016

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2909-8

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.)

OPPDRAAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Miljødirektoratet

OPPDRAAGSGIVERS REFERANSE

M-549|2016

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Else Løbersli

FORSIDEBILDE

Tinende pals og gjengroende dam i Haukskardmyrin. Foto: Annika Hofgaard

NØKKEWORD

Dovre, palsmyr, permafrost, overvåking, vegetasjon

KEY WORDS

Dovre, 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. 2016. Overvåking av palsmyr. Andre gjenanalyse i Haukskardmyrin og Haugtjørnin, Dovre. Endringer fra 2005 til 2015. – NINA Rapport 1258. 45 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 Haukskardmyrin og Haugtjørnin i Dovre, ti år etter førstegangsundersøkelser i 2005. Dokumenterte endringer baseres på overvåkingsdata fra 2005, 2010 og 2015, flybilder fra perioden 1963 til 2011, og historiske foto fra 1970 og 90-talet. Rapporten gir også en kortfattet bakgrunn for behovet for overvåking av palsmyr; relevante klimadata for Haukskardmyrin og Haugtjørnin, 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. Haukskardmyrin er et ca. 1 km² stort myrområde med palsformasjoner i store deler av området, men Haugtjørnin har kun få gjenværende palsformasjoner i et utstrakt område sammensatt av flere mindre myrområder. Palsformasjoner, dammer og erosjonsområder ble analysert langs åtte permanente analyselinjer i 2005, 2010 og 2015, med hensyn til palsstørrelse, teledybde og vegetasjon. I tillegg ble årlig teleforekomst målt i perioden 2010-2015, og marktemperatur i to palser i perioden 2005-2015. 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 (7 variabler), bunnsjikt (6 variabler), feltsjikt (5 variabler), busksjikt (3 variabler), teledybde og palshøyde.

Overvåkingen viser både raske endringer og betydelig treghet i palsmyrsystemene. Flybilde fra 1963 viser store intakte palser, men også spor etter palser fra tiden før 1960-talet. De fleste palsene fra 1963 eksisterer fortsatt men størrelsen er betydelig redusert, og utbredelsen av eldre velutviklede palser viser tydelig reduksjon i perioden 2005-2015. Dette gjelder særlig for de sentrale delene av Haukskardmyrin og for gjenværende palsfragment i Haugtjørnin. I 2010 ble det registrert noen nye palsformasjoner i deler av Haukskardmyrin. Dette medførte at den samlede utbredelsen av permafrost økte i perioden 2005-2010, men avtok i 2010-2015. Prosessen var motsatt i Haugtjørnin. Vintertemperatur og snømengde styrer sannsynligvis registrerte mellomårsvariasjoner i marktemperatur, teleutbredelse og telenivå. Tilbakegangen i dominerende palsformasjoner i begge områdene skyldes først og fremst endringer i regionens klima over lang tid, og endringene i teledyp og permafrostutbredelse skyldes værforskjeller mellom analyseårene. Disse værforskjellene mellom år er avgjørende for hastigheten og trenden i den langsiktige utviklingen. Om nedgangen i telens utbredelse innen Haugtjørnin fortsetter i samme hastighet som registrert for perioden 2005 til 2010, og uten nydannelse av palser som overlever over lengre tid, vil palsmyrbiotopen i Haugtjørnin være helt borte innen noen få år. I Haukskardmyrin der palsene er større og nydannelse til dels motvirker den generelle tilbakegangen er situasjonen en annen. Her 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. De lavdominerte områdene har blitt redusert på palsene fra 2005 til 2015 samtidig som krekling, myrull og molte har økt. Dette er vegetasjonsendringer som er lite gunstige for langsiktig overlevelse av eldre palser fordi høyere vegetasjon har negativ påvirkning på telenivået. Neste analyse av området er planlagt til 2020.

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

Abstract

Hofgaard, A. & Myklebost, H.E. 2016. Monitoring of palsa peatlands. Second re-analysis at Haukskardmyrin and Haugtjørnin, Dovre, Norway. Changes from 2005 to 2015. – NINA Report 1258. 45 pp.

The monitoring of palsa peatlands is a national monitoring project, which was initiated in 2004 by the Norwegian Environment Agency. The project is designed to reveal changes in climate-sensitive ecosystems, and includes six selected monitoring areas from Finnmark County in northern Norway to the Dovre region in the south. Areas are reanalysed each fifth year. This report presents the results from reanalyses ten years after the initial investigations in 2005 at Haukskardmyrin and Haugtjørnin in Dovre. Documented changes are based on data from 2005, reanalyses in 2010 and 2015, air photos from the period 1963 to 2011, and historical photos from 1970s and 90s. The report also presents a short background to the need for palsa peatland monitoring, climate data relevant to the Haukskardmyrin og Haugtjørnin areas, 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. Haukskardmyrin is a ca. 1 km² large peatland area with palsas over large parts of the area, but Haugtjørnin includes only a few palsa fragments within an extended area composed of a number of peatlands. Palsa formations, thermokarst ponds and erosion areas were analysed in 2005, 2010 and 2015 regarding size, thaw depth and vegetation, by the use of analyses along eight permanent sampling lines. In addition, annual ground frost was recorded in 2010-2015, and ground temperature in two palsas in 2005-2015. 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 (7 variables), bottom layer (6 variables), field layer (5 variables), shrub layer (3 variables), thaw depth, and palsa height.

The monitoring show both rapid changes and considerable inertia in palsa peatlands. Air photo from 1963 show large intact palsas and signs of former palsas. Most of the palsas from 1963 still exist but are smaller and partly fragmented. The expanse of old well developed palsas decreased in the period 2005-2015. In particular, this accounts for the central parts of Haukskardmyrin and remaining palsa fragments at Haugtjørnin. In 2010, new palsas were recorded at Haukskardmyrin leading to increase in total permafrost distribution in the period 2005-2010 and a subsequent reduction in 2010-2015. At Haugtjørnin the trend was opposite. Inter-annual variation shown for ground temperature, ground frost and thaw depth, was interpreted as related to variation in snow and winter weather. Recession of old palsa formations in both areas is primarily related to long-term regional climate changes, and changes in thaw depth and new permafrost distribution primarily to weather differences between individual years. Weather differences between years are vital to the rate and trend in the long-term development. If the permafrost decrease at Haugtjørnin proceeds at the same rate as recorded for the 2005-2010 period, and without formation of new palsas that survive over longer periods, then the palsa biotope will be gone from this area in a few years. At Haukskardmyrin palsas are bigger, and formation of new permafrost could counteract the dominating recession process. The palsa biotope in this area could thus remain for several decades. This calculation does not, however, take into account general changes in thaw depth and/or vegetation structure, which could speed up the recession process considerably. Lichen dominated areas on the palsas has decreased from 2005 to 2015 along with increase in crowberry, cotton grass and cloudberry cover. These vegetation changes are unfavourable for long-term survival of old palsas through its negative impact on ground frost formation and role as co-driving force on thaw depth. The next analysis of the area is scheduled to 2020.

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
2.2.6 Marktemperaturregistreringer.....	14
3 Områdedata – Dovre	15
3.1 Klimadata.....	16
3.1.1 Lufttemperatur.....	17
3.1.2 Nedbør.....	18
3.1.3 Snødybde.....	18
3.2 Flybilder.....	19
3.3 Overvåkingsdata og status ved starten for overvåkingen.....	19
3.3.1 Områder og palsformasjoner.....	19
3.3.2 Linjeanalyser.....	20
3.3.3 Sprekkfrekvens.....	21
3.3.4 Artfrekvens.....	21
3.4 Datainnsamling.....	22
4 Resultat	23
4.1 Palsformasjoner.....	23
4.1.1 Endringer siden 1960-talet.....	23
4.1.2 Endringer i overvåkingsperioden.....	23
4.2 Linjeanalyser.....	23
4.2.1 Tele og markslag.....	23
4.2.2 Artsfrekvens.....	32
4.3 Marktemperaturregistreringer.....	32
4.4 Menneskelig påvirkning.....	33
5 Diskusjon	34
6 Tidsplan	36
7 Referanser	37
7.1 Rapporter fra overvåkingsprosjektet.....	37
7.2 Annen sitert litteratur.....	37
8 Vedlegg 1: Klimatiske forutsetninger og endring av palsmyrer i tid og rom	39
8.1 Sammensättning och struktur.....	39
8.2 Utbredning och klimatiska förutsättningar.....	40

8.3	Palsmyrdynamik.....	42
8.3.1	Temporala förändringar	42
8.3.2	Rumsliga förändringar	44
8.4	Referanser til Vedlegg 1.....	45

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, samt for konklusjoner fra prosjektet. Foreliggende rapport er den andre statusrapporten i programmet med resultater fra gjenanalyser ti år etter førstegangsanalysen.

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.

Her rapporteres andre 5-årige gjenanalyse fra Haukskardmyrin og Huagtjørnin i Dovre, som sammen med første 5-årige gjenanalyse (Hofgaard & Wilmann 2011) omfatter perioden fra 2005 til 2015. I tillegg til resultater og diskusjon av disse, 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.

En vitenskapelig referansegruppe var knyttet til oppstarten av overvåkingsprogrammet, med deltagende forskere fra et bredt spekter av 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 2016

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). 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 grader 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). Disse områdene er følgelig 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 palsplataer (Laberge & Payette 1995, Sollid & Sørbel 1998). I tillegg til palser og palsplataer 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 vindeksposering. 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. 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. Haukskardmyrin og Haugtjørnin, som omhandles i foreliggende rapport, er karakterisert av torvpalser i sene utviklingsstadier (**Figur 1-4**), men mellomformer mellom torv- og mineraldominerte palser forekommer sjeldent i Haukskardmyrin. Detaljer for palsoppbygging og forutsetninger for palsvekst og palsnedbrytning er presentert i **Vedlegg 1**.



Figur 1. En mindre pals som hever seg ca. en meter over myroverflaten på Haukskardmyrin. Palsen har kun gjennomgått mindre forandringer i perioden 2005 til 2015. Foto: Annika Hofgaard. © NINA 2016.



Figur 2. En mosaikk av torvmark med og uten permafrost, våte starr- og myrullområder og dammer etter tidligere palsformasjoner karakteriserer Haukskardmyrin. Palsene har blitt redusert i størrelse i tiden mellom 2005 og 2015. Foto: Annika Hofgaard. © NINA 2016.



Figur 3. Haugtjørnin karakteriseres av torvringer og dammer etter palser som har tint og falt sammen. Det er kun små flekker med gjenværende pals og endringene i perioden 2005 til 2015 er små. Foto: Annika Hofgaard. © NINA 2016.



Figur 4. Pals med dam i sentrale deler av Haukskardmyrin. Mesteparten av permafrosten i palsen fra 2005 har tinet. Kun små deler av palsen er igjen rundt den voksende dammen som i 2015 karakteriseres av begynnende gjengroing av myrull. Foto: Annika Hofgaard. © NINA 2016.

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 utviklingen i palsmyrområdene vært dominert av tilbakegang, selv om noe nyutvikling 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, dannelsen 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».

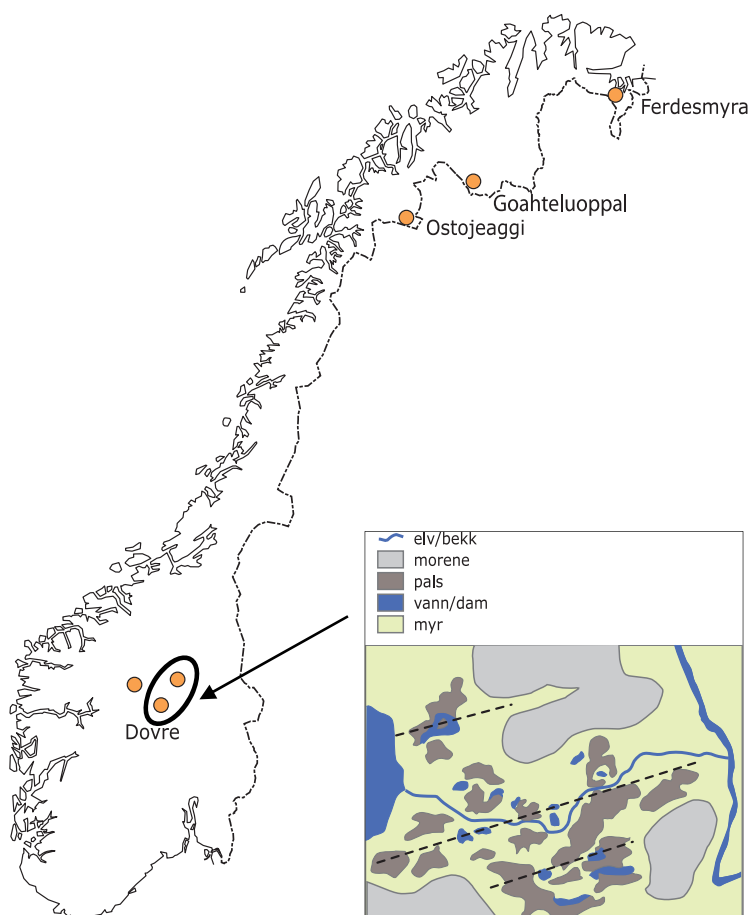
Det norske overvåkingsprogrammet er av særlig stor verdi fordi det omfatter områder i store deler av det skandinaviske utbredelsesområdet for palsmyr, fra sørligste forekomst (Dovre) til den nordligste (Øst-Finnmark). Den klimatiske bakgrunnen og hvordan frekvensen av de ulike myrkomponentene med og 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 2016.

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. 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 Ostojeaggi er både "detaljlinjer" og "generelle" linjer brukt.

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 palsstrukturlinjene 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 palsstrukturlinjene. 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 vegetasjonstype 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.

Tabell 1. Variabler som er registrert ved linjeanalysene samt forkortelser som er brukt i feltprotokollene. © NINA 2016.

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 fly- og satellittbilder.

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 stammer fra Statens kartverk som har ansvaret for og forvalter det nasjonale sentralarkivet for flybilder. Flere 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 større deler av de valgte palsmyrene.

2.2.6 Marktemperaturregistreringer

I august 2005 ble seks temperaturmålere plassert på og i to av palsene på Haukskardmyrin (**Figur 6**). Målerne (UTL-3 Scientific Datalogger, <http://utl.ch>) er fordelt på to grupper med temperaturregistrering ved torvoverflaten, ved teleoverflaten (på 50 cm dybde) og ved iskjernens kant på 100 cm dyp. Alle temperaturmålerne ble startet den 18. august 2005 og måler temperaturen med et intervall på to timer. Registrerte data lastes ned en gang per år. Temperaturovervåkingen i palsene gjøres i samarbeid med Meteorologisk institutt i Oslo. Temperaturregistreringer gjøres kun i Haukskardmyrin.



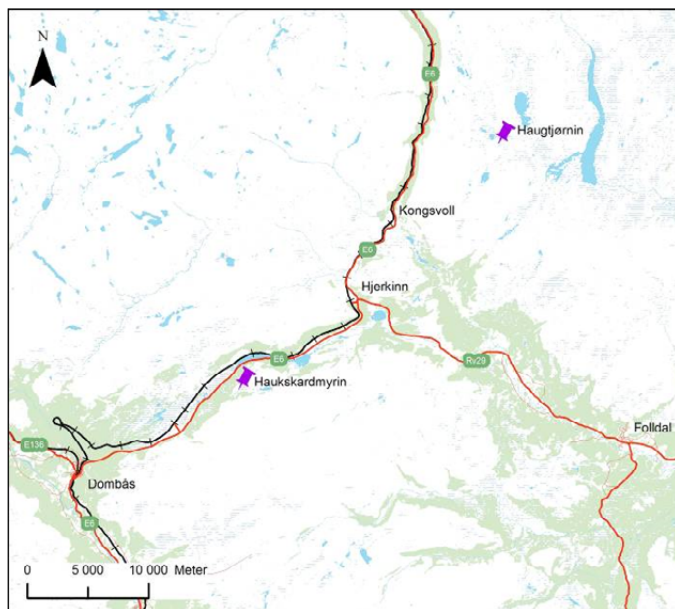
Figur 6. Sensordel av temperaturmålerne plasseres på respektive dybder og loggdelen gjemmes i vegetasjonen på pals-overflaten
Foto: Annika Hofgaard. © NINA 2016.

3 Områdedata – Dovre

Dovre-området i de sentrale delene av Sør-Norge har de sørligste velutviklede palsmyrområdene i Skandinavia. Palsformasjoner forekommer i intervallet mellom ca. 1000 og 1400 meter over havet. Regionen har et svakt kontinentalt klima med en årsmiddeltemperatur på ca. -0,5 til -2,5°C, en vinternedbør på ca. 170 mm, og en vegetasjonsperiode på 110-130 dager (Moen 1999). Palser forekommer sparsomt spredd i myrområder sammen med levninger fra tidligere palser og palsplatåer, som i dag nesten eller helt har tinet. Palsene og levningene er i dag karakteristiske komponenter i deler av myrområdene (**Figur 1-4**). To av torvmyrene med palsdannelse er Haukskardmyrin og Haugtjørnin, på henholdsvis 1050 m.o.h. og 1120 m.o.h. Avstanden mellom de to myrene er ca. 30 km.

I tillegg til overvåkingsprosjektets dokumentasjon av palsstrukturer og endringer i de siste tiårene finnes det også eldre informasjon for deler av myrområdene Haukskardmyrin og Haugtjørnin (Sollid & Sørbel 1974, 1998). Sollid og Sørbel baserer sine studier på gjentatt fotografering og målinger av størrelse, høyde og forekomst av tele innen individuelle palsformasjoner. Den maksimale høyden for individuelle palser i regionen er ca. 1 meter. Den vanligste formen er små opp til noen tusen kvadratmeter store palser/palsplatåer, hvor tydelige kuppelpalser er sjelden.

Nedenfor gis informasjon om status, beliggenhet, berggrunn og vegetasjon samt tilgjengelige klimadata og ulike typer områdedokumentasjon (**Tabell 2**). Bergrunnsinformasjonen er hentet fra www.ngu.no og informasjon om vegetasjonsøkologisk 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). I likhet med de fleste områdene i overvåkingsprosjektet tilhører Haukskardmyrin og Haugtjørnin (**Figur 7**) den lett kontinentale seksjonen av de nordboreale (Nb-C1) og indifferent alpine (A-OC) vegetasjonsøkologiske regionene (Moen 1999).



Figur 7. Lokaliseringen av overvåkingsområdene Haukskardmyrin og Haugtjørnin på Dovre.
© NINA 2016.

Tabell 2. Områdeinformasjon for Haukskardmyrin og Haugtjørnin, Dovre. © NINA 2016.

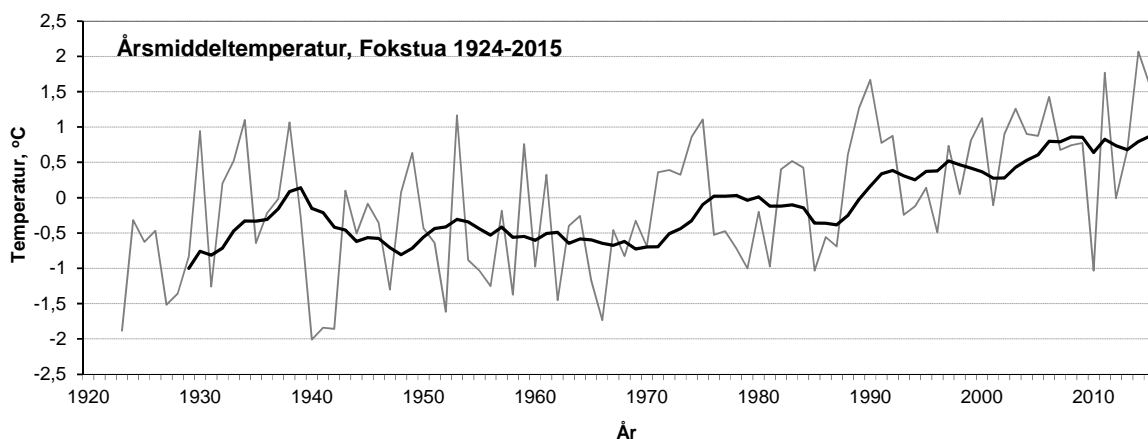
Haukskardmyrin	
Status	Naturresevat (vern fra 18. januar 1985)
Forvaltende myndighet	Direktoratet for naturforvaltning/Statens naturoppsyn
Kart	Hjerkinn 1519 III
Geografisk beliggenhet	Oppland fylke, Dovre kommune, 62° 04'N, 9° 23'E
Høyde	1050 m o.h.
Areal	103 ha
Berggrunn	Dioritt, monzodioritt
Meteorologisk stasjon	Fokstua
Vegetasjonsøkologisk region	Nb-C1
Dominerende myrtyper	Palsene har stor utbredelse i myra sammen med flatmyr beveget med starr og ull
Litteratur	Sollid & Sørbel (1998), Moen & Singsaas (1994), Torbergesen (1979), Hofgaard (2006), Hofgaard & Wilmann (2011)
Satellittbilder	Landsat TM/ETM/MSS fra 1976, 1987, 1988, 1999, 2002
Flybilder	1957 serie 901 (1:10000) bilde F1 (kun deler av myra) 1963 serie 1431 (1:35000) bilde H13 1987 serie 9308 (1:15000) bilde A12-13 Hedmark Nord 2009; Dovrefjell 2011
Fotodokumentasjon	Sollid & Sørbel (1998), Hofgaard (2006), Hofgaard & Wilmann (2011)
Adkomst	Vei til Furuhauglie
Haugtjørnin	
Status	Inngår i Dovrefjell-Sunndalsfjella nasjonalpark (vern fra 24. oktober 2003)
Forvaltende myndighet	Direktoratet for naturforvaltning
Kart	Einunna 1519 I
Geografisk beliggenhet	Sør-Trøndelag fylke, Oppdal kommune, 62° 21'N, 9° 45'E
Høyde	1120 m o.h.
Areal	Spredte mindre myrområder over et større område på 5x1 km
Berggrunn	Kalkglimmerskifer, kalksilikatgneis
Meteorologisk stasjon	Fokstua
Vegetasjonsøkologisk region	A-OC.
Dominerende myrtyper	Starr- og ullbeveget flatmyr med spredte fåtallige palsformasjoner
Litteratur	Sollid & Sørbel (1974, 1998), Moen (1983), Moen & Singsaas (1994), Hofgaard (2006), Hofgaard & Wilmann (2011)
Satellittbilder	Landsat TM/ETM/MSS fra 1976, 1987, 1988, 1999, 2002
Flybilder	1963 serie 1431 (1:35000) bilde D21 Hedmark Nord 2009, Trøndelag 2014
Fotodokumentasjon	Sollid & Sørbel (1974, 1998), Hofgaard (2006), Hofgaard & Wilmann (2011)
Adkomst	Vei til Bekkelægret

3.1 Klimadata

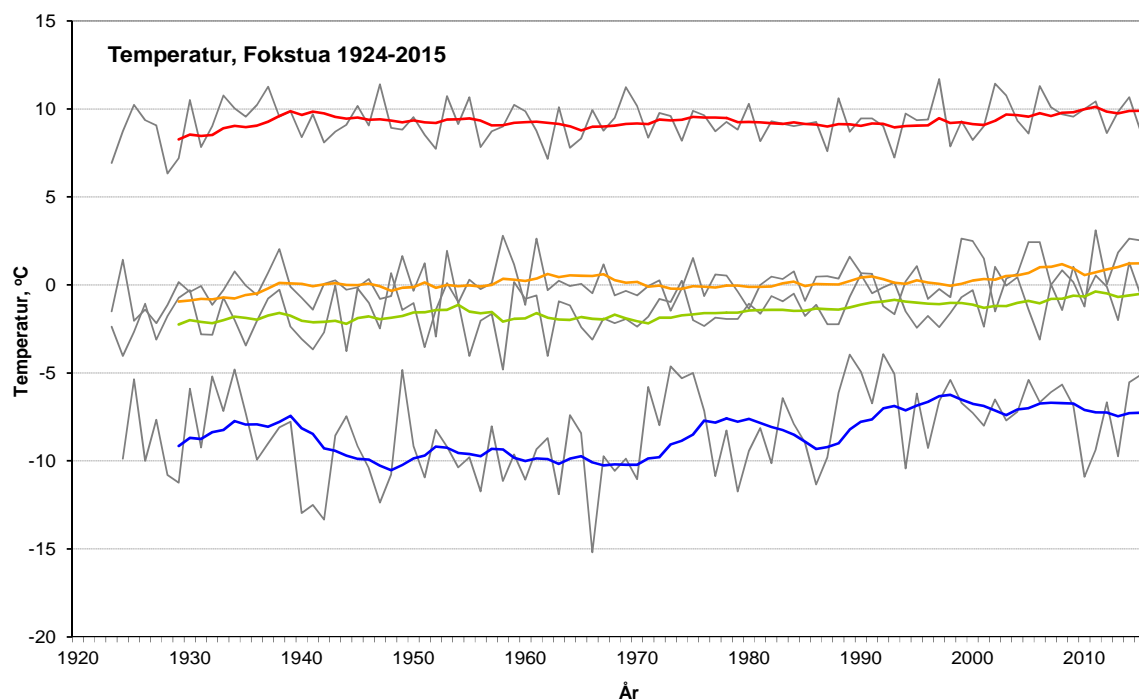
Meteorologisk institutt har flere klimastasjoner i Dovre-området med registrering av ulike typer klimadata fra ulike måleperioder (for detaljer se www.met.no). Fokstua, med daglig temperatur- og nedbørsdata fra 1924, er den stasjon som terrengmessig og høydemessig ligner mest på Haukskardmyrin og Haugtjørnin, dvs. i et relativt bredt og åpent dalføre i et lett kontinentalt preget fjellterreng. Fokstua har også de kvalitative og kvantitative beste klimadata for sammenligning og analyser av utviklingen i overvåkingsområdene. Fokstua ligger 6 respektive 44 km sørvest for Haukskardmyrin og Haugtjørnin.

3.1.1 Lufttemperatur

Ifølge data fra Fokstua viser temperaturutviklingen i Dovre-området en tydelig økning i årsmiddelverdi både tidlig på 1900-tallet og i de senere tiår (**Figur 8**). I alt har områdets temperatur økt med ca. 2 grader, men perioden fra slutten av 1930-tallet til slutten av 1960-tallet er kjennetegnet av en svak temperaturnedgang. Endringene i årsmiddeltemperatur skyldes fremst endringer i vintertemperaturen (desember – februar) som karakteriseres av en nedgang på ca. 2,5 grader fra 1930-tallet fram til slutten av 1960-tallet, og deretter en økning på 3 grader fram til slutten av 1990-tallet (**Figur 9**). Sommertemperaturen (juni – august) viser relativt små endringer, og høst- (september – november) og vårtemperaturen (mars – mai) viser kun en svak økning siden målingene startet (**Figur 9**). Data for høsten viser imidlertid et skifte fra middeltemperatur på eller under null grader til over null grader på 1960-tallet og siden midten av 1990-tallet.



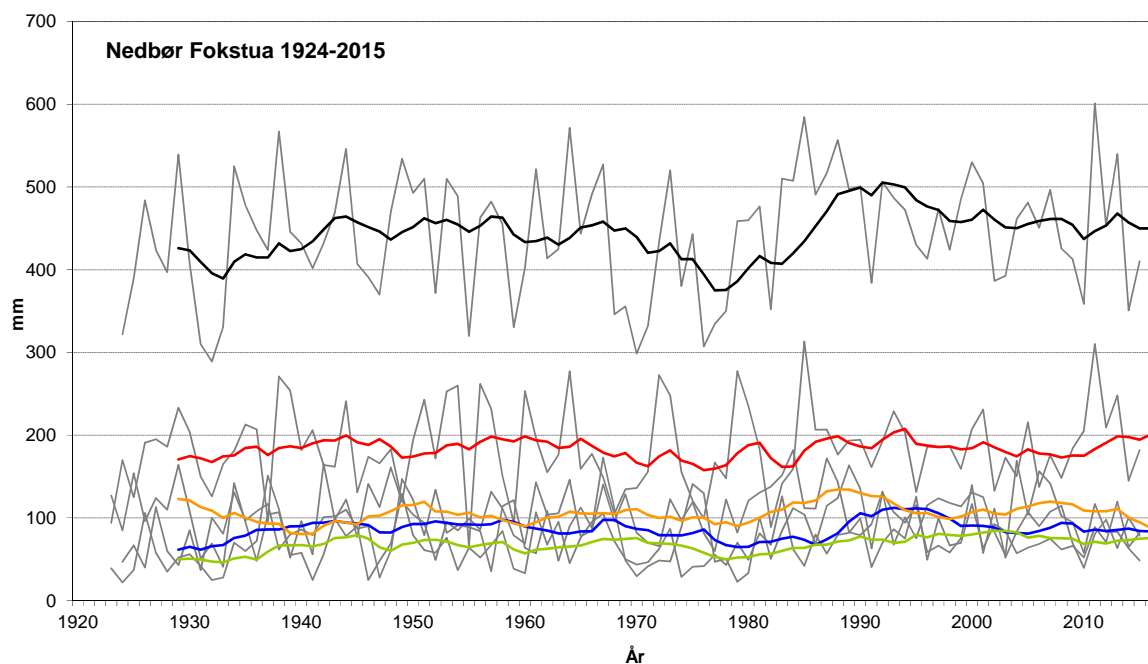
Figur 8. Årsmiddeltemperatur for Fokstua i perioden 1924 til 2015. Tykk linje viser løpende 10-årsmiddelverdi. Kilde: www.met.no. © NINA 2016.



Figur 9. Sesongvis lufttemperaturutvikling for Fokstua i perioden 1924 til 2015. De fargede linjene viser utviklingen i løpende 10-årsmiddelverdier for **vinter**-, **vår**-, **sommer**- og **høst**temperatur. Kilde: www.met.no. © NINA 2016.

3.1.2 Nedbør

Områdets årsnedbør (10-årsmiddelverdier) har økt fra ca. 420 mm i begynnelsen av måleperioden til ca. 460 mm i slutten av perioden. Den største forandringen skjedde fra midten av 1970-tallet til midten av 1980-tallet da den årlige nedbørsmengden økte med ca. 120 mm (**Figur 10**). Denne økningen skyldes hovedsakelig økning i sommer- og høstnedbør, og i senere del av 1980-tallet vinternedbør. I perioden etter 1980-tallet og fram til i dag har nedbøren avtatt svakt gjennom hele året unntatt sommeren. Perioden før nedbøroppgangen på 1980-tallet karakteriseres av relativt lave verdier for alle årstidene bortsett fra noen enkelt år. I tillegg til de trender som nedbørdataene viser, karakteriseres området av en sterk mellomårsvariasjon der årene med mest nedbør har dobbelt så mye nedbør (ca. 600 mm) som de med minst nedbør (ca. 300 mm).

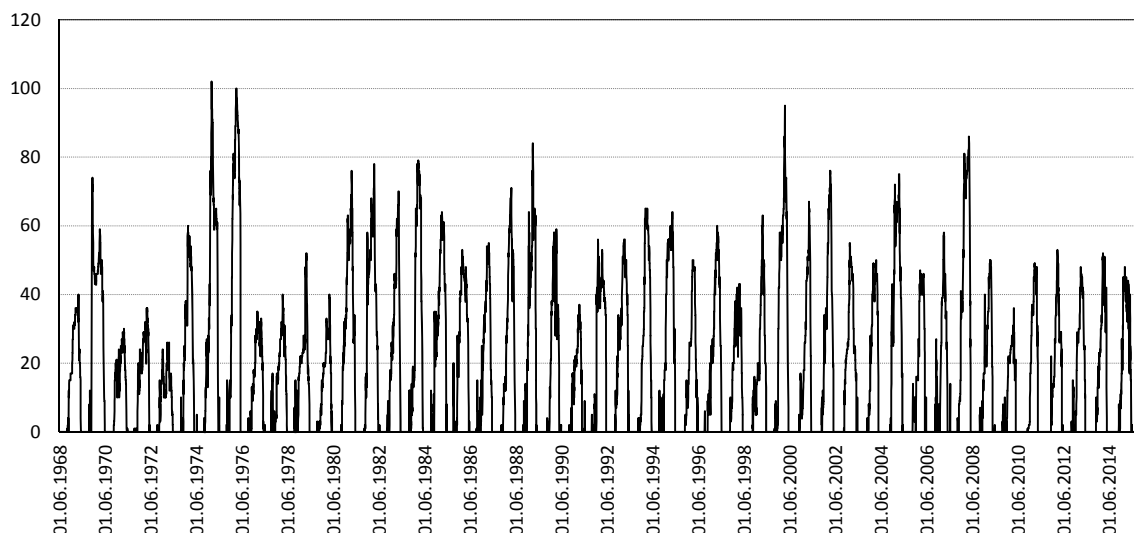


Figur 10. Nedbørutvikling i Fokstua i perioden 1924 til 2015. De fargede linjene viser utviklingen i løpende 10-årsmiddelverdier for års-, vinter-, vår-, sommer- og høstnedbør.

Kilde: www.met.no. © NINA 2016.

3.1.3 Snødybde

Dovre-området karakteriseres av store mellomårsvariasjoner i snømengde/snødybde (**Figur 11**). Enkelte år er den akkumulerte snødybden lavere enn 30 cm mens den i snørike år kan gå opp til ca. 100 cm. De laveste verdiene er registrert i begynnelsen og slutten av 1970-tallet, og de høyeste midt på 1970-tallet. For de fleste år begynner snøakkumuleringen i begynnelsen av oktober og pågår fram til og med mars måned. Den raskeste snøsmeltingsperioden er første halvdel av mai, og det er vanligvis snøfritt i månedsskiftet mai-juni. I overvåkingsperioden 2005-2015 har maksimal snødybde variert mellom år, fra henholdsvis over 80 cm (april 2008) til kun ca. 35 cm (mars 2010). I perioden 2011-2015 har det vært liten variasjon i maksimal snødybde mellom år.



Figur 11. Snødybde i cm for Fokstua i perioden 1968 til 2015. Kilde: www.met.no. © NINA 2016.

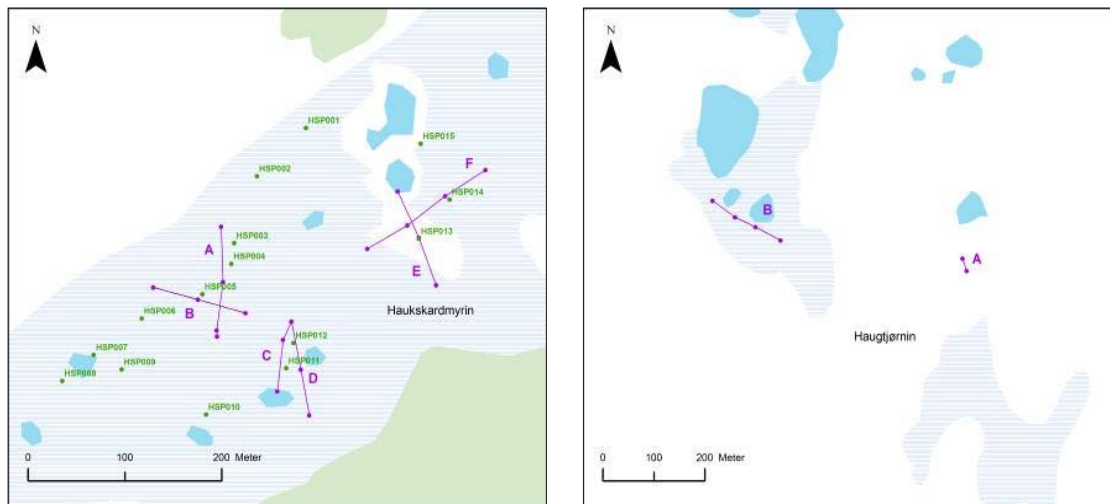
3.2 Flybilder

Det finnes eldre flybilder for Haukskardmyrin- og Haugtjørnin fra årene, 1957, 1963 og 1987 (**Tabell 2**). Bildene fra 1957 er i skalaen 1:10000 og ville gitt et relativt detaljert bilde av palsmyrstrukturer men omfatter kun en meget begrenset del av Haukskardmyrin. Bildeserien fra 1963 er i skalaen 1:35000 og kan kun brukes til analyse av storskala forandringer i området. Bildene fra 1987 er i skalaen 1:15000 og gir en relativt god oversikt over dominerende palsmyrstrukturer som for eksempel frekvens og form av større dammer. Nyere bilder finnes fra 2009 med en oppløsning på 0,5 meter, samt fra 2011 med en oppløsning på 0,1 meter. Det begrensede antallet eldre bilder av god kvalitet og skalaforskjeller gjør at grunnlaget for detaljerte tidsserieanalyser på bakgrunn av flybilder blir begrenset.

3.3 Overvåkingsdata og status ved starten for overvåkingen

3.3.1 Områder og palsformasjoner

Ved starten av overvåkingen forekom velutviklede palsformasjoner kun på begrensede deler av Haukskardmyrin og Haugtjørnin. Dette gjelder særlig Haugtjørnin der palsformasjonene forekom svært sparsomt. I begge områdene var tydelige kuppelpalser nesten fraværende. Ulike former av små palsplatåer dominerte permafrostområdene, mens myrene ellers var dominert av bløt myr med starr og myrull, dammer og områder med vier. De største palsformasjonene på Haukskardmyrin var opp til ca. 1,5 m høye eller litt høyere, mens palsene på Haugtjørnin hadde en maksimalhøyde på ca. 0,5 m i 2005. Arealet som palsene dekket, var også betydelig mindre i Haugtjørnin-området enn i Haukskardmyrin-området. Palsene i den sentrale delen av Haukskardmyrin ble valgt som overvåkingsområde sammen med to mindre områder i Haugtjørnin. Posisjonene til 15 pals- eller palsplatåformasjoner ble GPS-markert og nummerert (**Figur 12**).



Figur 12. Palsposisjoner og plassering av analyselinjer i overvåkingsområdene Haukskardmyrin og Haugtjørnin. © NINA 2016.

De fleste palsene var i 2005 i en fase med dominerende nedbryting, og dette er en trend som har pågått over lang tid (se Sollid & Sørbel 1998). Levninger i form av torvringer etter tidligere palser som har kollapset er et dominerende innslag særlig i deler av Haugtjørnin (**Figur 3**). I 2005 ble det konkludert med at trolig vil mesteparten av de gjenværende palsformasjonene i Haugtjørnin-området bli borte innen få tiår hvis daværende klimatrend fortsetter. Fotodokumentasjon fra området viste en tydelig reduksjon i individuell palsstørrelse mellom 1974 og 2005 (Hofgaard 2006). Områdets dominerende pals hadde tidlig på 1960-tallet en intakt overflate uten dammer og en størrelse som enkelt kunne observeres på flyfotoet fra 1963 (1:35000). I 2005 var kun et fragment med permafrost igjen og en torvring som omgir palsen indikerer den opprinnelige størrelsen.

Til tross for forverret klima for palsoverlevelse over flere tiår, forekom det i 2005 noen få nye palsdannelser innen Haugtjørnin-området (Hofgaard 2006). Dette var også et tydelig innslag tidlig på 1970-tallet (Sollid & Sørbel 1998), men grunnet dominerende klimaregime siden den tid, ble det i 2005 konkludert at nydannelse eller vekst av palsene trolig ikke vil kunne kompensere for tapet av eldre palsformasjoner, selv om embryonale palser forekommer tilfeldig.

Palsformasjonene i Haukskardmyrin var i 2005 tilsynelatende mer stabile enn i Haugtjørnin. En sammenligning mellom flybilder fra 1963 og 1987 viste relativt få endringer, men mangelen på flybilder fra perioden mellom 1987 og 2005 vanskeliggjorde tolkning av utviklingen. I 2005 ble det antatt at palsformasjonenes betydelig høyere høyde og dermed større akkumulert ismengde, ville gjøre at de responderer noe mer langsomt på klimaendringer enn i Haugtjørnin-området (Hofgaard 2006).

3.3.2 Linjeanalyser

Til sammen åtte linjer ble i 2005 plassert ut i overvåkingsområdene Haukskardmyrin (seks linjer; **Figur 12**) og Haugtjørnin (to linjer; **Figur 12**) med en total lengde på 800 meter. Detaljer for linjenes plassering, lengde og trekk er redegjort for i **Tabell 3**. Fordeling av tele, markslag, bunn-, felt- og busksjiksvegetasjon, samt palsenes høyde over omliggende myr er presentert i en linjefigur for hver linje (se Hofgaard 2006). Deler av dette materialet er vist nedenfor sammen med resultatene fra perioden 2005-2015 (se avsnitt 4.2). Linjene ble plassert slik at de fanger opp mest mulig av variasjonen i palsområdene.

Haukskardmyrin: Linje A har en nord-sørlig retning og krysser tre palsringer og ett palsplatå. Linjen inkluderer noen dammer og litt flankerende myr. Linje B representerer samme område som linje A men krysser palsplatået med dammer og flankerende myr i en vest-østlig retning. Linjene C og D, og E og F krysser noen av de høyeste palsene på Haukskardmyrin og inkluderer i tillegg til palsformasjoner også dammer og flankerende myr (**Figur 2 og 12, Tabell 3**).

Haugtjørnin: Linje A er meget kort og krysser to små tilfeldige palsformasjoner der den ene er knapt synlig i myroverflaten. Linje B krysser myrområdet som er avbildet i **Figur 3**, og palsformasjonene langs denne linja var kun ca. 0,5 meter høye i 2005.

3.3.3 Sprekkfrekvens

Antallet torvsprekker og sprekkbredde ble kun registrert i 2005. Antall sprekker varierte langs linjene avhengig av antall og omfang av områder med palsdegenerering. Innen Haukskardmyrin ble det registrert sprekker langs alle linjene, med høyest verdi for linje A, som inkluderte flere bruddkanter. Linjene på Haugtjørnin hadde ingen registrerte sprekker, noe som henger sammen med den meget begrensede høyden på palsene i dette området.

3.3.4 Artfrekvens

Finskala variasjon i bunn-, felt- og busksjiktvariabler ble i 2005 analysert langs 18 tilfeldig plasserte linjer i de sentrale delene av Haukskardmyrin. Linjene fordelte seg på markslagene lagg (2 linjer), pals (9) og dam (1), samt palskant (2) som inkluderte linjer i overgangsområder mellom pals og markslagene pøl, dam, tue og myrflate. Lagg- og damlinjene, som begge var karakterisert av myrull og torvmose, inkluderte overgangssoner mot palsområder. Dette vist ved forekomst av strø, lav, molte og dvergbjørk. Molte karakteriserte i tillegg overgangssoner i pals- og palsplatåområdene der mange små ujevnheter og fordypninger ga gode moltehabitater. Pals- og palskantlinjene hadde den mest diverse småskala-strukturen, men var i første rekke karakterisert av lav, lavvokst dvergbjørk, og lyng. I kantsonene går palsenes lavvokste dvergbjørk over til større buskformer, hvor den får stor betydning for snøfordeling og marktemperatur.

Tabell 3. Analyselinjenes plassering, lengde og trekk. © NINA 2016.

Linje- navn	Lengde (m)	Formasjon	Linjestart	Linjeslutt	Kommentarer
Haukskardmyrin					
A	105	platå	palsring	mineral- platå	Linjen som starter ved HSP003 krysser palsplatå HSP005 og to av dammene på platået. Linjen slutter der palsplatået går over i et mineralplatå.
B	100	platå	palsring	myrflate	Linjen starter ved HSP004, krysser palsplatå 005 og to dammer på platået, og går ut over omgivende flatmyr og en palsring. Linjen krysser linje A.
C	75	pals	palsring	myrflate	Linjen krysser pals 011 og 012, og en dam mellom dem.
D	100	pals	myrflate	myrflate	Linjen starter ved sluttpunktet for linje C, krysser pals 012 og løper over et platåliggende partiet av pals 011.
E	100	pals	palsring	tue	Linjen starter ved en liten bjørk, krysser pals 013 og en dam.
F	145	pals	myrflate	myrflate	Linjen krysser pals 013, en dam og pals 014. Linjen krysser linje E.
Haugtjørnin					
A	25	pals	kant av vierkratt	pals / myrflata	Kort linje som krysser en liten trolig relativt ung palsformasjon.
B	150	myrflate, pals	stein	myrflate	Linjen starter ved kanten av myra like ved en stor stein, krysser noen synkende palsformasjoner og noen dammer.

3.4 Datainnsamling

Datainnsamlingen i 2010 og 2015 ble utført på samme måte som i 2005 og i henhold til beskrevne metoder (kapittel 2.2). Et fåtall variabler ble kun registrert i 2005. En av disse er sprekkfrekvens som ikke ble registrert i 2010 og 2015. Dette skyldes at palsoverflatene i Haukskardmyrin karakteriseres av mange tuer som vanskeliggjør registrering og analyser av forandringer i sprekkfrekvens. Artsfrekvens langs de tilfeldig valgte 5-meterslinjene (artslinjer; se kapittel 3.3.4) ble i 2010 og 2015 kun registrert for linjer som representerte palsoverflaten (9 linjer). I tillegg til registreringene fra 2005 ble teledybde registrert for én ny pals i 2010 som ikke fantes i 2005 (nypals ved midten av linje A; Haukskardmyrin). Datainnsamlingsperioden i 2010 (8.-12. august) og 2015 (10.-14. august) var samme som i 2005 (8.-12. august).

4 Resultat

4.1 Palsformasjoner

4.1.1 Endringer siden 1960-talet

Flybildet fra 1963 viser at store sammenhengende palser karakteriserte Haukskardmyrin for ca. 50 år siden, men dammer på plasene og ved palskantene viser også at permafrosten var i ferd med å tine (**Figur 13**). Flere av disse dammene har vokst betraktelig frem til 1987 siden flere av de sammenhengende palsene begynner å dele seg opp i mindre palser. Denne prosessen har fortsatt frem til 2011, da nesten alle tidligere sammenhengende palser er sterkt fragmentert. Kun palsen som krysses av linje E og F har fortsatt i 2011 en sammenhengende del, selv om palsen har blitt betraktelig mindre. Bildet fra 2011 viser også at flere av dammene fra 1963 og 1987 har grodd igjen med myrvegetasjon, samtidig som noen av dammene har vokst sammen til store dammer. Bilder fra Haugtjørnin fra 1970-talet og fremover viser klart hvordan den opprinnelige palsen suksessivt blir omformet til starr og myrullbevakst myr alt ettersom permafrosten tiner (**Figur 14**). Dette er en prosess som fortsatt pågår i begge overvåkingsområdene.

4.1.2 Endringer i overvåkingsperioden

Utbredelsen av eldre velutviklede palser er redusert i perioden 2005 til 2015. Dette gjelder særlig for Haugtjørnin og for palsområdet med linjene C og D i de sentrale delene av Haukskardmyrin. Innen Haugtjørnin var forandringen i perioden 2005 til 2010 stor siden palsen som omfattes av linje A hadde tint helt, og langs linje B gjensto det kun noen små palsfragmenter i 2010 (**Figur 14, Tabell 4**). I 2015 hadde linje A nesten like mye registrert permafrost som i 2005. Innen Haukskardmyrin eksisterte alle eldre palsformasjoner som ble registrert i 2005 fortsatt i 2015, men for enkelte palser er forandringene store. Dette vises klarest for palser som i 2005 var karakterisert av tydelige bruddkanter. Siden 2005 har plasene blitt både lavere og mindre omfangsrike, og store deler er erstattet med dammer i ulike stadier av gjengroing (**Figur 15**).

Det ble i 2010, til tross for reduksjonen av eldre velutviklede palser, registrert nye 1-2 år gamle permafrostfelter på deler av Haukskardmyrin, og noen av disse permafrostfeltene var fortsatt til stede i 2015. Teledybden på de nye lave palsene lå på 40 cm ved analysetidspunktet i 2010 og de hevet seg ca. 30-40 cm over myroverflaten. Deler av de nye palsformasjonene omfattes av linjeanalyser (vist nedenfor).

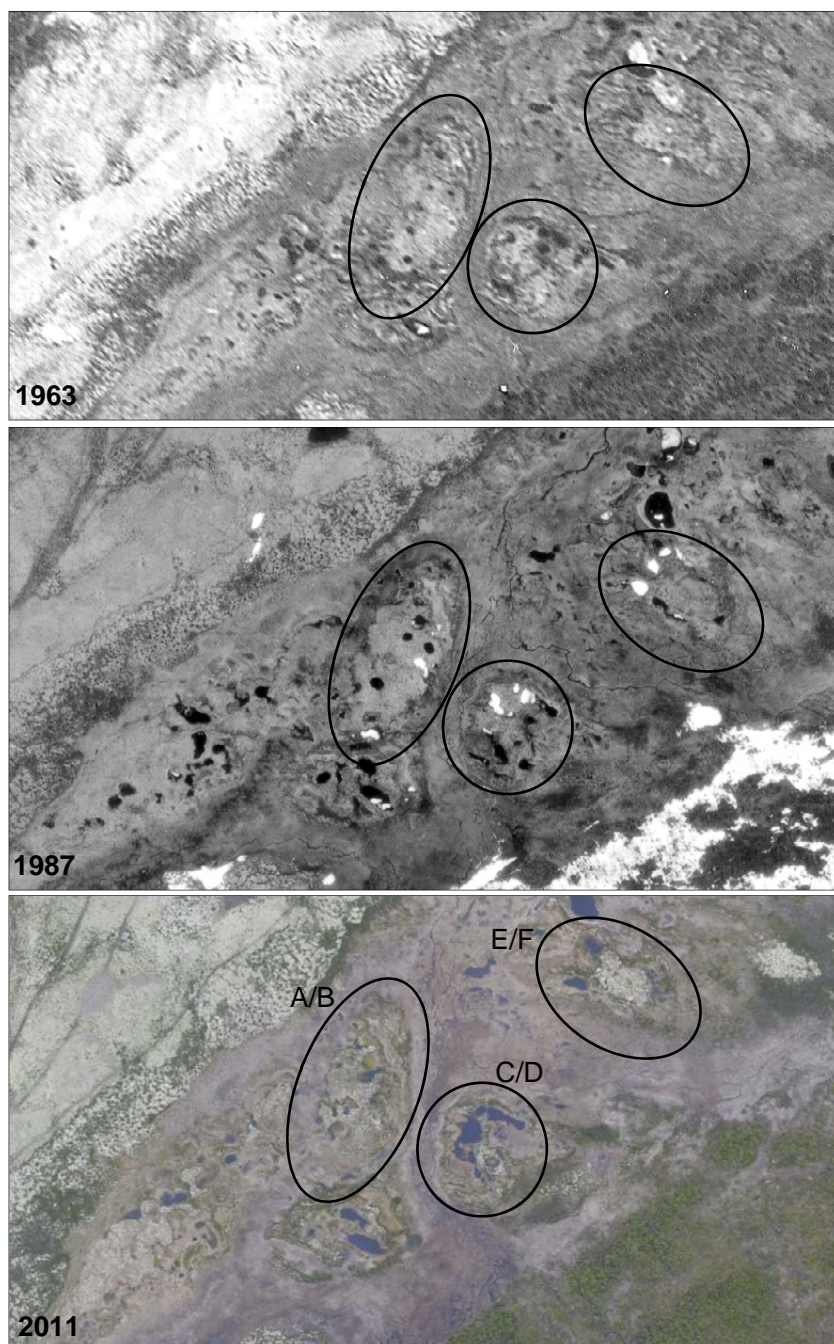
4.2 Linjeanalyser

Her presenteres endringer i perioden 2005 til 2015 ved hjelp av analyser av forekomst av tele, teledybde, markslag, sprekker og vegetasjon for alle linjene. Detaljerte eksempler gis for tre av linjene. Plassering og trekk for individuelle linjer er vist i kapittel 3.3.2.

4.2.1 Tele og markslag

Antallet meter med tele langs analyselinjene, sammenlagt for alle linjene i Haukskardmyrin, økte med ca. 26 % i perioden 2005-2010 og ble redusert med ca. 16 % i perioden 2010-2015 (**Tabell 4**). I Haugtjørnin var trenden motsatt, med en reduksjon på ca. 80 % i den første 5-års perioden og en tredobling i den siste perioden (**Tabell 4**). Resultatet for Haugtjørnin skyldes at det nesten ikke finnes gjenværende permafrost (**Figur 14, Tabell 4**). I Haukskardmyrin økte telens utbredelse langs alle linjene i den første perioden, unntatt linje D (**Tabell 4**). Denne økningen skyldes både en utvidelse av permafrosten i eldre palser og nydannelse av permafrost i andre deler av myrområdet (**Figur 16-22**), men først og fremst skyldes forskjellene på store mellomårsvariasjoner i telens utbredelse (**Tabell 5**,

Figur 16). Middeldybden for telens posisjon langs palsdelene av analyselinjene var ved målingstidspunktet i 2010 ca. 44 cm med en variasjonsbredde på 37-58 cm for Haukskardmyrin. For Haugtjørnin var middeldybden 42 cm (**Tabell 4**). Sammenlignet med posisjonen i 2005 representerer dette en heving av middeldybden med noen få cm i Haukskardmyrin og med ca. 10 cm i Haugtjørnin. I 2015 er trenden reversert i Haukskardmyrin, men med relativt store variasjoner mellom og innen linjene (**Tabell 4, Figur 16**), og mellom enkelte år (**Tabell 5, Figur 16**). Minste oppmålte telenivå langs linjene lå for Haukskardmyrin i gjennomsnitt 6 cm grunnere i 2010 og 2015 enn i 2005 (endring fra 29 cm i 2005 til 23 respektive 24 cm). I Haugtjørnin har grunneste telenivå vært konstant for alle tre årene (35 cm) (**Tabell 4**).



Figur 13. Flybilde-utsnitt fra Haukskardmyrin for årene 1963, 1987 og 2011. Sirkler og ovaler viser palsformasjoner med linjeanalyser (se Figur 12). © NINA 2016.



Figur 14. Det tidligere dominerende palsplatået innen Haugtjørnin-området har stadig blitt redusert i omfang siden 1970-tallet og kun noen få kvadratmeter med permafrost var igjen i 2010 og 2015. Palsen er den samme som vises i høyre del av Figur 3. Foto: Johan Ludvig Sollid (1974 og 1996), Annika Hofgaard (2005-2015). © NINA 2016.

Tabell 4. Telens fordeling, frekvens og dybde langs linjene i årene 2005, 2010 og 2015. Linjenes totale lengde i meter er gitt i parentes etter linjenavnet. SD= standardavvik. © NINA 2016.

Linje- navn	Antall meter			Frekvens, %			Gj.snitt dybde, cm*			Maxks dybde, cm*			Min. dybde, cm*			SD dybde*		
	2005	2010	2015	2005	2010	2015	2005	2010	2015	2005	2010	2015	2005	2010	2015	2005	2010	2015
Haukskardmyrin																		
A (105)	43	62	45	41	59	43	45,8	44,7	58,0	120	135	180	25	25	25	21,2	23,1	45,5
B (100)	37	63	40	37	63	40	44,3	57,9	43,0	110	170	140	30	20	25	15,4	44,5	24,5
C (75)	18	24	28	24	32	37	53,1	44,2	54,6	150	115	145	30	25	20	26,7	20,4	41,0
D (100)	41	35	29	41	35	29	48,0	39,4	48,3	155	145	110	30	30	30	21,4	19,4	26,3
E (100)	72	78	73	72	78	73	41,7	39,9	39,9	90	120	150	30	20	20	10,8	16,2	21,3
F (145)	43	57	52	30	39	36	45,7	36,6	40,2	115	50	165	30	20	25	16,6	7,0	24,6
Sum/ gj.snitt	254	319	267	41	51	43	46,4	43,8	47,3	123	123	148	29	23	24	18,7	21,8	30,5
Haugtjørnin																		
A (25)	8	0	6	32	0	24	55,0		41,7	80		45	40		40	14,4		2,6
B (150)	30	7	15	20	5	10	52,0	42,1	37,3	90	45	45	30	35	30	20,0	3,9	4,2
Sum/ gj.snitt	38	7	21	26	2	17	53,5	42,1	39,5	85	45	45	35	35	35	17,2	3,9	3,4

*Beregninger basert kun på metre hvor tele forekommer

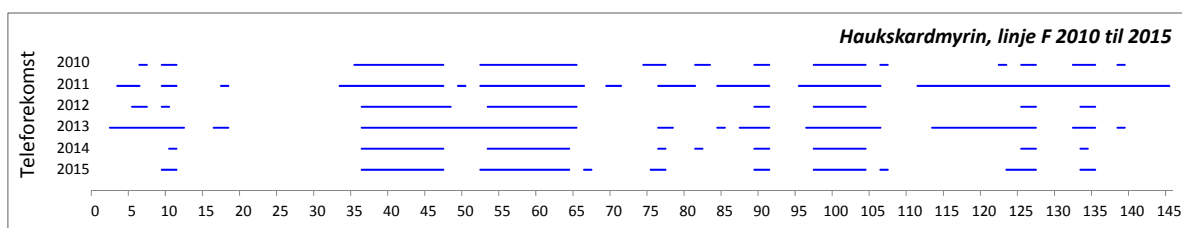


Figur 15. De sentrale delene av Haukskardmyrin var i 2005 karakterisert av palser med tydelige erosjonskanter. Figuren viser fire eksempler der palsene siden den gang har blitt lavere og hvor store deler er erstattet med dammer i ulike gjengroings stadier. Foto: Annika Hofgaard. © NINA 2016.

Tabell 5. Telens fordeling og gjennomsnittlige og minste dybde langs linjene i Haukskardmyrin for hvert år i perioden 2010 til 2015. Linjenes totale lengde i meter er gitt i parentes etter linjeavnet. © NINA 2016.

Linje- navn	Antall meter						Gjennomsnitt dybde, cm*						Minimum dybde, cm*					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2010	2011	2012	2013	2014	2015
A (105)	62	73	43	71	51	45	44,7	50,7	44,5	52,3	51,5	58,0	25	35	25	30	30	25
B (100)	63	75	51	51	46	40	57,9	48,6	42,5	46,6	51,4	43,0	20	25	20	30	30	25
C (75)	24	26	26	25	20	28	44,2	51,2	75,2	43,2	42,3	54,6	25	25	25	30	30	20
D (100)	35	42	26	40	19	29	39,4	46,9	45,8	50,5	42,9	48,3	30	25	30	35	35	30
E (100)	78	73	71	82	67	73	39,9	52,1	43,9	46,0	51,7	39,9	20	35	25	25	35	20
F (145)	57	104	47	86	45	52	36,6	50,8	37,3	49,8	44,7	40,2	20	30	25	20	30	25
Sum/ gj.snitt	319	393	264	355	248	267	43,8	50,0	48,2	48,1	47,4	47,3	23	29	25	28	32	24

*Beregninger basert kun på metre hvor tele forekommer



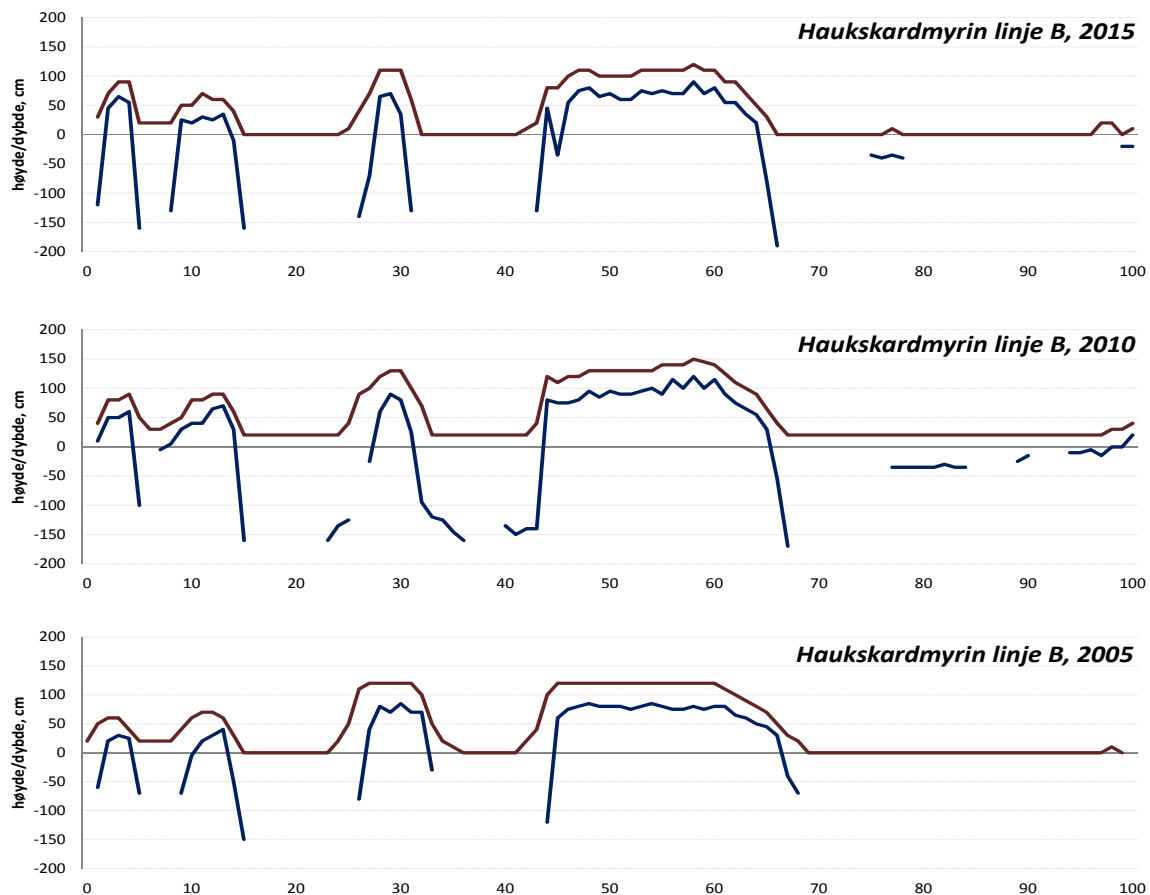
Figur 16. Telens utbredelse langs linje F i Haukskardmyrin for hvert enkelt år i perioden 2010 til 2015. © NINA 2016.

Markslagsfordelingen langs linjene (**Figur 18, 20 og 22**) viser en tydelig endring i løpet av overvåkingsperioden (**Tabell 6**), noe som også gjenspeiler seg i vegetasjonen langs linjene (**Figur 18, 20 og 22**). I Haukskardmyrin er det dominerende markslaget endret fra pals i 2005 til myrflate i 2010 og 2015. Myrflate omfattet ca. 45 % av arealet med linjeanalyse i årene 2010 og 2015 (**Tabell 6**). I Haugtjørnin økte myrflatedominerte områder med ca. 18 % i perioden 2005-2010, og omfattet i 2010 78 % av linjene. I perioden 2010-2015 er det kun små endringer (**Tabell 6**). Økningen av myrflatefrekvens er først og fremst forårsaket av gjengroing av dammer og lagg etter tining av palsområder. Damfrekvensen er redusert noe i Haukskardmyrin på grunn av gjengroing, men økt noe i Haugtjørnin. Flere detaljer for markslagsforandringer i perioden 2005 til 2015 per linje, og gruppert per område, er presentert i **Tabell 6** og med bildeeksempler fra fire av linjene (**Figur 23-26**).

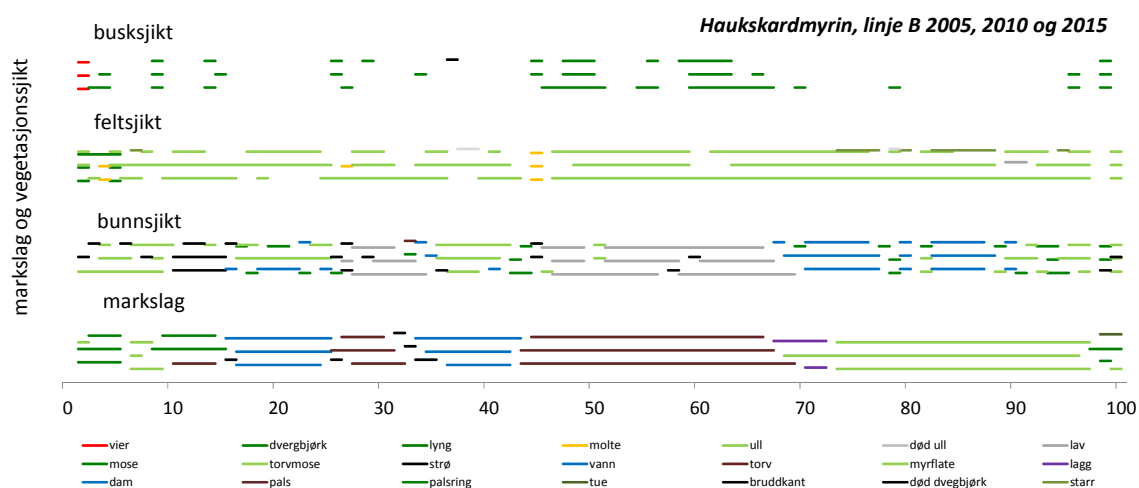
Tabell 6. Endring i markslagsfordeling for individuelle linjer og alle linjer samlet, angitt i prosent. © NINA 2016.

Haukskardmyrin																			
Linjenavn	A			B			C			D			E			F			
År	2005	2010	2015	2005	2010	2015	2005	2010	2015	2005	2010	2015	2005	2010	2015	2005	2010	2015	
brottkant	4	3	4	6	2	2	9	7	3	5	2	0	2	2	0	0	0	0	
dam	21	0	2	16	18	22	35	41	45	30	31	28	8	9	10	14	10	10	
lagg		2	1	3	0	6	0	0	0	0	4	11	0	0	0	3	0	1	
myrflate*	41	71	69	37	48	42	32	31	33	18	31	23	25	14	9	55	68	68	
pals	34	24	25	38	32	28	24	21	19	47	32	38	63	73	79	28	23	21	
pøl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	
Haugtjørnin																			
Linjenavn	A			B			Total												
År	2005	2010	2015	2005	2010	2015	Haukskardmyrin			Haugtjørnin									
År	2005	2010	2015	2005	2010	2015	År	2005	2010	2015	2005	2010	2015	2005	2010	2015	2005	2010	2015
brottkant	0	0	0	0	0	0	brottkant	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dam	0	0	0	11	16	14	dam	20	16	18	10	14	12	10	14	12	10	14	12
lagg	8	0	0	5	3	3	lagg	1	1	3	5	3	2	5	3	2	5	3	2
myrflate*	60	100	88	67	75	73	myrflate*	36	46	43	66	78	75	66	78	75	66	78	75
pals	32	0	12	16	5	9	pals	39	34	35	18	4	10	18	4	10	18	4	10
pøl	0	0	0	1	1	1	pøl	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

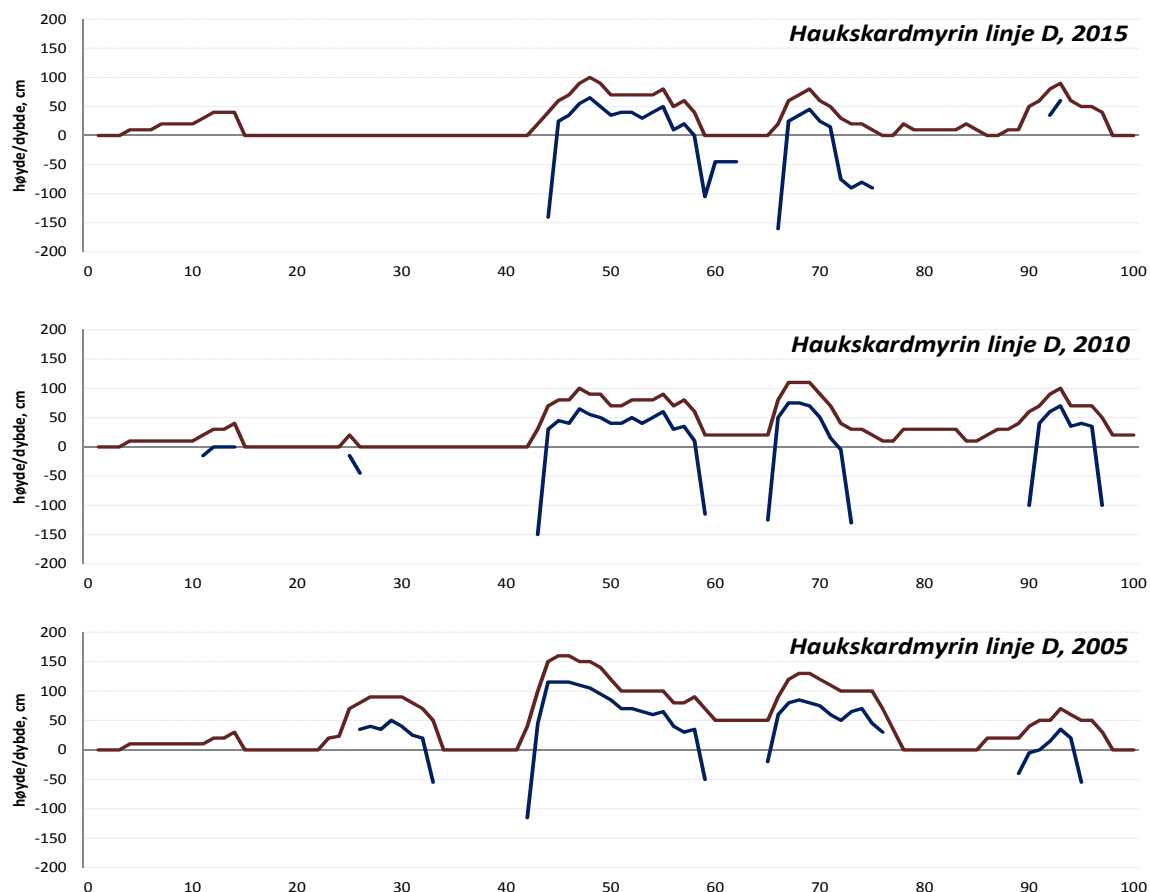
* myrflate, palsring og tue er slått sammen til myrflate



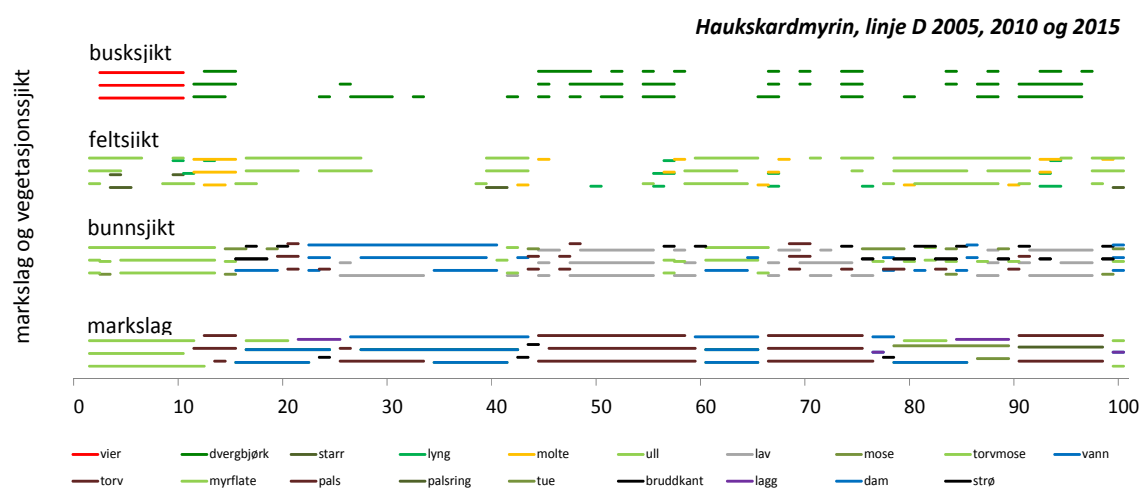
Figur 17. Høydestruktur og teledybde for linje B i 2005, 2010 og 2015 i Haukskardmyrin. Brune linjer viser markhøyde og blå linjer teleforekomstens dybdenivå under overflaten. © NINA 2016.



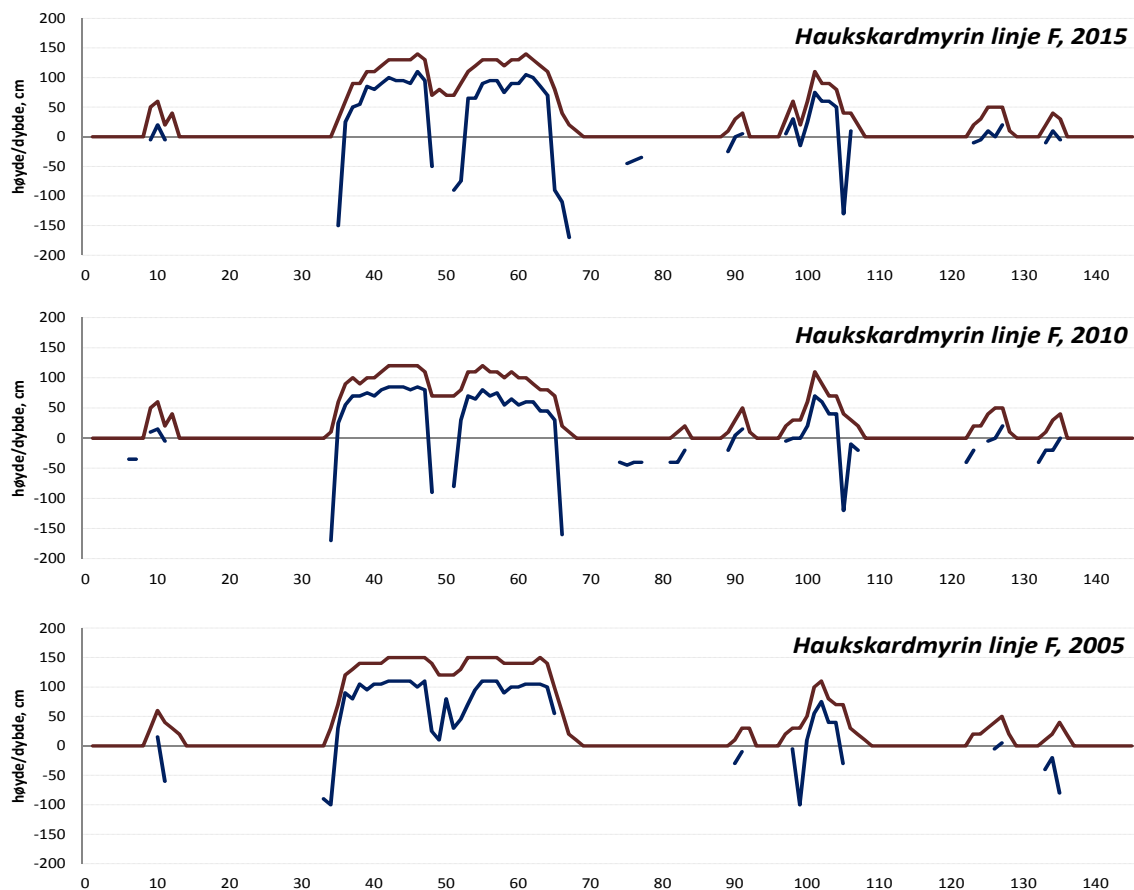
Figur 18. Fordeling av markslag og dominerende vegetasjon for linje B i 2005, 2010 og 2015 i Haukskardmyrin. De fire grupperingene med linjer viser markslagsvariabler (nære linjegruppering), bunnsjiktvariabler (nest nederst), feltsjiktvariabler (nest øverst) og busksjiktvariabler (øverst). Innen hver gruppering vises informasjon for 2005 nederst og 2015 øverst. Fargekodenens betydning vises nederst i figuren. © NINA 2016.



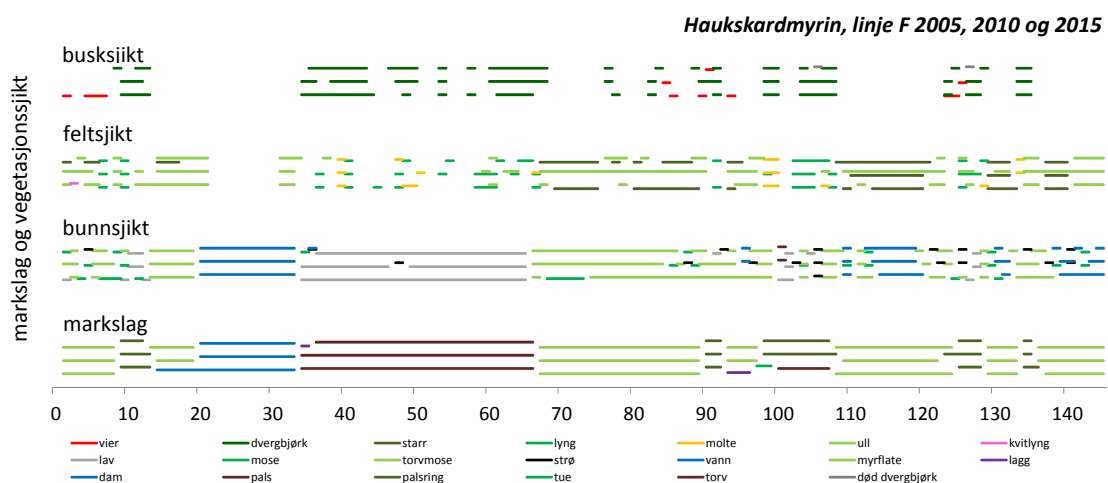
Figur 19. Høydestruktur og teledybde for linje D i 2005, 2010 og 2015 i Haukskardmyrin. Brune linjer viser markhøyde og blå linjer teleforekomstens dybdenivå under overflaten. © NINA 2016.



Figur 20. Fordeling av markslag og dominerende vegetasjon for linje D i 2005, 2010 og 2015 i Haukskardmyrin. De fire grupperingene med linjer viser markslagsvariabler (nedre linjegruppering), bunnsjiktvariabler (nest nederst), feltsjiktvariabler (nest øverst) og busksjiktvariabler (øverst). Innen hver gruppering vises informasjon for 2005 nederst og 2015 øverst. Fargekodenes betydning vises nedrest i figuren. © NINA 2016.



Figur 21. Høydestruktur og teledybde for linje F i 2005, 2010 og 2015 i Haukskardmyrin. Brune linjer viser markhøyde og blå linjer teleforekomstens dybdenivå under overflaten. © NINA 2016.



Figur 22. Fordeling av markslag og dominerende vegetasjon for linje F i 2005, 2010 og 2015 i Haukskardmyrin. De fire grupperingene med linjer viser markslagsvariabler (nedre linjegruppering), bunnsjiktvariabler (nest nederst), feltsjiktvariabler (nest øverst) og busksjiktvariabler (øverst). Innen hver gruppering vises informasjon for 2005 nederst og 2015 øverst. Fargekodenes betydning vises nedrest i figuren. © NINA 2016.



Figur 23. Pals og deler av myrflateområde langs linje A (meter 50-100) for årene 2005, 2010 og 2015. Myrflateområdet hadde temporær permafrostutbredelse i 2010 (område med død vegetasjon til høyre for linjen i midtre bilde). Foto: Annika Hofgaard. © NINA 2016.



Figur 24. Palsområde langs linje B (meter 50-100) karakterisert av tuer dominert av myrull, krekling og dvergbjørk, og redusert frekvens av lav i perioden 2005 til 2015. Foto: Annika Hofgaard. © NINA 2016.



Figur 25. Myrflateområde og pals langs linje C (meter 0-50). Redusert palsstørrelse og aktive erosjonskanter har karakterisert mange av palsene innen Haukskardmyrin fra 2005 til 2015. Foto: Annika Hofgaard. © NINA 2016.



Figur 26. Pals med eldre gjengroende dam med en liten ny palsformasjon langs linje D (meter 50-100). Foto: Annika Hofgaard. © NINA 2016.

4.2.2 Artsfrekvens

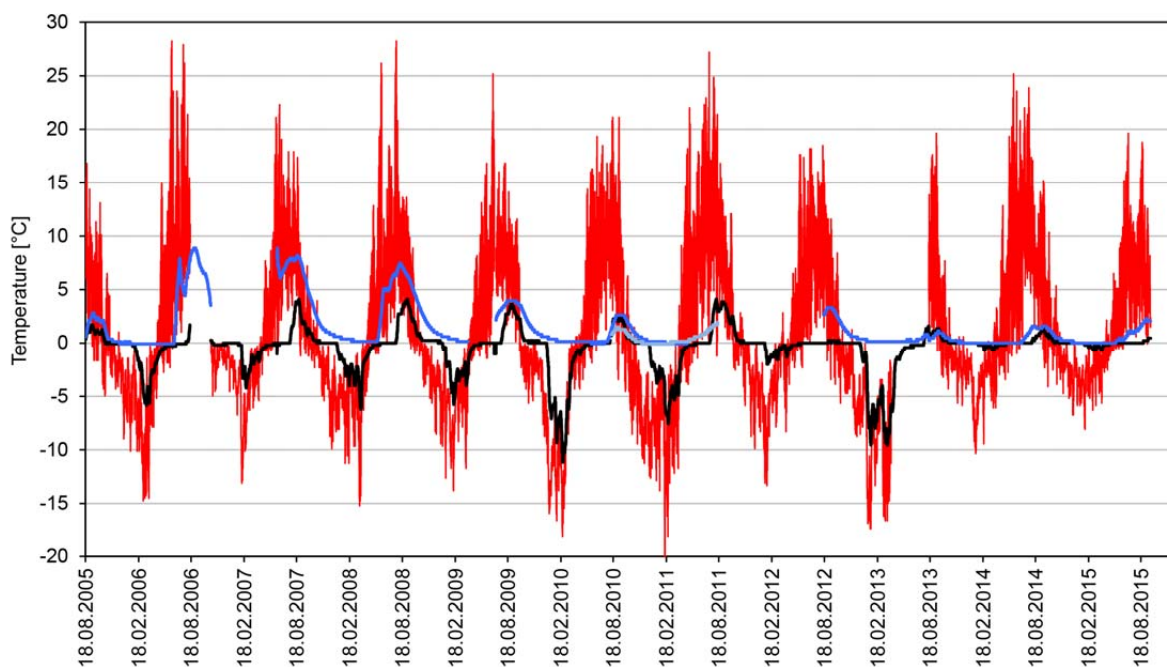
Variasjonen i busk-, felt- og bunnsjikt ble i 2010 og 2015 analysert for ni palsoverflatelinjer og sammenlignet med 2005. Vegetasjonen på palsene er i alle de tre årene karakterisert av dvergbjørk og lav som til sammen dekker ca. 3/4 av overflaten, selv om frekvensen for lav er redusert noe siden starten av overvåkingen. Samlet har bunnsjiktsdominert vegetasjon blitt redusert fra 2005 til 2015, samtidig som feltsjiktsdominerte områder er mer enn fordoblet (**Tabell 7**). Nedgangen i bunnsjiktsdominans skyldes først og fremst en reduksjon av lavdekke på ca. 30 %. I feltsjiktet har molte økt sterkest, noe som sammen med økning i forekomst av myrull og torvmose indikerer at palsoverflatene har blitt fuktigere siden 2005.

Tabell 7. Endring i palsoverflatens busk-, felt- og bunnsjikts-sammensetting, Haukskardmyrin, mellom 2005, 2010 og 2015. © NINA 2016.

	Antall treff			% dekking			% endring		
	2005	2010	2015	2005	2010	2015	2005-2010	2005-2015	2010-2015
Busksjikt	111	113	105	25	25	23	2	-5	-7
Dvergbjørk	111	113	104	25	25	23	2	-6	-8
Dvergbjørk, død	0	0	1	0	0	0	0	+	+
Feltsjikt	52	75	111	12	17	25	44	113	48
Myrull	14	30	29	3	7	6	114	107	-3
Molte	15	13	41	3	3	9	-13	173	215
Blokkebær	2	2	4	0	0	1	0	100	100
Tyttebær	3	4	5	1	1	1	33	67	25
Krekling	18	26	32	4	6	7	44	78	23
Bunnsjikt	287	262	234	64	58	52	-9	-18	-11
Død torv	2	0	0	0	0	0	-100	-100	0
Lav	260	205	181	58	46	40	-21	-30	-12
Mose	8	8	8	2	2	2	0	0	0
Torvmose	0	8	21	0	2	5	+	+	163
Strø	17	41	24	4	9	5	141	41	-41

4.3 Marktemperaturregistreringer

I perioden august 2005 til august 2015 har overflatetemperaturen variert mellom 28 °C og -20 °C (**Figur 27**). Temperaturen inne i palsen (målt på 50 cm dybde) har nådd de høyeste verdiene i midten av august hvert år (mellomårsvariasjon på 0-4 °C). Dette sammenfaller i tid med når omgivende torv og vann (målt ved kanten av palsens iskjerne på 1 meters dybde) når sine høyeste temperaturverdier (mellomårsvariasjon på 1-8 °C). I årene med de høyeste verdiene har tining av iskjernen ført til reduksjon i palsstørrelse (dvs. avstanden mellom logger og iskjerne har økt). I årene med de laveste verdiene har palsstørrelsen enten vært stabil eller økt fra forrige år. Det er en relativt kort periode vert år hvor palsen er telefri ned til 50 cm dybde (ca. 3 måneder; aug.-okt.), men det er ikke alle år som tiningen når denne dybden. Den laveste sommertemperaturen i palsen (på 50 cm dybde) ble registrert i 2012 og lå på ca. 0 °C. De laveste palstemperaturene ble registrert vinteren 2010, da teletemperaturen i mars var målt ned til -12 °C. Dette har sammenheng med det tynne snødekket i 2010 (**Figur 11**), noe som trolig medførte at palsen var snøfri store deler av vinteren.



Figur 27. Temperaturforhold i en pals på Haukskardmyrin i perioden august 2005 til august 2015. Rød linje viser overflatetemperatur på palsens høyeste del, sort linje viser temperaturen på 50 cm dybde og blå linje på 100 cm dybde ved palskanten. © NINA 2016.

4.4 Menneskelig påvirkning

Palsområder er meget sårbare for menneskelig aktivitet som påvirker de hydrologiske forholdene rundt palsene eller på palsoverflatene. Påførte skader kombinert med økt klimatisk marginalisering grunnet endringer i klimaet gjør at også beskjeden menneskelig påvirkning kan virke destabiliserende. Palsene på Haugtjørnin har ikke vist noen tegn på forstyrrelse av menneskelig aktivitet. På Haukskardmyrin er situasjonen til dels annerledes. Området har over lang tid blitt brukt som illustrasjonsområde for palsforekomst, med et ukjent antall besøkende per år. Besøkene har først og fremst vært knytta til undervisning men også turisme. Dette har ført til slitasje (tråkk-skader) på de to mest markerte palsene, men i all hovedsak kan de dokumenterte forandringene og forskjellene mellom 2005, 2010 og 2015 skyldes endringer i klima og ikke direkte menneskelig påvirkning. Siden den vertikale størrelsen til disse palsene i dag er vesentlig mindre enn for noen år siden, vil dette føre til at palsene blir mer sårbare i forhold til tråkk fra besøkende.

5 Diskusjon

Overvåkingen av palsmyrområdene i Haukskardmyrin og Haugtjørnin viser raske endringer i palsenes struktur, permafrostens utbredelse og floristisk sammensetning på palsene, men også at det er betydelig tregghet i systemet. Flybilder fra 1963 viser omfattende utbredelse av store palser, men også tegn på begynnende palsreduksjon som følge av klimaoppvarmning før 1960-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 midten av 1930-tallet, var like omfattende og rask som den i nyere tid. Det er trolig at sporene etter tidligere palser, som vises som gjengroende dammer og torvringer i de eldste flybildene fra 1963, 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 to Dovre-områdene har blitt redusert de siste tiårene, men overvåkingen viser at det også samtidig kan forekomme dannelse av nye permafrostområder. Langtidsforandringene i regionens klima styrer denne dynamikken i palsmyrsystemene, sammen med klimatiske ulikheter mellom år og eventuelle direkte menneskelige påvirkninger. Ettersom palsene på Haukskardmyrin og Haugtjørnin ikke viser alvorlige tegn på forstyrrelse av menneskelig aktivitet, antas det at de dokumenterte forandringene og forskjellene mellom 2005, 2010 og 2015 hovedsakelig har en klimatisk årsak.

Den registrerte nettoøkningen av tele i Haukskardmyrin (26 % i første del av perioden og 5 % i hele perioden) viser sammen med fotodokumentasjon av palsreduksjon, på palsmyrforandringenes komplekse karakter. Den omfattende tiningen av palsene i Haugtjørnin og tilbakegangen av de større palsene på Haukskardmyrin 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 begynnelsen av 1970-talet har middeltemperaturen om vinteren økt med ca. 3 grader, og årsmiddel-temperaturen har siden begynnelsen av 1990-talet ligget over 0 grader. Denne temperaturutviklingen er ugunstig for palsenes vekst og overlevelse. Palsformasjoner i de våteste delene av myrene, som på Haugtjørnin og sentrale deler av Haukskardmyrin er mest følsomme for denne type klimaendring. Store palser i tørrere deler vil kunne eksistere over lengre tid, også i et ugunstig klima. Det er trolig at den relativt sett mer balanserte dynamikken i myras struktur som er dokumentert for deler av Haukskardmyrin, kan forklares av forskjellene i myrenes struktur. Dersom trenden i regionens klima fortsetter, vil permafrostforandringene trolig kunne gå raskere også i Haukskardmyrin, enn det som er avdekket i overvåkingsperioden.

Til tross for et over flere tiår forverret klima for palsoverlevelse forekom det både i 2005 (Hofgaard 2006) og 2015 noen få nye palsdannelser i Haugtjørnin-området. Dette var også et tydelig innslag tidlig på 1970-tallet (Sollid & Sørbel 1998), men på grunn av det dominerende klimaregime siden den tid ble det i 2005 konkludert med at nydannelse eller vekst av palsene trolig ikke vil kunne kompensere for tapet av eldre palsformasjoner, selv om embryonale palser forekom tilfeldig. Undersøkelsene i 2015 støtter denne vurderingen.

Selv om tilbakegangen i dominerende palsformasjoner først og fremst skyldes endringer i regionens klima over lang tid, så skyldes endringene i teledybde og teleutbredelse først og fremst værfor skjeller mellom analyseårene. Dette vises tydelig ettersom tele i tillegg til hoved-analyseårene også ble målt årlig mellom 2010 og 2015. I denne perioden var den varmeste sommer-temperaturen (2014, 10,7 °C) nesten 2 grader varmere enn den kaldeste (2005, 8,6°C). Det er likevel liten eller ingen sammenheng mellom sommertemperatur og teleutbredelse, siden de to årene har nesten like lite tele (laveste verdiene i overvåkingsperioden). Sommeren i året med mest tele (2011 med ca. 36 % mer tele enn i 2005 og 2014) var nesten like varm som varmeste sommer. Det er i tillegg liten sammenheng mellom teleutbredelse og teledybde, da nivået for tele var på sitt laveste i årene med mest tele. Været, både temperatur og nedbør, i de enkelte somre

og vintre styrer teledybden mer enn den langsiktige trenden i klimaet. Flere klimatiske forskjeller mellom analyseårene styrer telens fordelingen i myrene, og nedbørsfattige vintre vil kunne motvirke permafrostreduksjon i etterfølgende somrer. For eksempel så var 2010 den mest nedbørsfattige vinteren siden 1970-tallet, og etterfølgende sommer var utbredelsen av tele på sitt største i overvåkingsperioden. Telens økte utbredelse i Haukskardmyrin og det grunnere telenivået i både Haukskardmyrin og Haugtjørnin kan mest sannsynlig forklares med at vinteren 2009-2010 var både uvanlig kald og uvanlig snøfattig. De samlede værforskjellene mellom år er avgjørende for hastigheten og trenden i den langsiktige utviklingen. Det er imidlertid, stor usikkerhet omkring hvor stor betydning værforskjellene har for de årlige variasjonene i permafrostens utbredelse og for hastigheten til den langsiktige trenden (Frontzek *et al.* 2009, Sannel 2010).

Om nedgangen i telens utbredelse på Haugtjørnin fortsetter i samme hastighet som registrert for fremst perioden 2005 til 2010, uten nydannelse av palser som overlever over lengre tid, vil palsmyrbiotopen i Haugtjørnin være helt borte innen noen få år. I Haukskardmyrin er situasjonen litt annerledes da nydannelse til dels motvirker den generelle tilbakegangen, og palsmyrbiotopen vil sannsynligvis finnes i flere tiår fremover. Denne beregningen tar imidlertid ikke hensyn til en eventuell generell endring av telenivå og vegetasjon på palsene som begge vil kunne endre hastigheten til endringsprosessen betraktelig.

Artsfrekvensanalysene viser at det er nesten like stor andel med høyere snøfangende vegetasjon (busksjiktsarter) i hele overvåkingsperioden, mens en reduksjon av lavdominerte områder på palsene siden 2005 sammen med en økning av krekling, myrull og molte er vegetasjonsendringer som er lite gunstige for langsiktig overlevelse av eldre palser (**Figur 28**). 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 myrull og molte, som er begunstiget av kantsoner og lave forsenkninger i palsenes overflate, vil på sikt gi ytterligere endringer i palsoverflatens småskalastruktur – dvs. økt frekvens av tuer. Denne endrede overflatestrukturen gir et tykkere, mer kontinuerlig og mer isolerende snødekke om vinteren. Dette reduserer den nødvendige avkjølingen av palsene om vinteren. En reduksjon av lavdekket har størst betydning om sommeren da dette reduserer refleksjonen av solas varme-strålning, 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.



Figur 28. Pals i Haukskardmyrin som i 2005 hadde et markert innslag av lav på palsoverflaten og få tydelige erosjonskanter. Tining av permafrosten har ført til lavere pals med mindre lavdekke, og utvikling av markante erosjonskanter. Deler av palsen var i 2015 forvandlet til dam og myrullvegetasjon. Foto: Annika Hofgaard. © NINA 2016.

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 to områder er gjenanalysert etter ti år (Ostojeaggi i 2014, og Haukskardmyrin og Haugtjørnin 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	<i>Dovre: Haukskardmyrin og Haugtjørnin</i>
	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, Haukskard-myryn 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 Haukskard-myryn 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.

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., Friborg, 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 palsa mires and greenhouse gas feedbacks. – Reports of Finnish Environment Institute 3/2009.

- Grove, J.M. 1988. The Little Ice Age. – Methuen, London.
- 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.
- 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.
- 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. 1983. Myrundersøkelser i Sør-Trøndelag og Hedmark i forbindelse med den norske myrreservatplanen. K. norske Vidensk. Selsk. Mus. Rapp. Bot. Ser. 1983-4: 1-138.
- Moen, A. 1999. National Atlas of Norway. Vegetation. Norwegian Mapping Authority, Hønefoss, Norway. 200 s.
- Moen, A. & Singaas, S. 1994. Excursion guide for the 6th I.M.C.G. fiels symposium in Norway 1994. Univ. Trondheim Vidensk. Mus. Rapp. Bot. Ser. 1994-2: 1-159
- Payette, S., Delwaide, A., Caccianiga, M. & Beauchemin, M. 2004. Accelerated thawing of subarctic 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. 1974. Palsa bogs at Haugtjørnin, Dovrefjell, South Norway. Norsk Geografisk Tidsskrift 28: 53-60.
- Sollid, J.L. & Sørbel, L. 1998. Palsa bogs as a climate indicator – examples from Dovrefjell, Southern Norway. – Ambio 27: 287-291.
- Torbergson, E.M. 1979. Myrundersøkelser i Oppland i forbindelse med den norske myrreservatplanen. K. norske Vidensk. Selsk. Mus. Rapp. Bot. Ser. 1979-3: 1-68.
- 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.

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).



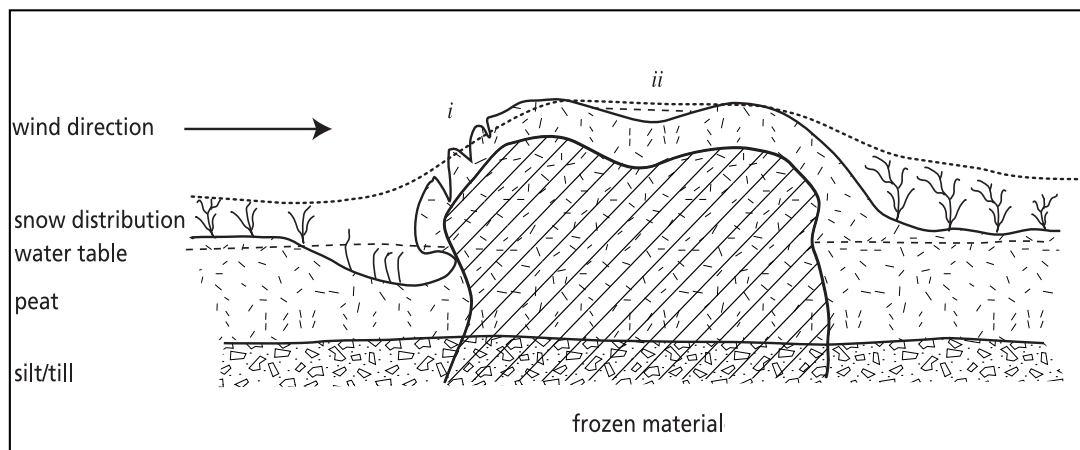
Figur V1. Kupolformad pals som höjer sig ca 2.5 m över den omgivande myrytan. Ferdesmyra, 5 juli 2004. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2016.

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 2016.

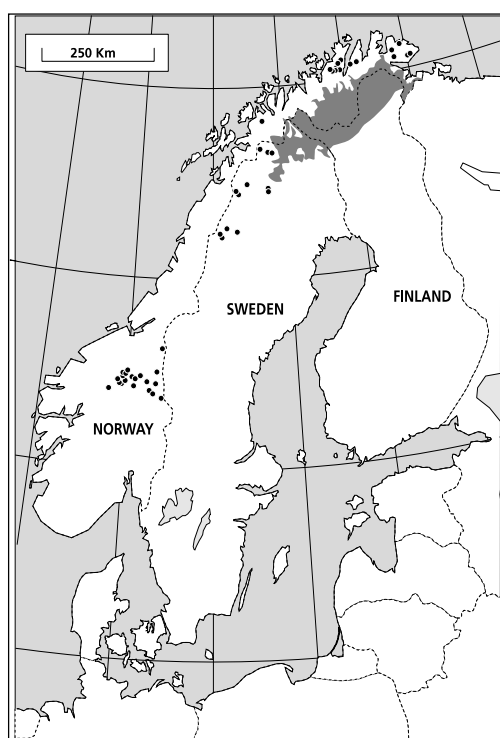
8.2 Utbredning och klimatiska förutsättningar

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 2016.

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

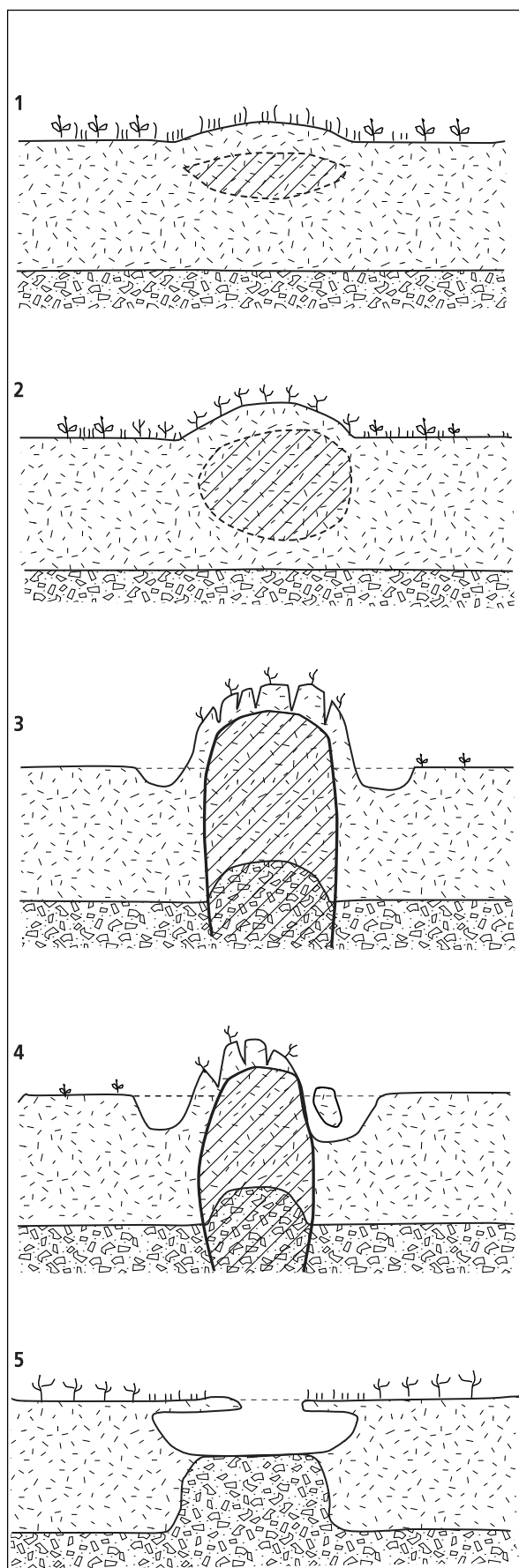
Lufttemperatur, snödjup och torvens isolerande förmåga är de tre dominerande faktorer som styr tillväxt och degenerering av palsar. Låga lufttemperaturer under både sommar och vinter är gynnsamt för palsutvecklingen, och snöns djup, fördelning och varaktighet under vintern är av essentiell betydelse 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 palsplatatår (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 2016.

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 cyklicitet.

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, palsplåtår, 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: 978-82-426-2909-8

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