

1510

NINA Rapport

Overvåking av palsmyr

Andre gjenanalyse i Leirpullan, Dovrefjell i Trøndelag.
Endringer fra 2007 til 2017

Annika Hofgaard & Heidi Elin Myklebost



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er NINAs ordinære 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 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. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

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

Overvåking av palsmyr

Andre gjenanalyse i Leirpullan, Dovrefjell i Trøndelag.
Endringer fra 2007 til 2017

Annika Hofgaard
Heidi Elin Myklebost

Hofgaard, A. & Myklebost, H.E. 2018. Overvåking av palsmyr. Andre gjenanalyse i Leirpullan, Dovrefjell i Trøndelag. Endringer fra 2007 til 2017. NINA Rapport 1510. Norsk institutt for naturforskning.

Trondheim, april 2018

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-3241-8

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Per Arild Aarrestad

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningssjef Signe Nybø (sign.)

OPPDRAUGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Miljødirektoratet

OPPDRAUGSGIVERS REFERANSE

M-1042|2018

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Else Løbersli

FORSIDEBILDE

Sentrale deler av Leirpullan, sett fra sør. © A. Hofgaard/NINA

NØKKEWORD

Leirpullan, palsmyr, permafrost, overvåking, vegetasjon

KEY WORDS

Leirpullan, monitoring, palsa peatlands, permafrost, vegetation

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Torgarden
7485 Trondheim
Tlf: 73 80 14 00

NINA Oslo

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Tlf: 73 80 14 00

NINA Tromsø

Postboks 6606 Langnes
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 04 00

NINA Lillehammer

Vormstuguvegen 40
2624 Lillehammer
Tlf: 73 80 14 00

NINA Bergen

Thormøhlensgate 55
5006 Bergen
Tlf: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Hofgaard, A. & Myklebost, H.E. 2018. Overvåking av palsmyr. Andre gjenanalyse i Leirpullan, Dovrefjell i Trøndelag. Endringer fra 2007 til 2017. NINA Rapport 1510. Norsk institutt for naturforskning.

Overvåking av palsmyr er et nasjonalt overvåkingsprogram initiert av Direktoratet for naturforvaltning (nå Miljødirektoratet), med oppstart i 2004. Programmet 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 Leirpullan, Dovrefjell i Trøndelag, ti år etter førstegangsundersøkelser i 2007. Dokumenterte endringer baseres på overvåkingsdata fra 2007, 2012 og 2017, og flybilder fra perioden 1963 til 2016. Rapporten gir også en kortfattet bakgrunn for behovet for overvåking av palsmyr, relevante klimadata for Leirpullan og benyttede overvåkingsmetoder (analyser av palsformasjoner, markslagsfordeling, teledybde og vegetasjonsfordeling). I et vedlegg gis detaljer for klimatiske forutsetninger og endringer av palsmyrer i tid og rom. Leirpullan utgjør et ca. 0,1 km² stort bekkedelta med mineralpalsformasjoner i store deler av deltaet. Hele området er brukt i overvåkingsstudiet. Palsformasjoner, dammer og erosjonsområder ble analysert i 2007, 2012 og 2017 med hensyn til størrelse, teledybde og posisjon ved bruk av analyser langs ni permanente analyselinjer. 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 småskalaforordelingen av markslag (6 variabler), bunnsjikt (7 variabler), feltsjikt (7 variabler), busksjikt (1 variabel), teledybde og palshøyde.

Overvåkingen av palsforekomsten i Leirpullan viser omfattende endringer i permafrostens utbredelse, men studiene viser også at det er betydelig tregghet i responsen på endret klima. Flybilder fra 1963 viser utbredelse av store palser, men også tegn til pågående palsreduksjon som følge av klimaoppvarmning før 1960-tallet. Flere av palsene fra 1963 eksisterer fortsatt, men størrelsen er betydelig redusert. Reduksjonen i antallet og størrelsen av eldre palser er også tydelig i perioden 2007 til 2017, samtidig som en ny pals ble dannet og telens utbredelse økte i 2012. Dette medførte at den samlede utbredelsen av permafrost var større i 2012 enn i 2007 og 2017. Endringene av palsene i Leirpullan er et resultat av en prosess som har pågått over lang tid og er i tråd med endringer mot et allerede varmere og fuktigere klima. Siden midten av 1980-tallet har årsmiddeltemperaturen økt med ca. 1,5 °C, men selv om den fortsatt ligger et godt stykke under null grader, er denne temperaturutviklingen ugunstig for palsenes vekst og overlevelse. Den registrerte økningen i permafrostutbredelse for 2012 skyldes først og fremst ulike værforhold mellom analyseårene. I de årene teledybden ble målt, var årsmiddeltemperaturen ca. 0,7 til 0,9 °C kaldere i 2012 enn i 2007 og 2017. Værforskjeller mellom år er avgjørende for hastigheten og trenden i den langsiktige utviklingen. De sentrale delene av Leirpullan som domineres av fragmenterte palser, er de mest sårbare. I de deler av Leirpullan som domineres av store palser der tilfeldig økning av permafrost motvirker den generelle tilbakegangen, vil palsmyrbiotopen sannsynligvis finnes i mange tiår fremover. Denne vurderingen tar imidlertid ikke hensyn til en eventuell generell endring av telenivå og vegetasjon på palsene, noe som vil kunne endre hastigheten til prosessen betraktelig. Fra 2007 til 2017 har feltsjiksdominerte områder økt noe mens lavdekket på litt over 40 % er nesten uendret. Kontinuerlig forekomst og stor dekning av lav er gunstige for langsiktig overlevelse av eldre palser, da lavvokst og lysreflekterende vegetasjon har positiv påvirkning på teleoverlevelse. Neste analyse av området er planlagt i 2022.

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

Abstract

Hofgaard, A. & Myklebost, H.E. 2018. Monitoring of palsa peatlands. Second re-analysis at Leirpullan, Dovre mountain in Trøndelag. Changes from 2007 to 2017. NINA Report 1510. Norwegian Institute for Nature Research.

The monitoring of palsa peatlands is a national monitoring project which was started in 2004 by the Norwegian Directorate for Nature Management (current Norwegian Environment Agency). The project is designed to reveal changes in climate-sensitive ecosystems, and includes six selected monitoring areas from Finnmark in the north of Norway to the Dovre region in the south. This report presents the results from reanalyses ten years after the initial investigations in 2007 at Leirpullan in the Dovre region, Trøndelag County. Documented changes are based on data from 2007, reanalyses in 2012 and 2017, and air photos from the period 1963 to 2016. The report also presents a short background to the need for palsa peatland monitoring, climate data relevant to the Leirpullan area and monitoring methods (analyses of palsa formations, distribution of land cover types, ground frost and vegetation). Details for climatic requirements and spatiotemporal changes of palsa peatlands are given in an appendix. Leirpullan is a ca. 0.1 km² stream delta area with mineral palsas over large parts of the delta. Palsa formations, thermokarst ponds and erosion areas were analysed in 2007, 2012 and 2017 regarding size, thaw depth and location, by the use of analyses along nine permanent sampling lines. 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 (6 variables), bottom layer (7 variables), field layer (7 variables), shrub layer (1 variable), thaw depth, and palsa height above surrounding water.

The monitoring of palsa formations at Leirpullan shows both rapid changes in the permafrost distribution, but also considerable inertia in palsa response to climate changes. Air photos from 1963 show widespread distribution of large palsas, but also signs of decaying palsas as a result of climate warming before the 1960s. Many of the palsas present in 1963 still exist, but their size is markedly reduced. Reduction in number and size of old palsas is also evident for the period 2007 to 2017, although one new palsa was formed and permafrost distribution increased in 2012. This resulted in larger total permafrost distribution in 2012 than in 2007 and 2017. Recorded palsa changes in Leirpullan is a result of an ongoing long-term process in line with changes towards already warmer and wetter climate. Since the mid-1980s, the annual mean temperature has increased by approximately 1.5 °C, but although it is still well below zero degrees, this temperature trend is unfavorable to palsa growth and survival. The recorded increase in permafrost distribution in 2012 is primarily due to different weather conditions between the analysed years. In the years when thaw depth was measured, the annual temperature was 0.7 to 0.9 °C colder in 2012 than in 2007 and 2017. Weather differences between years are vital to the rate and trend in the long-term development. The central parts of Leirpullan, dominated by fragmented palsas, are most vulnerable in this respect. In other parts of Leirpullan, dominated by large palsas and where occasional increase of permafrost counteract the dominating recession process, the palsa biotope will most likely remain for many decades. This reckoning does not, however, take possible general changes of thaw depth and vegetation structure into account which could speed up the recession process considerably. Field layer dominated areas on the palsas have increased somewhat during the 2007-2017 period, but at the same time, a lichen cover of just over 40 % is nearly unaltered. Continuous presence and large lichen cover is favourable to long-term survival of old palsas as low stature and light reflecting vegetation has a positive impact on ground frost formation and survival. The next analysis of the area is scheduled to 2022.

Annika Hofgaard and Heidi Elin Myklebost. NINA Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim.
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.....	13
2.2.5 Flybilder.....	14
3 Områdedata - Leirpullan	15
3.1 Områdebeskrivelse.....	15
3.2 Klimadata.....	16
3.2.1 Temperatur.....	17
3.2.2 Nedbør.....	17
3.2.3 Snødybde.....	19
3.3 Fly- og satellittbilder.....	20
3.4 Overvåkingsdata og status ved starten for overvåkingen.....	20
3.4.1 Palsformasjoner.....	20
3.4.2 Dammer og vannflikker.....	21
3.4.3 Linjeanalyser.....	21
3.4.4 Artsfrekvens.....	23
3.5 Datainnsamling.....	23
4 Resultat	24
4.1 Palsformasjoner.....	24
4.1.1 Endringer siden 1960-tallet.....	24
4.1.2 Endringer siden 1995 og i overvåkingsperioden 2007 til 2017.....	25
4.2 Dammer og vannflikker.....	27
4.3 Linjeanalyser.....	28
4.3.1 Tele og markslag.....	28
4.3.2 Sprekkfrekvens.....	29
4.3.3 Artsfrekvens.....	32
4.4 Menneskelige 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	40
8.1 Sammansättning och struktur.....	40

8.2	Utbredning och klimatiska förutsättningar	41
8.3	Palsmyrdynamik.....	43
8.3.1	Temporala förändringar	43
8.3.2	Rumsliga förändringar	45
8.4	Referanser til Vedlegg 1.....	46

Forord

Overvåking av palsmyr er et nasjonalt overvåkingsprogram som finansieres av Miljødirektoratet (tidligere Direktoratet for naturforvaltning, DN) og som ble initiert av DN i 2002/2003 med oppstart i 2004. Norsk institutt for naturforskning (NINA) har det faglige og praktiske ansvaret for overvåkingen og for analyser av innsamlet data og rapportering. Foreliggende rapport er den tredje statusrapporten i programmet fra Leirpullan, Dovrefjell, i Trøndelag med resultater fra gjenanalysen i 2017, ti år etter førstegangsanalysen i 2007 (Hofgaard 2008). Andre statusrapport omfattet perioden fra 2007 til 2012 (Hofgaard & Myklebost 2013). Foreliggende rapport sammenstiller og diskuterer endringer for hele overvåkingsperioden 2007 til 2017.

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

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

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

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

Trondheim, april 2018

Annika Hofgaard

1 Innledning

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

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

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

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

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

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

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



Figur 1. Mineralpalserne danner øyer i Leirpullan, de høyeste av disse hever seg en til to meter over vannoverflaten. De fleste av øyene har avtatt i areal i perioden 2007 til 2017. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2018.



Figur 2. Pals med erosjonskant mot vest (pals LP06, se kapittel 3.4). Palsen har avtatt både i høyde og omfang i perioden 2007 til 2017. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2018.



Figur 3. Ringformet pals rundt tidligere dam (pals LP05, se kapittel 3.4). Deler av palsen har kollapset i perioden 2007 til 2017. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2018.



Figur 4. En av de største palsene i Leirpullan (pals LP03, se kapittel 3.4) karakterisert av lave kanter med noen få bruddkantpartier mot omkringliggende vann. Relativt få endringer ble registrert i perioden 2007 til 2017. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2018.

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 indre Troms og Finnmark, unntatt kystnære områder. Den kontinentale eller lokalkontinentale klimatypen som er rådende i disse områdene, er en forutsetning for utvikling og overlevelse av palser i den relativ varme og fuktige klimaregionen som Skandinavia tilhører (se **Vedlegg 1**).

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

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

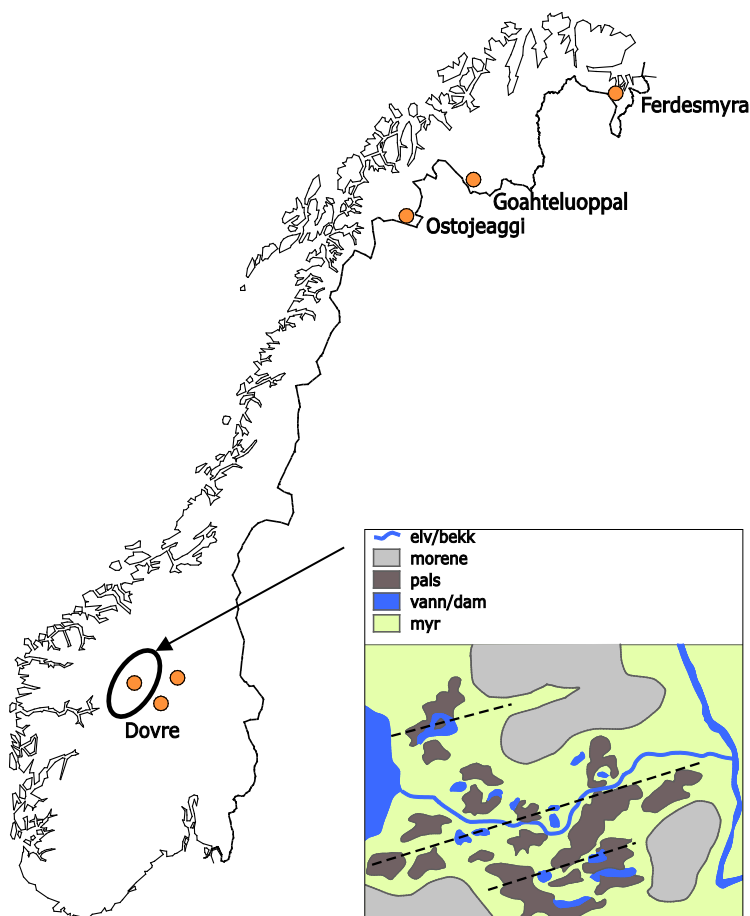
Det norske overvåkingsprogrammet er av særlig stor verdi fordi det omfatter områder i store deler av det skandinaviske utbredelsesområdet for palsmyr, fra sørligste forekomst på Dovre til de nordligste forekomstene i Øst-Finnmark. Den klimatiske bakgrunnen og hvordan frekvensen av de ulike myrkomponentene 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 2018.

2.2 Metoder

2.2.1 Analysefrekvens

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

2.2.2 Linjeanalyser

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

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

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

Tabell 1. Variabler som er registrert ved linjeanalysene samt forkortelser som er brukt i feltprotokollene. © NINA 2018.

markslag	sjø	innsjø - vann rundt palsene
	p	pals
	fdp	mark med vegetasjon men uten permafrost
	d	dam
	pøl	grunn pøl på palsoverflaten
	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
	sd	sand
	stein	sten
feltsjikt	ris	kollektivt for lyngarter (<i>Vaccinium</i> spp.)
	emp	kreking (<i>Empetrum</i> spp.)
	sah	musøre
	ull	kollektivt for alle myrullarter (<i>Eriophorum</i> spp.)
	cx	kollektivt for starr (<i>Carex</i> spp.)
	gras	kollektive for gras
	urt	kollektivt for urter
busksjikt	sa	kollektivt for vier (<i>Salix</i> spp.)
	()	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 vann

2.2.3 Fotodokumentasjon

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

2.2.4 GPS-registreringer

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

2.2.5 Flybilder

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

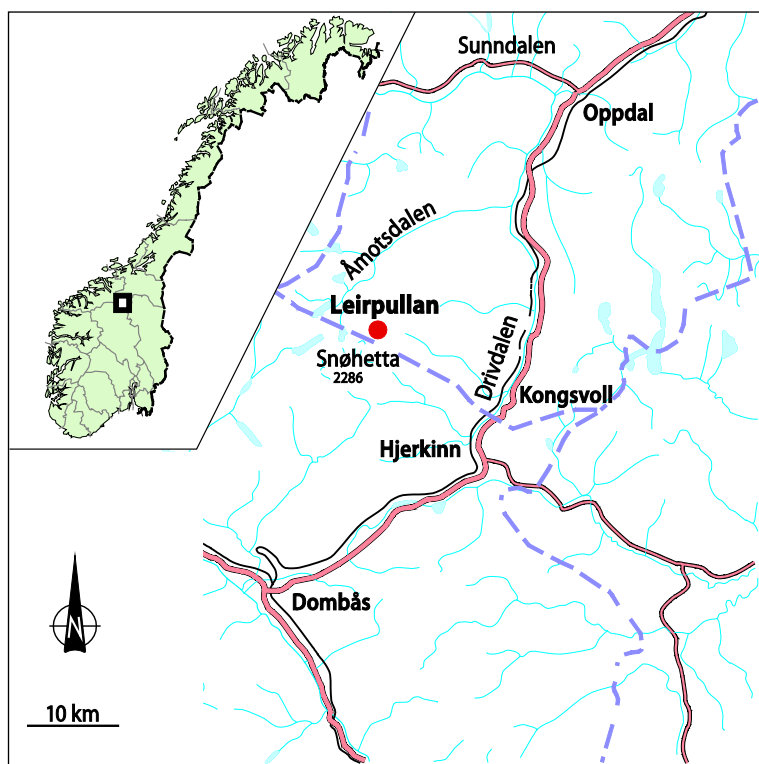
3 Områdedata - Leirpullan

3.1 Områdebeskrivelse

Leirpullan tilhører Dovre-regionen i de sentrale delene av Sør-Norge som har de sørligste velutviklede palsmyrområdene i Skandinavia. Palsformasjoner forekommer i intervallet mellom ca. 1000 og 1450 meter over havet, men forekomstene er sparsomme. Torvpalser forekommer spredt i myrområder kun i de nedre delene av intervallet. Her finnes også levninger fra tidligere palser og palsplataer som i dag nesten eller helt har kollapset (Hofgaard 2006, Hofgaard & Wilmann 2011). I den øvre intervalldelen forekommer palsformasjoner i finkornet sediment dekket av et tynt vegetasjonssjikt. Disse "mineralpalsene" er relativt sjeldne, men Leirpullan utgjør et godt eksempel med velutviklede større og mindre mineralpalser (Matthews et al. 1997, Hofgaard 2008). Dovre-regionen har et svakt kontinentalt til indifferert klima med en årsmiddeltemperatur på ca. 0 °C til -3 °C avhengig av høydelag, en årsnedbør på ca. 400-700 mm og en vegetasjonsperiode på ca. 110-130 dager (www.eklima.no).

Leirpullan er et grunt bekkedelta nordøst for Snøhettas nordre topp (**Figur 6** og **forsidebilde**). Breene på nordsiden av Snøhetta har gjennom årtusener formet det finkornete sedimentgrunnlaget for mineralpalsene. Leirpullan inkluderer et tjuetall mineralpalser omkranset av vann. Områdets markerte alpine klima er preget av lave temperaturer og periodevis sterk vind med stor innvirkning på blant annet snøfordelingen på og rundt palsene.

Eldre dokumentasjon av Leirpullans palsstrukturer og palsutvikling finnes i en publikasjon av Matthews et al. (1997) fra studier i området i begynnelsen av august 1995. Publikasjonen inkluderer en del fotodokumentasjon og målinger av størrelse, høyde og forekomst av tele innen fem individuelle palsformasjoner og sedimentstudier av to palser. Denne informasjonen dannet et delgrunnlag til førstegangsundersøkelsen i Leirpullan i 2007. Den maksimale høyden for individuelle palser i området er ca. en til to meter, og den vanligste formen er små til opptil noen hundre m² store flate langstrakte palser og sammenvokste palsområder (se **forsidebildet**).



Figur 6. Kartet viser lokaliseringen av Leirpullan nordøst for Snøhetta, samt vann, elver, bekker, større veier og fylkes-grenser.

© NINA 2018.

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 $>5^{\circ}\text{C}$) stammer fra Moen (1999). Alle klimadata er hentet fra Meteorologisk institutt (www.eklima.no). Leirpullan i Dovrefjell (**Figur 6**) tilhører den indifferent alpine (A-OC) vegetasjonsgeografiske region (Moen 1999), noe som skiller Leirpullan fra de fleste andre områdene i overvåkingsprosjektet.

Tabell 2. Områdeinformasjon for Leirpullan, Trøndelag. © NINA 2018.

Status	Del av Dovrefjell nasjonalpark
Kart	Snøhetta 1519 IV
Geografisk beliggenhet	Trøndelag fylke, Oppdal kommune
Høyde over havet	1437 m o.h.
Areal	ca. 0,1 km ²
Berggrunn	Metasandstein, skifer
Meteorologisk stasjon	Fokstua, Aursjøen, Kongsvold
Vegetasjonsgeografisk seksjon	A-OC
Dominerende myrtyper	Bekkedelta (ikke myr) med palslignende permafrost-formasjoner
Litteratur	Matthews et al. 1997, Hofgaard 2008, Hofgaard & Myklebost 2013
Flybilder	1963 (1:35000), 1981/1982 (1:15000), 1992 (1:40000) 2007, 2009, 2014, 2016 (digitale bilder)
Fotodokumentasjon	Matthews et al. 1997, Hofgaard 2008, Hofgaard & Myklebost 2013
Adkomst	Sti fra Snøheim

3.2 Klimadata

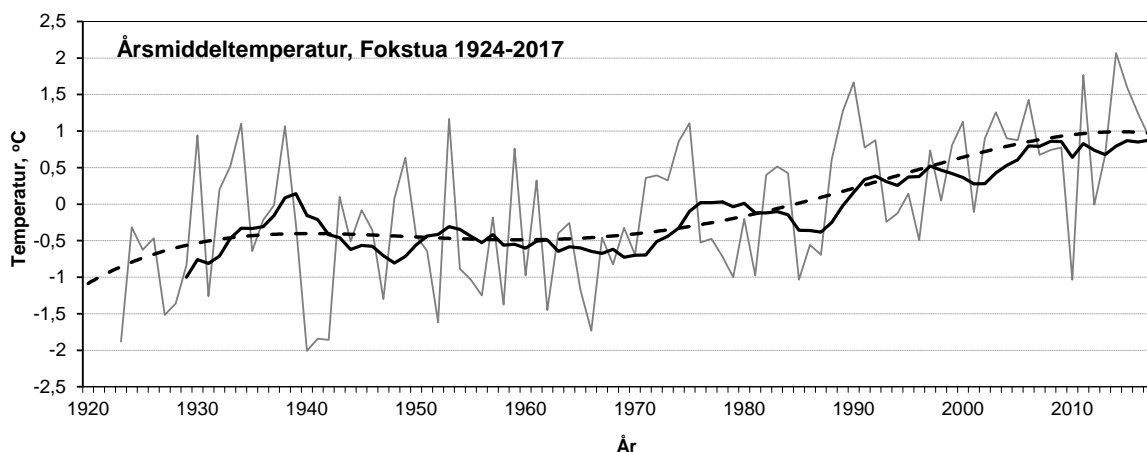
Innen en avstand på 16-35 km fra Leirpullan finnes det tre klimastasjoner (Fokstua, Kongsvold og Aursjøen), med registrering av ulike typer av klimadata og med ulike driftsperioder. Stasjonene ligger 465-570 høydemeter lavere enn Leirpullan, hvilket gjør representativiteten litt usikker. Fokstua brukes som sammenligning i denne rapporten. Stasjonen ble opprettet i 1923 og har lengst kontinuerlig dataserie av de tre. Den ligger på 972 m o.h., 25 km sør for Leirpullan. Fokstua har en registrert årsmiddeltemperatur på $-0,2^{\circ}\text{C}$ og en årsnedbør på 447 mm for perioden 1961-1990 (data fra www.eklima.no). Mesteparten av nedbøren kommer om sommeren og høsten, og kun 20 % av nedbøren kommer om vinteren. Juli er varmeste måned med $9,9^{\circ}\text{C}$ og januar er den kaldeste med $-9,2^{\circ}\text{C}$ (1961-1990).

Ved bruk av en generell temperaturforskjell på $0,6^{\circ}\text{C}$ per 100 meter høyde, kan temperaturen for nærliggende og høyereliggende steder beregnes. Etter en slik beregning for perioden 1961-1990 blir årsmiddeltemperaturen i Leirpullan ca. -3°C , middeltemperaturen for juli ca. $7,1^{\circ}\text{C}$ og for januar ca. -12°C . Disse beregningene blir selvsagt meget usikre, men gir en indikasjon på forholdene rundt 1440 m o.h. hvor Leirpullan ligger.

3.2.1 Temperatur

Ifølge data fra Fokstua viser temperaturutviklingen i området en økende trend for årsmiddelverdien siden slutten av 1960-tallet, men området karakteriseres av sterke variasjoner mellom år og mellom perioder av år (**Figur 7**). Middelverdi for hele perioden 1924 til 2017 er 0 °C. De tre varmeste årene er 1990 med 1,7 °C, 2011 med 1,8 °C, og 2014 med 2,1 °C. De kaldeste årene er 1923 og 1940-1942 med årsmiddeltemperaturer mellom -1,8 °C og -2,0 °C. Begynnelsen av 1970- og 1990-tallet var relativt varme perioder, mens 1960-tallet var preget av relativt kalde år.

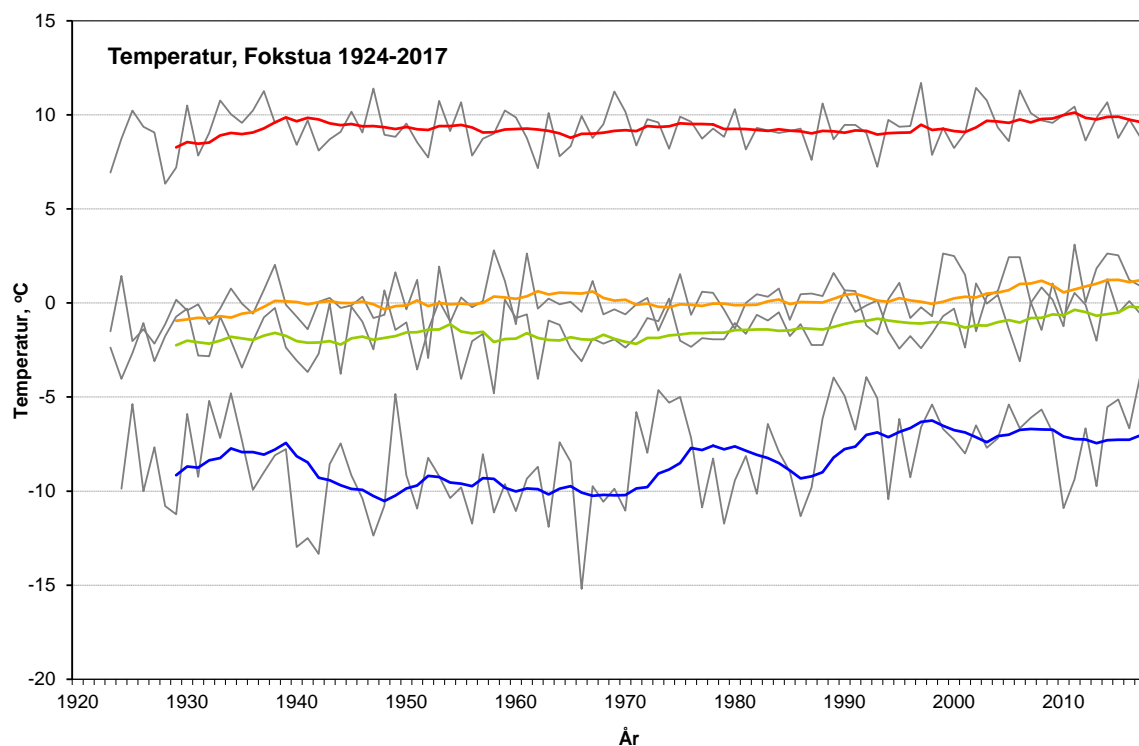
Det er kun sommeren (juni-august) som har middeltemperaturer et godt stykke over null grader (**Figur 8**) med en middelverdi for hele perioden på 9,3 °C. Det er ingen tydelig trend i sommer-temperaturens utvikling. Kun seks år er registrert med sommertemperaturer over 11 grader siden målingene startet, og den varmeste sommeren var 1997 med 11,7 °C. Middels høsttemperatur (september-november) er ca. 0,2 °C, men noen få år er registrert med temperaturer over 2,5 grader. Det er en svak trend med økende høsttemperaturer for de siste tjue årene, og den varmeste registrerte høsten er 2011 med 3,1 °C. Vinteren (desember-februar) har den mest variable middeltemperaturen av sesongene og viser en tydelig stigende trend siden 1960-tallet, men med en utflating i senere tid. Den kaldeste vinteren i løpet av hele perioden er 1966 med -15,2 °C og de varmeste er 1992 og 2017 med -3,9 °C. Perioden mars-mai (vår/vårvinter) viser en svakt økende trend over hele perioden men temperaturvariasjonene er relativt beskjedne. Kaldeste registrerte vår er 1958 med -4,8 °C og den varmeste er 2014 med 1,3 °C.



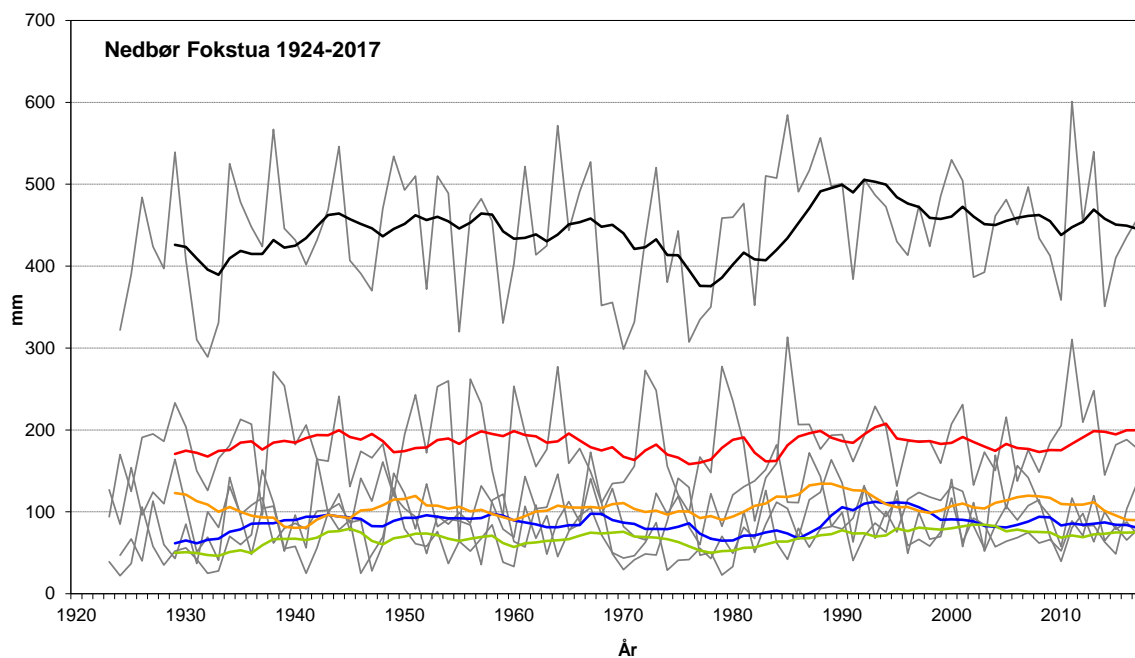
Figur 7. Årsmiddelverdier for temperatur fra Fokstua i perioden 1924 til 2017. Tykk linje viser utviklingen i løpende 10-årsmiddelverdi, og den stiplede linjen viser trenden for utvikling over hele perioden. Kilde: www.eklima.no. © NINA 2018.

3.2.2 Nedbør

Områdets årsnedbør viser en svak økning fra ca. 420 mm i begynnelsen av måleperioden til ca. 450 mm i slutten av perioden (**Figur 9**). Økningen har vært relativt jevn, men med et par perioder med mindre nedbør rundt 1970 og 1976. Målingene viser også store årlige kontraster, og i overvåkningsperioden særlig mellom 2010 og 2011, med en forskjell på 242 mm. Forandringene fordeler seg over alle de fire sesongene, men varierer sterkt mellom sesonger og mellom år. Nesten halvparten av årsnedbøren kommer i sommerperioden (juni til august). Året med minst registrert nedbør siden målingene startet er 1932 med 289,0 mm, og året med mest registrert nedbør er 2011, med 600,9 mm.



Figur 8. Temperaturutvikling per årstid for Fokstua i perioden 1924 til 2017. De fargede linjene viser utviklingen i løpende 10-årsmiddelverdier for vinter-, vår-, sommer- og høsttemperatur. Kilde: www.eklima.no. © NINA 2018.

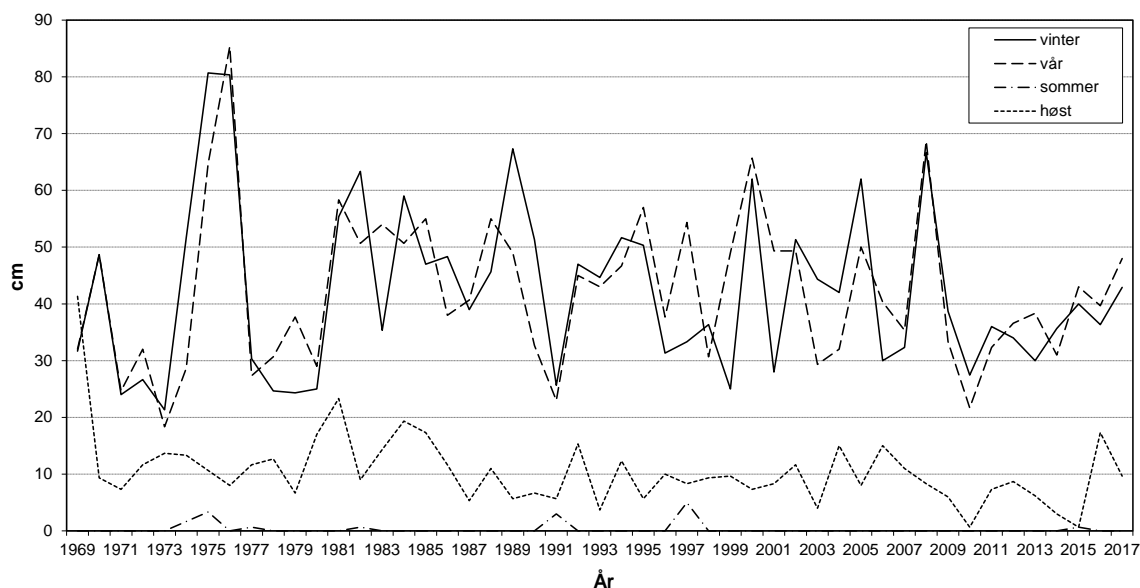


Figur 9. Nedbørsutvikling for Fokstua i perioden 1924 til 2017. De fargede linjene viser utviklingen i løpende 10-årsmiddelverdier for års-, vinter-, vår-, sommer- og høstnedbør. Kilde: www.eklima.no. © NINA 2018.

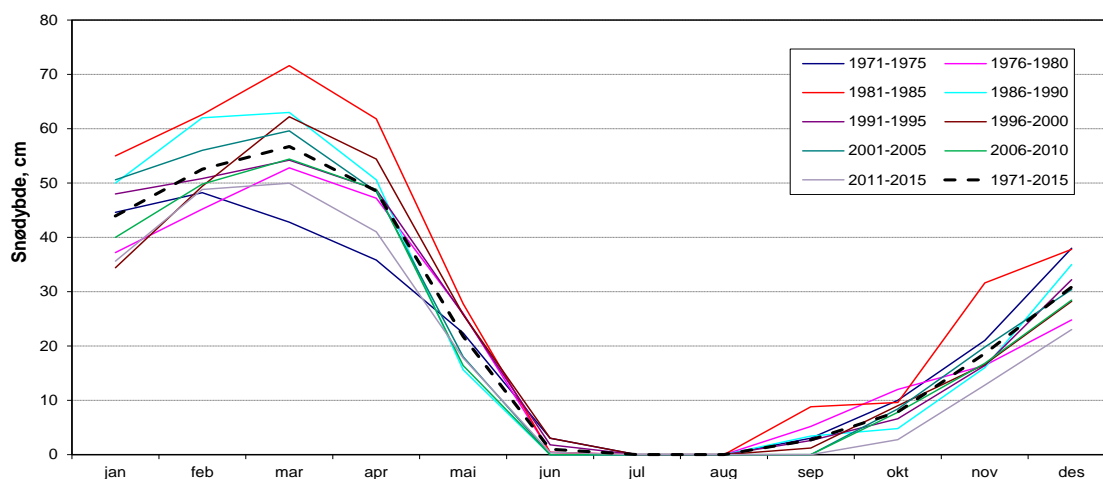
3.2.3 Snødybde

Det finnes snødybde data for Fokstua for perioden 1969-2017. Området karakteriseres av store mellomårsvariasjoner i snømengde/snødybde (**Figur 10**). Mengden varierer også sterkt mellom tidsperioder (**Figur 11**). Særlig i løpet av 1970-tallet er det store forskjeller mellom årene. Det er ingen tydelige trender for hele perioden, men en tendens til redusert snødybde om høsten og vinteren.

Snøakkumulasjonen begynner de fleste år i september eller oktober og pågår fram til og med mars måned (**Figur 11**). Enkelte år er den akkumulerte snødybden kun 20 cm, mens den i snørike år kan gå opp til mer enn 80 cm (**Figur 10**). Den raskeste snøsmeltingsperioden er i mai. Sett over hele perioden er kun juli og august registrert uten snødybde, men de enkelte år er for det meste uten snødekke i perioden juni til september. Den lengste snøfrie perioden er registrert for 2010, 2011 og 2014, da hele seks måneder (mai til oktober) var uten snødekke.



Figur 10. Snødybde for Fokstua i perioden 1969 til 2017 presentert som sesongvise middelerverdier av største snødybde for enkeltmåneder. Kilde: www.eklima.no. © NINA 2018.



Figur 11. Snødybdeutvikling gjennom året for Fokstua presentert som middelerverdier for femårsperioder (fargelinjer) og for hele perioden 1971 til 2015 (sort stiplet linje). Verdiene er beregnet fra data for største registrerte snødybde per måned. Kilde: www.eklima.no. © NINA 2018.

3.3 Fly- og satellittbilder

Det finnes flybilder for Leirpullan fra 1963 i skalaen 1:35000, 1981 og 1982 i skalaen 1:15000, og digitale bilder fra 2007, 2009 og 2016. Skalaen 1:35000 er ikke finskala nok for å analysere utviklingen i Leirpullan i sin helhet eller i detalj. Dette grunnet områdets og palsstrukturenes begrensede størrelse. Flybilder og informasjon om tilgjengelige bilder stammer fra Statens kartverk og Norge i Bilder.

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

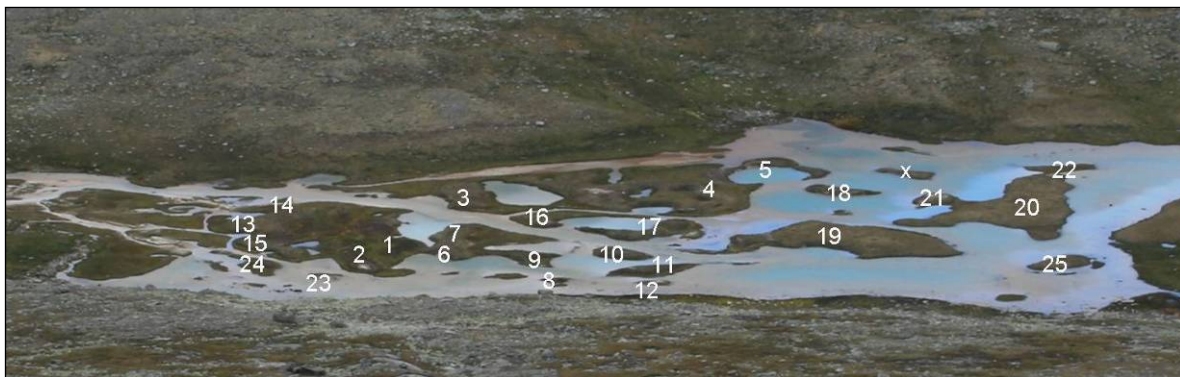
3.4 Overvåkingsdata og status ved starten for overvåkingen

3.4.1 Palsformasjoner

Palsene i Leirpullan danner større og mindre øyer som sammen med sandområder uten permafrost bygger opp et bekkedelta. Øyene, eller mineralpalsene karakteriserer området sammen med levninger fra tidligere palser som vises i form av dammer og sandvoller med eller uten permafrost. Palser fantes i 2007 i alle utviklingsstadier fra relativt unge til gamle palser i ulike faser av degenerering (se **Vedlegg 1** for detaljert beskrivelse av palsdynamikk og ulike utviklingsstadier). Mesteparten av palsene og mark uten permafrost er dekket av vegetasjon (**Figur 4**), men noen av palsene karakteriseres av bruddkanter med sand og sandblokker uten vegetasjon (**Figur 2**). Ved målingene i 2007 ble vegetasjonen og humuslaget på palsene som regel registrert med bare noen få centimeters tykkelse, mens i områder uten permafrost kunne tykkelsen på bunnsjikt og humussjikt tilsammen være noen desimeter.

25 palser ble i 2007 nummerert og registrert for å inngå i overvåkingen (**Figur 12**). Noen av disse palsene danner større palskomplekser. Dette gjelder særlig to områder med sammenvokste palser: Område 1 med palsene 1, 2, 13, 14, og 15; og område 2 med palsene 3, 4, og 5. De fleste linjene for palsstrukturanalyse ble plassert innen disse to områdene (se kapittel 3.4.3). Palsene 1-7 inngikk i studiene fra 1995 og nummereringen av disse følger Matthews et al. (1997). Detaljer for de individuelle palsenes høyde, lengde, bredde og teledybde er gitt sammen med resultater for 2012 og 2017 i kapittel 4.1. Samlet varierte palsenes høyde i 2007 mellom noen få desimeter til ca. 2 meter med en middsverdi på 117 cm. Middelstørrelsen på palsene var ca. 400 kvadratmeter, men variasjonen var stor.

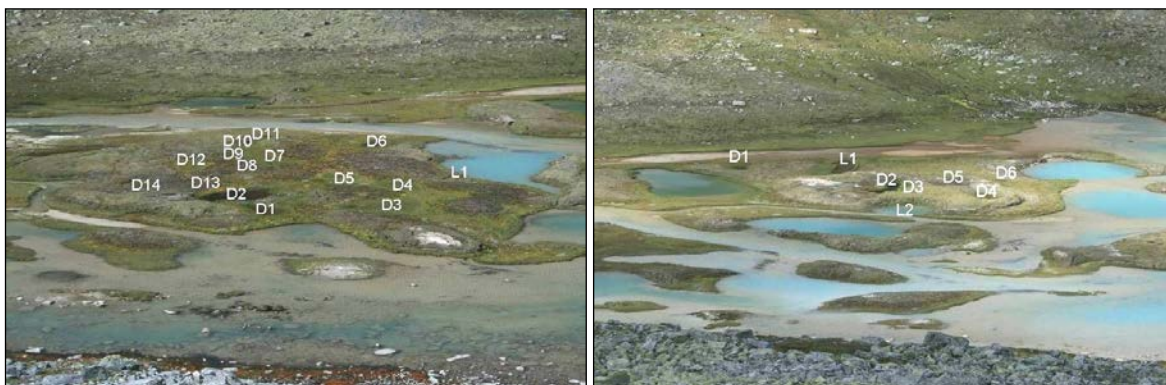
I 2007 var middeldybden for telens posisjon på palsene ved målingstidspunktet 103 cm, med en variasjonsbredde på 65-175 cm. En sammenligning mellom målt palshøyde og teledybde viste at det ikke forelå noen sammenheng mellom de to målene. Det betyr at uavhengig av om palsene i hovedsak ligger under vannoverflaten eller om de hever seg noen meter over vannoverflaten, så var dybdeavstanden til telen den samme i 2007.



Figur 12. Leirpullan med palser og deres identifikasjonsnummer. 1-7 er de samme som ble brukt i 1995 (Matthews et al. 1997); x er ikke inkludert i rapporten. Brevann strømmer gjennom Leirpullan fra venstre til høyre i bildet. Foto: A. Hofgaard, 2007. © NINA 2018.

3.4.2 Dammer og vannfliker

Dammer på palsene representerer områder med palsdegenerering. Forekomst av dammer er en del av den naturlige palsdynamikken og deres antall og størrelse varierer med forandringer i klimaet. Voksende dammer vil med tiden bryte palsens form og danne vannfliker. I 2007 ble i alt tjue dammer og tre vannfliker nummerert og dokumentert innen område 1 og område 2 (**Figur 13**). Dammene var i gjennomsnitt 27 m² og 30 cm dype, men variasjonen var stor. Vannflikene var større og dypere. Noen av de mindre dammene var dekket av myrull og/eller torvmose (*Sphagnum* spp.).



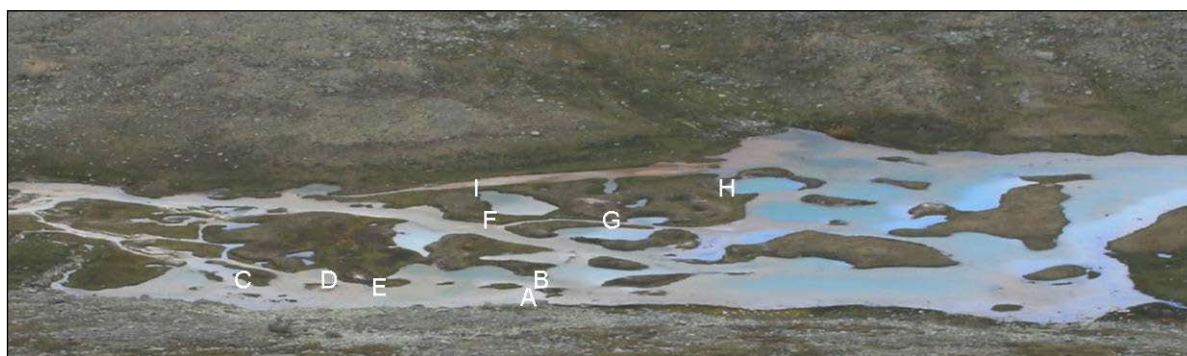
Figur 13. Dam- og vannflikposisjoner innen palsområde 1 (venstre bilde) og palsområde 2 (høyre bilde). Foto: A. Hofgaard, 2007. © NINA 2018.

3.4.3 Linjeanalyser

I 2007 ble til sammen ni linjer plassert ut innen overvåkingsområdet i Leirpullan (**Figur 14**): tre innen palsområde 1; fire innen område 2, og to krysset en mindre pals (pals 8). Den totale linjelengden er på 371 meter. Detaljer for linjenes plassering, lengde og egenskaper er redegjort for i **Tabell 3**. Fordeling av tele, markslag, bunn-, felt- og busksjiktsvegetasjon, samt palsenes høyde over omkringliggende vann er presentert i de enkelte linjefigurene i rapporten for 2007 (Hofgaard 2008), sammen med fotografier fra utvalgte fotopunkter langs linjene. Linjene ble plassert slik at de fanger opp mest mulig av variasjonen i Leirpullan-området.

Analysen av linjene A og B, som krysser pals 8, viste i 2007 en raskt minkende pals med en markert og dominerende bruddkant (se **Figur 12** for palsposisjon). Telen langs de to linjene lå i

gjennomsnitt ca. 120 cm under palsoverflaten og i sin helhet under nivået for vannoverflaten. Linje C krysser tre palsformasjoner: pals 24, 15 og en unummerert del av område 1. Telen langs denne linjen lå også i gjennomsnitt på 120 cm, men på det grunneste lå telen 75 cm under palsoverflaten. Kun på ett sted der palshøyden var over 1 meter, lå telenivået over nivået for vannoverflaten. Telen langs linje D, som krysser pals 2 og 1, lå i gjennomsnitt på 90 cm under palsoverflaten. I palsenes høyeste partier lå telen over nivået for vannoverflaten. Analysen av linje E, som krysser pals 2 langs dens lengderetning, viste i 2007 fragmentert tele ved linjens bruddkantsområde. Gjennomsnittsdybden for telen langs linjen var ca. 110 cm, med mesteparten av telen under nivået for vannoverflaten. Langs linjene F og I, som begge krysser pals 3, forekom telen over det omkringliggende vannnivået kun i palsens høyere deler. Gjennomsnittsdybden var ca. 110 cm. Linjene G og H ble i 2007 plassert slik at de krysser den større delvis fragmenterte pals 4 med dammer og forsenkninger. Grunnet palsens høyde ligger store deler av telenivået over nivået for vannoverflaten, men telen var fraværene i områder med forsenkninger og dammer. Gjennomsnittsdybden for telen lå på ca. 140 cm under palsoverflaten.



Figur 14. Figuren viser omtrentlig posisjon for palsstrukturlinjenes startpunkter. Foto: A. Hofgaard, 2007. © NINA 2018.

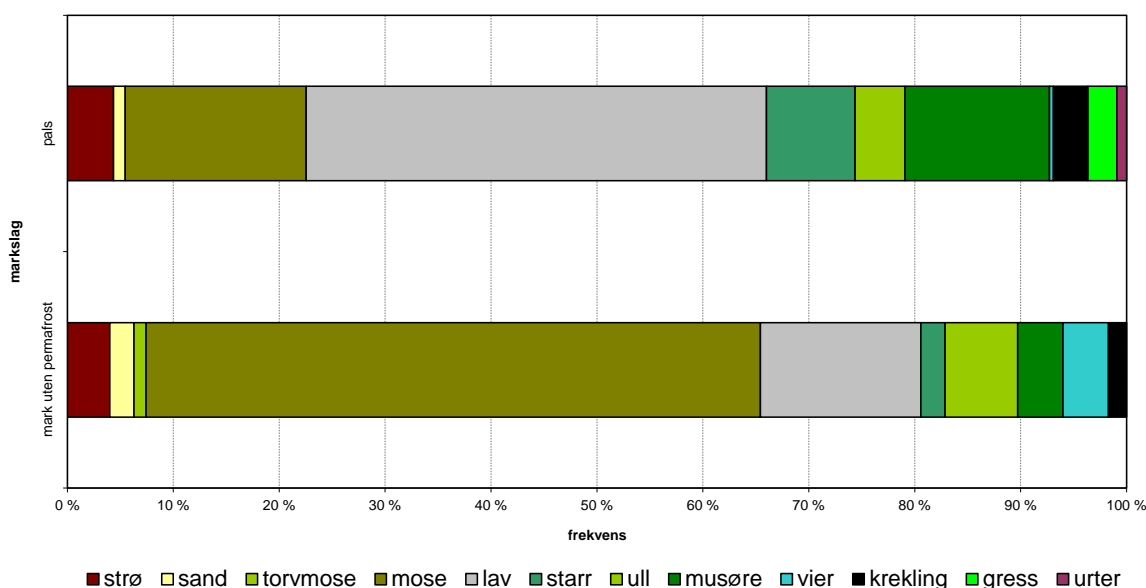
Tabell 3. Analyselinjenes plassering, lengde og egenskaper. © NINA 2018.

Linje-navn	Lengde (m)	Linjestart	Linjeslutt	Retning (°)	Tykkelse* bunnsjikt og humussjikt (cm)	Kommentarer
A	8	innsjøkant	innsjøkant	46	1 (1)	krysser pals 8 og linje B
B	25	innsjøkant	sten	112	0,8 (0-1)	krysser pals 8 og linje A
C	72	innsjøkant	innsjøkant	47	6,9 (0-30)	krysser palsområde 1
D	41	innsjøkant	innsjøkant	36	6,8 (0-25)	krysser pals 2 og 1
E	40	innsjøkant	dam	335	5,0 (0-20)	krysser pals 2
F	44	innsjøkant	innsjøkant	355	3,1 (0-10)	krysser pals 3
G	59	innsjøkant	innsjøkant	65	4,2 (0-15)	krysser pals 4
H	63	innsjøkant	dam	265	2,6 (0-10)	krysser pals 4
I	19	dam	innsjøkant	232	1,4 (0-3)	krysser pals 3

* middelværdier og spennvidde

3.4.4 Artsfrekvens

Finskalavariasjon i bunn-, felt- og busksjiktvariabler ble i 2007 analysert langs 18 tilfeldig plasserte linjer innen område 1 og 2. De samme variablene som ble analysert langs de lengre palsstrukturlinjene (se **Tabell 1**), er registrert for artslinjene, men lyngvariabelen er spesifisert til art. De 18 linjene fordelte seg på markslagene pals (11) og mark uten permafrost (7). De to markslagene er de eneste som er representert i området foruten smale kantsoner ved vann og rundt noen av dammene. Disse kantsonene domineres av myrull, men er ikke representert med artslinjeanalyser. Artsdominansen for de to analyserte markslagene avviker fra hverandre ved at palsene karakteriseres av lav, stivstarr (*Carex bigelowii*), musøre (*Salix herbacea*) og en del gress og urter (**Figur 15**). Mark uten permafrost karakteriseres av mose og en del myrull og vier. Vieren er lavvokst, men danner på noen få plasser et glissent busksjikt. Bunnsjiktets tykkelse er også forskjellig mellom de to markslagene. På palsene er bunnsjiktet for det meste <5 cm tykt og på mark uten permafrost opp til 25-30 cm tykt.



Figur 15. Frekvensfordeling av bunn-, felt- og busksjiktvariabler i 2007 (se Tabell 1 for detaljer) for markslagene pals og mark uten permafrost. © NINA 2018.

3.5 Datainnsamling

Datainnsamlingen i 2017 ble utført på samme måte som i 2007 og 2012, og i henhold til de beskrevne metodene (se kapittel 2.2). Artsfrekvens langs de tilfeldig valgte 5-meterslinjene (artslinjer; se kapittel 3.4.4) ble i 2012 og 2017 kun registrert for linjer som representerte palsoverflaten (17 og 12 linjer). Datainnsamlingsperioden er tidlig i august i alle tre årene: 2007 (2.-6. august), 2012 (6.-9. august) og 2017 (7.-10. august)

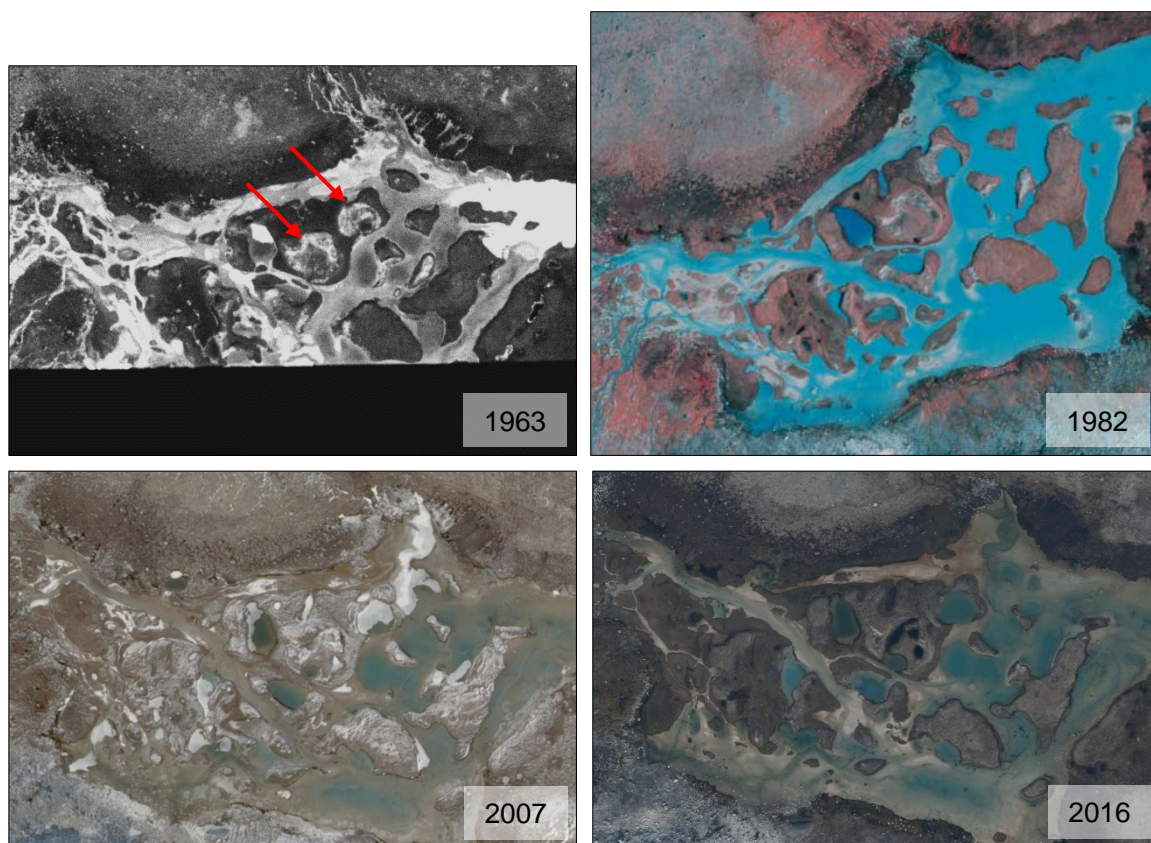
4 Resultat

4.1 Palsformasjoner

4.1.1 Endringer siden 1960-tallet

Flybilder fra Leirpullan viser store forandringer i perioden 1963 til 2016 (**Figur 16**). I begynnelsen av 1960-talet var området karakterisert av store sammenhengende palser med mindre palser innimellom. De større palsene har i senere tid blitt mer fragmentert, og noen av de mindre palsene har tint og blitt helt eller delvis borte. Tinte palser vises i dag som dypvannsområder med eller uten sandvoller. Flybildet fra 1963 viser også spor av palser (dypvannsområder og sandvoller) fra tiden før 1963, og tegn på pågående palsreduksjon og fragmentering av de større palsene. Den i 1963 pågående fragmenteringen vises tydeligst for to områder innen en av de største palsene (se røde piler i **Figur 16**). I 1963 var disse områdene dominerte av sand og nesten uten vegetasjon, med små dammer langs kantene. Disse dammene har vokst betraktelig i størrelse frem til 2016, og inngår nå i det omkringliggende vannet i Leirpullan. Bildene fra 2007 og 2016 viser også at nye dammer har oppstått i senere tid.

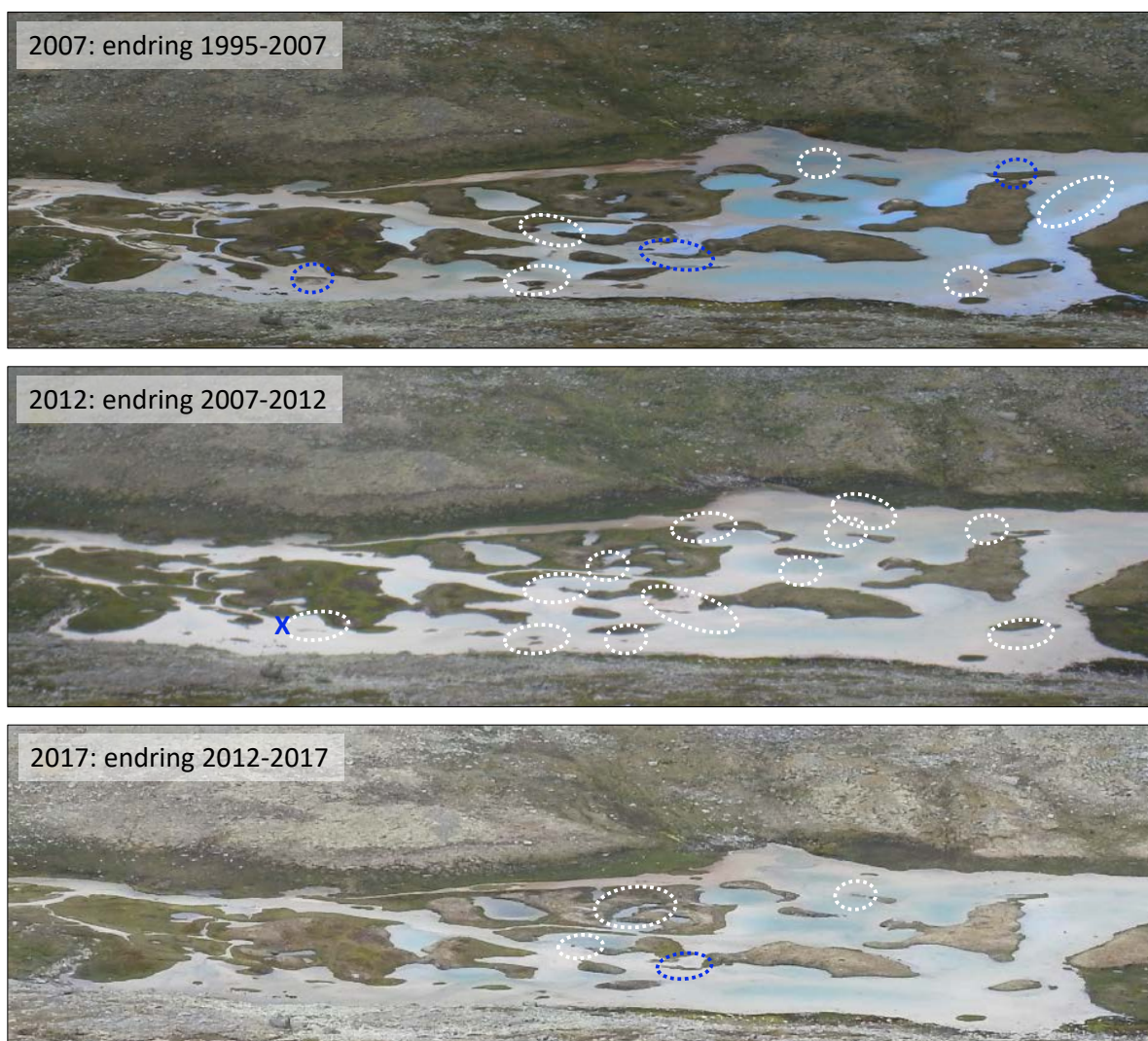
Samtidig med endringene i permafrostutbredelse har den vestre delen av Leirpullan (til venstre i bildene) blitt mer dekket av sammenhengende vegetasjon (myrull). Denne delen som er innstrømningsområdet til Leirpullan er grunt og uten permafrost, og sedimenttilførselen over tid har gitt gode betingelser for utvikling av sammenhengende vegetasjon i dette området.



Figur 16. Flybilder fra Leirpullan viser store forandringer i perioden 1963 til 2016. Leirpullan var i begynnelsen av 1960-talet karakterisert av store sammenhengende palser. Palsene har i den senere tid blitt mer fragmentert, samtidig som vestre delen av Leirpullan (til venstre i bildene) har fått et mer sammenhengende dekke av vegetasjon (myrull). Bildene stammer fra Statens kartverk og Norge i Bilder. © NINA 2018.

4.1.2 Endringer siden 1995 og i overvåkingsperioden 2007 til 2017

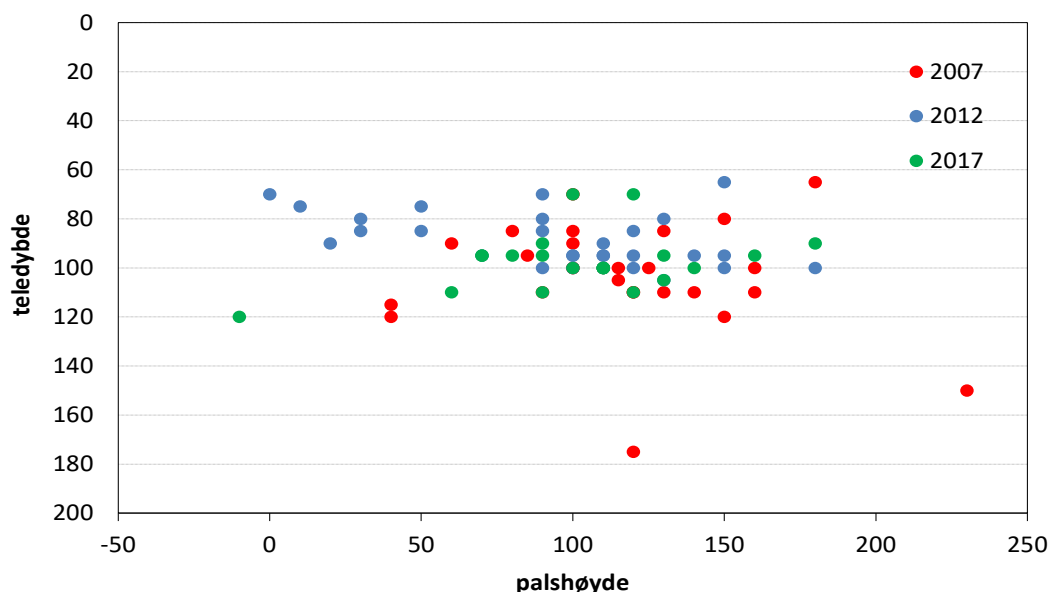
Utbredelsen, det vil si antall og størrelse, av palsene i Leirpullan har blitt redusert både i perioden før overvåkingen startet (1995 til 2007) og i perioden 2007 til 2017, tilsammen viser dette relativt store endringer over tid (**Figur 17**). Av de palsformasjoner som ble registrert i 1995 og 2007 eksisterte de fleste fortsatt i 2012 og 2017, men seks er helt borte. For enkelte mindre gjenværende palsformasjoner er kun små deler igjen. Forandringen har i tillegg til reduksjon i størrelse og antall medført en fragmentering av de større palsformasjonene, og da særlig i de sentrale delene av Leirpullan. Fragmenteringen, som er forårsaket av tele som er tinet, er karakterisert av palsdegenerering (**Figur 2, 3 og 17**) og utvidelse av dammer (se kapittel 4.2). Selv om palsdegenerering har vært dominerende i løpet av analyseperioden, så har nydanning og vekst av palser forekommet, om enn i meget begrenset omfang (**Figur 17**). En del av de mindre palsene er tilsynelatende kortlivede. Palser som ble registrert som nye i 2007, er tinet i 2012. I 2012 ble kun én ny pals registrert, men denne var borte i 2017. Denne kortlivede palsen dannet i 2012 en liten sandøy uten vegetasjon og hevet seg da kun 10 cm over vannoverflaten, like ved et område hvor det fantes en pals i 2007.



Figur 17. Leirpullan 3. august 2007, 6. august 2012 og 10. august 2017. Blå sirkler viser områder hvor palsene har økte i størrelse og hvite sirkler viser områder med reduksjon eller hvor palser har blitt borte mellom de analyserte årene. X i den vestre delen av Leirpullan markerer en ny palsformasjon i 2012. Den danner en lav sandøy noen titalls meter fra en pals som har tinet og blitt borte siden 2007. Området for palsen fra 2007 ses i 2017 som myrull-vegetasjon. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2018.

Palsenes fragmentering og reduksjon i størrelse har medført at middelstørrelsen er mer enn halvert i perioden 2007 til 2017 og middelhøyden er redusert med ca. 24 cm (**Tabell 4**). Den samme trenden vises imidlertid ikke for telenivået som lå nærmere palsoverflaten både i 2012 og 2017 sammenlignet med 2007, men variasjonen er stor mellom de enkelte palser.

Middeldybden for telens posisjon på palsene var ved målingstidspunktene i 2007, 2012 og 2017 henholdsvis 103 cm, 89 cm og 97 cm, med en variasjonsbredde på henholdsvis 65-175 cm, 65-105 cm og 70-120 cm (**Tabell 4**). En sammenligning mellom målt palshøyde og teledybde i de tre årene viser at det ikke foreligger noen sterk sammenheng mellom palshøyde og teledybde (**Figur 18**). Den svake sammenhengen betyr at uavhengig av om palsens høyeste del ligger under vannoverflaten, eller om den hever seg noen meter over vannoverflaten, så er dybdeavstanden til telen nesten den samme (**Figur 18**).



Figur 18. Forholdet mellom palsenes høyde (cm) og telens dybdeposisjon (cm) i 2007, 2012 og 2017. Palshøyde angir høyde over vannoverflaten. © NINA 2018.

Tabell 4. Middelverdier for palsenes høyde over omkringliggende vann, størrelse og teledybde for 2007 til 2017, og endringer i perioden. Variasjonsbredde og standardavvik i kursivt. © NINA 2018.

	2007	2012	2017	Endring 2007-2017
Høyde, cm				
middelverdi	117	98	103	-24
variasjonsbredde	40-230	10-180	-10-180	-70-30
standardavvik	40	42	38	34
Størrelse, m²				
middelverdi	402	310	137	-137
variasjonsbredde	36-4575	7-2363	16-608	-893-23
standardavvik	615	511	129	210
Teledybde, cm				
middelverdi	103	89	97	-2
variasjonsbredde	65-175	65-105	70-120	-95-80
standardavvik	22	11	11	32

4.2 Dammer og vannfliker

Plassering for individuelle dammer og vannfliker er vist i kapittel 3.4.2. Her presenteres kun forandringene i perioden 2007 til 2017 ved hjelp av statistikk for størrelse basert på målinger av lengde og bredde, og for dybde basert på målinger i det dypeste partiet av de enkelte dammer og vannfliker. Fotoeksempler gis for tre av dammene.

Både dammene og vannflikene har økt i størrelse i perioden 2007 til 2017, men variasjonsbredden er stor (**Tabell 5**). Forandringene er størst for dammene som i 2012 hadde ca. 63 % større overflate enn i 2007. I 2017 var middelstørrelsen for dammer noe lavere, men gjennomsnitt for dybde har økt i hele perioden. De største forandringene har skjedd i palsområde 2 som domineres av noen av de høyeste palsene i Leirpullan. Innen dette området har én mindre og grunn dam på en av de større palsene vokst betydelig i både størrelse og dybde i perioden 2007 til 2017. (**Figur 19**). Innen samme område har en annen voksende dam i 2012 skilt to tidligere sammenvokste palser. I 2017 har denne dammen vokst sammen med nærliggende vannflik (**Figur 20**). Dammer i områder uten eller nesten uten permafrost, viser kun små forandringer i størrelse eller dybde mellom 2007 og 2017 (**Figur 21**).



Figur 19. En mindre dam på en av de større palsene i Leirpullan har vokst betydelig i både størrelse og dybde i perioden 2007 til 2017. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2018.



Figur 20. Dam innen ett av de større palsområdene i Leirpullan. Dammen har vokst kraftig i perioden 2007 til 2017 og har i perioden 2012 til 2017 vokst sammen med en vannflik i bakgrunnen i bildene. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2018.



Figur 21. Dammer i områder uten eller nesten uten permafrost viser kun små forandringer i størrelse eller dybde mellom 2007 og 2017. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2018.

Tabell 5. Middelverdier for dammenes og vannflikenes størrelse og dybde (kun for dammer) i 2007, 2012 og 2017, og endringer i perioden. Variasjonsbredde og standardavvik i kursiv. © NINA 2018.

	2007	2012	2017	Endring 2007-2017
Dammer				
Størrelse, m²				
middelverdi	27	45	34	9,1
variasjonsbredde	<i>0,3-97,5</i>	<i>0,7-233,7</i>	<i>1,4-134</i>	<i>-49,5-75,9</i>
standardavvik	31	62	38	36
Dybde, cm				
middelverdi	29	42	51	19,4
variasjonsbredde	<i>5-80</i>	<i>10-100</i>	<i>10-80</i>	<i>-10-70</i>
standardavvik	21	24	22	22
Vannfliker				
Størrelse, m²				
middelverdi	99	131	140	-
variasjonsbredde	<i>13,7-159,5</i>	<i>12,2-257,6</i>	<i>10,9-268</i>	-
standardavvik	62	110	129	-

4.3 Linjeanalyser

Plassering og egenskaper for individuelle linjer er vist i kapittel 3.4.3. Her presenteres kun forandringene i perioden 2007 til 2017 ved hjelp av statistikk for forekomst av tele, teledybde, markslag, sprekker og vegetasjon for alle linjene. Detaljert figureksempel gis for en av linjene.

4.3.1 Tele og markslag

Antall meter med tele langs analyselinjene, sammenlagt for alle linjene i Leirpullan, økte med 27 % i perioden fra 2007 til 2012, men var i 2017 omtrent samme som ved starten av overvåkingen. Forandringene av tele fordeler seg forholdsvis jevnt mellom analyselinjene. I 2012 hadde 73 % av den totale linjelengden tele, mot kun 57 % i 2007 og 58 % i 2017 (**Tabell 6**). Den største endringene i teleforekomst i perioden 2007-2017 har skjedd langs linje E (økning med 18 %) og linje A (reduksjon med 13 %). Endringene i teleutbredelse skyldes trolig hovedsakelig værfor-skjeller mellom de enkelte år. På tross av små endringer i telens utbredelse i perioden fra 2007 til 2017, tyder endringene i palsstørrelse og palshøyde (**Tabell 4**) på at den dominerende trenden er reduksjon i permafrost.

Middeldybden for telens forekomst langs palsdelene av analyselinjene var ved målingstidspunktet i 2017 ca. 97 cm med et standardavvik på 13 cm (**Tabell 6**). Sammenlignet med posisjonen i 2007 representerer dette en heving av middeldybden for telenivået med 14 cm, men det er relativt store variasjoner mellom og innen linjene, og mellom år. Middel for minimum teledybde for linjene var høyest i 2007 (81 cm) og laveste i 2012 (60 cm) (**Tabell 6**).

Tabell 6. Telens fordeling, frekvens og dybde for analyselinjene. © NINA 2018.

Linjenavn	Lengde, m	Frekvens, %			Gjennomsnitt dybde, cm*			Min. dybde*			SD dybde*		
		2007	2012	2017	2007	2012	2017	2007	2012	2017	2007	2012	2017
A	8	62,5	87,5	50,0	116,0	78,6	126,3	100	70	120	17,8	6,9	7,5
B	25	20,0	32,0	16,0	120,0	81,9	135,0	100	75	130	34,1	5,3	5,8
C	72	48,6	55,6	52,8	120,7	83,3	86,8	75	65	50	36,3	11,6	14,6
D	41	65,9	95,1	73,2	89,3	81,3	82,3	60	55	55	25,7	25,9	17,5
E	40	67,5	87,5	85,0	111,9	83,0	85,1	85	55	60	20,1	12,8	14,3
F	44	81,8	88,6	86,4	112,4	83,7	88,4	90	60	70	16,5	9,7	9,7
G	59	59,3	84,7	55,9	83,7	75,2	78,3	40	35	35	30,0	32,1	30,0
H	63	41,3	49,2	34,9	137,1	87,3	99,8	85	50	75	25,5	24,6	13,1
I	19	68,4	78,9	68,4	105,0	90,3	92,7	90	75	85	7,9	7,7	6,0
Sum/gj.snitt	371	57,3	73,2	58,1	110,7	82,7	97,2	80,6	60,0	75,6	23,8	15,2	13,2

*Beregninger basert kun på metre hvor tele forekommer; SD er standardavvik

Markslagsfordelingen langs linjene viser en del tydelige forandringer i overvåkingsperioden (**Tabell 7**), med økning av markslagene dam, vann og vegetasjonsdekte områder uten permafrost, og reduksjon av pals og bruddkant. Frekvensen av dam og vann er nesten fordoblet i løpet av analyseperioden 2007 til 2017, og bruddkant er redusert med ca. 50 %. Frekvensen av pals, som er det dominerende markslaget, var nesten konstant i de to første analyseårene da den utgjorde ca. 60 % av linjene. I 2017 var frekvensen av pals redusert med ca. 8 %. Økningen av damfrekvens er først og fremst forårsaket av vekst av dammer langs linje H. Økningen i markslagstypen vann er forårsaket av endringer langs linje G, samt at palsformasjonen som krysses av linjene A og B har sunket betraktelig i perioden 2007 til 2017 (**Figur 22**). Flere detaljer for markslagsforandringer i perioden 2007 til 2017 (per linje) er presentert i **Tabell 7**, og eksempler fra noen av linjene er presentert **Figur 23-27**.



Figur 22. En av de mindre palsene i Leirpullan viser en betydelig reduksjon i størrelse i perioden 2007 til 2017. Palsen krysses av linjene A og B. Vannstanden var noe forskjellig i de tre årene. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2018.

4.3.2 Sprekkfrekvens

Antallet sprekker per meter viser en tydelig nedgang i løpet av analyseperioden, men endringen varierer litt mellom breddeklassene. Linje F er ikke registrert med noen sprekker (**Tabell 8**). Antallet små sprekker viser størst reduksjon samtidig som store sprekker økte i 2012 og avtok i 2017. Den mest dominerende endringen i løpet av analyseperioden er redusert bruddkantfrekvens. Reduksjonen i små sprekker skyldes forandringer langs nesten alle linjene, men først og fremst langs linje D, E og G. Reduksjon i antall meter med bruddkant er registrert langs alle linjene unntatt linje G. Dette skyldes først og fremst at mange av palsenes kanter var høyere i 2007 enn i 2012 og 2017, og at deler av bruddkantene fra 2007 har rast sammen og forsvunnet ned i tilgrensende dammer.

Tabell 7. Endring i markslagsfordeling for individuelle analyserte linjer, angitt i antall meter og frekvens (%; i parentes). Markslag som har økt i periodene 2007-2012 og 2007-2017, er markert med fet skrift i totalberegningen og reduksjon er markert med kursiv rød skrift. © NINA 2018.

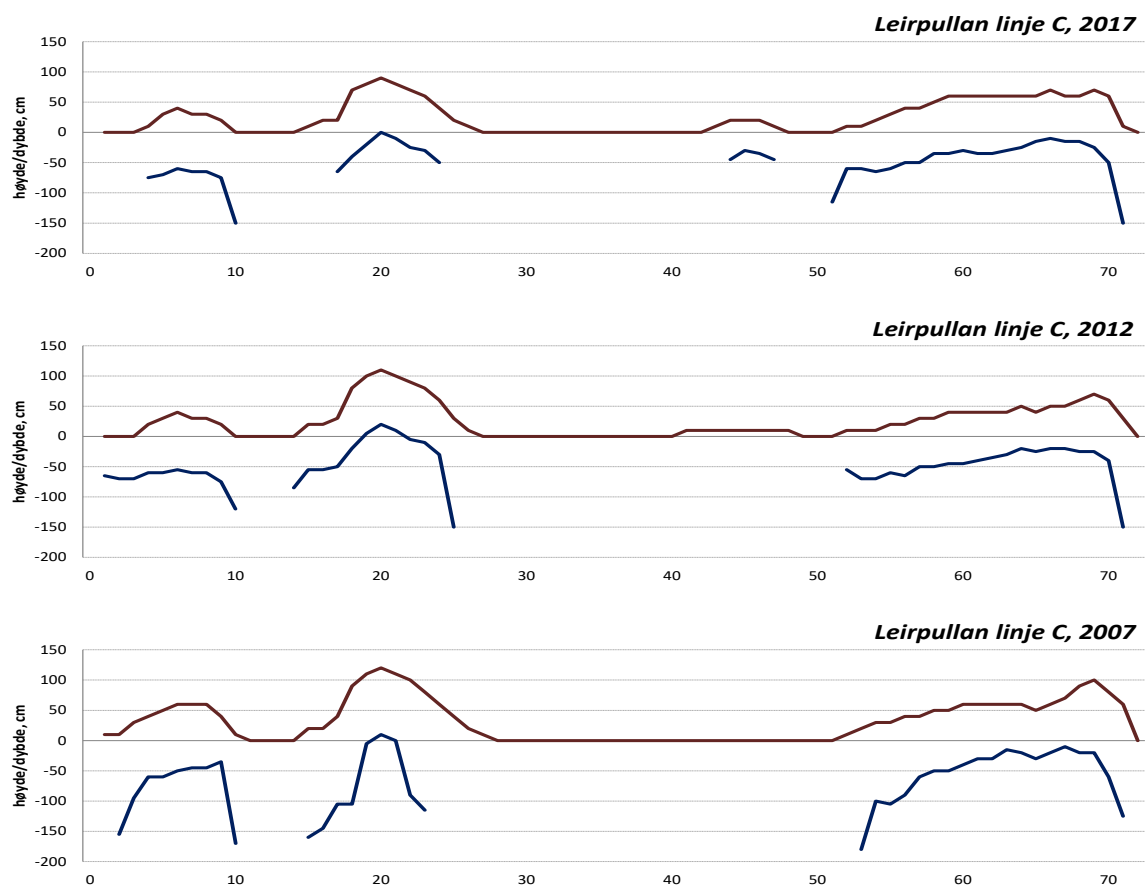
Markslag	A			B			C		
	2007	2012	2017	2007	2012	2017	2007	2012	2017
pals	5 (63)	2 (25)	4 (50)	4 (16)	3 (12)	4 (16)	36 (50)	35 (49)	32 (44)
dam	0	0	0	0	0	0	16 (22)	17 (24)	17 (24)
tidligere pals*	0	0	0	3 (12)	0	0	12 (17)	14 (19)	21 (29)
vann**	1 (13)	6 (75)	4 (50)	16 (64)	21 (84)	21 (84)	4 (6)	6 (8)	1 (1)
bruddkant	2 (25)	0	0	2 (8)	1 (4)	0	4 (6)	0	1 (1)
	D			E			F		
	2007	2012	2017	2007	2012	2017	2007	2012	2017
pals	28 (68)	29 (71)	27 (66)	22 (55)	33 (83)	32 (80)	38 (86)	39 (89)	38 (86)
dam	0	0	0	1 (3)	0	0	0	0	0
tidligere pals*	8 (20)	12 (29)	14 (34)	10 (25)	7 (17)	7 (17)	6 (14)	5 (11)	6 (14)
vann**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
bruddkant	5 (12)	0	0	7 (18)	0	1 (3)	0	0	0
	G			H			I		
	2007	2012	2017	2007	2012	2017	2007	2012	2017
pals	37 (63)	37 (63)	22 (37)	37 (59)	29 (46)	23 (37)	14 (74)	18 (95)	16 (84)
dam	0	0	0	5 (8)	15 (24)	20 (32)	0	0	0
tidligere pals*	18 (31)	16 (27)	19 (32)	18 (28)	17 (27)	19 (30)	0	0	0
vann**	0	0	9 (15)	0	0	0	1 (5)	1 (5)	1 (5)
bruddkant	4 (7)	6 (10)	9 (15)	3 (5)	2 (3)	1 (1)	4 (21)	0	2 (11)
	Total A-I								
	2007	2012	2017						
pals	221 (60)	225 (61)	198 (53)						
dam	22 (6)	32 (9)	39 (11)						
tidligere pals*	75 (20)	71 (19)	84 (23)						
vann**	22 (6)	34 (9)	36 (10)						
bruddkant	31 (8)	9 (2)	14 (4)						

*mark med vegetasjon men uten permafrost

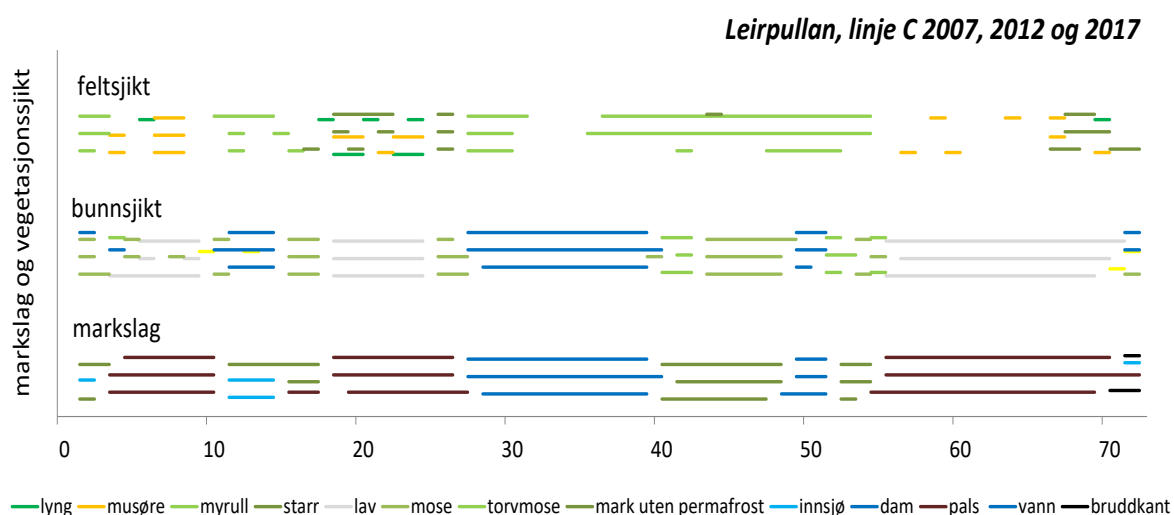
** innsjøvann som omkranser palsene

Tabell 8. Frekvens av sprekker langs linjene, fordelt på sprekkebredde og antall per meter totalt for linjene og per breddekategori. Bruddkant er gitt i total lengde (m) og inngår ikke i beregningen av antall sprekker per meter. © NINA 2018.

Linje- navn	Lengde, m	Antall sprekker									Antall per breddekategori									Bruddkant, m		
		Totalt			per meter			0-5 cm			6-10 cm			11-20 cm			21-50 cm					
		2007	2012	2017	2007	2012	2017	2007	2012	2017	2007	2012	2017	2007	2012	2017	2007	2012	2017	2007	2012	2017
A	8	4	0	0	0,50	0,00	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
B	25	7	2	0	0,28	0,08	0	2	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	2	1	0
C	72	9	8	3	0,13	0,11	0,04	1	3	1	2	2	0	2	0	0	3	1	4	0	0	1
D	41	22	7	2	0,54	0,17	0,05	8	0	0	5	4	1	4	3	1	0	0	0	5	0	0
E	40	17	7	6	0,43	0,18	0,15	7	1	0	2	3	3	1	2	2	0	1	0	7	0	1
F	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	59	13	13	9	0,22	0,22	0,15	8	3	0	0	3	0	1	0	0	1	0	4	6	9	
H	63	3	3	2	0,05	0,05	0,03	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1	
I	19	7	4	6	0,37	0,21	0,32	1	0	1	0	2	1	2	2	1	0	0	1	4	0	2
sum/middelv.		82	44	28	0,28	0,11	0,08	28	8	3	12	14	5	11	8	4	0	5	2	31	9	14



Figur 23. Høydestruktur og teledybde for linje C i 2007, 2012 og 2017. Brune linjer viser markhøyde og blå linjer teleforekomstens dybdenivå under overflaten. © NINA 2018.



Figur 24. Fordeling av markslag og dominerende vegetasjon for linje C i 2007, 2012 og 2017. De tre grupperingene med linjer viser markslagsvariabler (nedre linjegruppering), bunnsjiktsvariabler (nest nederst) og feltsjiktsvariabler (øverst). Innen hver gruppering vises informasjon for 2007 nederst og 2017 øverst. Fargekodenes betydning vises nederst i figuren. © NINA 2018.



Figur 25. Synkende pals langs linje C (foto fra linjestart). Foto: A. Hofgaard. © NINA 2018.



Figur 26. Pals med minkende størrelse langs linje E (foto fra linjestart). Foto: A. Hofgaard. © NINA 2018.



Figur 27. Dammen til venstre om linje G har i 2012 nesten vokst sammen med vannfliken til høyre, og i 2017 er den en del av vannfliken (foto fra linjestart). Foto: A. Hofgaard. © NINA 2018.

4.3.3 Artsfrekvens

Variasjonen i felt- og bunnsjikt ble i 2017 analysert for 12 palsoverflatelinjer og sammenlignet med målingene fra 2007 (11 linjer) og 2012 (17 linjer). Palsene i Leirpullan mangler busksjikt, men vier forekommer i lav frekvens, og da først og fremst i områder uten permafrost. Vegetasjonen på palsene er i de tre årene karakterisert av musøre, starr og krekling i feltsjiktet og av lav og mose i bunnsjiktet. Tilsammen dekker de mellom ca. 75 til 90 % av overflaten i de tre årene (**Tabell 9**). Samlet har feltsjiktsdominert vegetasjon økt med ca. 28 % fra 2007 til 2017, men variasjonen er relativt stor mellom år, og bunnsjiktsvegetasjonen er redusert tilsvarende. Økningen i feltsjiktsvegetasjonen skyldes til dels tydelige endringer i enkelte feltsjiktsarters frekvens mellom analyseårene, og at feltsjiktet totalt har økt fra en dekning på ca. en tredjedel av palsoverflatene i de to første årene til ca. 43 % i 2017. Noen av de mest påfallende frekvensendringene av arter/artsgrupper innen feltsjiktet er økning av krekling (*Empetrum* sp.) og starr sammen med reduksjon av myrull og musøre (**Tabell 9**). I bunnsjiktet har områder uten vegetasjon økt betydelig mellom 2007 og 2012, men blitt noe redusert over hele overvåkingsperioden. Lav er den dominerende komponenten totalt for de to sjiktene i alle tre år (43-45 %). Den registrerte nedgangen i musøre og myrull kan muligens skyldes forskjeller i beitepress (først og fremst av

moskus, reinsdyr og lemen) mellom analyseårene. Imidlertid er de registrerte endringene relativt små og kan til dels skyldes variasjoner i artslinjenes plassering mellom undersøkelsene i de tre årene.

Tabell 9. Endring i artssammensetning i palsoverflatens felt- og bunnsjikt fra 2007 til 2017. © NINA 2018.

Vegetasjons-sjikt	antall treff*			% dekning			% endring 2007-2017
	2007	2012	2017	2007	2012	2017	
Feltsjikt	187	238	261	34	28	43,5	27,9
Vier	1	0	0	0,2	0	0	-100
Musøre	75	83	53	13,6	9,8	8,8	-35
Krekling	18	46	87	3,3	5,4	14,5	343
Starr	46	44	70	8,4	5,2	11,7	39
Myrull	25	30	0	4,5	3,5	0	-100
Gras	14	22	29	2,5	2,6	4,8	90
Urter	7	13	18	1,3	1,5	3	136
Siv	1	0	4	0,2	0	0,7	267
Bunnsjikt	363	612	339	66	72	56,5	-14,4
Lav	239	364	267	43,5	42,8	44,5	2
Mose	64	100	44	11,6	11,8	7,3	-37
Strø	24	102	25	4,4	12	4,2	-5
Sand	6	43	1	1,1	5,1	0,2	-85
Vann	0	3	0	0	0,4	0	
Algae	30	0	0	5,5	0	0	-100
Ekskrement	0	0	2	0	0	0,3	

* analysene er basert på 11 linjer i 2007, 17 linjer i 2012 og 12 linjer i 2017

4.4 Menneskelige påvirkning

De vitenskapelige studiene av palsene i Leirpullan sommeren 1995 inkluderte detaljerte stratigrafiske studier av sedimentoppbyggingen i palsene, og av sedimentets kornstørrelse i frosne og tinte deler av utvalgte palser (Matthews et al. 1997). Disse studiene inkluderte graving av dype grøfter som medførte bestående skade i to av de utvalgte palsene (pals nr. 6 og 7, **Figur 12**). I en tredje pals (nr. 1, **Figur 12**) ble det utført mindre omfattende graving som ikke har gitt varige skader. I de to skadde områdene har deler av palsene falt sammen og områdene karakteriseres av vinderoderte og nesten vegetasjonsfrie sandfelter. Disse områdene er ikke inkludert i overvåkningsstudien. Forøvrig viser palsene i Leirpullan ingen tegn på direkte menneskelige forstyrrelser.

5 Diskusjon

Overvåkingen av palsområdet i Leirpullan viser en del raske endringer i palsenes struktur, permafrostens utbredelse og floristisk sammensetning på palsene, men også at det er en betydelig treghet i systemet. Flybilder fra 1963 viser omfattende utbredelse av store palser, men også tegn til pågående palsreduksjon som følge av klimaoppvarming 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 slutten av 1930-tallet, var omtrent like omfattende og rask som den i nyere tid (Hanssen-Bauer et al. 2015). Det er trolig at sporene etter tidligere palser, som vises som sandvoller og dypvannsområder 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 Leirpullan før den tid var svært lav.

Økt palsfrekvens langs linjene i 2012 og reduksjon i palsstørrelse i perioden 2007 til 2017 kan tilsynelatende være motstridende resultater, men er en konsekvens av kombinasjon av årlige variasjoner i telens utbredelse og langsiktige trender. Overvåkingen viser en relativt rask palsreduksjon i store deler av Leirpullan. Langtidsendringene i regionens klima styrer dynamikken i palsmyrsystemene, sammen med klimatiske ulikheter mellom år og eventuelle direkte menneskelige påvirkninger. Ettersom palsene i Leirpullan-området ikke viser tydelige tegn på forstyrrelse av menneskelig aktivitet, antas det at de dokumenterte endringene hovedsakelig har en klimatisk årsak. Årsakssammenhengene er imidlertid komplekse ettersom forandringene over tid ikke bare påvirkes av de direkte klimatiske effektene, men også av den årlige sedimenttilførselen til deltaet og endringer i vannføringskanalenes posisjon og dybde. Selv om palsformasjoner er sterkt klimatisk regulerte, så må man for palsutviklingen i Leirpullan ta hensyn til disse aspektene ved analyser av de enkelte palsene. Tilbakegang av palsene samlet sett er imidlertid høyst sannsynlig et resultat av en klimatisk prosess som har pågått over lang tid og er i tråd med forandringene mot et allerede varmere og fuktigere klima. Siden midten av 1980-talet har årsmiddeltemperaturen i regionen økt med ca. 1,5 °C. Selv om årsmiddeltemperaturen i Leirpullan trolig fortsatt ligger et godt stykke under null grader, er denne temperaturutviklingen ugunstig for palsenes vekst og overlevelse.

Palsformasjoner i de fragmenterte, sentrale delene av Leirpullan er mest følsomme for denne type klimaendring. De større og mer stabile palsene i vestre og østre deler av undersøkelsesområdet vil kunne eksistere over lengre tid, også i et relativt ugunstig klima. Det er også her palsvekst og nye palser har blitt registrert. De til synelatende kortlivede, nye palsene som ble registrerte i ett og samme område av Leirpullan fra 2007 til 2012, indikerer hvilke miljøvariabler som er særlig viktige for nydanning av palser. Det er kun i grunne områder med tykt lag av finkornet sediment som permafrost kan utvikles, men også andre forutsetninger må være tilstede, som lav vannstand og lite snø. Ved lav vannstand eksponeres sandbunnen slik at dyp markfrost kan utvikles, særlig om høsten og tidlig vinter. Dette forutsetter imidlertid at sandbunnen er fri fra snø mesteparten av den etterfølgende vinteren. Vindsituasjonen om vinteren er dermed en viktig faktor for dannelse, vekst og overlevelse av de nye palsene. Det er trolig at den relativt sett mer balanserte palsdynamikken i den vestre delen av Leirpullan kan forklares av forskjeller i sedimenttykkelse, vannsituasjon og snødekke mellom områdets ulike deler. Men det er også trolig at dersom trenden i regionens klima fortsetter, vil forutsetningene for permafrost kunne bli endret i negativ retning, også i disse delene.

For palsene der høyde, størrelse og teledybde ble målt ved studiene i 1995, var høyden ikke endret i de 12 årene frem til 2007, men det ble imidlertid registrert en reduksjon av middelhøyden med ca. 24 cm for perioden 2007 til 2017. Ettersom palshøyde er målt i relasjon til nivået for vannoverflaten, er variabelen avhengig av vannstanden ved de enkelte måletidspunktene. Dette medfører at endringen i palsenes gjennomsnittshøyde kan skyldes både reduksjon på grunn av

erosjon og forskjeller i vannstand mellom analysetidspunktene. Telens posisjon under palsoverflaten, som er uavhengige av vannstand ved måletidspunktet, gir derimot gode data på endringer mellom år. I gjennomsnitt lå telens posisjon ca. 10 cm dypere i 2007 og 2017 sammenlignet med 2012, og teleutbredelsen var nesten 30 % større i 2012 enn i de to andre analyseårene. De registrerte endringene i teledybde og teleutbredelse, skyldes imidlertid først og fremst ulike værforhold mellom analyseårene. Årstemperaturen var ca. 0,7 til 0,9 °C kaldere i 2012 sammenlignet med 2007 og 2017. Denne klimavariasjonen mellom år er avgjørende for hastigheten og trenden i den langsiktige utviklingen av palsene. Det er imidlertid stor usikkerhet omkring både hvor stor betydning værforholdene har for årlig variasjon i permafrostens utbredelse og for hastigheten til den langsiktige utviklingstrenden (Fronzek et al. 2009, Sannel 2010).

Til tross for et forverret klima for palsoverlevelse og palsvekst de senere tiår, viser en økning av tele i eldre palser og en ny permafrostgrunnet sandøy i 2012 at vekst av permafrost er mulig. Det er imidlertid lite trolig at nydannelse eller vekst av palsene vil kunne kompensere for tapet av eldre palsformasjoner, selv om embryonale palser kan forekomme tilfeldig. Det faktum at telens posisjon lå grunnere i 2012 enn i 2007 og 2017, viser at teledybde må brukes med forsiktighet som grunnlag for å trekke konklusjoner om en retningsbestemt forandring. Variasjonen i temperatur og nedbør mellom år påvirker teledybden mer enn den langsiktige klimændringen. For eksempel, sammenlignet med 2012, må man helt tilbake til begynnelsen og slutten av 1970-tallet for å finne tilsvarende tynt snødekke både vinter og vår over en rekke av år (**Figur 10**). De relativt beskjedne endringene over analyseperioden tyder på at palsbiotopen i Leirpullan sannsynligvis vil eksistere i mange tiår fremover. Denne vurderingen tar imidlertid ikke hensyn til en eventuell generell endring av telenivå og vegetasjon på palsene som vil kunne endre hastigheten til prosessen betraktelig. Selv om palser vil eksistere i det studerte området i mange tiår, vil en permafrostreduksjon føre til tydelige økologiske endringer. Dette fordi det nåværende palsdominerte deltaet vil bli forvandlet til et vanndominert delta uten høye øyer.

Artsfrekvensanalysene viser at bunnsjiktsdominansen økte i perioden 2007 til 2012, men minket i perioden 2007 til 2017. Større areal er derved dominert av feltsjiktsarter i 2017 enn ved starten av overvåkingen. Endringen i feltsjikket er relativt beskjeden og skyldes først og fremst økning i krekling og starr. De beskjedne feltsjikts-endringene og uendret frekvens av lavdekke er en relativt gunstig utvikling for langsiktig overlevelse av eldre palser. Reduksjonen i mark uten vegetasjon vil også være gunstig hvis den representerer en trend. De beskjedne endringene i feltsjikket medfører at lavvokst vegetasjon fortsatt dominerer palsene, noe som gir en overflatestruktur som begunstiger et tynnere og mindre isolerende snødekke om vinteren. Et tynt snødekke er en forutsetning for nedkjølingen av palsene om vinteren, mens bunnsjikket og dens endringer har størst betydning under varme deler av året. Særlig er mengden lavdekke av betydning om sommeren, da det innvirker på refleksjonen av solas varmestråling. En reduksjon i lavdekke og økning av mark uten vegetasjon vil føre til økt oppvarming av palsene. De to prosessene kan til sammen få stor påvirkning på palsvekst og palsoverlevelse, og i et varmere klima øker betydningen av palsoverflatens vegetasjon for palsenes overlevelse. Tilstedeværelse og sammensetning av felt- og bunnsjikt er derfor viktige komponenter i overvåkingen av palsmyrsystemer gjennom påvirkningen på telenivået og teleutbredelsen.

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 fire områder er gjenanalysert etter ti år (Ostojeaggi i 2014, Haukskardmyrin og Haugtjørnin i 2015, Goahteluoppal i 2016 og Leirpullan i 2017 presentert i denne rapporten). Overvåkingen rapporteres med årlige rapporter til Miljødirektoratet (se **Referanseliste 7.1**).

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

7 Referanser

7.1 Rapporter fra overvåkingsprosjektet

- Hofgaard, A. 2003. Effects of climate change on the distribution and development of palsa peatlands: background and suggestions for a national monitoring project. NINA Project Report 21. Norsk institutt for naturforskning.
- Hofgaard, A. 2004. Etablering av overvåkingsprosjekt på palsmyrer. NINA Oppdragsmelding 841. Norsk institutt for naturforskning.
- Hofgaard, A. 2005. Overvåking av palsmyr. Førstegangsundersøkelse i Ostojeaggi, Troms 2004. NINA Rapport 42. Norsk institutt for naturforskning.
- Hofgaard, A. 2006. Overvåking av palsmyr. Førstegangsundersøkelse i Dovre 2005, Haukskard-my-rin og Haugtjørnin. NINA Rapport 154. Norsk institutt for naturforskning.
- Hofgaard, A. 2007. Overvåking av palsmyr. Førstegangsundersøkelse i Gohteluoppal, Vest-Finnmark 2006. NINA Rapport 257.. Norsk institutt for naturforskning.
- Hofgaard, A. 2008. Overvåking av palsmyr. Førstegangsundersøkelse i Leirpullan, Sør-Trøndelag 2007. NINA Rapport 364. Norsk institutt for naturforskning.
- Hofgaard, A. 2009. Overvåking av palsmyr. Førstegangsundersøkelse i Ferdesmyra, Øst-Finnmark 2008. NINA Rapport 476. Norsk institutt for naturforskning.
- Hofgaard, A. & Wilmann, B. 2010. Overvåking av palsmyr. Første 5-årsundersøkelse i Ostojeaggi, Troms, 2009. NINA Rapport 586. Norsk institutt for naturforskning.
- Hofgaard, A. & Wilmann, B. 2011. Overvåking av palsmyr. Første 5-årsundersøkelse i Haukskard-my-rin og Haugtjørnin, Dovre. NINA Rapport 717. Norsk institutt for naturforskning.
- Hofgaard, A. & Myklebost, H.E. 2012. Overvåking av palsmyr. Første gjenanalyse i Gohteluoppal, Vest-Finnmark. Endringer fra 2006 til 2011. NINA Rapport 841. Norsk institutt for naturforskning.
- 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. Norsk institutt for naturforskning.
- Hofgaard, A. & Myklebost, H.E. 2014. Overvåking av palsmyr. Første gjenanalyse i Ferdesmyra, Øst-Finnmark. Endringer fra 2008 til 2013. NINA Rapport 1035. Norsk institutt for naturforskning.
- Hofgaard, A. & Myklebost, H.E. 2015. Overvåking av palsmyr. Andre gjenanalyse i Ostojeaggi, Troms. Endringer fra 2004 til 2014. NINA Rapport 1164. Norsk institutt for naturforskning.
- Hofgaard, A. & Myklebost, H.E. 2016. Overvåking av palsmyr. Andre gjenanalyse i Haukskardmyrin og Haugtjørnin, Dovre. Endringer fra 2005 til 2015. NINA Rapport 1258. Norsk institutt for naturforskning.
- Hofgaard, A. & Myklebost, H.E. 2017. Overvåking av palsmyr. Andre gjenanalyse i Gohteluoppal, Vest-Finnmark. Endringer fra 2006 til 2016. NINA Rapport 1353. Norsk institutt for naturforskning.

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 palsas mires and greenhouse gas feedbacks. Reports of Finnish Environment Institute 3/2009.
- Grove, J.M. 1988. *The Little Ice Age*. Methuen, London.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A. & Ådlandsvik, B. 2015. Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning i 2015. NCCS report no. 2/2015
- IPCC 2001. Working Group I Assessment Report, Climate Change 2001: The Scientific Basis (Summary for policymakers). www.gcric.org/online.html.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers. 10th session of Working group I of the IPCC. IPCC, Paris.
- Jones, M.C., Harden, J., O'Donnell, J., Manies, K., Jorgenson, T., Treat, C. & Ewing S. 2017 Rapid carbon loss and slow recovery following permafrost thaw in boreal peatlands. *Global Change Biology* 23: 1109-1127.
- Laberge, M.-J. & Payette, S. 1995. Long-term monitoring of permafrost change in a palsa peatland in Northern Québec, Canada: 1983-1993. *Arctic Alpine Research* 27: 167-171.
- Lauknes, T.R., Larsen, Y., Høgda, K.A., Tømmervik, H. & Hofgaard, A. 2012. Bruk av fjernmåling i palsmyrovervåking. NINA Rapport 803.
- Lid, J., Tande Lid, D. & Elven, R. 2005. *Norsk flora*. Det Norske Samlaget. Oslo.
- Luoto, M., Heikkinen, R. K. & Carter, T. R. 2004. Loss of palsa mires in Europe and biological consequences. *Environmental Conservation* 31: 1-8.
- Luoto, M. & Seppälä, M. 2002. Modelling the distribution of palsas in Finnish Lapland with logistic regression and GIS. *Permafrost and Periglacial Processes* 13: 17-28.
- Luoto, M. & Seppälä, M. 2003. Thermokarst ponds as indicators of the former distribution of palsas in Finnish Lapland. *Permafrost and Periglacial Processes* 14: 19-27.
- Matthews, J.A., Dahl, S.O., Berrisfjord, M.S. & Nesje, A. Cyclic development and thermokarstic degradation of palsas in the mid-alpine zone at Leirpullan, Dovrefjell, Southern Norway. *Permafrost and Periglacial Processes* 8: 107-122.
- Moen, A. 1999. National Atlas of Norway. Vegetation. Norwegian Mapping Authority, Hønefoss, Norway.
- 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.
- Sannel, A. B. K. 2010. Temporal and spatial dynamics in subarctic peat plateaus and thermokarst lakes. Doctoral Thesis in Physical Geography at Stockholm University, Sweden.
- Sannel, A.B.K., Hugelius, G., Jansson, P. & Kuhry, P. 2015. Permafrost warming in a subarctic peatland – which meteorological controls are most important. *Permafrost and Periglacial Processes* DOI: 10.1002/ppp.1862
- Sannel, A.B.K. & Kuhry, P. 2011. Warming induced destabilization of peat plateau/thermokarst lake complexes. *Journal of Geophysical Research* 116: G03035
- Seppälä, M. 1986. The origin of palsas. *Geografiska annaler*, A68, 141-147.
- Sollid, J.L. & Sørbel, L. 1998. Palsa bogs as a climate indicator – examples from Dovrefjell, Southern Norway. *Ambio* 27: 287-291.

The Habitats Directive 2007. Council Directive 92/43/EEC on the Conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. Consolidated version 1.1.2007. <http://ec.europa.eu/environment/nature/legislation/habitatsdirective>.

Vorren, K.-D. & Vorren, B. 1976. The problem of dating a palsa. Two attempts involving pollen diagrams, determination of moss subfossil, and C14-datings. *Astarte* 8: 73-81.

Wramner, P., Backe, S., Wester, K., Hedvall, T., Gunnarsson, U., Alsam, S. & Eide W. 2012. Förslag till övervakningsprogram för Sveriges palsmyrar. Länsstyrelsens rapportserie nr 16/2012. Länsstyrelsen i Norrbottens län, Sverige.

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).



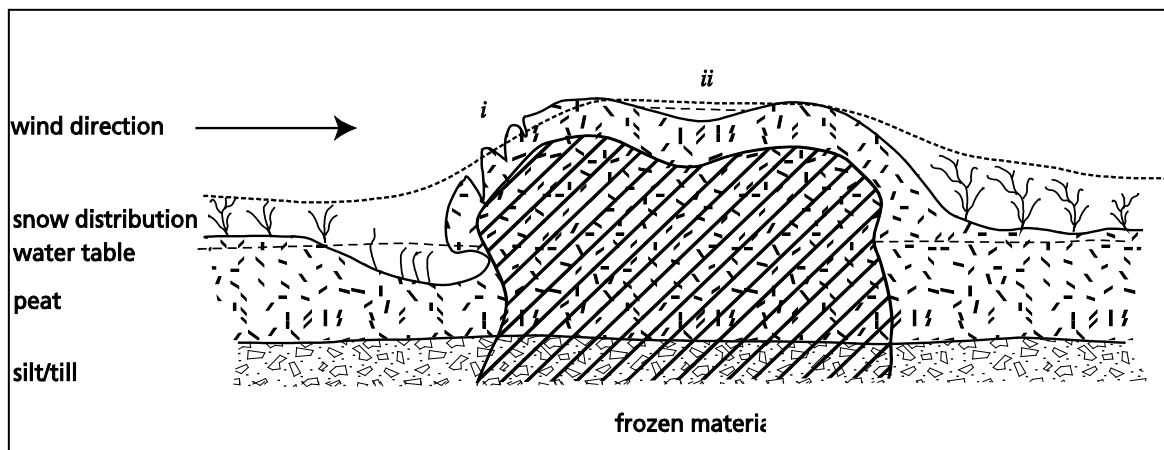
Figur V1. Kupolformad pals som höjer sig ca 2.5 m över den omgivande myrytan. Ferdesmyra, 5 juli 2004. Foto: A. Hofgaard. © NINA 2018.

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 2018.

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 storskaliga 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 2018.

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

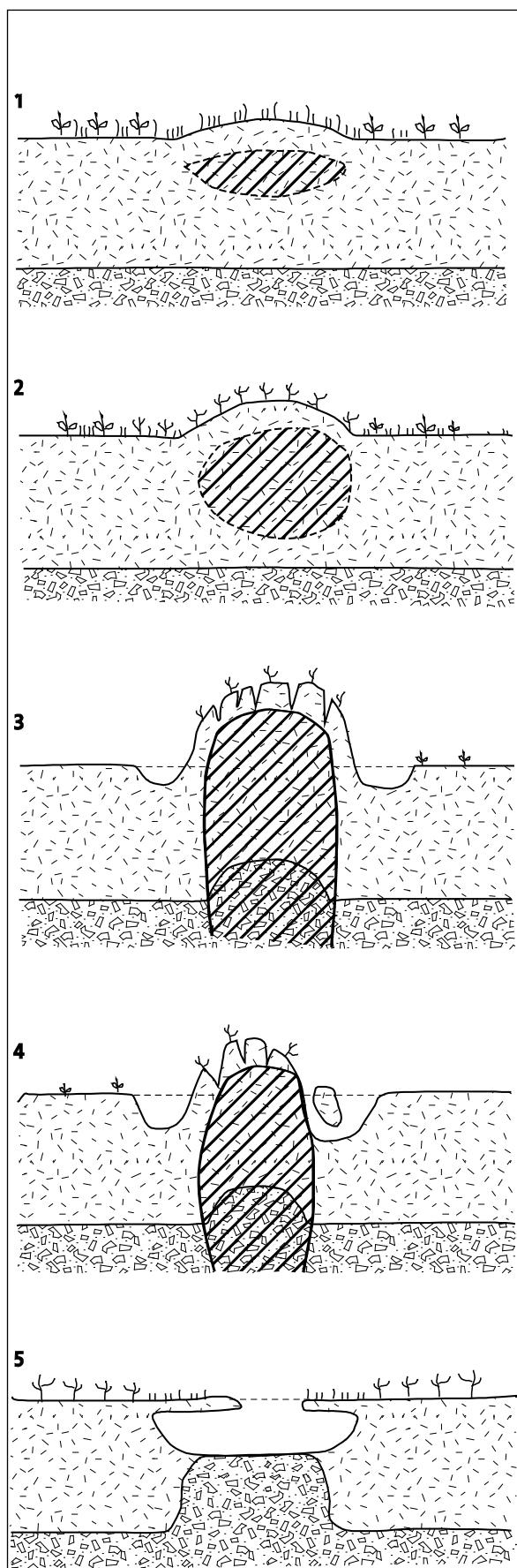
Lufttemperatur, snödjup och torvens isolerande förmåga är de tre dominerande faktorer som styr tillväxt och degenerering av palsar. Låga lufttemperaturer under både sommar och vinter är gynnsamt för palsutvecklingen, och snöns djup, fördelning och varaktighet under vintern är av essentiell betydelse 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 Temporal 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 myrytan 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 myrmiljö (Källa: främst Seppälä 1986).

© NINA 2018.

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

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

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

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

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

8.3.2 Rumsliga förändringar

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

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

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

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

8.4 Referanser til Vedlegg 1

- Bradley, R.S. & Jones, P.D. 1993. "Little Ice Age" summer temperature variations: their nature and relevance to recent global warming trends. *Holocene* 3: 367-376.
- Crawford, R.M.M. 2000. Ecological hazards of oceanic environments. *New Phytologist* 147: 257-281.
- Grove, J.M. 1988. *The Little Ice Age*. Methuen, London.
- Heimstra, C.A., Liston, G.E. & Reiners, W.A. 2002. Snow redistribution by wind and interactions with vegetation at upper treeline in the Medicine Bow Mountains, Wyoming, U.S.A. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 34: 262-273.
- Hofgaard, A. 2003. Effects of climate change on the distribution and development of palsa peatlands: background and suggestions for a national monitoring project. NINA Project Report 21. Norsk institutt for naturforskning.
- Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. & Maskell, K. (red.) 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 premafrost 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 Laivadalen, northern Sweden. *Geografiska Annaler* 84 A: 103-111.
- Zuidhoff, F.S. & Kolstrup, E. 2000. Changes in palsa distribution in relation to climate change in Laivadalen, northern Sweden, especially 1960-1997. *Permafrost and Periglacial Processes* 11: 55-69.
- Åhman, R. 1977. Palsar i Nordnorge. *Medd. Lunds Univ. Geografiska Institutionens Avhandlingar* 78.

*Norsk institutt for naturforskning, NINA,
er en uavhengig stiftelse som forsker på natur og
samspillet natur–samfunn.*

*NINA ble etablert i 1988. Hovedkontoret er i
Trondheim, med avdelingskontorer i Tromsø,
Lillehammer, Bergen og Oslo. I tillegg driver NINA
Sæterfjellet avlsstasjon for fjellrev på Oppdal,
og forskningsstasjonen for vill laksefisk på lms i
Rogaland.*

*NINAs virksomhet omfatter både fors–kning
og utredning, miljøovervåking, rådgivning og
evaluering. NINA har stor bredde i kompetanse og
erfaring med både naturvitere og sam–funnsvitere
i staben. Vi har kunnskap om artene, naturtypene,
samfunnets bruk av naturen og sammenhenger
med de store drivkreftene i naturen.*

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-3241-8

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 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