

Nationalmuseet Bevaring & Naturvidenskab



Vurdering af bevaringsforhold og trusler ved Qajaa:

Rapport over feltarbejde i perioden 2009-2014

Vurdering af bevaringsforhold og trusler ved Qajaa: Rapport over feltarbejde i perioden 2009-2014

Rapport fra
Bevaring & Naturvidenskab
Nationalmuseet
IC Modewegsvej
DK-2800 Lyngby

Sagsnummer 10871572
Dato: 3-12-2014

Udarbejdet af:
Henning Matthiesen & Jørgen Hollesen

Resumé:

Qajaa på sydsiden af Ilulissat Isfjord er blevet besøgt i alt 6 gange i perioden 2009-2014 for at vurdere bevaringsforholdene og trusler mod pladsen. Denne rapport beskriver de enkelte besøg, hvilke undersøgelser der er foretaget, samt udvalgte resultater. Arbejdet har blandt andet omfattet opmåling af pladsen, sammenligning med beskrivelser og fotos fra tidligere besøg, opstilling af vejrstation og automatisk kamera, modelforsøg med nedbrydning *in situ* og i laboratoriet, samt modellering af nutidig og fremtidig optøning og nedbrydning. Rapporten er vedlagt en DVD med opmålinger og overvågningsdata fra Qajaa, samt en række digitale fotografier, der giver et indtryk af pladsens tilstand anno 2014

På baggrund af resultaterne vurderes det, at både den fysiske og kemisk/mikrobielle nedbrydning ved Qajaa går langsomt, og at det ikke er nødvendigt at foretage afbødende tiltag eller deciderede nøddudgravninger hér og nu. Det anbefales at genbesøge pladsen om 5-10 år for at bekræfte, om vurderingerne i denne rapport holder stik.

Indhold

| | |
|---|----|
| Indledning:..... | 3 |
| Oversigt over besøg:..... | 3 |
| Opmåling, referencepunkter og havniveau..... | 6 |
| Udgravning, afrensning og prøvetagning ved feltbesøgene | 8 |
| Erosion af møddingen..... | 10 |
| Vejr og klima | 17 |
| Optøning..... | 22 |
| Kemisk/mikrobiel nedbrydning | 23 |
| Videre arbejde | 24 |
| Formidling..... | 25 |
| Referencer | 28 |

Indledning:

Bopladsen Qajaa på sydsiden af Ilulissat Isfjord blev besøgt i 2009 af et tværfagligt hold forskere fra Grønland og Danmark. Besøget var initieret af Grønlands Nationalmuseum og finansieret af KVUG (Andreasen 2010). På baggrund af besøget blev der planlagt et forskningsprojekt om bevaringsforholdene ved Qajaa, med fokus på effekten af klimaændringer. Forskningsprojektet var et samarbejde mellem Nationalmuseerne i Danmark og i Grønland, samt Center for Permafroststudier (CENPERM) ved Københavns Universitet. Det blev finansieret af Augustinusfonden via Nationalmuseets satsningsområde Nordlige Verdens og omfattede fem besøg på pladsen i perioden 2010-2014, opsætning af automatisk overvågningsudstyr, samt en række undersøgelser af tilstand og sårbarhed af materialer fra Qajaa.

Formålet med nærværende rapport er at give en kortfattet oversigt over besøgene, hvilke undersøgelser der er foretaget, samt nogle af resultaterne. Det er ikke formålet at diskutere resultaterne i detaljer, i stedet henvises til publicerede videnskabelige artikler. Rapporten er vedlagt en DVD med opmålinger og overvågningsdata fra Qajaa, samt en række digitale fotografier, som giver et indtryk af pladsens tilstand anno 2014. For fuldstændighedens skyld er der også beskrevet prøvetagning til undersøgelse af DNA i jorden, som blev foretaget ved feltbesøgene i 2009 og 2010 af Naturhistorisk Museum ved Københavns Universitet.

Oversigt over besøg:

Der har i perioden været foretaget 6 besøg, hvoraf de to første var af ca. en uges varighed og indbefattede prøvetagning af arkæologisk materiale, mens de fire sidste mere havde karakter af tilsyn.

2009, 1.-8. august, transport med helikopter begge veje.

Opgaver: Installere overvågningsudstyr til måling af jordtemperatur, varmeledningsevne og vandindhold; måle optøningsdybde; dokumentere erosionsfront; afklare arealet af boplads og mødding; opmåle området med præcisions GPS; udtage boreprøver fra møddinglagene til nedbrydningsstudier og DNA analyser; rekognoscere i oplandet.

Deltagere: Claus Andreasen (souschef; arkæolog; Grønlands Nationalmuseum og Arkiv, Nuuk), Bjarne Grønnow (forskningsprofessor, arkæolog; Etnografisk Samling, Nationalmuseet, Danmark), Eske Willerslev (Professor, dr. scient., Statens Naturhistoriske Museum, Centre of Excellence in Ancient Genetics and Environments, Københavns Universitet), Maanasa Raghavan (PhD-stipendiat; Statens Naturhistoriske Museum, Centre of Excellence in Ancient Genetics and Environments, Københavns Universitet), Bo Elberling (Professor, dr. scient., Institut for Geografi, KU & Professor II, The University Centre in Svalbard, UNIS, Norway), Christian Juncker Jørgensen (PhD-stipendiat; Institut for Geografi, KU), Henning Matthiesen, (PhD, seniorforsker, Bevaringsafdelingen, Nationalmuseet), Morten Meldgaard (direktør, dr. scient., Statens Naturhistoriske Museum).

Gæster: Journalist Ivars Silis boede med holdet i halvdelen af tiden, og der var desuden besøg af borgmester Jens Svane og kommunaldirektør Sigvard Hvidsteen.

Feltarbejdet var finansieret via en ansøgning til Kommissionen til videnskabelige undersøgelser i Grønland (KVUG). Der foreligger en særskilt afrapportering fra besøget (Andreasen 2010).

2010, 19.-26. august, transport med helikopter begge veje.

Ved feltarbejdet i 2010 var der tale om 2 separate projekter (bevaringsundersøgelser og DNA-analyser) som delte logistik og i øvrigt havde et nært samarbejde.

Opgaver: dokumentere erosionsfront for at undersøge ændringer; måle optøningsdybde; måle ilt-koncentrationer i jorden; foretage supplerende GPS målinger; etablere højdefixpunkt og lokalt normal-nul; installere supplerende udstyr til overvågning (vind, lufttemperatur, lufttryk, snedybde, vandstand, fotos); foretage prøveudtagning til undersøgelse af bevaringstilstand; lave profilafræk til brug ved formidling ved NKA. For det andet projekt var formålet at udtage boreprøver fra selve møddinglagene til DNA analyse, og dokumentere arbejdet via filmatisering til National Geographic

Deltagere: Hans Lange (arkæolog; Grønlands Nationalmuseum og Arkiv, Nuuk), Henning Matthiesen, (PhD, seniorforsker, Bevaringsafdelingen, Nationalmuseet), Jørgen Hollesen, (PhD, forsker, Bevaringsafdelingen, Nationalmuseet), Jan Bruun Jensen, (konservator, Bevaringsafdelingen, Nationalmuseet), Jesper Stub Johnsen (PhD, afdelingsleder, Bevaringsafdelingen, Nationalmuseet). I perioden 19.-24. august Eske Willerslev (Professor, dr. scient., Statens Naturhistoriske Museum, Centre of Excellence in Ancient Genetics and Environments, Københavns Universitet), Maanasa Raghavan (PhD-stipendiat; Statens Naturhistoriske Museum, Centre of Excellence in Ancient Genetics and Environments, Københavns Universitet), Morten Meldgaard (direktør, dr. scient., Statens Naturhistoriske Museum). I perioden 20.-24. august et filmhold på 3 personer fra National Geographic.

Gæster: Nils O. Andersen, dekan for Naturvidenskabeligt fakultet, Københavns universitet (kort besøg den 20/8).

Feltarbejdet i 2010 var finansieret fra flere kilder: overvågningen af Qajaa var finansieret via en bevilling fra Augustinus fonden (Nordlige Verdener). Prøveudtagning til DNA analyser var finansieret via Centre of Excellence in Ancient Genetics and Environments.

2011, 23. februar, transport med hundeslæde

Opgaver: Hente overvågningsdata, skifte batterier, måle snedybder og –densiteter

Deltagere: Bo Elberling (Professor, dr. scient., Institut for Geografi, KU & Professor II, The University Centre in Svalbard, UNIS, Norway), Jørgen Hollesen, (PhD, forsker, Bevaringsafdelingen, Nationalmuseet). Desuden Fritz Johansen (fanger, Ilimanaq) og dennes søn Ovi Johansen som stod for transporten.

Besøget var finansieret af Augustinusfonden (Nordlige Verdener), samt Norden Arctic Co-operation programme (projekt om drivhusgasser)

2011, 17.-22. juli, transport med jolle

Opgaver: Hente overvågningsdata; dokumentere erosionsfront; måle optøningsdybde; tilse udstyr; skifte batterier; installere regnmåler; hjemtage moderne træprøver; hjemtage grusprøve til mulig OSL-datering

Deltagere: Bo Elberling (Professor, dr. scient., Institut for Geografi, KU & Professor II, The University Centre in Svalbard, UNIS, Norway), Henning Matthiesen, (PhD, seniorforsker, Bevaringsafdelingen, Nationalmuseet). Desuden Fritz Johansen (fanger, Ilimanaq) og dennes søn Ovi Johansen, som stod for transporten.

Gæster: Bo Elberlings og Henning Matthiesens familier

Besøget var finansieret af Augustinusfonden (Nordlige Verdener), samt Norden Arctic Co-operation programme (projekt om drivhusgasser)

2012, 14.-15. september, transport med helikopter

Opgaver: Hente overvågningsdata; dokumentere erosionsfront; måle optøningsdybde; dokumentere sprækker; tilse udstyr; skifte batterier; hjemtage vandstandslogger; hjemtage kamera; installere moderne træprøver. Profil A blev tildækket med tørv for at undersøge om det kunne trække permafrosten ud i de ydre kulturlag.

Deltagere: Henning Matthiesen (PhD, seniorforsker, Bevaringsafdelingen, Nationalmuseet), Jørgen Hollesen (PhD, forsker, Bevaringsafdelingen, Nationalmuseet), Michael Nielsen (arkæolog, midlertidig leder af Ilulissat museum).

Besøget var finansieret af Augustinusfonden (Nordlige Verdener).

2014, 3.-5. september, transport med helikopter

Opgaver: Hente overvågningsdata; dokumentere erosionsfront; måle optøningsdybde; dokumentere sprækker; måle ilt i jorden; undersøge effekt af tildækning af profil A; hjemtage vejrstation; hjemtage moderne træprøver. Der blev desuden foretaget rekognoscering efter grave, huse, rævefælder mm omkring Qajaa.

Deltagere: Henning Matthiesen (PhD, seniorforsker, Bevaringsafdelingen, Nationalmuseet), Jørgen Hollesen (PhD, seniorforsker, Bevaring & Naturvidenskab, Nationalmuseet), Pauline Knudsen (arkæolog, Grønlands Nationalmuseum).

Besøget var finansieret af Augustinusfonden (Nordlige Verdener)

Opmåling, referencepunkter og havniveau

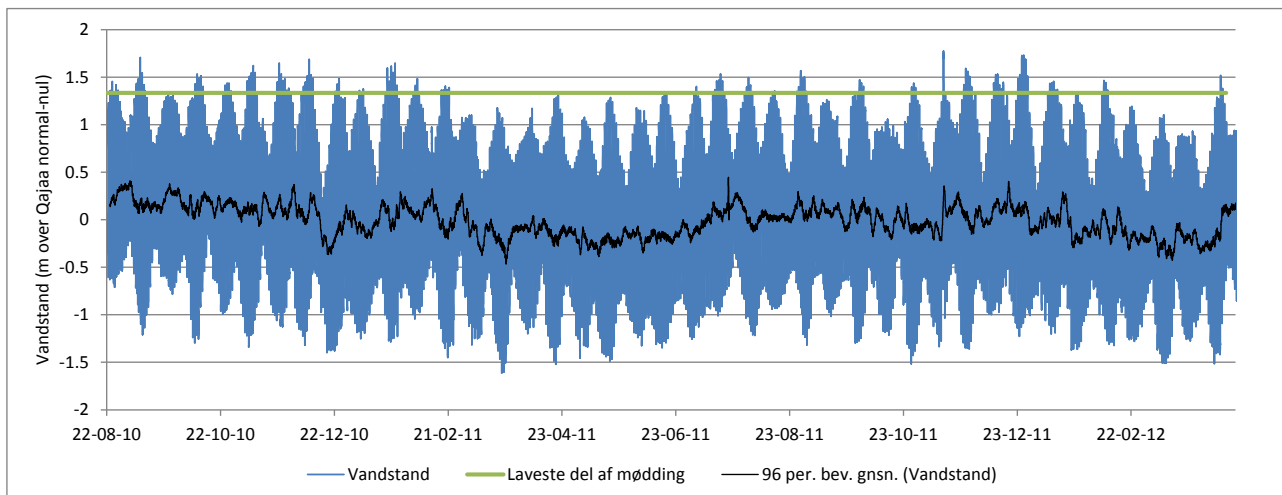
Der er foretaget en opmåling af pladsen med præcisions DGPS for at få et overblik over pladsen omfang, og for at kunne dokumentere eventuelle ændringer fremover. Opmålingen er sket vha. Trimble R8 DGPS i 2009 og 2010 med en nøjagtighed på ca 1-3 cm efter re-processering af data. Ved senere besøg er opmåling sket vha. håndholdt GPS, med en anslået nøjagtighed på ca. 5 m. Der er etableret et højdefixpunkt ved Qajaa, kaldet "ccj-fix", markeret med en cirkel boret ned i klippen (figur 1). Positionen er indmålt ved DGPS i 2009 til **N 7668664.50, E 511751.95 (UTM zone 22N, WGS1984)**. Højden angives af DGPSen til 36.43 m, men da geoiden ikke passer særlig godt ved Qajaa har vi selv måttet finde et højde normal-nul og korrigere alle DGPS data i forhold til det. Den absolutte højde er vigtig i forhold til at vurdere eventuelle ændringer i havniveauet fremover.



Figur 1: Fixpunkt "ccj-fix". Fotos Pauline Kleinschmidt Knudsen, 2014.

Normal-nul er fundet ud fra vandstandsmålinger. Ved besøget i 2009 blev der foretaget manuelle målinger til etablering af et midlertidigt normal-nul, mens der i 2010 blev monteret en automatisk vandstandsmåler til at give et endeligt normal-nul. Loggeren (en Cera-Diver) blev monteret ved punktet "Vandfix10" (syd for pladsen) hvor den har målt vandstanden hver 15. minut fra august 2010 til april 2012. Målingerne er kompenseret for ændringer i lufttrykket (målt vha. en BaroDiver). Den gennemsnitlige vandstand gennem det første år er beregnet, og herudfra er beregnet et Qajaa normal-nul (figur 2).

Ifølge vandstandsloggeren ligger punktet "Vandfix10" 0.71 m over middelvandstanden (gennemsnit for året 22/8/2010-22/8/2011). DGPS måler højden af Vandfix10 til 28.73 m, dvs alle DGPS data skal fratrækkes 28.02 m for at få "m over Qajaa normal nul". Fixpunktet "ccj-fix" ligger dermed i højden $(36.43 - 28.02) = 8.41$ m over QNN (bemærk at den præcise højde først kunne etableres i 2012 – i tidligere rapporter og artikler er alle absolutte højder angivet 0.19 m lavere, idet alle DGPS data blev fratrukket 28.21 m).



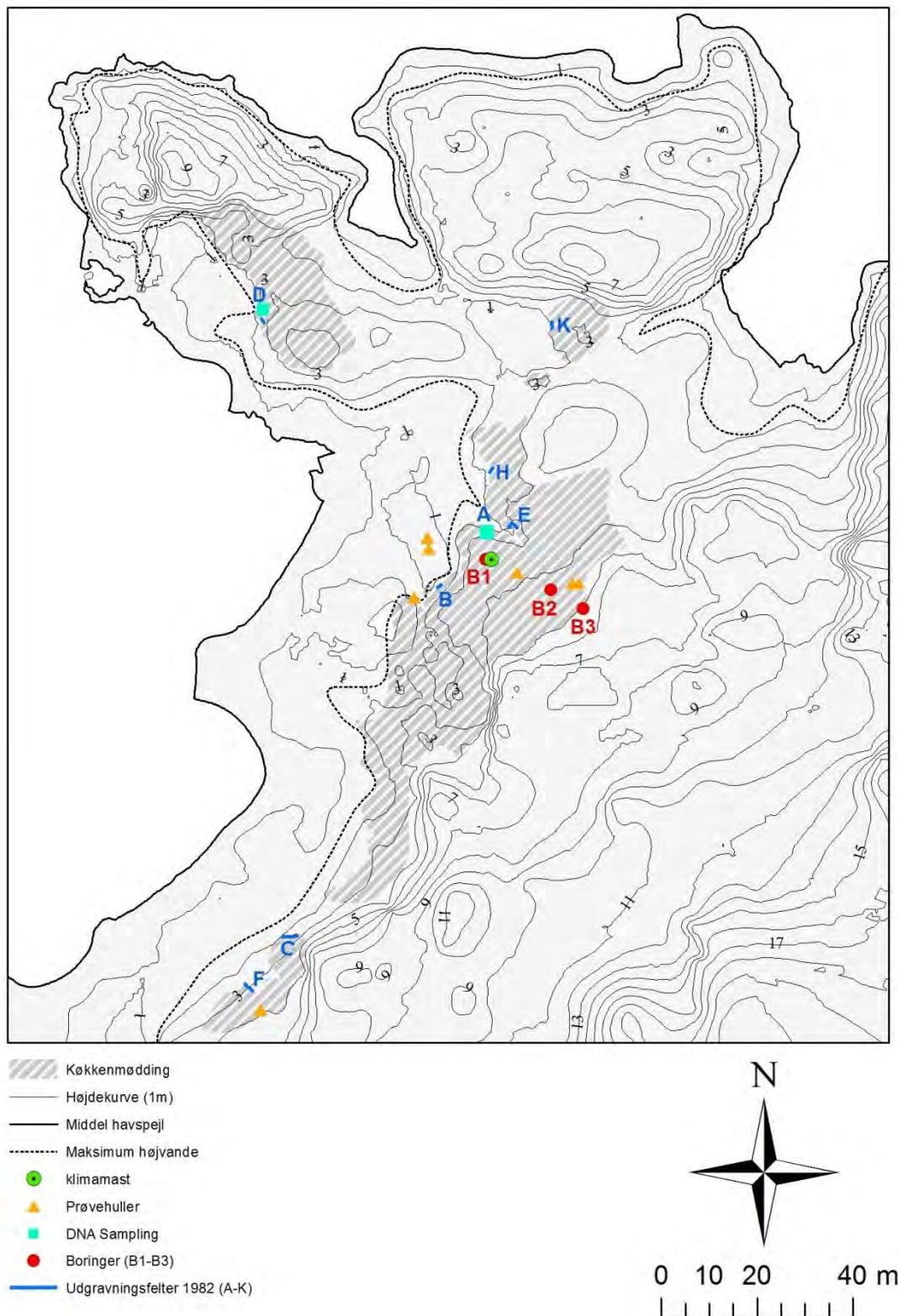
Figur 2: Vandstanden målt ved punktet "Vandfix10" hvert 15. minut. Den sorte linje viser døgn-midler (bevægeligt gennemsnit), mens den grønne linje viser den laveste, synlige del af møddingen

De laveste dele af møddingen ligger omkring 1.3 m over QNN (markeret med streg i figur 2). Det betyder, at havvandet når helt op til møddingen ca. 15 gange om året, i forbindelse med springflod. Figur 3 viser et billede fra den 23-08-2010 kl 22, hvor vandstanden er 1.36 m over QNN. De højest registrerede vandstande ligger omkring 1.7 m over QNN. Der er målt ledningsevne i kulturlagene udvalgte steder i erosionsfronten som bekræfter påvirkningen fra saltvand, idet målingerne viser forhøjet ledningsevne i lagene op til ca 1.5-1.7 m over QNN. Det er tænkeligt, at saltvandspåvirkningen er med til at optø de ydre lag i møddingen, men det er ikke undersøgt i detalje.



Figur 3: Foto af erosionsfront fra den 23-08-2010 kl 22, hvor vandstanden iflg. loggeren er 1.36 m over QNN

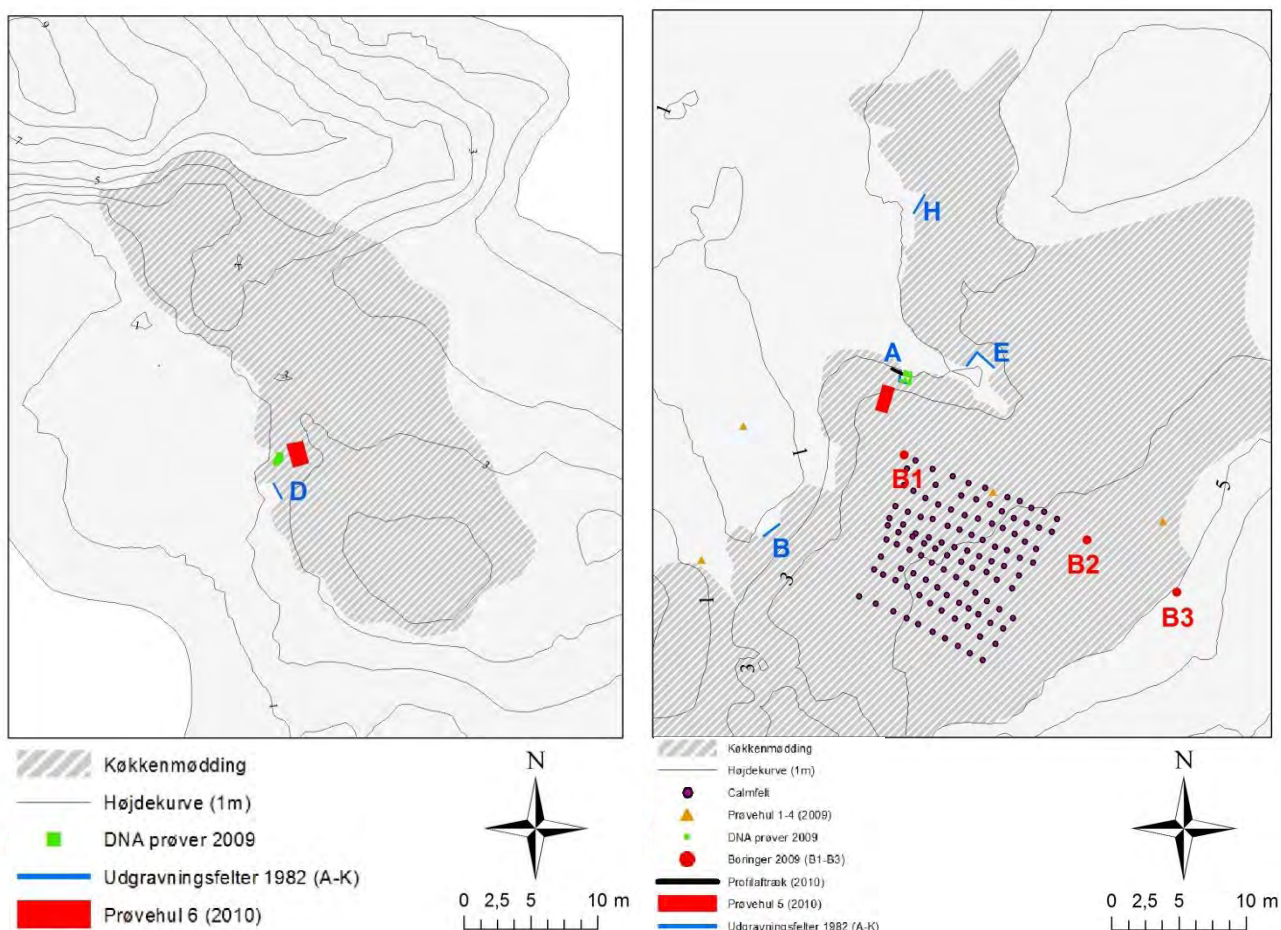
Udgravning, afrensning og prøvetagning ved feltbesøgene



Figur 4: Oversigtskort over møddingen med markering af de forskellige undersøgelser som er foretaget i 1981-82 og 2009-14. Den markerede højvandslinie er opmålt ved vandstanden 1.3 m under besøg i 2010 – ved årets højeste springflod kan vandet komme ca. 40 cm højere op.

Ved besøget i august 2009 blev der foretaget 3 borer (boring 1-3) ned gennem møddingen (figur 4+5). Boringerne har en diameter på ca. 8 cm. Ved boring 1 (3 m dyb) blev der installeret temperatursensorer i forskellige dybder i borehullet, der blev installeret sensorer til måling af vandindhold og varmeledningsevne i et 32 cm dybt hul ved siden af, og vejrstationen stillet ovenpå. Der blev lavet 4 små prøvehuller (hul 1-4) på ca. ¼ m² og 22-35 cm dybde nedenfor Thulehusene (Andreasen 2010). Profil A blev blotlagt, idet den nederste ca. ½ m var dækket af et lag grus og sten. Der blev foretaget en overfladisk afrensning af profil A (ca. 2 m bred, 1½ m høj og 2-3 cm dyb) til dokumentation og forskellige miljømålinger, samt en afrensning ved profil D. Endelig blev en del af profil A rensed af ind til permafrosten for at kunne udtage frosne prøver til DNA bestemmelse (ca. 1 m bred, 1½ m høj og ca. 10-50 cm dybt). Efter prøveudtagningen blev bunden af profil A igen tildækket med grus og sand, for at beskytte kulturlagene.

Ved besøget i august 2010 blev bunden af profil A igen afdækket for at lave et profilafræk, som nu er udstillet på Nationalmuseet i Nuuk. Der blev gravet to huller: Prøvehul 5 og 6 ved hhv. profil A og profil D (ca. 1 m lange, 50 cm brede og 30 cm dybe) til udtagning af DNA prøver. Efter prøveudtagning blev profil A samt de to huller atter tildækket. Der blev etableret en lille stenvold på stranden foran Profil A og E, som var tænkt til at virke som bølgebryder, hvis der kommer større bølger.



Figur 5: Detail-kort som viser hvor der er foretaget undersøgelser og indgreb i 2009 og 2010. For en nærmere beskrivelse af prøvehullerne fra 2009 henvises til Andreasen (2010), og for prøvehullerne fra 2010 henvises til Hans Lange og Eske Willerslev. Kort og forklaring ses bedst i elektronisk version af rapporten.

Ved besøgene i 2011, 2012 og 2014 blev der ikke foretaget nye udgravninger eller afrensninger. Som et forsøg blev de øvre dele af profil A tildækket med græstørv i 2012, efter at der var anbragt moderne træprøver og TinyTag temperaturloggere yderst i profilen. I 2014 kunne det konstateres, at tildækningen med tørv havde medvirket til nedfrysning af kulturlagene (figur 6). Der blev hjemtaget nogle få træprøver og knogleprøver i sterile fundposer.



Figur 6: Dele af profil A blev i 2012 tildækket med et 20 cm tykt lag af tørv. Ved besøget i september 2014 kunne det konstateres, at tørven havde medvirket til at trække permafrosten længere ud, så kulturlagene under tørven var frosne, mens kulturlagene ved siden af var optøet til en dybde af ca. 20 cm. På billedet er de øverste tørv midlertidigt fjernet, for at få adgang til temperatursensorer og moderne træprøver (markeret med hvide labels midt i billedet).

Erosion af møddingen

Møddingen er karakteriseret ved flere stejle erosionsfronter og dybe sprækker, og i forhold til bevaring er det vigtigt at undersøge, om der fortsat sker erosion og sprækkedannelse og i givet fald med hvilken hastighed. Dette vurderes ved at sammenligne møddingens tilstand i dag med Meldgaards beskrivelse og fotos fra 1982, og ved at foretage en systematisk fotografering af erosionsfront og sprækker ved hvert feltbesøg. Alle fotos er samlet på den vedlagte DVD, og udvalgte fotos vises nedenfor. En detaljeret gennemgang af erosionsfronten og identifikation af gamle udgravningsprofiler blev foretaget af Bjarne Grønnow i 2009 – denne beskrivelse findes ligeledes på den vedlagte DVD.



Felt C i 2009

Felt C under udgravning, 1982

Figur 8: sammenligning af Felt C i 2009 og 1982.



Profil A i 2009

Profil A i 1982

Figur 9: sammenligning af profil A i 2009 og 1982.



Felt E i 2012



Felt E under udgravning i 1982

Figur 10: sammenligning af Felt D i 2012 og 1982.



Profil D i 2009



Profil D i 1982



Figur 11: sammenligning af profil D i 2009 og 1982.

Udvikling fra 2009-2014

Der er kun sket minimale synlige ændringer med møddingen i perioden 2009-2014, hvilket også dokumenteres af de optagne fotos på den vedlagte DVD. Kun 3 steder er der set ændringer i løbet af de 5 år: ved profil D, hvor en blok på 0.02 m^3 er faldet ned 2009-2010 og siden forsvundet (figur 12), ved profil C, hvor en udhængende blok på ca 0.1 m^3 er gledet lidt længere ned (figur 13), og nær profil B, hvor en større blok på ca 1 m^3 er skredet ca. $\frac{1}{2} \text{ m}$ ned (figur 14). Ved profil B ligger der desuden en mindre blok på stranden, som er blevet flyttet nogle m i perioden 2009-2014, enten ved påvirkning af tidevand eller is.



Profil D, 2009 (foto IMG_0900)



Profil D, 2010 (foto 20100825_1417). En blok er faldet ned.

Figur 12: Sammenligning af profil D i 2009 og 2010



Profil C, 2009 (foto IMG_0847)



Profil C, 2014 (foto IMG_4000, udsnit). Blok i forgrunden af billedet er gledet lidt længere ned

Figur 13: Sammenligning af profil C i 2009 og 2014



Område ved felt B, 2009 (foto IMG_0862, udsnit)



Område ved felt B, 2014 (foto IMG_3669). Blok til venstre i billedet er skredet ned, blok på stranden er flyttet nogle meter mod venstre

Figur 14: Sammenligning af område nær felt B i 2009 og 2014

Mht. sprækkedannelse så har optagelser af større sprækker i 2012 og 2014 ikke vist nogen synlig ændring, og de fleste større sprækker var allerede indtegnet på Jørgen Meldgaards tegning fra 1982. Et eksempel på sammenligning er vist nedenfor (figur 15).



Sprække IX, 2012



Sprække IX, 2014

Figur 15: Sammenligning af sprække i 2012 og 2014

Vurdering, erosion

Samlet vurderes det, at erosionen foregår meget langsomt i dag. Møddingen er meget opsprækket bag ved erosionsfronten, og der vil være en naturlig proces, hvor det opsprækkede materiale skrider ud over fronten og ned mod grus-stranden. Det vurderes, at hastigheden er op til nogle få cm om året, og mange steder sker der tilsyneladende ingenting. Havet når helt op til bunden af møddingen, men der er kun begrænset bølgeaktivitet, som kan undergrave møddingen forfra – dels fordi der næsten aldrig er pålandsvind (figur 19), dels fordi isen i fjorden dæmper alle bølger. Isen er ligeledes med til at dæmpe bølger fra rullende eller kælvende isbjerge, og i de perioder vi har besøgt Qajaa (i alt 25 feltdage) har vi højst set bølger af få cm højde nå ind til møddingen. Ved et besøg om vinteren (februar 2011) blev det observeret, at erosionsfronten var pakket ind i en "fane" af frossen sne, som kan være med til at beskytte mod eventuelle bølger om vinteren. Det er tidligere vurderet, at landhævningen i området kan holde trit med havstigningen (Elberling et al 2011), så det forventes ikke, at kysterosionen øges i den nærmeste fremtid. Til gengæld kan det ikke udelukkes, at der sker en erosion bagfra, når regnvand og smeltevand strømmer ned over møddingen gennem netværket af sprækker.

Det vurderes, at de erosionsfronter man ser i dag til en vis grad er en gammel skade, som kan være dannet ved nogle voldsomme erosionshændelser indenfor perioden ca. 1750 (hvor pladsen forlades) og 1982 (hvor Meldgaard besøger pladsen). Der er fundet et groft gruslag lige under græstørven på store dele af pladsen (typisk op til ca. 5 m over QNN, med nogle få forekomster op til 8 m over QNN), som f.eks. kunne stamme fra en eller flere voldsomme flodbølger, som har skyllet ind over pladsen og borteroderet dele af den. Hypotesen er dog ikke endeligt bekræftet og det er således også svært at vurdere, om noget tilsvarende kunne ske i dag. Jens Fog Jensen har for nyligt fundet en skitse i Nordenskiölds feltbog, som kan tyde på, at erosionen primært er sket efter Nordenskiölds besøg i 1870 (Jensen, pers.medd).

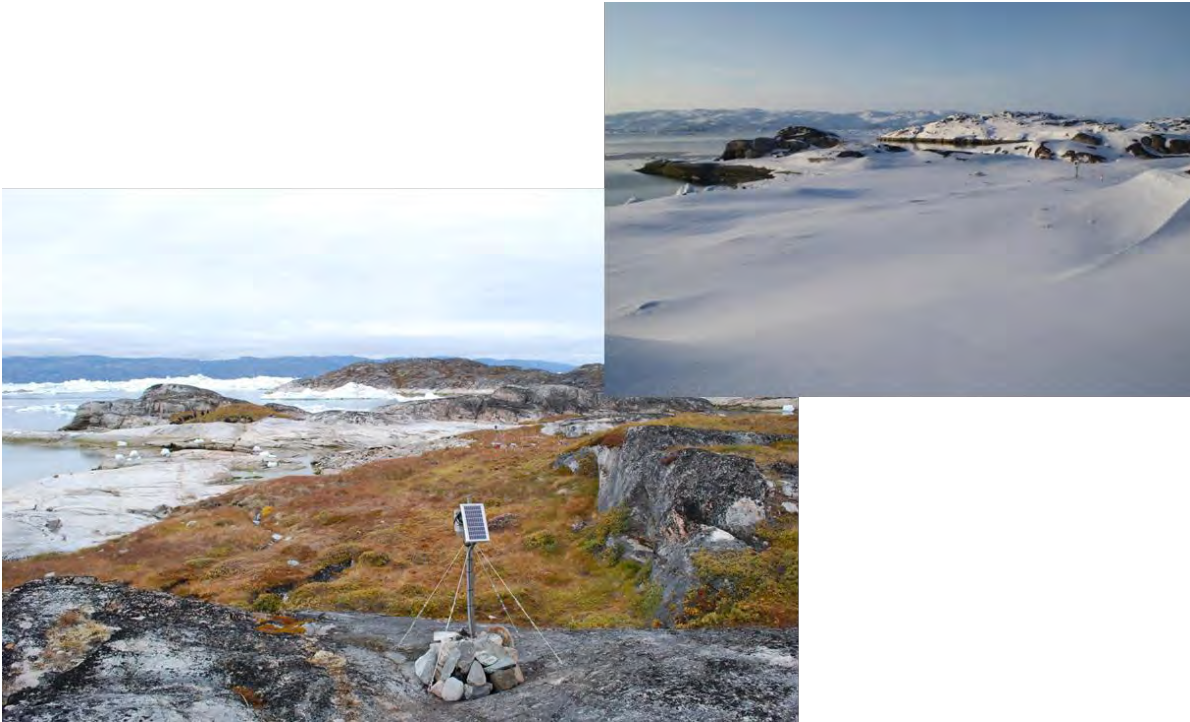
Vejr og klima

En vejrstation blev opstillet på køkkenmøddingen i 2009 og suppleret med yderligere udstyr i 2010 (figur 16). Problemer med et solpanel medførte, at der ikke blev registreret data fra oktober 2009 og frem til august 2010. Derefter kørte stationen fejlfrit indtil august 2014, hvor stationen blev taget ned. Følgende data blev observeret hver 3. time: lufttemperaturer, relativ luftfugtighed, vind-hastighed og -retning, snedybde (defekt fra september 2011), jordtemperaturer, jordfugt samt varmeledningsevne og varme kapacitet. En detaljeret gennemgang af de enkelte sensorer og målinger findes i Hollesen et al. (2012). For at undersøge mængden af nedbør, blev der desuden i sommeren 2011 installeret en nedbørsmåler, der målte nedbøren (kun regn) en gang i timen (figur 16).



Figur 16: Den opstillede vejrstation og nedbørsmåler

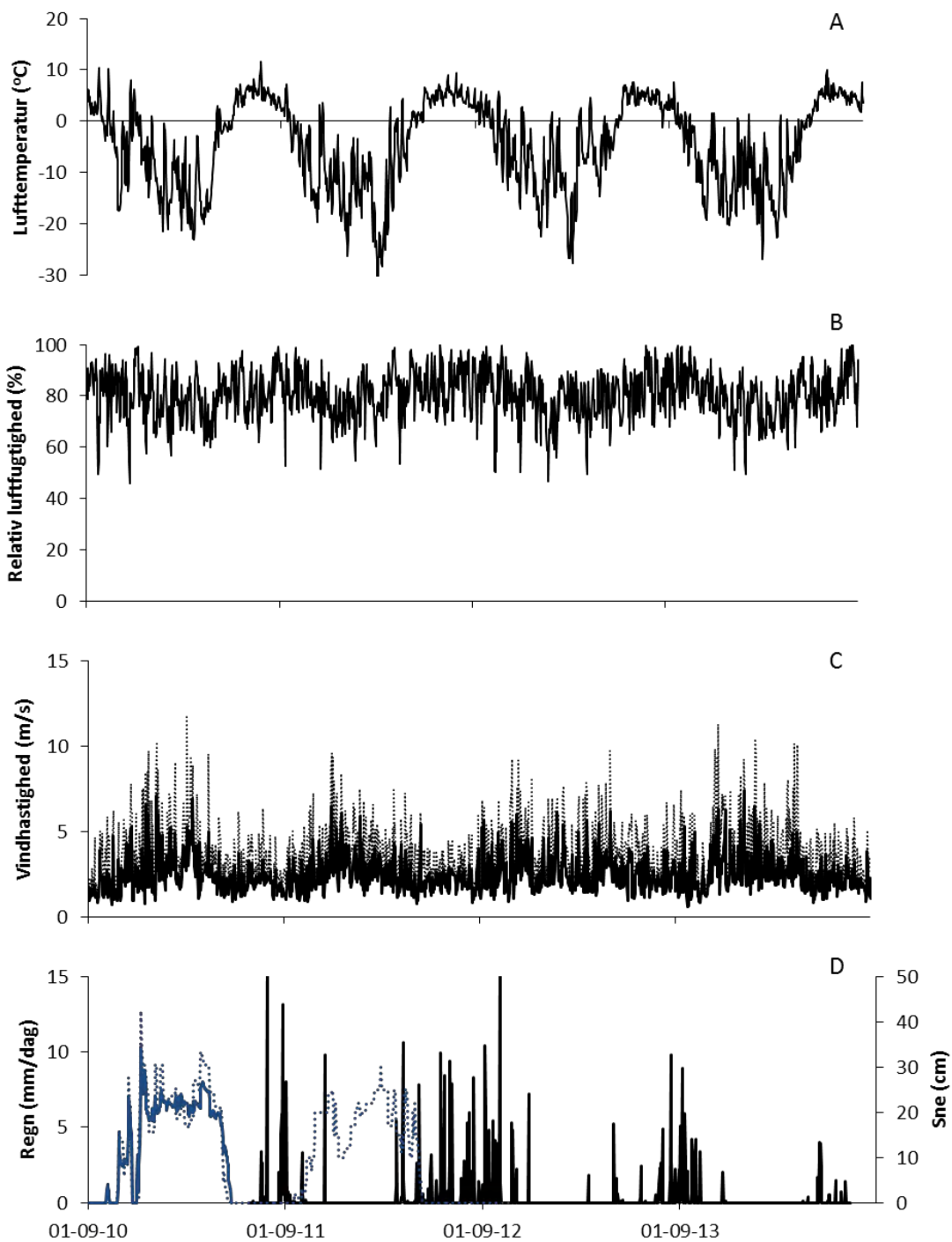
For at undersøge fordelingen af sne på køkkenmøddingen blev der opstillet et automatisk kamera, der tog et billede hver 6. time i perioden fra august 2010 til august 2012 (figur 17).



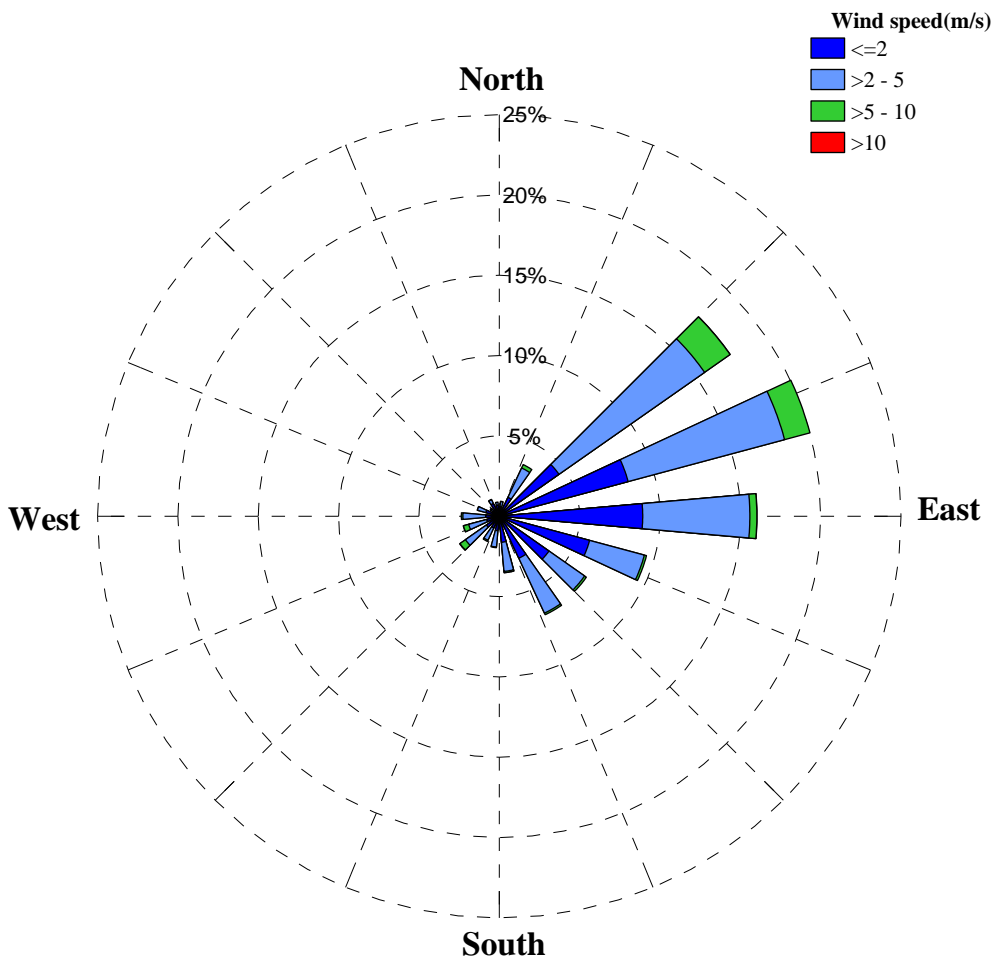
Figur 17: Det opstillede automatiske kamera tog i perioden fra 2010-2012 et billede hver 6. time. Billederne gjorde det bl.a. muligt at undersøge snedækket om vinteren, som eksemplificeret af det indsatte billede.

Meteorologiske forhold

Den årlige middeltemperatur ved Qajaa i perioden fra 1. september 2010 til 31. august 2014 var $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ med en variation fra $-3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (året 1/9 2010-31/8 2011) til $-5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (året 1/9 2011-31/8 2012) (figur 18A). Døgnmiddeltemperaturen varierede fra et minimum på $-30,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ i februar 2012 til et maksimum på $11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ i juli 2012. Overordnet set blev der målt negative temperaturer ved Qajaa fra starten af oktober til slutningen af maj/begyndelsen af juni, med regelmæssige tøj-events i løbet af vinteren. Sommeren var kort og temperaturen kom kun sjældent over $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Den relative luftfugtighed var i gennemsnit 80%, med de højeste værdier om sommeren og de laveste om vinteren (figur 18B). De dominerende vindretninger var Nord-Øst og Øst, og i de 4 år hvor vinden blev målt var Qajaa domineret af ingen eller svag vind og kun meget sjældent blev der registreret vindstød over 10 m/s (figur 18C og figur 19). Fra 1. september 2011 til 31. august 2013 faldt der i gennemsnit 145 mm regn pr år (figur 18D). Køkkenmøddingen var dækket af sne fra midten af oktober til slutningen af maj (Figur 18D). Det gennemsnitlige snedække ved vejrstationen var 19 cm med et maksimum dække på 33 cm. Det gennemsnitlige snedække for de 16 punkter overvåget ved hjælp af det automatiske kamera var 21 cm, varierende fra 16 til 32 cm (figur 18D). Snedækket havde en isolerende effekt, hvilket i vinterperioden (december til februar) fik overfladetemperaturen til i gennemsnit at være $2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ højere end lufttemperaturen. Sammenlignet med data fra DMI's målestation i Ilulissat for perioden august 2010 til august 2013, var lufttemperaturerne ved Qajaa i gennemsnit $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ lavere (Carstensen & Jørgensen, 2011). Især sommertemperaturerne var køligere på Qajaa, hvilket må tilskrives de store mængder is i fjorden ud for køkkenmøddingen.



Figur 18: Observeret A) lufttemperatur, B) relativ luftfugtighed, C) vindhastighed (sort = middelvind pr døgn, stiplet = middelvind pr time) samt D) regn (sort) og snedybder (blå = vejstation, stiplet = middel fra automatisk kamera).

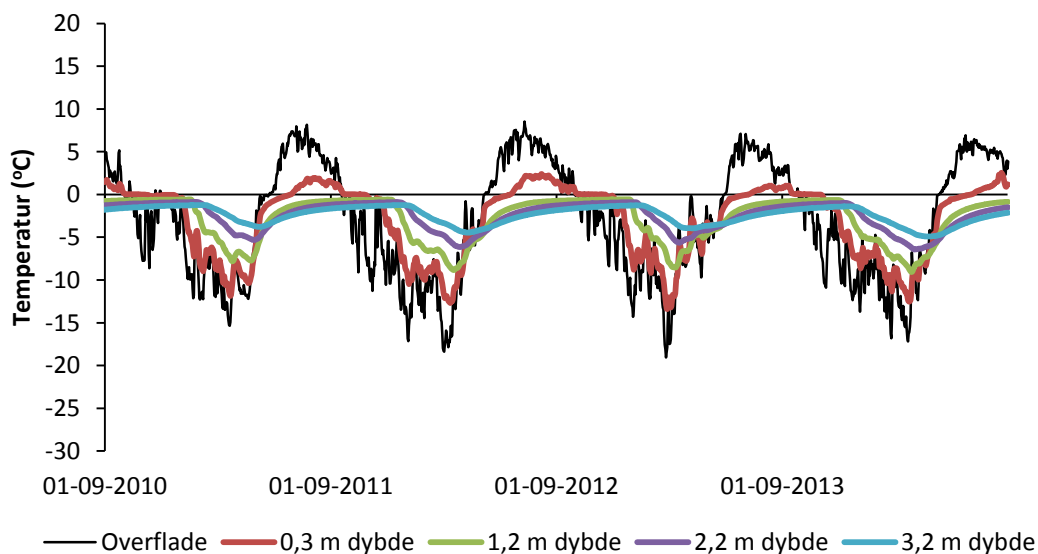


Figur 19: Den procentvise fordeling af vindretning og vindstyrke på Qajaa i perioden fra 1/9 2010 til 31/8 2014.

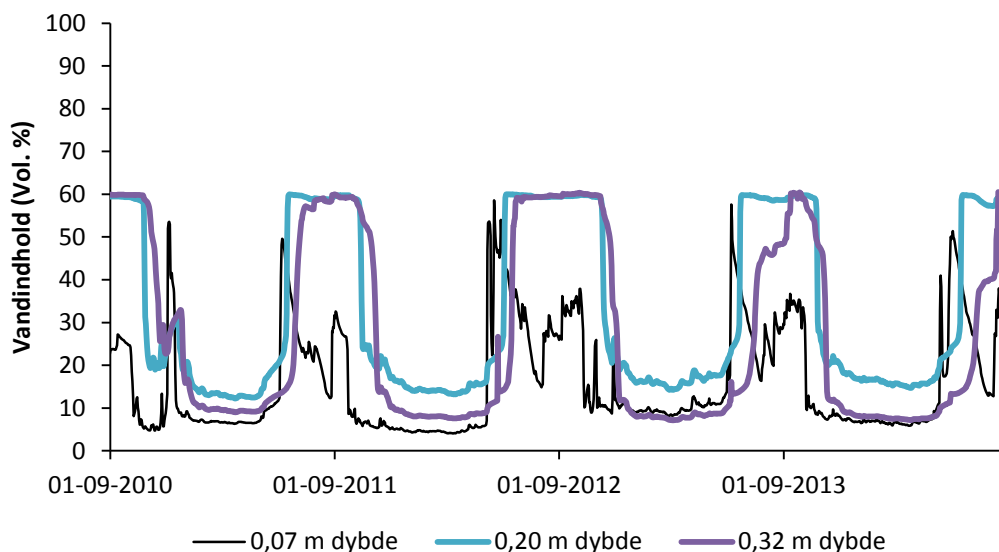
Jordtemperaturer og vandindhold

Middeltemperaturen på overfladen af køkkenmøddingen var $-3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ i perioden fra 1. september 2010 til 31. august 2014 med en årlig variation fra $-2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1/9 2010-31/8 2011) til $-3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1/9 2013-31/8 2014) (figur 20). Med en middeltemperatur på $-2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ i 1,2 m dybde, $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ i 2,2 m dybde og $-2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ i 3,2 m dybde, var der en tendens til stigende temperaturer med dybden. Samtidig faldt den årlige temperaturvariation ned igennem køkkenmøddingen – idet der på overfladen blev registreret en forskel fra den koldeste til varmeste dag på $28,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, set i forhold til kun $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ i 3,2 m dybde. Der blev også registreret en tidsmæssig forskydning i temperaturen med dybden – fra at de varmeste temperaturer blev registreret på overfladen i midten af juli tog det ca. 5 måneder (midten af december) før de højeste temperaturer blev observeret i 3,2 m dybde. Møddingen var alle år total frossen fra november til slutningen af maj, hvor positive luft- og overfladetemperaturer påbegyndte snesmeltning og optøning af de øverste jordlag. Den maksimale optøning blev registreret i slutningen af august og varierede mellem 40-60 cm. Der var en klar sammenhæng mellem sommer lufttemperaturen og optøningsdybde – dvs. varme somre gav stor optøning og kolde somre gav mindre optøning. Den optøede del af jorden var vandmættet i ugerne efter

snesmeltning, hvorefter de øverste 15-20 cm tørrede delvist ud (figur 21). Lagene fra 20 cm forblev vandmættede hele sommeren.



Figur 20: Observerede jordtemperaturer i køkkenmøddingen på Qajaa i perioden fra 2010-2014.

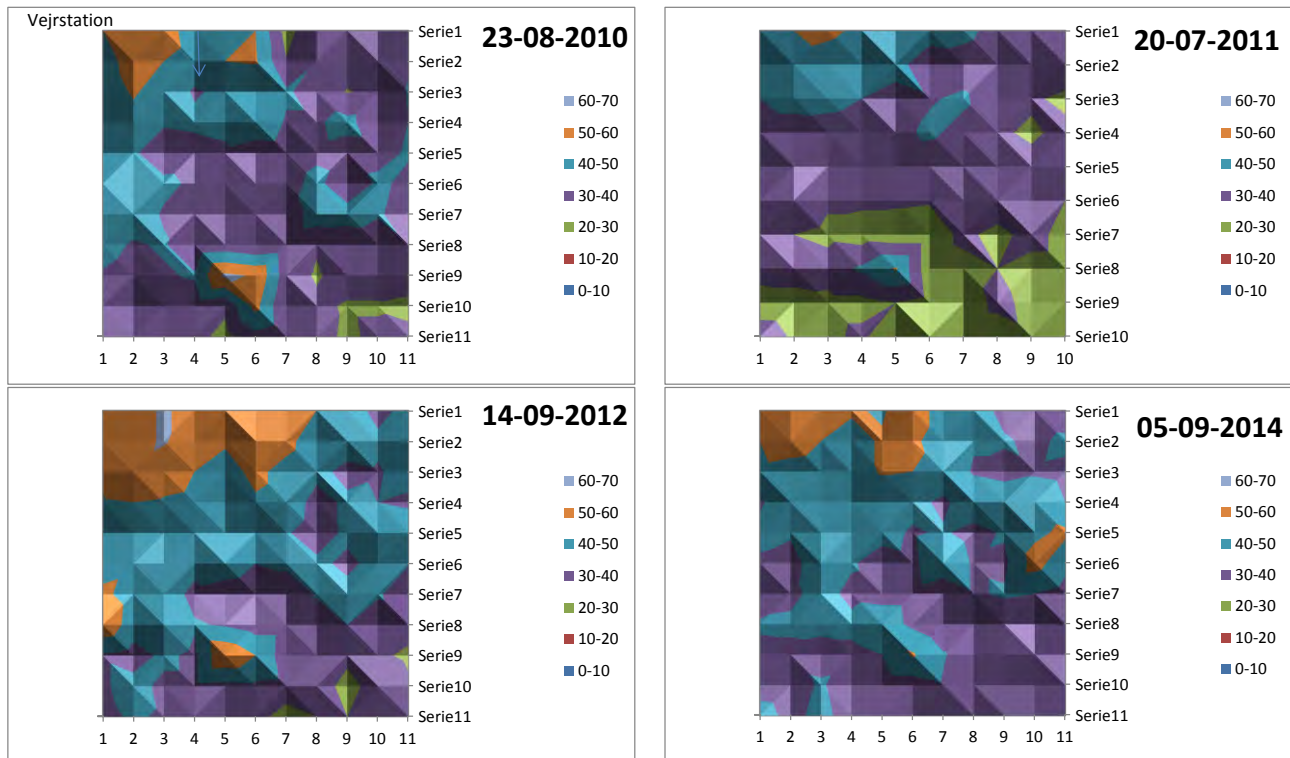


Figur 21: Observerede jordvandsindhold i køkkenmøddingen på Qajaa i perioden fra 2010-2014. De lave værdier om vinteren skyldes at sensoren kun måler vand, ikke is.

I forbindelse med feltbesøg blev der nogle få gange målt ilt-koncentrationer i jorden vha. optiske ilt-sensorer. De viste, at der var høje iltkoncentrationer i de øverste jordlag, mens der var iltfrie forhold nede i de frosne og i de vandmættede jordlag. For eksempel var der kun ilt i de øverste 20-30 cm af jorden ved vejrstationen ved besøget den 3/9/2014, hvor jorden var optøet til 44 cm dybde. Tilstedeværelsen af ilt er vigtigt i forhold til hvilke typer nedbrydning, der kan finde sted.

Optøning

Der er blevet udlagt et 10 x 10 m felt ud fra vejstationen, hvor der blev målt optøningsdybde ved alle feltbesøg - et såkaldt CALM felt (figur 5). Målingen er foretaget ved at nedstikke en tynd stålprobe for hver 1m i feltet, i alt 121 nedstik. Det giver et indtryk af, hvorvidt tykkelsen af det optøede lag (aktivlaget) varierer meget, eller om målingerne ved vejstationen er repræsentativ for et større område (figur 22).



Figur 22: Optøningsdybde (i cm) målt i et CALM felt på 10x10 m ved hvert feltbesøg

Målingerne af optøning er ikke foretaget på nøjagtigt samme tidspunkt af året, derfor kan de absolutte værdier være svære at sammenligne. Til gengæld viser alle målinger, at de største optøningsdybder findes tæt ved vejstationen (i serie 1), og at der i alle tilfælde ligeledes er et område med stor optøningsdybde på den modsatte side af feltet (midt i serie 9). Det kan muligvis forklares ud fra tilstedeværelsen af store sten, som er med til at føre varme ned i jorden. De gennemsnitlige optøningsdybder er beskrevet i tabel 1.

| Dato | 07-08-09 | 23-08-10 | 20-07-11 | 14-09-12 | 05-09-14 |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Gennemsnit (cm) | 31.8 | 38.7 | 33.6 | 42.6 | 40.7 |
| Standard afv. (cm) | 7.3 | 7.0 | 7.2 | 8.1 | 6.2 |

Tabel 1: optøningsdybde målt i CALM-felt

CALM-feltet er lagt i et område hvor møddingen er op til 3 m tyk, og hvor langt størsteparten altså fortsat er frosset. Der er ikke målt systematisk optøningsdybde i andre dele af møddingen, men det er klart at for områder, hvor møddingen er tyndere, vil de optøede lag udgøre en højere andel. F.eks. er de små områder mødding omkring profil K kun ca. 60 cm høje og mere tørre end de centrale dele, så dér vil størsteparten af lagene tø om sommeren.

Vurdering af fremtidig optøning

Med hensyn til den fremtidige optøning, så forventes det, at omkring år 2100 vil den gennemsnitlige årlige lufttemperatur i Vestgrønland være 4.0-7.0 °C højere end gennemsnittet for 1961-1990, med den største stigning i vinterperioden (Rinke & Dethloff 2008). Det er en voldsom stigning, især når man tænker på, at temperaturen i bunden af møddingen i dag kun er -2 °C. Den præcise effekt på jordtemperatur og optøning ved Qajaa vil dog afhænge af både snedækket og vandindholdet i jorden, ligesom den megen is i Ilulissat Isfjord kan være med til at køle luften ned lokalt. På baggrund af måledata fra de sidste fire år er der blevet udarbejdet en model for temperaturlancen i møddingen (Hollesen et al, submitted; Matthiesen et al, 2014). Modellen prøver at beskrive, hvordan jordtemperaturen hænger sammen med lufttemperatur og nedbør. Indtil videre tyder resultaterne på, at tykkelsen af aktiv laget vil vokse mellem 5 og 120 cm over de næste 50 år, afhængigt af hvilken klimaprognose der bruges. Mikroklimaet omkring Qajaa kan dog vise sig at have en stor betydning: De målte sommertemperaturer ved Qajaa er ca. 1.5 °C lavere end ved Ilulissat, som følge af de store mængder is i Isfjorden. Det er derfor sandsynligt, at også de fremtidige stigninger i sommertemperatur vil blive dæmpet af isen. Hvis det antages, at sommertemperaturen ikke stiger ved Qajaa, forudser modellen for jordtemperatur, at tykkelsen af aktivlaget vokser med mere begrænsede 5-30 cm over de næste 50 år.

Det skal understreges, at hele modelleringen og fremtidsprognoserne er forbundet med stor usikkerhed, bl.a. fordi optøningen er meget afhængig af jordens vandindhold og snedækket, som begge er vanskelige at forudse. Overordnet vurderes det, at optøningsdybden i møddingen vil stige over tid, men at det går langsomt.

Kemisk/mikrobiel nedbrydning

Bevaringstilstanden og den kemiske/mikrobielle nedbrydning af træ i møddingen er blevet undersøgt (Matthiesen et al, 2014). Undersøgelserne har bl.a. omfattet indsamling af træprøver fra forskellige steder i møddingen, vurdering af deres tilstand vha. mikroskopi og densitetsmålinger, måling af deres reaktivitet og nedbrydningshastighed ved forskellige temperaturer i laboratoriet, sammenligning med de målte temperaturer i felten, og sammenligning med nedbrydningsmønstret for moderne træprøver, som har været begravet i møddingen i 1-2 år.

Resultaterne viser, at permafrosne træprøver stadig er meget velbevarede efter 2-4000 år, mens træprøver, som har været optøet hver sommer siden udgravningerne i 1981-82, viser angreb fra bakterier og svampe (soft rot) og et gennemsnitligt fald i densitet på 0.1 g/cm³ (svarende til 25% af tørvægten). Tallene er for træprøver fra profil A, hvor de yderste ca. 20 cm af møddingen tør hver sommer. I dette optøede lag mister træet altså ca. 1% af sin tørvægt hvert år, under de nuværende klimaforhold. En eventuel temperaturstigning vil øge nedbrydningshastigheden, dels fordi jorden vil være optøet i længere tid, dels fordi nedbrydningen er temperaturafhængig. Laboratorieforsøg har vist, at en 10 graders temperaturstigning giver ca. en 4-dobling af hastigheden (Matthiesen et al, 2014). Der er ikke hidtil fundet spor efter mere aggressive trænedbrydende svampe (white rot og brown rot) i træet fra Qajaa, men hvis de optræder eller indføres kan det føre til en markant hurtigere og mere omfattende nedbrydning af træet.

Ud over træ er der foretaget nedbrydningsstudier af naturligt tørv fra møddingen (Hollesen et al, submitted). Der er igangsat nærmere undersøgelse af enkelte knogleprøver fra møddingen i form af et specialeprojekt, men resultaterne er endnu ikke bearbejdet.

Vurdering af igangværende og fremtidig nedbrydning

Under de nuværende miljøforhold sker den kemiske/mikrobielle nedbrydning kun langsomt: Det er kun de øverste/yderste ca. 40 cm af møddingen, som er optøet en del af året, og selv i de optøede dele kan genstandsmaterialet holde i en længere årrække. Således er f.eks. træprøver fra profil A fortsat rimeligt velbevarede selv efter næsten 30 år i aktiv laget. Mht. den fremtidige nedbrydning må det forventes, at hvis temperaturen stiger vil der alt andet lige komme større optøningsdybde, længere perioder med optøning, og højere nedbrydningshastigheder. De præcise effekter er dog usikre, idet de bl.a. afhænger af om optøningen fører til en øget dræning af møddingen. Endvidere kan nedbrydningen påvirkes af eventuelle ændringer i nedbørsmønsteret, vegetationen, og den mikrobielle artssammensætning.

Videre arbejde

Den samlede vurdering for Qajaa er, at nedbrydningen i disse år går langsomt, og der er således ikke akut behov for at iværksætte nøddudgravninger eller etablere afbødende tiltag. Det anbefales dog, at Qajaa besøges igen indenfor en 5-10 årig periode for at lave en fornyet tilstandsvurdering og for at tjekke om prognoserne i denne rapport holder stik. På det tidspunkt vil det være relevant at lave en fornyet fotodokumentation af erosionsfronten, en fornyet DGPS opmåling, og fornyet opmåling af optøningsdybde. Temperatursensorerne fra vejstationen er efterladt i jorden, og enderne er beskyttet af et plastrør, og dækket af en lille varde (figur 23). Det bør således være muligt på ny at tilkoble en datalogger og fortsætte temperaturmålingerne i en periode, for at se om jordtemperaturer og optøning udvikler sig som forventet.



Figur 23: Varde med temperatursensorer. Bagved ses hvor sensorerne føres ned i jorden (hullet er siden blevet tildækket).

Formidling

Projektets resultater er løbende blevet formidlet videnskabeligt og til offentligheden:

Artikler med peer review:

Elberling, B., Matthiesen, H., Jørgensen, C.J., Hansen, B.U., Grønnow, B., Meldgaard, M., Andreasen, C., & Khan, S.A. 2011. Paleo-Eskimo kitchen midden preservation in permafrost under future climate conditions at Qajaa, West Greenland. *Journal of Archaeological Science*, 38, (6) 1331-1339.

Hollesen, J., Jensen, J.B., Matthiesen, H., Elberling, B., Lange, H., & Meldgaard, M. 2012. The future preservation of a permanently frozen kitchen midden in western Greenland. *Conservation and Management of Archaeological Sites*, 14, 159-168

Matthiesen, H., Elberling, B., Hollesen, J., Jensen, J. B., & Jensen, J. F. 2012, "Qajaa i Vestgrønland - frossen fortid i en varm fremtid," *Arbejdsmarken* 2012, 30-43.

Matthiesen, H., Jensen, J.B., Gregory, D., Hollesen, J., & Elberling, B. 2014. Degradation of archaeological wood under freezing and thawing conditions - effects of permafrost and climate change. *Archaeometry*, 56, 3, 479-495

Matthiesen, H., Elberling, B., Hollesen, J., Jensen, J. B., & Jensen, J. F. 2014, Preservation of the permafrozen kitchen midden at Qajaa in West Greenland under changing climate conditions. I "Northern Worlds - landscapes, interactions and dynamics". *Proceedings of the Northern Worlds Conference Copenhagen 28 - 30 November 2012* (H. C. Gulløv, ed.), p 383-393.

Hollesen, J., Matthiesen, H., Møller, A.B., Elberling, B. (submitted) Ground heat production accelerating permafrost thawing in organic Arctic soils. Submitted to *Nature Climate Change*

Populært formidlende artikler:

Hollesen, J., Matthiesen, H., & Jensen, J. B. 2010, "Qajaa, en frossen arkæologisk perle," I *Nordlige verdener. Ændringer og Udfordringer. Rapport fra workshop 1 på Nationalmuseet*, 29. september 2010, (H. C. Gulløv, C. Paulsen, & B. Rønne, eds.), Copenhagen: National Museum of Denmark, p 30-33.

Matthiesen, H., Hollesen, J., & Jensen, J. B. 2012, "Kitchen-middens and climate change - what happens if permafrozen archaeological remains thaw?," I *Challenges and solutions. Northern Worlds - Report from workshop 2 at the National Museum*, 1 November 2011, (H. C. Gulløv, P. A. Toft, & C. P. Hansgaard, eds.), Copenhagen: National Museum of Denmark, pp. 36-41.

Hollesen, J., Elberling, B., Matthiesen, H. 2014. "Climate Change and Preservation Conditions in an Arctic kitchen midden" Udvidet abstract i *proceedings fra International Polar Heritage Committee konferencen, Nationalmuseet*, 26.-28. Maj 2014.

Møller, A.B, Hollesen, J., Matthiesen, H., Elberling, B. 2014. Fortiden er bevaret, men truet. *Geografisk Orientering*, 1, 34-37.

Matthiesen, H, Hollesen, J., Gregory, D.J., Elberling, B., Jensen, J.B. 2014. Degradation of archaeological material under freezing and thawing conditions. Udvidet abstract i proceedings fra International Polar Heritage Committee konferencen, Nationalmuseet, 26.-28. Maj 2014.

Rapporter:

Mortensen, M. F. 2011, Køkkenmøddingen ved Qajaa, Vestgrønland, NNU rapport 8/2011, Nationalmuseet, København, 15 p.

Hüls, M. 2012, Results from radiocarbon dating of your samples KIA 45209-45314, report from Leibniz-Labor für Altersbestimmung und Isotopenforschung, 7 p.

Foredrag og posters

Matthiesen, H. 2009 "Arkæologi i et ændret klima" ved konferencen "Klimaarv og kulturarv", Oslo, 12. november 2009, for arkæologer, klimaforskere, forvaltere, politikere,

Matthiesen, H. 2010 "Overvågning af Qajaa", Ilulissat beboerhus, 18. august 2010, åbent for alle

Matthiesen, H. 2010 "Overvågning af Qajaa", Ilulissat seminarium, 18. august 2010, for alle de studerende på seminariet

Matthiesen, H. 2010 "Klimaændringer og køkkenmøddinger – når permafrosten forsvinder", ved Nordlige Verdeners workshop 1 på Nationalmuseet, 29. september 2010

Matthiesen, H. 2010 "Kitchen-middens and Climate Change – the future preservation of a frozen past" ved konferencen "Frozen pasts", Trondheim, 6. Oktober 2010, for arkæologer/forskere

Hollesen, J. 2011. Indlæg ved seminar "Global Climate Change and the Polar Archaeological Record" i Tromsø 15.-16. Februar.

Hollesen, J. 2011. "Kitchen-middens and climate change – the preservation of permafrozen sites in a warm future" ved konferencen "Preserving Archaeological Remains in situ PARIS4" på Nationalmuseet i København 23-25 maj 2011.

Hollesen, J. 2011. "Klimaændringer og køkkenmøddinger – hvordan forudsiger man fremtiden?". Indlæg ved Nordlige verdeners workshop 2 på Nationalmuseet, 1. november 2011.

Hollesen, J & Matthiesen H. 2012, præsentationer om Qajaa og om nyt projekt ved Nuuk fjorden, Ilulissat museum, 16. september, 2012.

Hollesen, J. 2012, "Kitchen-middens and climate change – the preservation of permafrozen sites in a warm future" indlæg ved Nordlige verdeners afsluttende conference på Nationalmuseet, 29. November 2012.

Hollesen, J. 2014. "Climate Change and Preservation Conditions in an Arctic kitchen midden" foredrag ved International Polar Heritage Committee konferencen, Nationalmuseet, 26. Maj 2014.

Matthiesen, H. 2014. "Degradation of archaeological material under freezing and thawing conditions" foredrag ved International Polar Heritage Committee konferencen, Nationalmuseet, 26. Maj 2014.

Hollesen, J. 2014. "Arctic cultural heritage and climate change – the preservation of a permafrozen site in a warm future" foredrag ved IUCN World Parks Congress 2014, Sydney, November 2014.

Interviews

30 minutters interview i radioprogrammet "Alle tiders historie" på P1 12. december 2010.

<http://www.dr.dk/P1/Alletidershistorie/Udsendelser/2010/12/10140854.htm>

Korte radio interviews i Grønlands radio i 2010

Interview til Videnskab.dk og tysk Science Magazine i 2014.

Udstilling:

"Grønlands frosne fortid". Forhals-udstilling på Nationalmuseet, 7. februar – 4. marts, om Qajaa, Vestgrønland.

Offentlig rundvisning i forhals-udstilling, lørdag den 19/2 kl. 13-14, ved Henning Matthiesen. Ca. 15 gæster.

Profilafræk fra Qajaa indgår i Grønlands Nationalmuseum permanente udstilling

Hjemmeside

<http://nordligeverdener.natmus.dk/forskningsinitiativer/samlet-projektoversigt/klimaaendringer-og-koekkenmoeddinger-naar-permafrosten-forsvinder/> hvor der ligger diverse filmklip fra feltarbejdet, herunder en time-lapse video som viser et år på Qajaa

Referencer

Andreasen, C. (ed) 2010, Frosne møddinger og aDNA - kulturhistorie under pres. Rapport over multidisciplinære undersøgelser på Qajaa og Qeqertasussuk, august 2009, Grønlands Nationalmuseum, NKA, Nuuk.

Carstensen L.S. & Jørgensen B.V. 2011. Weather and Climate Data from Greenland 1958-2010. Danish Meteorological Institute. Technical Report No. 11-10

Elberling, B., Matthiesen, H., Jørgensen, C.J., Hansen, B.U., Grønnow, B., Meldgaard, M., Andreasen, C., & Khan, S.A. 2011. Paleo-Eskimo kitchen midden preservation in permafrost under future climate conditions at Qajaa, West Greenland. *Journal of Archaeological Science*, 38, (6) 1331-1339.

Hollesen J., Jensen, J.B., Matthiesen, H., Elberling, B., Lange, H. & Meldgaard, M. 2012. The Future Preservation of a Permanently Frozen Kitchen Midden in Western Greenland. *Conservation and mgmt of arch sites*, 14, 159–168.

Hollesen, J., Matthiesen, H., Møller, A.B., Elberling, B. (submitted) Ground heat production accelerating permafrost thawing in organic Arctic soils. Submitted to *Nature Climate Change*

Matthiesen, H., Jensen, J.B., Gregory, D., Hollesen, J., & Elberling, B. 2014. Degradation of archaeological wood under freezing and thawing conditions - effects of permafrost and climate change. *Archaeometry*, 56, 3, 479–495

Matthiesen, H., Elberling, B., Hollesen, J., Jensen, J. B., & Jensen, J. F. 2014, Preservation of the permafrozen kitchen midden at Qajaa in West Greenland under changing climate conditions. I "Northern Worlds - landscapes, interactions and dynamics". Proceedings of the Northern Worlds Conference Copenhagen 28 - 30 November 2012 (H. C. Gulløv, ed.) p 383-393.

Rinke, A. & Dethloff, K. 2008. Simulated circum-Arctic climate changes by the end of the 21st century. *Global and Planetary Change*, 62, 173-186