



Den frosne fortid | The frozen past





July | Qajaa

Frosset mudder – og det, der er værre

Borearbejdet forløber fint. Men just som vi står med en borerke i hænderne, breder der sig en meget speciel lugt. Vi kigger på hinanden – det er løgn! Det er den frosne fortid i form af en mere end 4000 år gammel køkkenmødding – en frossen losseplads, som er ved at tø mellem hænderne på os. Fortidens lugt blander sig med de ellers så friske og kolde vinde fra Indlandsisen.

I mere end 4000 år har der levet mennesker i Grønland, og lige så længe har kulde og udtrørring sikret en enestående bevaring af kulturminder fra disse mennesker. Det gælder både menneskene selv, som er blevet fundet som mumier og DNA, deres redskaber, deres boliger og deres køkkenmøddinger. Et generelt højt vandindhold i overjorden og den underliggende permafrost har sikret en bevaring af en række enestående arkæologiske lokaliteter. Qajaa nær Ilulissat i Vestgrønland er i dag en del af UNESCO verdensarvsområdet Ilulissat Isfjord og en af de lokaliteter, hvor meget ny viden om disse første grønlændere er indhentet de seneste år.

De første mennesker i Qajaa var Saqqaq-folket. De fandt et område hvor is, havstrømme og klima gav helt ideelle levevilkår året rundt. Qajaa ligger på et næs, hvor vinden om sommeren holder de fleste myg væk og om vinteren sikrer åbent vand samt mulighed for fiskeri og sælfangst. Det er derfor ikke så mærkeligt, at senere indvandringer, Dorset- og Thule-folkene, bosatte sig i det samme område. Det betyder, at der i dag i et område på knapt 3000 m² findes en cirka tre meter tyk køkkenmødding. Denne indeholder arkæologiske fund, der dokumenterer levevis og udviklingen af de tre vigtigste indvandringsbølger til Grønland. Heraf har de to ældste kulturlag formentlig været nedfrosset lige siden, de var i brug. Store dele af den oprindelige køkkenmødding er dog endt i havet på grund af erosion. Dette kapitel handler om, hvad ny forskning viser, blandt andet at Grønlands køkkenmøddinger kan varme sig selv op, og at grundfjeldet, hvor køkkenmøddingen ligger i Qajaa, hæver sig hurtigere op end de globale vandspejlsstigninger. Denne landhævning hænger sammen med den kystnære afsmeltnings af Indlandsisen. Så der er både godt og mindre godt nyt fra den frosne fortid.

Frozen mud – and worse to come

The drilling is going well. But just as we are handling the core, we notice a very special odor. We look at each other. Are we dreaming? This is the frozen past; a 4,000-year-old kitchen midden – a frozen dump from ancient people, thawing as we hold it in our hands. The odor of the past mixes with the fresh and cold winds coming from the Greenland Ice Sheet.

For more than 4,000 years, humans have inhabited Greenland, and throughout that time, the cold and aridity have provided excellent preservation conditions of cultural sites from these people. Findings include both the people themselves, who have been found as mummies and through their DNA, their tools, their dwellings and their kitchen middens. High water content in the topsoil and the underlying permafrost has ensured the preservation of a number of unique archeological sites. Today, Qajaa, close to Ilulissat in West Greenland, is part of the World Heritage Site Ilulissat Icefjord, and it is one of the sites, which recently has provided new insights about these first inhabitants of Greenland.

The first humans in Qajaa were the Saqqaq-people. They settled in an area, where ice, sea currents and climate provided ideal living conditions all year round. Qajaa is situated on a foreland, where the wind keeps the mosquitos away in the summer and which ensures open water in the winter and thus the opportunity of fishing and sealing. It is no wonder that the later migrations, the Dorset- and the Thule-people, settled in the same area. Today, in an area of roughly 3,000 m² a kitchen midden with a thickness of three meters can be found, containing archeological findings documenting the lifestyle and development of the three most important ancient cultures which migrated to Greenland. The two oldest layers of the kitchen midden have probably been frozen ever since they were in use. Large parts of the original kitchen midden have ended up in the sea due to erosion. This chapter is about new research results, showing that the kitchen middens of Greenland can heat themselves, and that bedrock underneath the midden in Qajaa rises faster than the global sea level. This uplift is linked to the coastal melt-back of the Ice Sheet. Thus, the research brings both good and less good news for the frozen past.



Der sker noget, når forskellige discipliner mødes i felten. Traditioner og teorier konfronteres i det tværvidenskabelige samarbejde, og ny-tænkning får frit løb. Her er det arkæologer, zoologer og naturgeografer, der arbejder sammen ved Qajaa. Midnatssolen kaster lys over borearbejdet. Pludselig dukker en lille, hvid perle op i en borekerne (se billede). Skal kernen så på frys og med naturgeografen hjem i laboratoriet, eller skal den fjernes og beskrives af arkæologen?

When multiple scientific disciplines meet in the field, something exciting happens. Tradition and theory are confronted in interdisciplinary research and new ideas are shared. The photo is from joint fieldwork of archeologists, zoologists and physical geographers working together in Qajaa. The midnight sun sheds its light on the drilling activities. Suddenly, a little white bead shows up in a core (see photo). Should the core be frozen and taken home to the laboratory by the geographer, or should it be described by the archeologist?

Foregående sider: Som besøgende i Qajaa bliver man trælebundet af stilheden, roen og den lange historie, som området rummer. Den forhistoriske køkkenmødding rejser sig op som jordlag, fyldt med store mængder af knogler, hår og rester af skind. Med et øvet blik langs stranden (se dette kapitels forsidebillede) får man hurtigt blik for, om kanter på en sten er udført af naturen eller formet af menneskehænder. Køkkenmøddingen leverer til stadighed stenredskaber, der blander sig med strandsten og grus langs vandet.

Previous pages: When you visit Qajaa, the silence, the calmth and the long history of the area enchant you. The prehistoric midden looks like it contains soil layers, but is filled with bones, hair and skin. Erosion of the kitchen midden means that stone tools can be found between pebbles and gravel on the beach. A trained eye quickly sees whether the edges on stones found along the beach are formed by nature or by human hands (see the front page photo of this chapter).





July | Qajaa



Køkkenmøddingen eroderes naturligt af havet, og i erosionsfronten ses tydeligt lagene fyldt med store mængder af knogler fra sæl, hvalros, hvaler og meget mere. Pludselig dukker en lille kano op. Den stikker ud af lag fra den ældste del af Thuletiden, altså cirka 1000 år gammel. På Nationalmuseet granskes efterfølgende de fine detaljer. Man kan lige forestille sig træudskæreren, som har villet glæde sit barn med et fornemt lille stykke legetøj.



This kitchen midden is naturally eroded by the sea, and layers filled with bones from seals, walruses, whales and much more can be seen in the eroded front side. Unexpectedly, a little canoe appears. It shows up in a layer from the oldest part of the Thule culture, which means it is around 1,000 years old. At the National Museum, the fine details are studied carefully. It is easy to imagine the wood carver, wanting to please a child with a fine toy.

Qajaa

En større udgraving ved Qajaa fandt sted i 1981-82 under ledelse af Etnografisk Samling på Nationalmuseet. Man fandt og beskrev store mængder af knogler fra fangstdyr og talrige redskaber – herunder harpunhoveder, pilespidser og små økser af sten. De mange stenredskaber kendes fra adskillige andre lokaliteter, men de organiske genstande fra Qajaa regnes for kulturnarv af verdensklasse. Deres hidtidige bevaring kan i høj grad tilskrives permafrost og iltfrie forhold i køkkenmøddingen. Det helt særlige ved Qajaa er de fine fund, som fx et kastetræ af hvalknogle (bruges til at slynge et spyd afsted) eller stenkneve med bevaret træskæfte med kniven placeret i sin oprindelige position. Fundene viser, hvordan de mange stenredskaber er blevet brugt, og at Saqqaq-kulturens jægere har været fremragende til at arbejde i træ og udnytte forskellige materialer til redskaber. De mange træstykker og stenredskaber, bundet sammen med sener eller hvalbarde, ligger stadig godt i hånden og binder nutidens forskning nærmere til de mennesker, der levede i fortiden og deres levevilkår.

Træet brugt i redskaberne er kommet langvejs fra. Det er primært drifttømmer fra Sibirien. Træet er kommet ud til havet med de store sibiriske floder og er derefter drevet syd om Grønland for til sidst at strande langs den grønlandske vestkyst. Nogle redskaber blev fremstillet så stenen i et redskab (fx en ølse) nemt har kunnet byttes ud, for træ har formentlig været en større mangelvare end sten.

Når permafosten tør, vil smeltevandet løbe væk, og jordlagene falde sammen. Det er særlig uheldigt i forhold til kulturgenstande af træ, som er sårbare over for at blive mast sammen og trukket fra hinanden. Det betyder, at hvis lag i køkkenmøddingen tør, kan dræning på kort tid forvolde stor skade. På længere sigt vil genstande desuden blive angrebet af svampe og langsomt rådne op, for til sidst at forsvinde.

Qajaa

In 1981-1982, a large excavation in Qajaa was led by the Ethnographic Collection at the National Museum of Denmark. Findings included large amounts of bones from animals caught by hunters, as well as numerous tools, such as harpoon heads, arrowheads and small stone axes. The stone tools are also known from other sites, but the organic remains from Qajaa are considered world class cultural heritage. This is due to the excellent preservation of the findings thanks to the permafrost and the oxygen free environment within the kitchen midden. Exceptional for Qajaa are the findings of e.g. an atlatl (a spear thrower) made from whalebone or a stone knife still correctly positioned in a well-preserved wooden haft. The findings show how the many stone tools were used, and that the Saqqaq hunters were excellent wood workers, knowing how to utilize different materials optimally when making tools. The many wood pieces and stone tools, tied together with sinews or baleens, still have a good grip and bring the researcher of today closer to the humans of the past and their living conditions.

The wood used for making tools came from far away. It is primarily driftwood from Siberia. The wood was brought to the ocean via large Siberian rivers, drifted around the south of Greenland and got stranded on the western coastline of Greenland. Some tools were made to make the stone (e.g. an axe) replaceable, since presumably wood was scarcer than stone.

Upon thawing of the permafrost, the melt water runs off and the soil layers collapse. This can be particularly unfortunate for the preservation of wooden artifacts, since they are vulnerable to compression and being pulled apart. This means that, if layers within the kitchen midden thaw, the drainage of melt water can cause substantial damage in a very short time. Additionally, on a longer timescale artifacts can become infected with fungi, slowly rot and disappear.

Optøning

Hver sommer tør den øverste halve meter af køkkenmøddingen og fryser igen den følgende vinter. Dette såkaldte aktivlag isolerer dybere og ældre lag, og holder dem permanent frosne. Hvis klimaet ændrer sig i området, og sommerens optøning når dybere, så vil det true ældre kulturlag. Spørgsmålet er, hvor stor en andel af køkkenmøddingen, der er truet? Det afhænger dels af lufttemperaturen, og dels af den fremtidige nedbør og det nuværende isindhold i køkkenmøddingen. Jo mere is, jo længere tid tager optøningen, og jo bedre beskyttet er køkkenmøddingen mod fremtidens svingninger i klimaet. Det betyder også, at man kan gøre noget for at beskytte området ved fx at dække det med nye sedimenter. Man kan også sikre et højt vandindhold ved hjælp af snehegn, der fanger sneen i driver. Ved smelting vil snedriverne levere ekstra vand til særligt utsatte områder. Omvendt betyder den slags indgriben, at man ændrer de naturlige rammer for området. Meningerne er delte om, hvad der er truet, og hvad der er bedst at gøre. Men viden er central for at træffe de rigtige beslutninger. Det gælder viden om klimaet, forholdene på overfladen (sne og vegetation) samt en karakteristik af møddingen i forskellige dybder.

En sådan vidensopbygning er i gang ved Qajaa i Vestgrønland. Ved hjælp af borer i køkkenmøddingen er der fra alle lag udtaget frosne kerner, som derefter er blevet analyseret. Efterfølgende er der i et af borehullerne blevet installeret udstyr til at måle jordtemperatur og vandindhold. Over borehullet er placeret en klimastation, som indsamler data om lufttemperatur, nedbør og vind. Alt dette er etableret for at kunne følge den fremtidige udvikling både med hensyn til klimaet og i dybden, hvor kulturgenstandene ligger gemt.

Toppen af møddingen er forholdsvis tør, og temperaturen svinger fra -12 °C om vinteren til mere end 7 °C om sommeren. Længere nede stiger vandindholdet, og temperaturen svinger mindre. I bunden af køkkenmøddingen er temperaturen stabil på omkring -2 °C.

Gennem de sidste 30 år er den gennemsnitlige lufttemperatur steget med 2 °C i området. Det er en markant stigning, men temperaturen i 1920-30'erne har været næsten ligeså høj som i dag. Det betyder, at de lag i køkkenmøddingen, som i disse år tør om sommeren, formentlig har været optøet tidligere. Omvendt betyder det, at en betydelig fremtidig temperaturstigning vil kunne medføre en optøning af lag, som ikke tidligere har været tøet.

Thawing

Every summer, the top half meter of the kitchen midden thaws. The following winter, it refreezes. This so-called active layer provides insulation for deeper and older layers, keeping them permanently frozen. If the climate of the area changes and the summer thaw reaches deeper, older cultural layers are threatened. The question is how much of the kitchen midden is threatened? This is partly dependent on air temperatures, but also on the future precipitation and the present content of ice in the kitchen midden. The more ice, the longer it takes to thaw, making the kitchen midden more resilient to the future climate fluctuations. This also means that the area can be protected, e.g. through the deposition of additional sediments on top. Another option is to ensure high water content by setting up snow fences where large snowdrifts can accumulate. The added snow melt could then supply water to areas of high-risk. Opinions differ when it comes to the thread and the optimal protection of the kitchen middens, but new knowledge is central to making the best decisions. This means that knowledge about the climate, the surface conditions (snow and vegetation) and a map of the characteristics of the layers of the kitchen middens are needed.

This sort of knowledge is being gathered at Qajaa in West Greenland. Frozen cores have been sampled from all layers in the kitchen midden, and have been analyzed subsequently. In one borehole, equipment to measure soil temperatures and water content has been installed. Above the borehole a climate station has been set up, which logs data on air temperature, precipitation and wind. All of this is done to be able to monitor the future climate and the development in the layers containing the artifacts.

The top layers of the kitchen midden are relatively dry and temperatures fluctuate from -12 °C in the winter to more than 7 °C in the summer. Deeper into the midden, the water content rises and the temperature fluctuations are dampened. At the bottom, the temperature is stable at around -2 °C.

During the past 30 years, the average air temperature of the area has risen more than 2 °C. This is a notable increase in temperature, but the temperatures in the 1920-1930s were almost as high as today. Thus, the layers presently thawing in the summer have presumably been thawed before. It also means that a future temperature rise can cause thawing of layers not previously thawed.



Nedbrydning

Analyserne fra laboratoriet viser, at så snart en prøve af køkkenmøddingen tør, begynder en nedbrydning svarende til, hvad der sker i enhver anden prøve fra en almindelig jordoverflade. Bakterier og svampe kaster sig over det organiske materiale, hvorfed der bruges ilt og produceres kuldioxid. Og det er vel at mærke mikroorganismer fra køkkenmøddingen, som står for nedbrydningen. Iltforbruget og produktionen af kuldioxid udnyttes, når nedbrydningen skal måles. Det sker ved at måle, hvor hurtigt koncentrationen af ilt falder, og koncentrationen af kuldioxid stiger i en lukket glasbeholder med en prøve af køkkenmødding i. Ved at måle ved forskellige temperaturer og vandindhold, viser den slags forsøg, hvor følsomt det organiske materiale er over for nedbrydning.

For at begrænse nedbrydningen skal møddingen gerne holdes kold og våd. Ved et højt vand- eller isindhold har ilten meget svært ved at trænge ned i jorden, og dermed bremses nedbrydningen effektivt. Derudover vil et højt vand- eller isindhold i møddingen forsinke opvarmningen om sommeren.

Langvarige forsøg viser, at nedbrydningen falder over tid. Det skyldes, at de letnedbrydelige, organiske dele nedbrydes først og hurtigst, idet den resterende andel bliver sværere og sværere at nedbryde. Sådanne langtidsforsøg i en realistisk tidskala er sjældne. De længste forsøg i laboratoriet er udført over 12 år.

Viden om nedbrydningen over længere tid er opnået ved at udnytte tidligere udgravnninger. Ved udgravninger i 1982 blev der blotlagt nogle profiler af køkkenmøddingen (svarende til en erosionsfront) for at beskrive og studere køkkenmøddingens opbygning og indhold. I disse profiler blev ikke alle træstykker indsamlet, og profilerne blev ikke dækket til. Det betyder, at man efterfølgende har kunne belyse effekter af gentagende frys-tø processer gennem 30 år. Træprøverne er nu indsamlet og giver et indtryk af, hvilken betydning en optøning og eksponering har haft for bevaringstilstanden. Det er overraskende at se, at træ efter 30 år stadig kan se velbevaret ud, men under mikroskop kan man se, at træcellerne faktisk er nedbrudt.

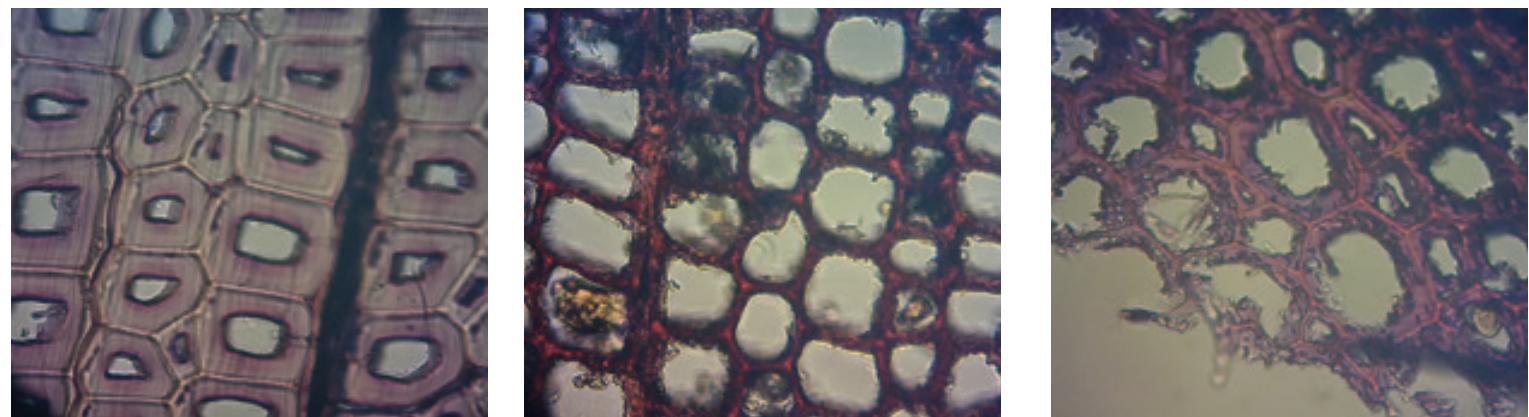
Decomposition

The laboratory results show that when a sample from the kitchen midden thaws out, the sample starts to decompose, equivalent to what happens in any other sample from a regular soil. Bacteria and fungi originating from the kitchen midden feast on the organic material, consuming oxygen and producing carbon dioxide. The consumption of oxygen and production of carbon dioxide are used to quantify the rate of decomposition. To measure this, the decrease in the oxygen concentrations and the increase of carbon dioxide concentrations is measured over time in a closed glass jar containing a sample of the kitchen midden. Measurements at different temperatures and water contents show the sensitivity of the decomposition of the organic matter.

To limit the decomposition, the midden must be kept cold and wet. When the water or ice content is high, oxygen cannot easily penetrate the soil and the decomposition is effectively slowed down. Moreover, a high water or ice content delays summer warming.

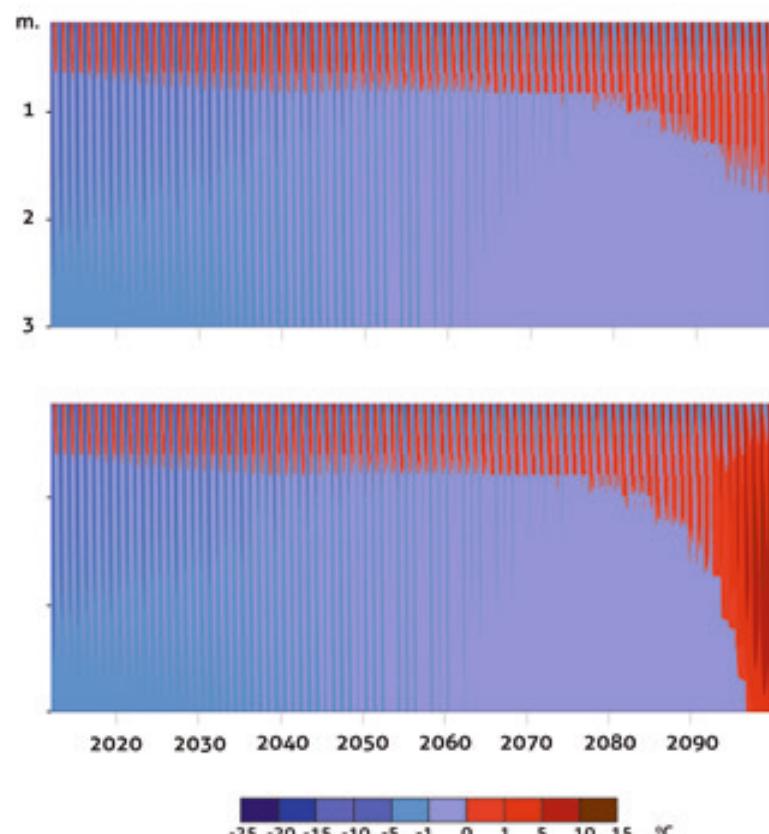
Long-term experiments show that decomposition declines over time. The most easily decomposed organic fractions are decomposed immediately or fast, whereas the remaining fractions become increasingly recalcitrant. However, such long-term experiments are seldomly done on realistic timescales. The longest laboratory experiments so far lasted only 12 years.

Knowledge on long-term decomposition comes from earlier excavations. In 1982, profiles of the kitchen midden were exposed (resembling the eroded fronts) in order to describe and study the structure and content of the midden. Wooden pieces in these profiles, which were not subsequently covered, make it possible to study the effects of repeated freezing and thawing during more than 30 years. The wooden pieces have now been collected, and they indicate the effect of freezing and thawing on the state of conservation. The wood looks surprisingly well-preserved even after 30 years, but when looking at the wood in a microscope, the cells in the wood are actually degraded.



Rækken af ovenstående billeder viser træceller under stigende grad af nedbrydning. Billedet til venstre viser et stykke træ beskyttet mod nedbrydning i 4000 år i Qajaa, fordi træet har ligget i permafosten. Midterste billede er træ fundet i en erosionsfront fra en tidligere udgravnings, som har været eksponeret for vind og vejr i 30 år i Qajaa. Længst til højre: et stykke træ, der er angrebet af svampe og nedbrudt efter mere end 30 år i Qajaa, uden at være beskyttet af permafrost (foto: Jan Bruun Jensen).

The above images show plant cells in wood tissues in an increasing state of degradation. The image to the left is a piece of wood protected from decomposition by the permafrost during the last 4,000 years in Qajaa. The image in the middle shows wood from an erosion front exposed by an earlier excavation, leaving the wood exposed to wind and weather during 30 years in Qajaa. The image to the right shows a piece of wood infected by fungi and decomposed after more than 30 years in Qajaa without permafrost protection (photo: Jan Bruun Jensen).



Figuren viser temperaturudviklingen i Qajaa fra i dag og frem til år 2100 i en 3 meter tyk køkkenmødding. Øverste figur viser en ændring i temperaturen. Det ses, at de øverste 40-50 cm af køkkenmøddingen tor hvert år (med rødt), og at denne øverste zone gradvis fordobles over de næste 70-80 år. Nederste figur viser det samme, men nu er den interne målte varmeproduktion "koblet på" i modellen. Resultatet er, at permafosten forsvinder fra hele køkkenmøddingen (ses ved, at de røde farver når helt ned til bunden). Modelarbejdets største usikkerhed er snedækket, som virker isolerende om vinteren, men som er en meget usikker parameter i modellen. Det skyldes, at forudsigelser af den fremtidige nedbør er meget usikre, og at sneen hvert år er omfordeles i landskabet. Figuren er udarbejdet af Jørgen Hollesen.

The figure shows the modelled temperature in a 3-meter-thick kitchen midden from Qajaa from today until 2100. The upper figure shows a change in temperature. The top 40-50 cm thaws each year (in red), which will likely gradually double over the next 70-80 years. The figure below shows the same trend; however, this time the internal heat production is included in the model, revealing the permafrost will likely disappear from the entire kitchen midden by the end of the century (the red colors reach the bottom axis of the diagram). The largest uncertainty in the predictions is the snow cover, which provides insulation during winter. This is a very uncertain parameter in the model as it is and very difficult to predict due to large uncertainties in predictions of future precipitation, and due to the redistribution of snow in the landscape. The figure has been made by Jørgen Hollesen.

At holde en gryde i kog

Når mikroorganismer nedbryder organisk stof, produceres der varme. Dette er gammel viden. Nye målinger af varmeproduktion fra en række organisk-holdige jorde fra Grønland, herunder lagene fra Qajaa, viser imidlertid, at den organisk-holdige køkkenmødding kan producere en ganske betydelig mængde varme, og at varmeproduktionen tilmed øges i takt med, at temperaturen stiger. Når først temperaturen i møddingen er kommet over frysepunktet, og varmeproduktion er kommet i gang, kan der dannes så meget varme, at køkkenmøddingen varmer sig selv op, hvilket medfører en yderligere optøning. En kombination af målinger af varmeproduktionen og modelarbejde forudsiger, at en fuldstændig optøning af køkkenmøddingen ved Qajaa er sandsynlig inden år 2100 på trods af, at lufttemperaturen ikke stiger mere end måske fem grader. Det er en såkaldt feedback-effekt, der opstår i optøet permafrost, og som man indtil nu har manglet detaljerede målinger af.

Den interne varmeproduktion i køkkenmøddingen kan også forklare, hvorfor temperaturen helt nede i bunden af køkkenmøddingen allerede ligger på omkring -2 °C, hvilket er overraskende varmt i forhold til den gennemsnitlige lufttemperatur i området.

Tipping point (eller vendepunkt) bruges som udtryk, når klimaforhold kan ændre sig så meget, at miljøforhold, i fx en køkkenmødding, ikke kan vende tilbage til udgangspunktet. Ovenstående undersøgelser tyder på, at klimaændringer i Vestgrønland kan nå et niveau, svarende til et tipping point, hvor nedbrydningen af køkkenmøddingen ved Qajaa vil blive styret mere af den interne varmeproduktion i selve køkkenmøddingen, end af fortsatte klimaændringer.

Keeping the pot boiling

During microbial decomposition of organic matter, heat is produced. This is old news. However, new measurements of the heat production in organic-rich soils from Greenland, including the layers from kitchen middens from Qajaa, show that the organic-rich kitchen middens produce surprisingly high amounts of heat, and that this heat production increases with temperature. Once temperatures in the midden rise above the freezing point and heat production is initiated, the amount of heat produced is large enough for the midden to heat itself, which increases thawing even further. Research using a combination of heat production measurements and modelling predicts that the kitchen middens at Qajaa might be completely thawed before 2100, even though air temperatures may not rise more than 5 degrees. Until now, this so-called feedback process in the permafrost has not been sufficiently monitored.

The internal heat production in the midden also explains why temperatures at the bottom of the kitchen midden are already around -2 °C, which is surprisingly warm compared to the average air temperature in the area.

The tipping point is an expression commonly used to describe the point at which the climate has changed to such a degree, that the environment in e.g. a kitchen midden will be irreversibly changed. The above observation indicates that a tipping point in the kitchen midden at Qajaa can be reached, when the continued degradation of the kitchen midden will be more controlled by the internal heat production in the midden itself than by ongoing climate changes.



February | Qajaa

Vinteren – en ukendt faktor

Klimastationen ved Qajaa i Vestgrønland indsamler data året rundt. Alligevel har det vist sig, at vinterexpeditioner er helt centrale for at forstå sårbarheden og beskyttelsen af køkkenmøddingen ved Qajaa. Man kan måle meget med installationer, som er opsat om sommeren, men det er svært at få tal på dannelsen af fx islag i snepakken eller dannelsen af ispanser, som tjener som beskyttelse mod erosion om vinteren og sultne dyrs gnaven i 3000-4000 år gamle knogler. En vinterexpedition viste sig at give et øjebliksbillede af vinterforholdene, som kan være afgørende for køkkenmøddingens fremtid. Med øget hyppighed af varmeperioder om vinteren ses typisk tykke islag i snepakken. Disse lag lægger låg på systemet, så omsætningsprocesser reduceres, fordi der ikke kan komme ilt ned i jorden. Desuden forsinke islaget jordens optøning om foråret, hvorved vinteren forlænges. Varmeperioder om vinteren kan også medføre, at køkkenmøddingen pakkes helt ind i is. Dette har stor betydning for, hvor utsat køkkenmøddingen er, når vinterstormene raser.

Qajaa i vinterdragt. En stille dag, hvor det er muligt at tappe data fra klimastationen. Tø-perioder denne vinter havde pakket hovedparten af køkkenmøddingen ind i ispanser – og dermed velbeskyttet mod vinterens luner. Daglige billeder af begravede landmålerstokke ved hjælp af overvågningskamera viser en uensartet snefordeling. Dette er lovende i forhold til opsætning af snehegn, som kan give mere vand i overjorden, men som også kan få den uheldige sideeffekt, at køkkenmøddingen isoleres mod hård frost om vinteren.

Qajaa in winter, on a calm day, where downloading of data from the climate station is possible. During that winter, periods of positive air temperatures resulted in an ice armor, which protected the majority of the kitchen midden against the whims of winter. The surveying rods and surveillance camera revealed an uneven distribution of snow, which is promising in relation to the possible construction of snow fences. This could have a positive effect to the protection of the kitchen middens, providing more water to the topsoil, but can also be negative, as more snow will provide insulation for the kitchen midden against winter frost.

Winter – an unknown factor

The climate station at Qajaa in West Greenland collects data all year round. Still, winter expeditions are central to the understanding of the vulnerability and protection of the kitchen midden at Qajaa. A lot can be measured using instruments installed during summer, but it is difficult to quantify e.g. ice layers in the snow or the creation of ice armors, protecting the middens from winter erosion, and preventing hungry animals from nibbling on 3,000-4,000 year old bones. A winter expedition provided a snapshot of winter conditions, which might prove crucial to the future of the kitchen middens. An increased frequency of warm winter periods typically increases the creation of thick ice layers in the snow. These layers stop oxygen from penetrating into the soil, causing a slowdown of the decomposition. Furthermore, the ice layers delay spring thaw of the soil, thereby extending the winter. Warm winter periods could also lead to a complete ice cover of the kitchen midden. This is of great importance to the vulnerability of the kitchen midden to the raging winter storms.



February | Qajaa





February | Taserssuaq Qagdleq near Ilimanaq

Vinterekspeditioner giver os en chance for på egen krop at føle de forhold, som har været et livsvilkår for de mennesker, hvis efterladenskaber vi forsøger at forstå i en større kontekst. Et vinterbesøg ved Qajaa illustrerer dette ganske godt. Turen blev foretaget med hunde, sejlads i joller i det åbne vand omkring Qajaa, og aftensmaden tilberedt under en teltdug. Det er hårdt, koldt og en enestående oplevelse.

Winter expeditions give us a chance to experience the living conditions of the people, whose remains we are trying to understand. Visiting Qajaa during winter is a good illustration of this. The trip was done by dog sleds, sailing in dinghies in open water near Qajaa and dinner was prepared under a tent canvas. It is a harsh, cold and unique experience.



Fangstmandstiden

I perioden 1908-1960 har specielt norske og danske fangstmænd holdt til på den grønlandske østkyst. De byggede fangststationer, levede af fangst af sæl og rensdyr året rundt og kunne indhandle skind af primært polarræv, men også isbjørn, når der kom skib fra Norge eller Danmark. Deres efterladenskaber er også kulturminder, som dog primært befinner sig over jorden i form af fx bygninger, fælder og meget mere. Den korte sommer og ikke mindst den tørre vind betyder, at meget er bevaret. Men vinden slider og river tingene fra hinanden, jorden falder sammen og bygninger forfalder.

I nyere tid har driftige folk sikret, at mange af disse stationer har overlevet – de er blevet restaureret, lappet og passet på, og rummer således stadig mange steder ånden fra fangstmandstiden, selvom mange bygningsmaterialer er blevet udskiftet. Også disse bygninger går imidlertid nok en ny fremtid i møde. Når huse isoleres og tætnes, betyder en varmere sommer og mere fugt, at svamp og råd får nye muligheder. Nye studier af svampe i jordmiljøet viser, at svampesamfundet kan ændres hurtigt i takt med nye miljøforhold. Når svampene får fat, kan nedbrydningen ske hurtigt. Bærende træværk i kontakt med jorden er særlig vigtigt at være opmærksom på.

The time of the huntsmen

From 1908-1960, Norwegian and Danish huntsmen lived on the east coast of Greenland. They built hunting stations and huts, lived on seal and reindeer throughout the year, and traded skin, primarily Arctic foxes but also polar bears, when ships arrived from Norway or Denmark. Their remains, such as buildings, traps and plenty more, are also artifacts. However, these are primarily found above ground. The short summers and not the least the dry winds mean that a lot is well-preserved, but the winds are tearing things apart, the soil collapses and buildings fall apart.

In recent years, people have ensured the survival of many of these stations and huts – they are restored, patched up and cared for, and still hold the spirit from the time of the huntsmen, even though much of the buildings is replaced. However, these buildings may face a different future. When houses are insulated and sealed, a warmer summer and higher humidity mean that fungi and rot spread more easily. New studies of fungi in the soil environment show that fungi respond fast to a changed environment. Once the fungi are present, the decomposition happens quickly, especially where wood-bearing structures are in direct contact with the soil.



August | Revet, Zackenberg

Rævefælder har været vidt udbredt i Grønland, som en effektiv måde at fange ræve på i den mørke vinter. Når en sulten polarræv ville tage lokkemaden, fik den en stor sten i hovedet og forblev stivfrossen frem til foråret. En sjælden gang blev det forsøgt med opdræt af ræve, som det ses på ovenstående billede. Disse kulturminder har mange steder overlevet på grund af den naturlige frysetørring af træet.

Fox traps were widely used in Greenland as an effective way to catch foxes during the dark winter. In such a trap. A hungry Arctic fox going for the bait would normally have been hit in the head by a large stone, and stayed frozen until spring. Occasionally, the breeding of foxes was tried out, as seen above. The natural freeze-drying of the wood has preserved these artifacts in many places.



August I Revet, Zackenberg

Moskusheimen var en norsk hytte. I dag er den gennemrestaureret og bruges af forskere, Sirius Patruljen og andre med et ørind på disse kanter. Som med alle andre kulturminder i Grønland er det en tanke værd, hvordan man beskytter minderne bedst muligt? Fremtidens klima vil på godt og ondt udfordre kulturminder over jorden, såvel som de, der er gemt under jorden.

Moskusheimen was a Norwegian cabin. Today it is completely restored and used by scientists, the Sirius Patrol and others. As with other cultural sites in Greenland, it is important to consider how to protect the cultural heritage. The future climate will challenge artifacts placed above ground as well as artifacts buried in the ground.



Fremtidens trusler

Danmarks Meteorologiske Institut forventer, at den gennemsnitlige lufttemperatur i Grønland kan stige med 5-7 °C inden år 2100, og at denne opvarmning ledsages af betydelige ændringer i nedbørsfordelingen. Det gælder både med hensyn til hvor, og på hvilket tidspunkt på året, der kommer nedbør. Sådanne ændringer vil nødvendigvis påvirke en køkkenmødding, som den ved Qajaa – både direkte ved en opvarmning, men også via en række indirekte effekter.

De mange indirekte effekter og deres betydning for bevaringen af kulturminder i Grønland er svær at forudsige. Det skyldes, at der er stor forskel på, om kulturminder fx ligger begravet i permafrosten, ligger som sten, der markerer en teltring på jordoverfladen eller findes som nordboernes gamle stenbygninger og grave. Dertil kommer at kulturminderne findes overalt i Grønland, og mange formentlig fortsat er ukendte. De kendte kulturminder er registreret og findes under meget forskellige klimaforhold afhængigt af, om de findes nær kysten, hvor klimaet typisk er køligere og mere fugtigt om sommeren end længere inde nær indlandsisen. Omvendt er kystområder typisk varmere om vinteren.

Undersøgelserne i Qajaa og siden i helt nye projektaktiviteter i Nuuk-fjorden viser, at vand er altafgørende. Jordlag kan tørre ud, fordi der kommer mindre nedbør, fordi temperaturen stiger, og planterne derfor optager mere vand, eller fordi permafrosten tør, og vand derfor nemmere kan dræne væk. I alle tilfælde betyder det, at kulturenstande i jorden bliver mere sårbar for nedbrydning, kollaps eller erosion. De trues også fordi en tør jord varmes hurtige op og adgang til ilt er større. De fleste klimamodeller kommer med et bud på en fremtidig temperatur, men der er en helt anden og stor usikkerhed omkring et fremtidigt jordvandsindhold. Dertil kommer at de bedste klimamodeller giver en gennemsnitlig prognose for fx 5 x 5 km, mens en køkkenmødding måske måler 40 x 40 m. Mange køkkenmøddinger ligger i en lavning og modtager derfor vand fra omgivelser og samler mere sne end omgivelserne. Det kan betyde, at de er bedre beskyttet end omgivelserne. I andre køkkenmøddinger findes fx padderkokken, en planteart der er kendt for, at deres rødder kan bore sig igennem det meste – også kulturenstande. Så usikkerheden er stor, og klimamodeller kan kun i begrænset omfang tegne et realistisk trusselbillede på den enkelte site.

Future threats

The Danish Meteorological Institute expects that the average air temperature in Greenland will rise by 5-7 °C by the year 2100. They also predict that this warming is accompanied by significant changes in the precipitation distribution – both in terms of where and when precipitation will fall. Such changes are expected to affect a kitchen middens like the one at Qajaa – both directly through warming, but also indirectly.

The indirect effects of climate and the importance for the preservation of cultural monuments in Greenland is difficult to predict. There are several reasons for that. Firstly, variations in the type of archeological remains and their storage conditions are extreme – as remains may be buried in the permafrost, found as stones marking a tent ring on the soil surface, or as old stone buildings and tombs of the Norsemen. Also, many sites are probably not even found yet. Finally, sites can experience very different climatic conditions, e.g., sites found near the coast are typically exposed to a cooler and more humid climate in summer than sites further inland. Conversely, coastal areas are typically warmer in winter.

The investigations in Qajaa and recent project activities in the Nuuk Fjord show that water is a crucial factor for the long-term protection of archeological remains. Soil layers can dry out due to reduced precipitation, increased plant growth (increasing evaporation) or because of permafrost thaw and subsequent water drainage from the soil. Whatever the cause, drier soils heat up more rapidly and the access to oxygen increases, causing archeological remains to become more vulnerable to degradation and erosion. While climate models are in a fair agreement when it comes to projected air temperatures, there is still a remarkable uncertainty with respect to projected soil water content. Also, the most promising climate models typically provide projections of a resolution of about 5 x 5 km, while a kitchen midden may measure only 40 x 40 m. As many kitchen middens are located in depressions in the landscape, they typically receive more water and collect more snow than the surroundings, and therefore may be wetter and better protected. In other kitchen middens, horsetails (a type of plant) tend to dominate, which are known to have roots that penetrate deep into the ground – including into archeological remains. So, there is still a great uncertainty on the threats of kitchen middens, and climate models can only offer a limited indication of the threats to individual sites.



August | Iffiaarfik, Nuup Kangerlua

Droner er et enestående bindelede mellem observationer i felten og data fra satellitbilleder. På billedet ses markante variationer i de grønne farver fra vegetationen, som skyldes tilstedeværelsen af en boplads. Ved hjælp af en drone kan disse forskelle i kvantificeres og bruges til en kortlægning af den enkelte site med stor præcision. Når tilstrækkelig mange sites er opmålt, kan metoden bruges til at lede efter ukendte arkæologiske sites ved hjælp af satellitter. Nye generationer af satellitter giver mulighed for at lede efter mindre områder som fx et enkelt hus. Ny teknologi gør det muligt at træne programmer til at lede efter bestemte karaktertræk, fx en firkantet mark eller køkkenmødding. Derfor er der en forventning om at finde mange nye sites, som måske er vigtigere at udgrave eller passe på end allerede kendte sites.

Drones are a unique link between field observations and data from satellite images. Here, marked variations in green colors from the vegetation can be clearly seen. Variations are due to the presence of an old settlement surrounded by natural vegetation. By using a drone, differences can be quantified and used for mapping individual site with high precision. In addition, when a sufficient number of sites has been surveyed, the method can be used to search for unknown archaeological sites using satellites. New generations of satellites enable to search for smaller areas such as a single house. New technology makes it possible to train programs to look for specific traits, and identify if e.g. something could be a square field or a kitchen midden, and in that way identify new sites that are perhaps more important to excavate than already known sites.

Ved Anavik findes resterne af et enestående bygningsværk. Bygningen har fungeret som et lagerhus, og tilbage står mandshøje murer som levn fra nordbotiden. Dengang var der flere gårde og en kirke med tilhørende kirkegård. I forbindelse med en arkæologisk udgravnning i 1982 blev der fundet meget velbevarede menneskelig på kirkegården. I bagklogskabens klare lys må man sige, at der blev gravet med rettidig omhu. I dag er resterne ved Anavik fortsat truet; bla fordi vegetationen vokser og næsten gemmer bygningsresterne.

A unique historical ruin is located at Anavik. The man-high walls are the relics from a building which has functioned as a warehouse during the Norse period. At that time, there were several farms and a church and associated cemetery. In 1982, several very well-preserved remains of humans were found in the cemetery, during an archaeological excavation. In hindsight, the excavation was made just in due time. Today, the remains of Anavik are still threatened; not the least due to the vegetation growth, which almost hides the ruins.







August | Iffiaartarfik, Nuup Kangerlua

Her måles kyststrækningen op i et område, hvor erosionen allerede har gnavet sig ind i et område med kulturminder. Kysterosionen har formentlig allerede frem til i dag været afgørende for at væsentlige dele af køkkenmøddingen er forsvundet ved Qajaa og andre steder. Alt afhængigt af kystens eksponering kan både tidevand, bølger ved storm og i særlig grad enkelte store storme være altafgørende for sårbarhed på den enkelte lokalitet.

Here, the coastline is measured in an area where erosion has already gnawed its way into an area with cultural monuments. So far, coastal erosion has caused major erosion in many places, as seen at the kitchen middens area at Qajaa and elsewhere. Depending on the exposure of the coast, both tides, waves and in particular individual large storms can be crucial for the threat of individual sites.

Forskning har vist, at planterødder har betydning for køkkenmøddinger ved dels at holde sammen på møddingen og modvirke erosion, men også at individuelle rødder kan gennemtrænge og ødelægge kulturgenstand. Et varmere klima og en længere vækstsæson kan betyde mere plantevækst, og at landskabet bliver mere grønt – men også at rodnettet udvides. Sammen med nye og mere varmekrævende planterarter kan køkkenmøddinger fremstå som helt "grønne pletter" i forhold til deres omgivelser. Fortidsminder rummer desuden ofte mere kvælstof og fosfor i jorden fra tidligere tiders menneskelige aktivitet, hvilket yderligere øger plantevæksten. Dertil kommer, at planternes rødder suger vand fra jorden og fremmer derved en udtørring og en øget adgang af ilt fra atmosfæren til dybere lag. Det betyder en øget nedbrydning på større dybde med velbevarede møddingslag. Alt i alt regnes en øget plantevækst for værende uheldig for fortidsminderne.

Ironisk nok kan arkæologiske udgravnninger vise sig at være problematiske for den kulturarv, der ikke udgraves. Det skyldes, at undersøgelser på flere sites i Nuuk-fjorden viser, at både kulstof og i særdeleshed kvælstof og fosfor findes i store mængder i fortidens køkkenmøddinger. Når der graves og flyttes rundt på jordbunkerne, medfører det at nogen af næringsstofferne friges. Det svare næsten til at pløje en mark, og den naturlige vegetation får et ordentligt godtningstilskud. Nye målinger af træringe (dendrokronologiske undersøgelser) viser, at pilekrat på arkæologiske sites vokser markant hurtigere end blot få 100 m væk fra bopladsen. Effekten af et næringsstofttilskud er markant, men det er uvist, hvor meget det skyldes de arkæologiske udgravnninger, og hvor meget det skyldes en øget mikrobiel nedbrydning af selve køkkenmøddingen.

Det har været lidt af en gåde, hvorfor der findes så store mængder af kvælstof med en isotopsammensætning, der svarer til den oprindelige form svarende til madrester for 100 til 1000 år siden. Hvorfor er kvælstofpuljen ikke blevet udvasket som så mange andre steder? En forklaring er formentlig, at den naturlige vegetation er usædvanlig god til at genbruge kvælstof. Det sker ved at sende kvælstof fra bladene ned i rodzonan om efteråret inden bladene visner. Derved kan planten genbruge kvælstofpuljen i rødderne det efterfølgende forår, og behovet for kvælstof fra jorden bliver desto mindre.

Research has shown that plant roots are important for the protection of kitchen middens against erosion, but also that individual roots can penetrate and destroy artifacts. Warmer temperatures and a longer growing season may result in more growth and a greener landscape – but also that the root network expands. Together with new and more warmth-demanding plant species, kitchen middens typically appear as completely "green spots" in relation to their surroundings. This is because due to past human activity, soils at archeological sites often contain more nitrogen and phosphorus than natural sites. This can accelerate plant growth and increase the root biomass. In addition, the roots of the plants absorb water from the soil layers and thereby promote the access of oxygen and thus degradation to the deeper deposits. In conclusion, increased plant growth on archeological sites is generally considered a threat to the cultural heritage.

Ironically, archaeological excavations may prove problematic for the cultural heritage itself. This is because studies at several sites in the Nuuk Fjord show that both carbon and in particular nitrogen and phosphorus are found in large amounts in the middens. When digging and moving around with soil in pits and piles, some of the nutrients can be released. So, excavations can almost act in a similar way as plowing a field where crops benefit from the fertilizer supplement. New measurements of tree rings (dendrochronology) show that willow shrubs on archeological sites are growing significantly faster than just a few 100 m away. The effect of a nutrient supplement is significant, but it is unknown how much it is due to the archaeological excavations and how much it is due to the high level of nutrients in the midden itself.

It has been a bit of a mystery why such a large fraction of nitrogen in soil and plants on archeological sites matches the isotope composition of the original forms in food scraps from several hundreds to a thousand years ago. Why has the nitrogen pool not been depleted and replaced as it is in many other places? One explanation is probably that the natural arctic vegetation is exceptionally good at recycling nitrogen. One way to recycle nitrogen is when arctic plants transfer nitrogen from the leaves down to the roots in the autumn before the leaves are falling. This allows the plant to reuse the nitrogen pool from the roots the following spring, and reduces the need for taking up new nitrogen from the soil.

Havspejlsstigninger er en anden trussel for de kulturminder der findes nær kystzonen. Sammen med ændringer i hyppighed og voldsomheden af storme forventes havspejlsstigninger at få stor betydning for erosionen af de kyster, der domineres af løst jord og sedimenter, og som ligger utsat i forhold til vind og vejr. Kysterosionen er nogle steder domineret af, at kystskaænten undermineres og efterfølgende kollapser. Det er dog værd at bemærke, at Indlandsisen bliver tyndere, specielt i randzonen, hvilket medfører, at landjorden aflastes og derfor kan hæve sig ved såkaldt isostatisk landhævning. Qajaa hæver sig omkring 1-2 cm om året, hvilket betyder, at landhævningen i området tilsyneladende er større end stigningen i havspejlsniveauet. Så det er ikke alle steder, at en havspejlsstigning giver anledning til en øget erosion.

Når alle disse trusler kombineres, får man et sårbarhedskort. Et sådan kort bliver ikke bedre end datagrundlaget, men en tværgående analyse gør det muligt at vurdere dels sandsynligheden for en risiko som fx erosion og dels konsekvensen af en risiko. Der hvor sandsynligheden er stor og konsekvenserne alvorlige, skal der naturligvis gribes ind først. På den måde får man et værktøj, der løbende kan forbedres i takt med at man får ny viden, og som giver et bud på, hvordan indsatsen for at rede den arktiske kulturarv kan prioriteres. Det første sårbarhedskort er nu lavet for Nuup Kangerlua (tidligere Godthåbsfjorden).

Sea level rise is another threat to many archeological sites found near the coastal zone. In combination with changes in the frequency and severity of storms, sea level rise is expected to have major impacts on the erosion of the coasts, particularly the ones consisting of sediments and directly exposed to wind and waves. Coastal erosion in places seems to be dominated by undermining and subsequent collapse rather than erosion of the coastal slope. However, it is worth noting that the Greenland Ice Sheet is becoming thinner, especially in the marginal zone, which means that the land is relieved and will therefore rise, known as isostatic land uplift. For example, the Qajaa area rises about 1-2 cm per year, which means that the land uplift in the area is greater than the rise in sea level. So, it is not everywhere that a sea level rise will cause an increase in erosion.

Environmental threats to archeological sites can be combined in a vulnerability map. Such maps are of course not any better than the data behind them. But a cross-sectional analysis makes it possible to assess both the probability of a risk (such as erosion) and the consequences of a risk. Where the probability is high and the consequences are serious, fast action must be taken to reduce the threat. The vulnerability map can continuously be improved as new knowledge is gained, and it can at any time provide the necessary information on how and where the necessary efforts to preserve the arctic cultural heritage should be made, and which areas should be prioritized. The first vulnerability map is now available for the entire Nuup Kangerlua area (previous known as Godthåbsfjorden).

Nye kulturminder er opdaget ved at bruge satellitbilleder og lede efter former og farvekontraster, som kan erkendes fra kendte sites. Her ses resterne af et kendt Thulehus nær Nuuk. Området har været brugt helt op til i dag, fordi mulighederne for fangst i området er gode.

New archeological sites have been discovered using satellite images, basically by looking for shapes and color contrasts that have been recognized from known sites. The photo shows the remains of a Thule house near Nuuk. The area is well-known and has been used until modern times because of the good hunting and fishing opportunities.

