

Kortlægning af pingo-rester i Danmark

AF PETER BRØGGER SØRENSEN¹ & HOLGER LYKKE-ANDERSEN²

1: Møllepold 17, 6200 Aabenraa, Danmark (peter@peterbrogger.dk); 2: Institut for Geoscience, Høegh Guldbergs Gade 2, 8000 Aarhus C, Danmark.

Sørensen, P.B. & Lykke-Andersen, H. 2017: Kortlægning af pingo-rester i Danmark. *Geologisk Tidsskrift* 2017, pp. 21–29. ISSN 2245-7097, København.

Udforskningen af det danske istidslandskab har til enhver tid været baseret på de bedste til rådighed værende topografiske kort. De Høje Målebordsblade fra 1842–1899 og de Lave Målebordsblade 1901–ff var grundlaget for Ussings og Harders pionerarbejde (Ussing 1903, 1907; Harder 1908) med kortlægning og forståelse af landskabernes udformning og dannelse. Deres arbejde har for adskillige generationer været nøglen til forståelse af de danske landskabers tilblivelse.

Med de nye digitale højdemodeller (DHM, Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering) foreligger der nu terrænmodeller med en præcision både i planet og i højden, som er noget i retning af ti gange bedre end målebordsbladene. Det betyder, at hidtil oversete landskabselementer nu kan identificeres og kortlægges. Endvidere udgør den mobile computerteknologi i form af tablets og mobiltelefoner med GPS – og med en app installeret, som gør det muligt at DHM vises på skærmen – et værktøj, som gør det nemt at lokalisere landskabselementer i felten.

Generel beskrivelse af pingoer og deres dannelse

Pingo er den videnskabelige betegnelse for en markant, konisk- eller kuppelformet bakketype, som findes i områder med permafrost. Pingoens særlige kendetegn er, at en betydelig del af dens indre består af is.

Pingoer er i nutiden et karakteristisk fænomen navnlig i sedimentære lavlande og dalstrøg i områder med permafrost. Bakketyperen er beskrevet blandt andet fra Canada (Porsild 1938; Müller 1959), fra Grønland (Müller 1959; Bennike 1983, 1998a, b) og Svalbard (Ross m.fl. 2005). Betegnelsen pingo er hentet fra de canadiske inuiters udtryk for 'koniske bakker' (Porsild 1938).

Pingoer har almindeligvis cirkulære eller ovale grundrids. Deres tværsnit kan – meget forenklet –

beskrives som oventil afrundede keglestubbe (Fig. 1). Deres højde angives at kunne være op til 40–50 m, og diameteren er ofte et par hundrede meter. Den maksimale diameter synes at være 600 m (Gurney 1998; Harris & Ross 2007). Flankerne har almindeligvis hældninger på ca. 35 grader (Gurney 1998).

En række omstændigheder skal være tilstede for at pingoer kan udvikles. Fire af de grundlæggende er: 1) klimaet skal være tilstrækkeligt koldt til at sikre eksistens af permafrost, hvilket ofte (men ikke altid) vil være ensbetydende med en årlig gennemsnitstemperatur på 0 °C eller lavere, 2) at stedet samtidig skal være relativt snefattigt om vinteren, og/eller må have høj vindhastighed, så et snelag ofte blæses bort, 3) materialet under permafrosten eller internt i lommer i den permafrosne jord skal indeholde porøse og permeable lag og 4) i disse lag skal grundvandet være under tryk.

Dannelsesmodeller, som har rødder i den tidlige litteratur om pingoer (Porsild 1938), skelner mellem to naturlige systemer for pingo-dannelse: det lukkede og det åbne (Müller 1959).

I nyere litteratur anvendes også betegnelserne hhv. det hydrostatiske og det hydrauliske system (Gurney 1998).



Fig. 1. Pingo i Eskerdalen, Svalbard. Pingoens højde er 25 m (fotograf: Ole Humlum; UTM 545349E, 8684659N).

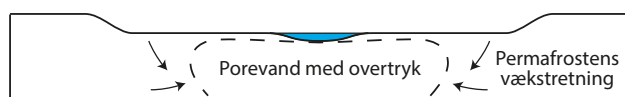
Det lukkede eller hydrostatiske system

I det lukkede system opstår overtrykket i vandmættede, porøse og permeable sediment i interne lommer (såkaldte taliks) i den permafrosne jord (Fig. 2). Sådanne taliks kan opstå under søer, hvor sommervarmen overført til vandet kan optø den underliggende permafrost. Overtrykket opstår om vinteren, når dele af talikkens porevand for oven og i siderne under udvidelse fryser til is. I takt med at isen fryser løftes de sedimentlag, som dækker isen, og dermed er pingoen født. Dæklagene over den nydannede is virker termisk isolerende, hvilket er forudsætningen for at isen – eller i det mindste en del af den – kan overleve næste sommers varme. I den følgende vinter vokser islinjen, og dæklagene løftes endnu en smule op.

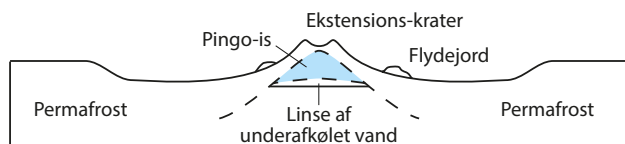
Med denne årlige cyklus opbygges pingoens iskerne gradvist indtil pingoen er fuldt 'udvokset'. Der er en grænse for hvor stor højde, der kan opnås. Det hænger sammen med de spændinger, som opstår i dæklagene, når iskernen vokser i højden. Trækspændingerne, som er både radiale og tangentielle, vil efterhånden som højden tiltager, få dæklagene til at bryde hen over toppen af iskernen. Det betyder, at toppen af iskernen bliver blottet mod atmosfæren, og



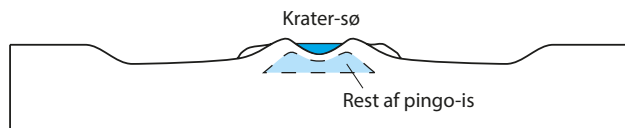
A. Tilstanden før pingo-dannelsen – og inden drænering af søen



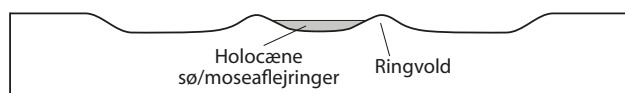
B. Permafrostens vækst skaber overtryk i grundvandet under den tidligere sø



C. Fuldvoksen pingo



D. Pingo under nedbrydning



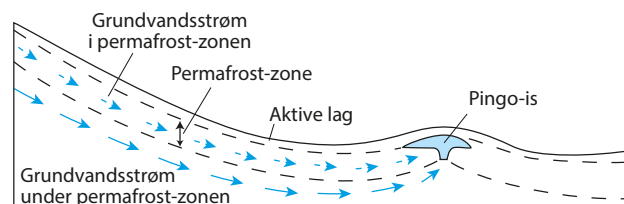
E. Nutidens pingo-rest

Fig. 2. Model over et hydrostatisk system (efter Harris & Ross 2007).

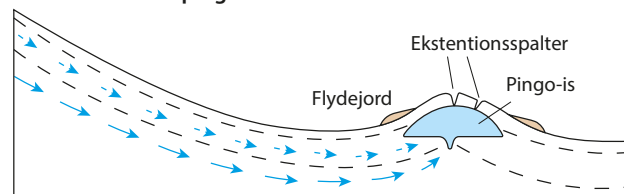
dermed vil den sommerlige afsmeltning forøges. Når det volumen, der smelter om sommeren bliver af samme størrelse som vinterens tilvækst i bunden af iskernen, stopper pingoens vækst. Denne udvikling medfører, at der i den 'voksne' pingo vil være et 'krater' henover toppen, og at der om sommeren vil kunne være en sø af smeltevand i 'krateret'.

Det åbne eller hydrauliske system

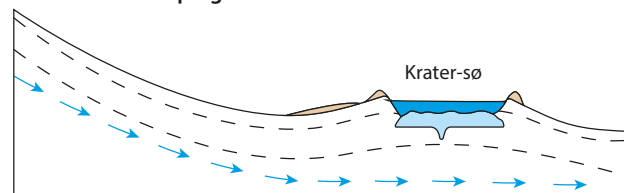
Det åbne system bygger på den antagelse at 'vandforsyningen', som er nødvendig for pingo-dannelsen leveres i form af grundvand, som står i hydraulisk forbindelse med grundvands-magasiner i bagved liggende højere terræn (Fig. 3). Det antages at grundvandet bevæger sig i ikke-frosne lag under og måske inden i den permafrosne jord. Den permafrosne jord betragtes som vandstandsende, og derfor vil grundvandsmagasinet under permafrosten være spændt. Det vil sige, at der vil være overtryk i grundvandet i forhold til oversiden af den permafrosne jord. Resten af udviklingshistorien er formentlig den samme som i det lukkede system.



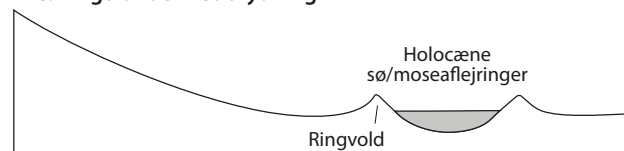
A. Dannelse af pingo



B. Fuldvoksen pingo



C. Pingo under nedbrydning



D. Nutidens pingo-rest

Fig. 3. Model over et hydraulisk system (efter Harris & Ross 2007).

Pingoernes nedbrydning

Pingoernes nedbrydning begynder, når afsmeltningen i toppen af iskernen overstiger tilførslen af ækvivalent isvolumen i bunden af iskernen. Nedbrydningen accelererer, når klimaet bliver varmere, og slutter, når hele iskernen er smeltet.

Undervejs i nedbrydningsforløbet foregår der en række omlejringsprocesser (de Gans 1988). I begyndelse står lagene som dækker iskernen, med stejl radiær hældning, hvilket indebærer en del jordflydning/solifluktion, og dermed aflejring af materiale i form af en randvold ved foden af pingoen. Efterhånden som klimaet bliver varmere forøges tempoet for nedsmeltningen af iskernen. I takt hermed opstår inden for randvolden en lavning med en dybde, som modsvarer mængden af materialet i randvolden. Den 'kratersø', som allerede var dannet under iskernens vækstperiode ligger centralt i lavningen. Under lunere klimaforhold og forøget biologisk aktivitet vil søen efterhånden fyldes med organiske sedimenter i form af gytje og tørv (de Gans 1988).

De få terrænmæssige spor, som bevares efter pingoens kollaps begrænser sig til en cirkulær til oval lavning med beskeden dybde og med en perimeter, som helt eller delvist markeres af en lav randvold. Den centrale fordybning med 'kratersøen' kan ikke forventes at være synlig i terrænet. Den vil ofte være opfyldt af gytje og tørv. Den kollapsede pingo benævnes pingo-rest.

Pingo-rester i Danmark

Under en rekognoscering af landskabet ved Aabenraa Fjord ved hjælp af Danmarks Højdemodel (DHM hillshade 1,6 m; Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering/Kortforsyningen) fik forfatterne den idé at undersøge, om det ville være muligt at finde rester af pingoer i Danmark.

Efter et præliminært litteraturstudium viste det sig til forfatterens overraskelse, at der for længst i flere af de lande, der ligger langs Weichsel-isens maksimale udbredelse i Europa (Woolderink 2014) er beskrevet rester af pingoer. Både fra Irland (Coxon 1986), Wales (Harris mfl. 2007), England (Hutchinson 1980), Holland (Heinze mfl. 2012), Tyskland (Ruiter 2012; Tilly 2014) og Polen (Dylik 1961, 1966; Jahn 1970) er der kortlagt og undersøgt cirkulære landskabselementer, der tolkes som pingo-rester.

Ganske vist påpeger Odgaard (1994), at Kragssø ved Karup kan være et resultat af en pingo-lignende dannelse. Endvidere nævner Svensson (1984) en mulig pingo-dannelse ved Hemmet. Men bortset fra disse

pioner-observationer, så er pingo-emnet stort set fraværende i den geologiske litteratur om Danmark. Det tog vi som en udfordring, og satte os det mål at forsøge at udfylde hullet i vor viden om udbredelsen af pingo-rester i Danmark gennem en præliminær kortlægning af mulige pingo-rester.

Præliminær kortlægning af pingo-rester i Danmark

Arbejdsmetoden vi valgte, var at foretage en systematisk gennemsøgning af DHM-kortene efter forekomst af omtrent cirkulære lavninger, som potentielt kunne klassificeres som pingo-rester, og dernæst at tage i felten med henblik på foreløbig validering af udvalgte observationer på DHM.

Ikke overraskende viste det sig, at der på DHM-kortene optræder mængder af omtrent cirkulære lavninger. Det ligger i sagens natur, at vi har måttet begrænse os til at udpege mulige pingo-rester ud fra rent topografiske kendetegn. Den endelige konfirmation vil kræve nærmere undersøgelser af kandidaternes interne strukturer.

På basis af beskrivelser af pingo-rester i litteraturen (de Gans 1988) valgte vi at anvende følgende simple topografiske egenskaber som særlig karakteristiske for pingo-rester: 1) i kortplan fremtræder pingo-resten som en omtrent cirkulær lavning, 2) lavningens diameter er i størrelsesordenen 100–800 m, 3) lavningen har moderat dybde i størrelsesordenen 1 m, 4) lavningen omringes mere eller mindre fuldstændig af en vold med højder i størrelsesordenen 1 m, 5) lavningen ligger i terræn med ringe hældning (få grader). De topografiske egenskaber implicerer, at terrænhældninger i pingo-resten sandsynligvis er små.

Ud over anvendelsen af disse kriterier, har vi bestræbt os på at frasortere kendte cirkulære strukturer/anlæg af antropogen oprindelse. Det handler om vikingeborge som Aggersborg og Fyrkat. Deres diameter falder ganske vist inden for den under punkt 2) nævnte størrelsesorden. Så det kan ikke helt udelukkes, at der er en eller to vikingeborge blandt de fundne kandidater, men de kan ikke alle være borge. En anden mulighed kunne være studefolde, som også er cirkulære. De kendte og beskrevne studefolde har dog en langt mindre diameter end 100 m (Manøe 2002; Olesen 2015). Forfatterne har ikke kendskab til anden menneskelig aktivitet, der kan efterlade spor i landskabet, som her er beskrevet. Derfor må oprindelsen af pingo-rester tilskrives naturlige processer.

En mulighed kunne være, at pingo-rester kan forveksles med dødishuller. Men der synes at være så store forskelle i morfologierne mellem dødishuller og

pingo-rester, at risikoen for forveksling er ringe. Smeltning af dødis efterlader ganske vidst lavninger i terrænet, men normalt ikke nogen randvold. Desuden peger iagttagelser på, at skrænthældningerne i dødis-huller er væsentlig større end i pingo-rester. Det er i al

fald tilfældet i området ved Flyndersø og Vivsø. Her ses dødishuller mod vest og formodede pingo-rester mod øst. Hældningen ind mod dødishullerne er typisk omkring 30 grader mens den i de formodede pingo-rester almindeligvis er under 5 grader.

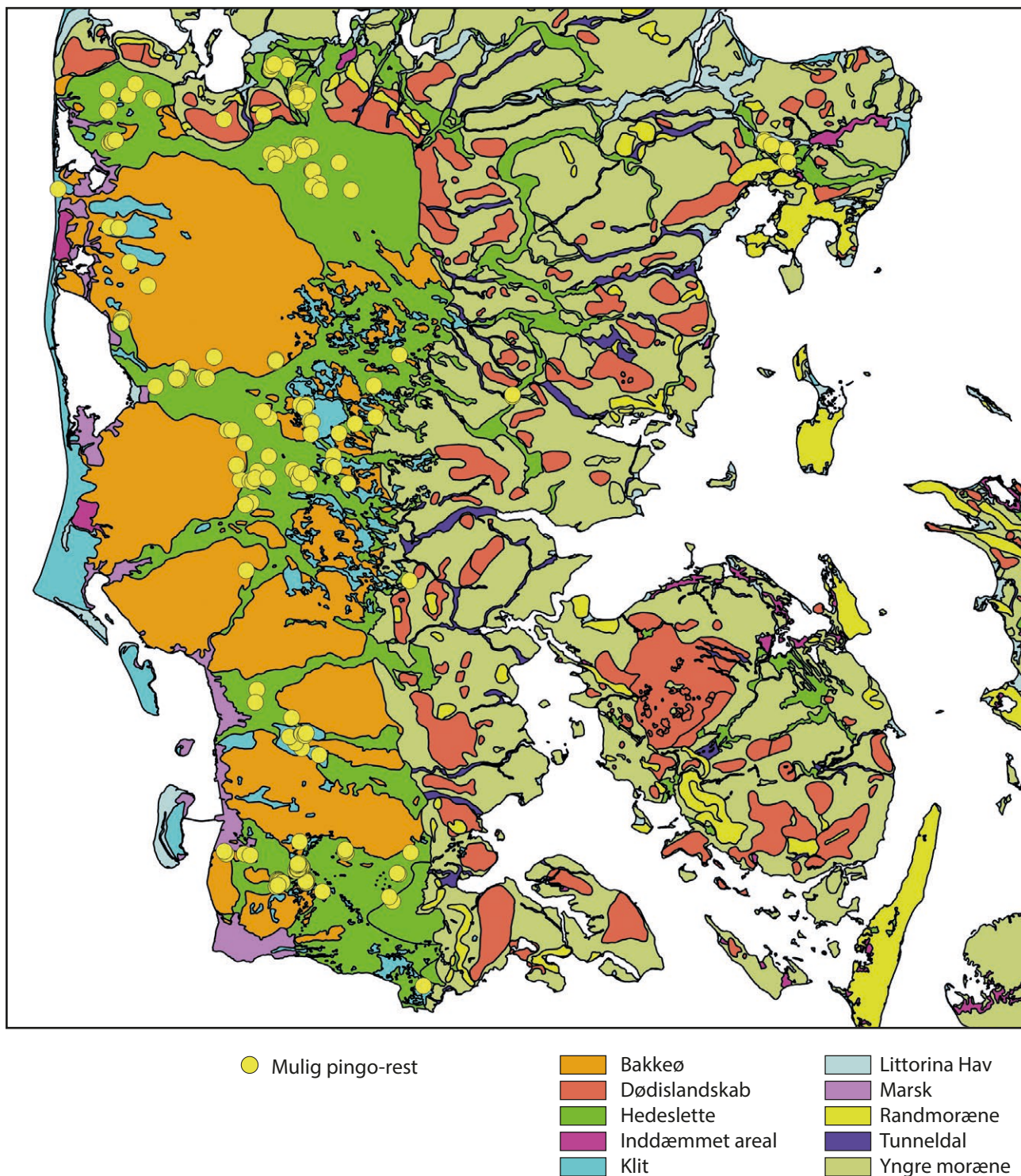


Fig. 4. Kort over den centrale og sydvestlige del af Danmark med kortlagte mulige pingo-rester. Baggrundskortet viser de vigtigste landskabstyper (Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet 2014).

Præliminært kort over pingo-rester i Danmark

Der er foreløbig kortlagt flere end 180 cirkulære til ovale strukturer, der mistænkes for at være pingo-rester (Fig. 4). For at kunne overskue og analysere den rumlige fordeling af de kortlagte formodede pingo-rester er de indlæst i et Geografisk Informations System, GIS, sammen med højdemodellen DHM1,6 og et landskabskort, der viser de vigtigste landskabselementer som hedesletter, bakkeøer etc. (Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet 2014).

Landskabselementerne er oprettet i en detaljeringsgrad svarende til 1:100.000 medens registreringen af pingo-resterne er foretaget med en nøjagtighed svarende til 1:10.000. Det betyder at landskabselementernes afgrænsning kan give en unøjagtighed i forhold til pingo-resternes beliggenhed.

Alle de kortlagte pingo-rester på nær 11 befinder sig på hedesletterne i Jylland udenfor Hovedopholds-linien. Endvidere kan det ses, at en del af pingo-resterne ligger forholdsvis tæt på en bakkeø, men det gælder ikke alle. Endvidere er der fundet seks, der ligger på en bakkeø. På Djursland syd for Ryomgaard findes tre i en smeltevandsdal og i Gudenådalen findes to ved Kodallund.

Beskrivelse af udvalgte, formodede pingo-rester

Tre eksempler på pingo-rester skal her beskrives. Det drejer sig om tre formodede pingo-rester ved Bovlund i Sønderjylland, Sølsted Mose samt fire ved Vivsø på Hjelms Hede (Fig. 5).



Fig. 5. Kort over Danmark der viser placeringen af Bovlund, Sølsted Mose og Vivsø lokaliteterne.

Bovlund

Ca. 2 km sydvest for Bovlund ligger tre pingo-rester med diametre på henholdsvis 300 m, 250 m og 250 m (Figs 6–8). De befinder sig på Tinglev hedeslette i en afstand af 1500 m til Toftlund bakkeø og en lignende afstand til en mindre bakkeø ved Øster Terp.



Fig. 6. Digital højdemodel af de tre formodede pingo-rester ved Bovlund (UTM 504387E, 6105150N).



Fig. 7. Ortofoto af Bovlund pingo-resterne.



Fig. 8. Fotografi af den midterste pingo-rest med en svagt synlig ringvold.

Alle tre pingo-rester har en cirkulær til oval omkreds omgivet af en ufuldkommen vold på 0,5 m til 1,0 m's højde. Depressionen ligger ca. 1m under det omgivende landskab. De tre pingo-resters omgivende vold kan især erkendes i den midterste pingo-rest hvor vegetationen fremstår med ringere vækst i dette luftfoto fra foråret 2015 (GeoDanmark, Ortofoto). I den sydlige struktur ses en sø, der meget vel kan være et resultat af tørvegravning.

Vivsø

Vivsø ligger på Hjelm Hede ca. 10 km syd-sydvest for Skive og ca. 2 km øst for den sydlige del af Flyndersø. Den aflange Vivsø har et areal på 5,7 ha, og søen er efter oplysning fra en lokal beboer opstået som følge af tørvegravning. Søen ligger omtrent i langsaksen i den ovale terrænlavning, som formodes at høre til en pingo-rest (1 på Fig. 9). Lavningens længste og NØ-SV forløbende akse er ca. 600 m lang. Den mindste akse er ca. 500 m. Omkring lavningen findes der mod vest og nord en randvold, som dog er usammenhængende

og med varierende højde og bredde. Hvor den er størst, er højden ca. 2 m og bredden ca. 50 m (Fig. 9).

Inde i den store lavning optræder der mod nordøst en oval lavning (2 på Fig. 9). Den er ca. 115 × 60 m og omgivet af en ca. 0,5 m høj randvold. Den kan muligvis opfattes som rest af en selvstændig pingo yngre end nummer 1. Et tværprofil ca. vest-øst hen over pingo-rest 1 og 2 viser, at lavningen ligger 1,5–2 meter under det omgivende terræn, og at randvolden er godt 1 m over det omgivende terræn (Fig. 10). Randvolden omkring den lille pingo-rest (2 på Fig. 9) er ca. 40 cm høj.

Umiddelbart øst og syd for Vivsø findes der adskillige mindre lavninger, hvoraf de fleste er ovale og få med mere komplicerede former. To af de ovale lavninger (3 og 4 på Fig. 9) har veludviklede randvolde. De kan muligvis være selvstændige 'satellit-pingo-rester'. Lavningerne uden randvold kan muligvis opfattes som thermokarstfænomener.

Vest for Vivsø og nær ved Flyndersø findes adskillige næsten cirkulære lavninger, som opfattes som dødishuller (Milthers 1948). Af eksemplet i Fig. 11

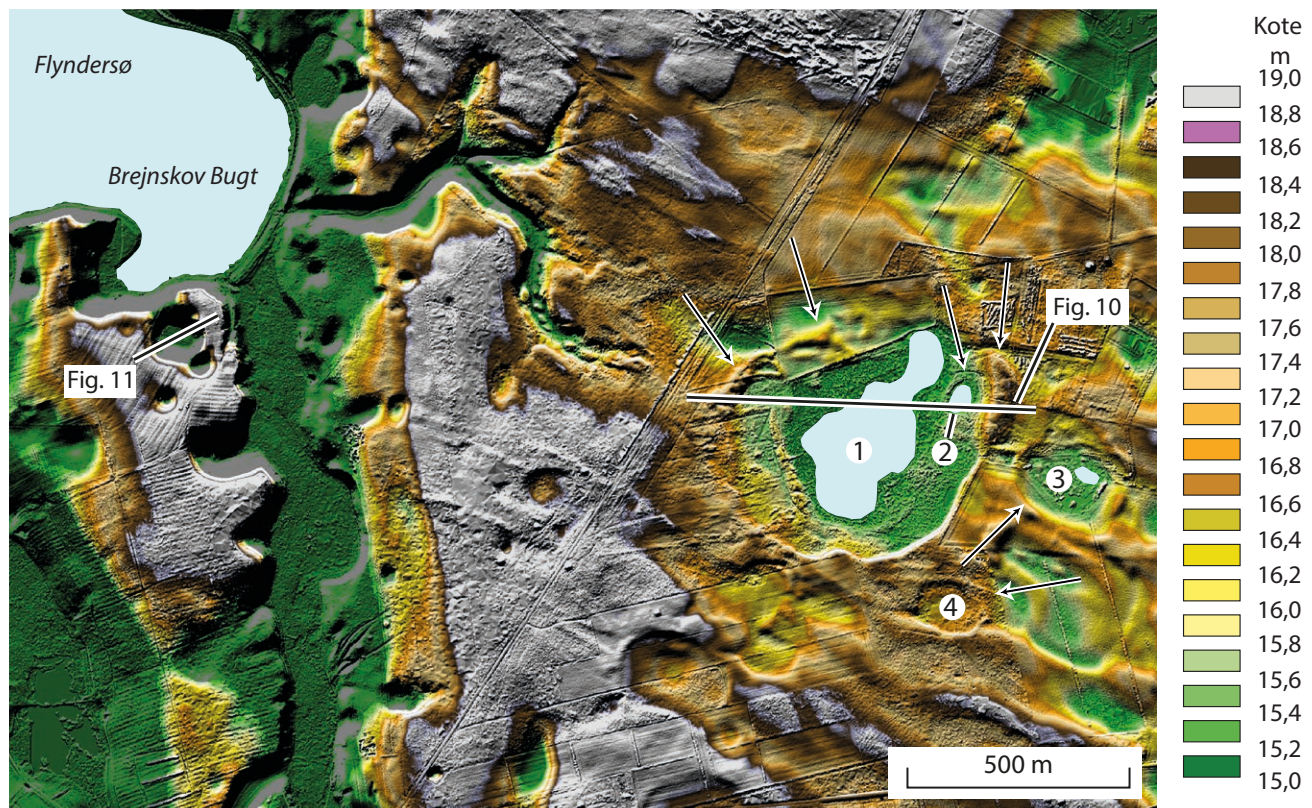


Fig. 9. Digital højdemodel over området omkring Vivsø. I kortets nordvestlige hjørne ses Brejnskov Bugt i sydligste del af Flyndersø (UTM 494993E, 6259015N). Fire pingo-rester er angivet med numrene 1–4. Den største pingo-rest (1) rummer Vivsø. I den østlige side af (1) findes en mindre pingo-rest (2). Umiddelbart sydøst for (1) findes to mindre pingo-rester (3 og 4). Den ca. øst-vest forløbende streg hen over (1) og (2) angiver beliggenheden af tværsnittet i Fig. 10. I området ved Brejnskov Bugt findes en del dødishuller. Hen over dødishullet nær søbredden er indtegnet en streg som viser placeringen af tværsnittet i Fig. 11. Pilene angiver randvolde.

fremgår det, at disse hullers 'arkitektur' adskiller sig markant fra pingo-resternes. Terrænhældningerne i dødishullerne kan være op til 30 grader, mens de i pingo-resterne sjældent overstiger 5 grader (Fig. 10).

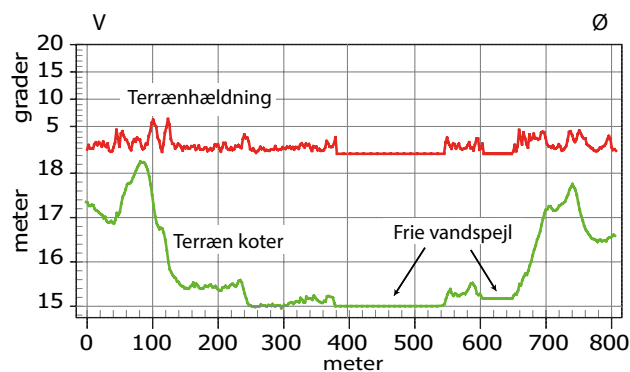


Fig. 10. Tværnsnit gennem pingo-rest (1) og (2). Tværnsnittets placering er angivet på Fig. 9.

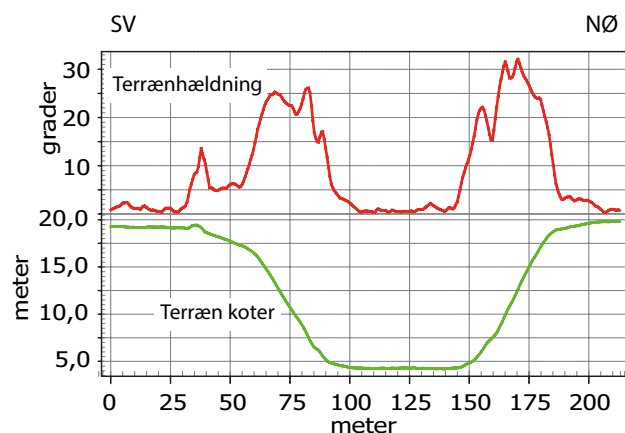


Fig. 11. Tværnsnit af dødishul nær bredden af Brejnskov Bugt ved sydenden af Flyndersø. Tværnsnittets placering er angivet på Fig. 9.



Fig. 12. På højdemodellen DHM 1,6 meter hillshade ses en oval struktur i Sølsted Mose (UTM 490536E, 6098031N).

Sølsted Mose

Sølsted Mose på Tinglev hedeslette syd for Bredebro har i de seneste år (2010–2016) gennemgået et omfattende restaureringsprogram med det formål at genskabe den mose, der gennem det seneste århundrede har været genstand for tørvegravning og anden udnyttelse (LIFE Sølsted Mose). På højdemodellen DHM 1,6 meter hillshade ses en tydelig oval struktur omgivet af en lav randvold i den østlige del af mosen (Fig. 12; UTM 490536E, 6098031N). På gamle topografiske kort ses, at der på den ovale vold var anlagt en køresti. Det gælder både det preussiske målebordsblad fra 1877–1878 og målebordsblade fra 1900-tallet. En kortlægning af tørve-ressourcerne fra 1937 viser, at tørvelaget i Sølsted Mose generelt har tykkelser på omkring 1,5 meter, medens der i den ovale struktur er registreret en tykkelse på 3 meter (Thøgersen 1942). Den ovale struktur opfylder derfor alle de kriterier som er karakteristisk for en pingo-rest. Hele mosen har måske sin begyndelse i denne gamle pingo-rest. Den ovale struktur i Foldager Mose beliggende 250 meter mod NØ antages ligeledes at være en formodet pingo-rest (UTM 490895E, 6098245N).

Overvejelser om pingoernes alder

Vi antager, at pingoernes primære dannelse og vækst har fundet sted under isskjoldets afsmeltning i Sen Weichsel ca. 23.000 til ca. 15.000 år før nu. Vi formoder, at nedbrydningen har taget fart i begyndelsen af Bølling–Allerød varmeperioden, der begyndte ca. 14.700 år før nu, og muligvis er den helt afsluttet inden udgangen af denne periode, der sluttede ca. 12.900 år før nu. Muligvis har der i den følgende kolde Yngre Dryas periode (ca. 12.900–11.700 år før nu) været muligheder for nydannelse af pingoer (jfr. beskrivelsen af formodede pingo-rester ved Vivsø) Tidsangivelserne følger Rasmussen mfl. (2014).

Konklusion

Denne kortlægning af mulige pingo-rester kan danne grundlag for yderligere observationer og undersøgelser. Boringer af profiler gennem udvalgte pingo-rester vil give værdifuld viden om pingoens vækst og efterfølgende kollaps. Dersom der findes tørvelag vil prøver herfra kunne aldersbestemme pingoens kollaps og dermed permafrostperiodens afslutning. Komplekse pingo-rester som beskrevet fra Vivsø og andre lokaliteter give værdifuld viden om den senglaciale udvikling.

Sammenligning med andre europæiske pingo-rester kan måske bidrage med værdifuld viden om det tidsmæssige forløb for permafrostens optøning i nordlige Europa og dermed give nyttig viden vedrørende den aktuelle optøning af permafrosten som følge af og måske bidrag til den nuværende globale opvarmning.

Anvendelsen af de moderne meget detaljerede digitale højdemodeller indbyder til at gå på jagt efter andre landskabselementer dannet under og efter tiden med permafrost. Det kan bl.a. dreje sig om iskiler, polygonjord, jordflydning, thermokarst søer samt jordskred.

Tak

Tak til Astrid Merete Borch, ORBICON for at finde arkiverede tørvekort og for at stille dem til rådighed for vores arbejde. Endvidere takkes Sine Brøgger Sørensens for udført grafisk arbejde med figurerne. Referees Ole Humlum og Leif Christensen kom med gode kommentarer.

English summary

A preliminary mapping of pingo remnants in Jutland, Denmark has revealed more than 180 examples. Together with Svensson (1984), the present paper is one of the first recognition of pingo remnants in Denmark. It is the first that uses high-resolution digital terrain models for Denmark to identify such features. Pingos are created in areas with permafrost such as arctic North America, Greenland and arctic Asia.

During the mapping we used the Danish Digital Elevation Model DHM hill-shade 1.6 m. We used the following criteria to identify possible pingo remnants: (1) an almost circular depression; (2) the diameter of the depression in the range of 100 m to 1000 m; (3) the depth of the depression is in the order of 1 m; (4) the depression is surrounded more or less continuously by a rampart with a height of about 1 m; and (5) the depression is situated in areas with gentle low slopes.

The great majority of the mapped pingo remnants is found on the outwash plains lying to the west of the main stationary line in Jutland. Peat occurs in many of the pingo remnants, as confirmed either through earlier mapping or by personal communications by local people to the authors. We presume that the creation and growth of the pingos took place during the Late Weichselian from about 21,000 to 13,000 years BP. We suspect that the collapse accelerated during the beginning of Bølling–Allerød warm period that began

ca. 12,900 years BP, and was probably finished before the end of this period at 12,900 years BP.

Perhaps the mapping can lead to further investigations using geophysical methods and drilling to gather information on the growth and collapse of the pingo remnants. Samples of peat can reveal information about the end of thawing of permafrost in Jutland. Comparison with other European pingo remnants can probably contribute to the knowledge of the thawing of permafrost in northern Europe and in this way assist in understanding the present thawing of permafrost as a result of current global warming.

The detailed digital elevation model can also be used to map other landscape elements created during or after the period with permafrost in Denmark. Such elements may include ice wedges, polygonal soil, solifluction patterns, thermokarst lakes and landslides.

Referencer

- Bennike, O. 1983: Pingos in Peary Land, North Greenland. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 32, 97–99.
- Bennike, O. 1998a: Pingoer. *Tidsskriftet Grønland* 1998, 62–68.
- Bennike, O. 1998b: Pingos at Nioghalvfjerdsfjorden, North-east Greenland. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 180, 159–162.
- Bruijn, R. de. 2012: Pingo remnants in the northern Netherlands and adjacent north-western Germany. MSc thesis i Igitur arkivet, Department of Physical Geography Faculty of Geosciences, Utrecht University, Netherlands.
- Coxon, P. 1986: A radiocarbon dated Early Post Glacial pollen diagram from a pingo remnant near Millstreet, County Cork. *Irish Journal of Earth Sciences* 8, 9–20.
- De Gans, W. 1988: Pingo scars and their identification. I: Clark, M.J. (red.): *Advances in periglacial geomorphology*, 299–322. Chichester: Wiley and Sons.
- Dylik, J. 1961. Guide book of excursions C. The Łódź Region. VIth INQUA Congress, 83 s.
- Dylik, J. 1966. Znaczenie peryglacjalnych elementów w stratygrafii plejstocenu. *Czasopismo Geograficzne* 37, 131–151.
- Gurney, S.D. 1998: Aspects of the genesis and geomorphology of pingos: perennial permafrost mounds. *Progress in Physical Geography* 22, 307–324.
- Harder, P., 1908: En østjydsk Israndslinje og dens indflydelse paa Vandløbene. *Danmarks geologiske Undersøgelse II. række*, nr. 19, 262 s.
- Harris, C. & Ross, N., 2007: Pingos and pingo scars. I:

- Elias, S.A. (red.): *Encyclopedia of Quaternary Science*, 2000–2007. Amsterdam: Elsevier.
- Heginbottom, J.A., Brown, J., Humlum, O. & Svensson, H. 2012: Permafrost and periglacial environments. U.S. Geological Survey Professional Paper 1386-A-5, A425–A496.
- Heinze, A., Hoek, W. & Tammen M. 2012: Pingo-Landschaft in Ostfriesland. Siedlungs- und Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet (SKN) 36, 111–999.
- Hutchinson, J.N. 1980: Possible late Quaternary pingo remnants in central London. *Nature* 284, 253–255.
- Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet, 2014: Landskabselementer.
- Jahn, A. 1970. *Zagadnienia strefy peryglacialnej*. Warszawa: PWN, 202 s.
- Mackay, J.R. 1986: Growth of Ibyuk Pingo, western Arctic Coast, Canada, and some implications for environmental reconstructions. *Quaternary Research* 26, 68–80.
- Manøe, S. 2002: Nogle sydvestjyske dyrefolde. *Mark og Montre* 2002, 103–121.
- Milthers, V. 1948: Det danske Istidslandskabs Terræformer og deres opstaaen. *Danmarks geologiske Undersøgelse III. række*, nr. 28, 233 s.
- Müller, F. 1959: Beobachtungen über Pingos. *Meddelelser om Grønland* 153, 3, 127 s.
- Odgaard, B.V. 1994: The Holocene vegetation history of northern West Jutland, Denmark. *Opera Botanica* 123, 171 s.
- Olesen, L.H. & Mauritsen, E.S. 2015: Luftfotoarkæologi i Danmark. Holstebro: Holstebro Museum, 416 s.
- Porsild, A.E., 1938: Earth mounds in unglaciated Arctic, northwestern America. *Geographical Review* 28, 46–58.
- Rasmussen, S.O. mfl. 2014 : A stratigraphic framework for abrupt climatic changes during the Last Glacial period based on three synchronized Greenland ice-core records: refining and extending the INTIMATE event stratigraphy. *Quaternary Science Reviews* 106, 14–28.
- Ross, N., Harris C., Christiansen, H.H. & Brabham, P.J. 2005: Ground penetrating radar investigations of open system pingos, Adventdalen, Svalbard. *Norsk Geografisk Tidsskrift* 59, 29–138.
- Ryckborst, H. 1975: On the origin of pingos. *Journal of Hydrology*, 26, 303–314.
- Ruiter, A.S. 2012: Relict pingos and permafrost – a comparison between active landforms in the Canadian Arctic and relict permafrost features in the Netherlands and adjacent Germany. MSc thesis i Igitur arkivet, Utrecht University, Faculty of Geosciences, Department of Physical Geography.
- Svensson, H. 1984: The Periglacial form group of southwestern Denmark. *Geografisk Tidsskrift* 84, 25–34.
- Thøgersen, F. 1942: Danmarks Moser. Beretning om Hedeselskabets systematiske Eng- og Moseundersøgelser. Viborg: Hedeselskabet, 170 s.
- Ussing, N.V. 1903: Om Jyllands Hedesletter og Teori-erne for deres Dannelse. *Oversigt over Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Forhandlinger* 1903, nr. 2, 99–152.
- Ussing, N.V. 1907: Om Floddale og Randmoræner i Jylland. *Oversigt over Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Forhandlinger*, 1907, nr. 4, 161–213.
- Woolderink, H.A.G. 2014: Late Weichselian permafrost distribution and degradation. A pingo based reconstruction for the Netherlands, 88 s. MSc thesis, Utrecht University, Faculty of Geosciences, Department of Physical Geography.