

Grondboor en Hamer	6	1983	pag. 165 – 174	8 fig.	Oldenzaal, december 1983
-----------------------	---	------	-------------------	--------	-----------------------------

Permafrost en permafrostverschijnselen in arctische gebieden

W. de Gans*

INLEIDING

Gebieden met permafrost nemen een groot deel van het aardoppervlak in beslag. De aanwezigheid van permafrost is bepalend voor het optreden van specifieke geomorfologische verschijnselen en de oorzaak van grote problemen bij de menselijke occupatie van deze gebieden.

In de meeste zandgebieden van Nederland zijn ook nu nog oppervlaktevormen aanwezig, waarvan het ontstaan alleen maar mogelijk is als de grond permanent bevroren is (permafrost) of het permanent bevroren zijn van de grond geleidelijk aan minder wordt. Naast deze oppervlaktevormen komen in de ondergrond plaatselijk structuren voor die op een vroegere aanwezigheid van permafrost duiden. Aangezien het voorkomen van deze structuren beperkt is tot een aantal lagen en de ouderdom hiervan met behulp van fossielen (veelal stuifmeelkorrels) en/of radio-actieve koolstof (C14) bepaald is, weten we in ieder geval dat er gedurende de laatste ijstijd (het Weichselien) permafrost voorkwam in Nederland.

Na het Weichselien nam de omvang van de permafrostzone sterk af, maar, zoals hier boven al vermeld is, heeft ook nu nog een groot deel van het aardoppervlak een 'eeuwig bevroren' ondergrond. Om de fossiele permafrost fenomenen in Nederland te kunnen begrijpen en verklaren is kennis van de actuele situatie onontbeerlijk. In een tweetal artikelen zal aan deze onderwerpen aandacht worden besteed. In dit eerste artikel worden een aantal belangrijke recente permafrost verschijnselen besproken en aandacht besteed aan een aantal problemen die de aanwezigheid van permafrost voor de bewoonbaarheid van een gebied met zich mee brengt. Het tweede artikel gaat over een aantal permafrostrelicten uit het Weichselien zoals die in Nederland fossiel worden aangetroffen.

PERMAFROST

Aardlagen die minstens twee jaar een temperatuur beneden de 0° C. bezitten worden als permafrost aangeduid. Permafrost ontstaat onder koude klimaatsomstandigheden, waarbij de gemiddelde jaartemperatuur zo laag is, dat de afkoeling aan het aardoppervlak en de daaronder liggende lagen groter is dan de opwarming door de inwendige aardwarmte (geothermische gradiënt). Zo zal bijvoorbeeld bij bevroering van de bovengrond gedurende de winter tot een diepte van 200 cm en een dooi in de daarop volgende zomer tot 80 cm een permafrost van 120 cm ontstaan. Bij aanhouden van de koude klimaatsomstandigheden over een lange periode kan de permafrost aangroeien tot een dikte van honderden meters. De verbreiding van de permafrost op het noordelijk halfrond is aangegeven in figuur 1. De permafrost blijkt over het algemeen het dikst te zijn aan de noordzijde van het Amerikaanse en Aziatische kontinent. In

* Rijks Geologische Dienst, district west, Lorentzstr. 1, 1821 BR Alkmaar

zuidelijke richting neemt de dikte af en komen er openingen (taliks) in voor. Men spreekt daarom wel van continue of gesloten en van discontinue of open permafrost (WASHBURN, 1979).

De in de zomermaanden ontdooiende bovenlaag in permafrostgebieden wordt 'active layer' (opdooilaa) genoemd (figuur 2). De dikte van deze laag neemt in zuidelijke

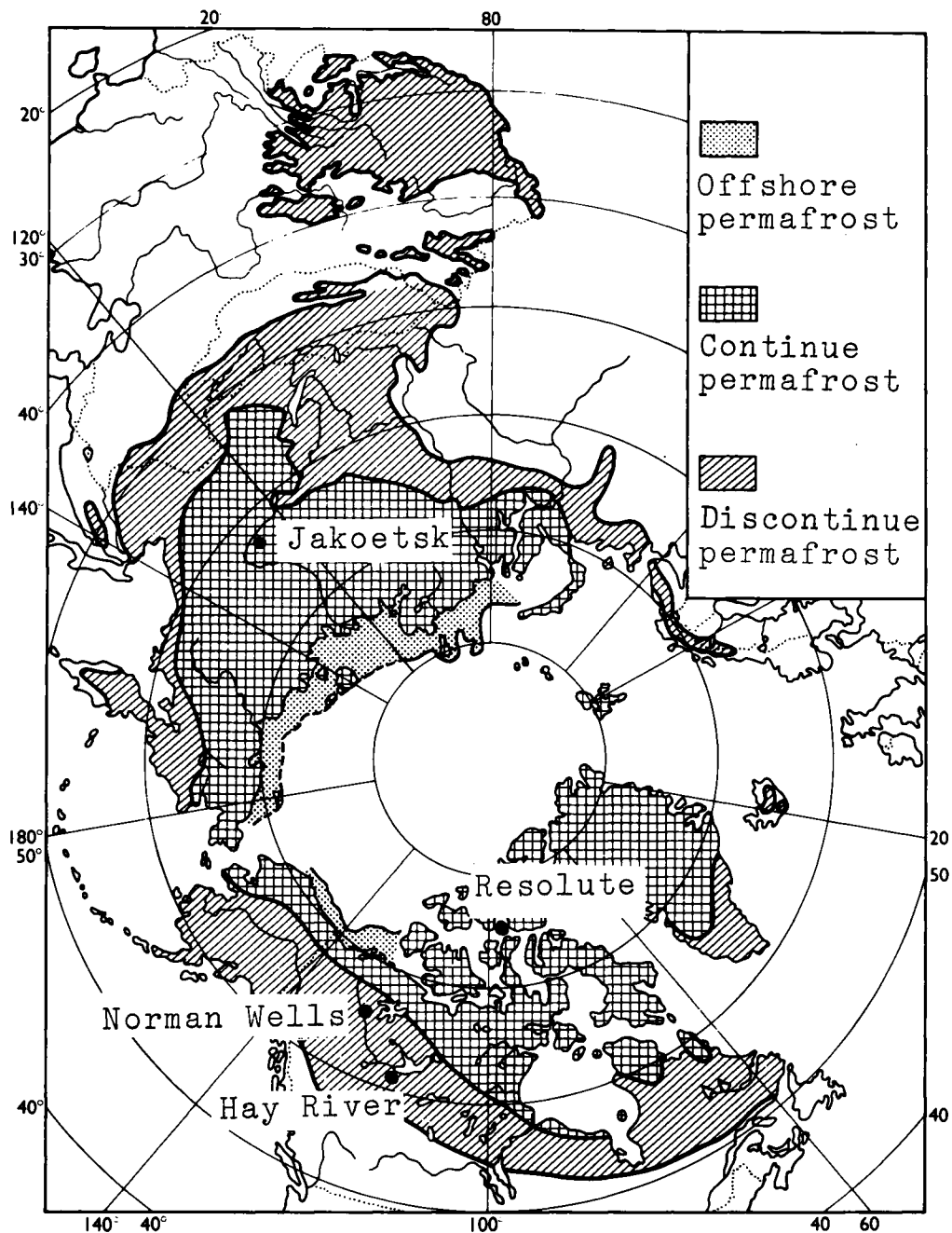


Fig. 1: Verbreiding van de permafrost op het noordelijk halfrond (naar WASHBURN, 1979).

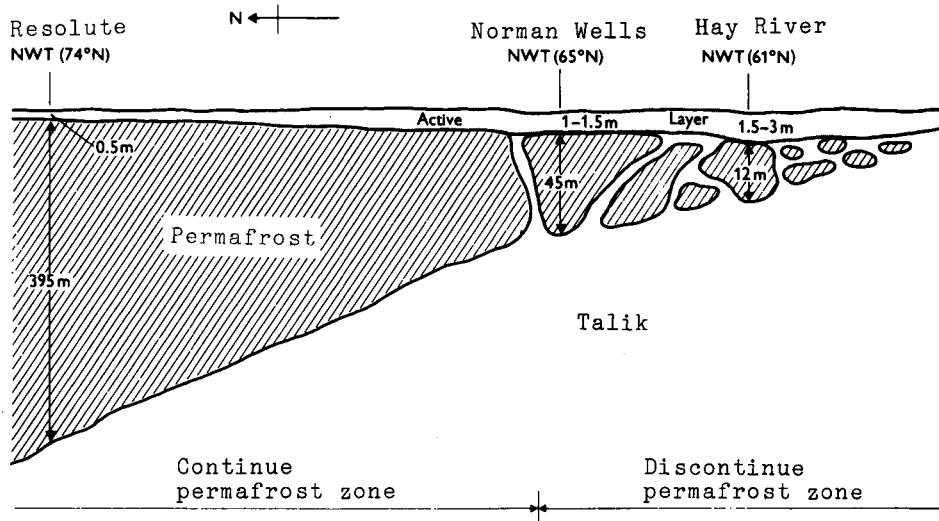


Fig. 2: Schematische noord-zuid doorsnede door de permafrostzone van noord-Canada. De ligging van de plaatsnamen is aangegeven op figuur 1 (naar WASHBURN, 1979).

richting toe en kan aan de zuidzijde van permafrostgebieden een waarde van 3 meter bereiken. Deze dikte is sterk afhankelijk van de vegetatie, de grondsoort, het reliëf, de bodemvochtigheid en de neerslagvorm.

Het is nog niet duidelijk of de huidige, honderden meters dikke permafrost van noord-Canada of centraal-Siberië in evenwicht is met het huidige klimaat of dat het geheel of gedeeltelijk een relict is uit de (laatste) ijstijd(en). De vondsten van mammoetresten in de permafrost van Siberië pleiten voor de laatste opvatting (FRENCH, 1976; KAHLKE, 1981). Dit idee wordt tevens ondersteund door het voorkomen van zogenaamde 'offshore permafrost' in de randzones van de Noordelijke IJszee (figuur 1). Deze in oorsprong continentale permafrost kwam door stijging van de zeespiegel vanaf het begin van het Holoceen onder water te liggen.

In gebieden waar een permafrost aanwezig is, worden de geologische en geomorfologische processen sterk door vorstwerking en opdooiverschijnselen bepaald. De structuren en terreinvormen die direct of indirect het gevolg zijn van deze processen worden pleglaciale verschijnselen genoemd. Ze vallen, wat hun verbreiding betreft, veelal samen met de aanwezigheid van permafrost, maar zijn daar niet per se aan gebonden.

BODEMIJS EN THERMOKARST

Zoals uit het voorgaande is gebleken duidt permafrost op de temperatuur van de aardlagen en staat los van het feit of er al of geen water in de bodem aanwezig is. Indien er echter water in permafrostgebieden is, dan zal dit doorgaans in de vorm van bodemijs zijn. Dit ijs kan in de poriën tussen de sedimentkorrels voorkomen, maar ook in de vorm van meters dikke lagen aanwezig zijn. Dit bodem- of segregatieijs ontstaat doordat ten gevolge van drukverschillen op het grensvlak tussen de vaste fase (ijs) en de vloeibare fase (water), vocht uit de onbevroren ondergrond (talík) wordt aangetrokken (WASHBURN, 1979). Bodemijs komt vooral voor in kustgebieden en langs riviervlakten waar de permafrost al zeer oud is. Het kan dikten tot meer dan 20 meter bereiken (fig. 3).

Door veranderingen in het thermodynamisch evenwicht aan het permafrostoppervlak, bijvoorbeeld door verstoring van het vegetatiedek, kan bodemijs lokaal gaan smelten.

Hierdoor kunnen ondiepe zogenaamde thermokarstmeren ontstaan, die doorgaans een ronde tot ovale omtrek en een diepte van minder dan 2 meter bereiken (fig. 4). In gebieden met zeer dikke bodemijsvoorkomens kunnen deze meren grotere afmetingen en dieptes bereiken. Door ontwateringen ontstaan hieruit grote topografische depressies die in Siberië 'alas' worden genoemd (fig. 6).



Fig. 3: Bodemijsvoorkomen langs de Aldan rivier ten noordoosten van Jakoetsk in centraal Siberië (opname W. de Gans).

IJSWIGGEN EN POLYGONEN

Sterke en plotselinge afkoeling aan het begin van het winterseizoen van het bovenste deel van de permafrostzone tot bijvoorbeeld -15 of -20°C . kan tot gevolg hebben dat door volumevermindering spleten (cracks) in de grond ontstaan. De diepte van deze spleten varieert maar ze kunnen vanuit de opdooi laag vele meters de permafrost binnendringen. De spleten kunnen worden opgevuld met dooiwater, dat meteen zal bevriezen, of met (aeolisch) sediment. In beide gevallen voorkomt deze opvulling dat de spleten zich weer zullen sluiten in het volgende zomerseizoen.

Aangezien de zo opgevulde spleten verticale zwaktezones vormen in de bodem kan hetzelfde proces zich op dezelfde plaats opnieuw voordoen. Zo ontstaan door veelvuldige herhaling van dit proces uiteindelijk, na een lange reeks van wisselende seizoenen, met ijs of zand gevulde wigvormige structuren: ijswiggen (ice wedges) of zandwiggen (sand wedges). Ijswiggen komen voor in permafrostgebieden waar veel water aanwezig is, en worden vaker gevonden dan zandwiggen die onder drogere omstandigheden worden gevormd.

De grootte van ijswiggen is naast de hoeveelheid water dat in circulatie is en het materiaal waarin ze ontstaan, sterk afhankelijk van de tijdsduur waarin ze gevormd worden. Het merendeel van de ijswiggen is aan het oppervlak doorgaans niet meer dan 1,5 meter breed bij een diepte van circa 4 meter (fig. 5). Uit Siberië zijn voorbeelden

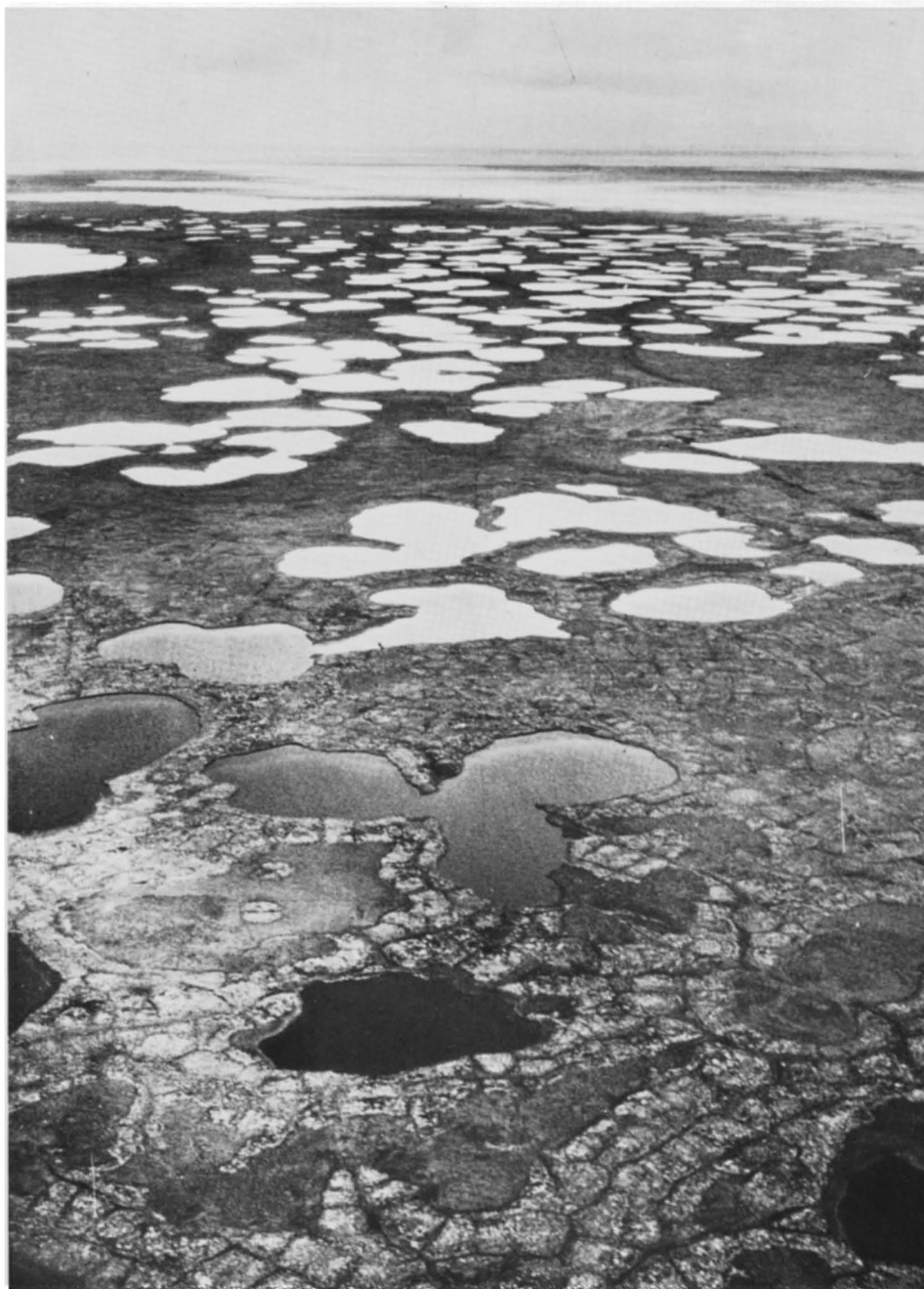


Fig. 4: Luchtfoto van thermokarstmeren en polygonen nabij de monding van de Mackenzie rivier in noord-Canada (opname W. de Gans).

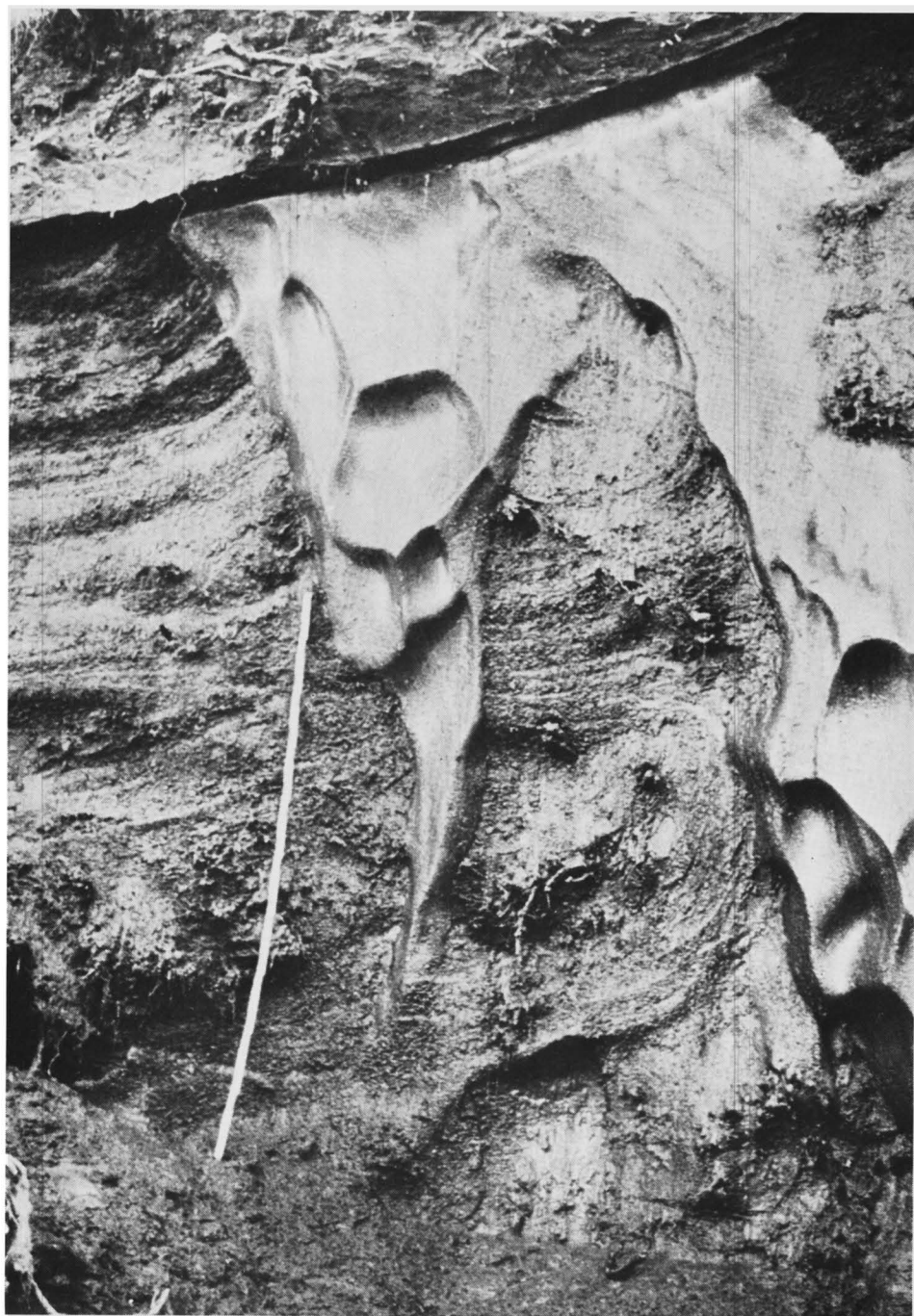


Fig. 5: Ijswiggen langs de Aldan rivier. De lengte van de meetlat bedraagt 150 cm (opname W. de Gans).

bekend met een breedte tot 4 meter en dieptes tot 10 meter. Deze zijn echter duizenden jaren oud.

De cracks en wiggen vormen aan het aardoppervlak een veelhoekig patroon: polygonen (fig. 4). De gemiddelde diameter van polygonen ligt tussen de 15 en 40 meter.

PINGO'S EN PINGORUINES

Tot de opvallendste geomorfologische verschijnselen in permafrostgebieden behoren de pingo's of ijsheuvels. Dit zijn heuvels waarvan de kern uit massief ijs bestaat. De hoogte van pingo's bedraagt maximaal 70 meter bij een diameter die tussen de 30 en 600 meter ligt. Naar hun ontstaanswijze onderscheidt men twee typen: open-systeem of Oost Groenland pingo's en gesloten-systeem of Mackenzie pingo's (FRENCH, 1976).

Open-systeem pingo's ontstaan op hellingen van minimaal enkele graden in gebieden met een discontinue permafrost. Hier kan grondwater, dat onder artesische druk staat, via een talik de permafrost binnendringen en bevriezen. Bij doorgaande voeding met dit kwelwater kan een ijslens worden gevormd, die door voortdurend aangroeien de bedekkende laag aarde omhoogdrukt. Zodoende ontstaat een heuvel met een ijskern, die naar de eskimoterm voor de dit soort heuvels pingo wordt genoemd.

Gesloten-systeem pingo's zijn over het algemeen gelegen in gebieden zonder reliëf waar een continue permafrost aanwezig is. Meestal zijn ze gelegen in thermokartsmeren. Men gaat er van uit, dat deze meren oorspronkelijk zo diep waren, dat ze 's winters niet tot op de bodem bevroren. Hierdoor ontstond onder het meer een talik. Raakte het meer opgevuld met sediment of organisch materiaal, dan kon door de afgenomen waterdiepte de vorst wel tot op de meerbodem doordringen en begon zich onder het meer een permafrost te vormen. Bij voortgaande uitbreiding van de permafrost onder het meer kwam het poriënwater in de talik onder druk te staan waardoor het kon



Fig. 6: Gesloten-systeem of hydrostatische pingo in de omgeving van Jakoetsk. De pingo is ongeveer 10 meter hoog bij een diameter van 50 meter en is gelegen in een drooggevallen thermokartsmeer of alas (opname W. de Gans).

worden weggeperst in de erboven gevormde permafrost. Hierdoor ontstond eveneens een kwelsituatie waardoor pingo's konden ontstaan in voormalige thermokarstmeren (fig. 6).

Omdat voor het ontstaan van gesloten-systeem pingo's niet per se een gesloten talik aanwezig hoeft te zijn, maar de benodigde druk op het poriënwater ook kan ontstaan bij aanwezigheid van een ondoorlatende (klei)laag in de ondergrond, deelt men tegenwoordig pingo's bij voorkeur in op grond van de wijze waarop de druk van het water tot stand komt, welke nodig is voor het aangroeien van de ijskern. Daarom spreekt men nu liever van hydrostatische pingo's, waarbij de toenemende waterdruk ontstaat door een zich uitbreidend permafrostfront, en hydraulische pingo's, waarbij de toenemende waterdruk het gevolg is van het aanwezige reliëf (wet van de communicerende vaten).

Als de ijslens in een pingo blijft aangroeien, worden de hellingen van de heuvel steeds steiler, waardoor de bedekkende aardlaag of pingohuid uiteengerekt wordt en scheuren gaat vertonen. Als gevolg hiervan kan de zonne-energie de pingo binnendringen en wordt het thermodynamisch evenwicht verstoord. Hierdoor gaat de ijslens smelten en kan de huid van de pingo naar beneden schuiven en/of verspoelen. Rondom de afsmeltende pingo ontstaat zo een ringwal van het afgegleden en verspoelde materiaal. Uiteindelijk smelt de ijskern van de pingo geheel af en blijft een depressie in het landschap over die omgeven is door een ringwal: een pingoruïne of pingosmeltgat (fig. 7). De diepte van de pingoruïne komt min of meer overeen met de basis van de ijskern van de pingo. Een pingo kan dus, als gevolg van zijn ontstaanswijze, veranderen in een pingoruïne bij gelijkblijvende klimaatsomstandigheden. Door klimaatverbetering kan dit proces van degeneratie versneld worden.



Fig. 7: Smeltende pingo in noord Canada (opname H.M. French).

GELIFLUCTIE

De aanwezigheid van permafrost beperkt in grote mate de mogelijkheid tot infiltratie van smelt- en regenwater in de bodem. Hierdoor is de grondwaterstand dikwijls hoog en de active layer - althans voor een deel van het zomerseizoen - verzadigd met water. Als gevolg hiervan is de cohesie tussen de bodemdeeltjes gering en kan (een deel van) de opdooilaag op hellingen naar beneden glijden of vloeien. Dit proces wordt gelifluctie genoemd en kan in vele verschijningsvormen optreden. Samen met andere hellingprocessen - die onder periglaciale omstandigheden kunnen optreden - is dit proces verantwoordelijk voor vervlakking van het reliëf van permafrostgebieden.



Fig. 8: Utilidor-systeem en op palen gebouwde huizen in Inuvik-NWT/Canada (opname W. de Gans).

PERMAFROST EN BEWONING

Gebieden met permafrost nemen 26% of 22.400.000 km² van het aardoppervlak in beslag. In de USSR beslaat de permafrost zelfs 50% van het totale landoppervlak.

Voor de mens levert met name het voorkomen van bodemijs in permafrostgebieden grote problemen op bij de bouw van huizen, wegen, bruggen, vliegvelden en pijpleidingen (PRICE, 1972). Immers, wanneer door verstoring van het vegetatiedek en/of de opdooilaag het thermodynamisch evenwicht ontregeld wordt, kan het bodemijs gaan dooien waardoor verzakking kan optreden. Door schade en schande heeft men zodoende geleerd om bijvoorbeeld gebouwen, net als in Amsterdam, op palen te bouwen. In permafrostgebieden gebeurt dit om ze vrij boven het aardoppervlak te laten staan, zodat de ondergrond door de verwarming in deze bouwwerken niet kan gaan dooien. Ook de aanvoer van water en de afvoer van rioolwater vereist de nodige aanpassing om bevriezing hiervan of verstoring van de opdooilaag te voorkomen. Aan- en afvoer is dikwijls in de vorm van een bovengronds zogenaamd utilidor-systeem (fig. 8) geregeld.

Een geheel ander probleem dat zich in permafrostgebieden kan voordoen ontstaat door het bij de aanleg van wegen ongewild aansnijden van een kwelzone. Het hierbij uittredende grondwater bevriest waardoor wegen over grote afstanden onbegaanbaar worden door zogenaamde 'icings'.

SLOTOPMERKING

De bestudering van geologische en geomorfologische processen in permafrostgebieden is in de laatste tien jaren sterk toegenomen, omdat de vondsten van olie en gas in de arctische gebieden de exploitatie hiervan, in het bijzonder voor de nodige problemen zorgde. Bovendien bleek dat de verstoring van de vegetatie door inzet van zwaar materiaal (rupsvoertuigen) de inleiding vormde tot verwoesting van het landschap. Met name in Canada en de USA werd hiertegen door milieuorganisaties geprotesteerd. Dit alles resulteerde mede in fundamenteel onderzoek, waarbij de bodemmechanische aspecten de boventoon voerden. Ook de geologie en de geomorfologie hebben echter, begrijpelijkerwijs, van deze ontwikkeling geprofiteerd. Niet in de laatste plaats omdat inmiddels de toegankelijkheid van permafrostgebieden aanzienlijk toegenomen was. De kennis van de permafrostgebieden en van de processen die zich daar afspelen is de afgelopen jaren dan ook sterk toegenomen. Zonder deze kennis zouden we nog maar weinig begrijpen van de fossiele permafrostrelicten die in Nederland aanwezig zijn. In het volgende artikel zal hier nader op ingegaan worden.

VERANTWOORDING

Drs. P. Cleveringa was zo vriendelijk adviezen te geven over de opzet van dit artikel terwijl de heer Willemsen, beiden van de Rijks Geologische Dienst, zo vriendelijk was het fotowerk te verzorgen.

SUMMARY

In this paper a survey is given of the nature and distribution of permafrost and its related geological and geomorphological processes and landforms. The terms continuous permafrost, discontinuous permafrost, offshore permafrost, active layer (fig. 2) and talik are explained. In addition, the occurrence of solid ice layers in permafrost areas (fig. 3) and the origin of thermokarst phenomena due to the disturbance of the thermo-dynamic equilibrium is discussed (fig. 4). Some specific permafrost phenomena and processes are exemplified which are found also as Pleistocene permafrost relics in the Netherlands, such as: ice wedges and their related polygons (fig. 4 and 5), pingos and pingo remnants (fig. 6 en 7), and gelifluction. Finally some of the problems of human occupation in permafrost areas are discussed (fig. 8).

LITERATUUR:

- FRENCH, H.M., 1976: The periglacial environment. Longman. Londen, 309 blz.
KAHLKE, H.D., 1981: Das Eiszeitalter. Aulis Verlag. Köln, 192 blz.
PRICE, L.W., 1972: The periglacial environment, permafrost and man. Commission on college geography resource paper no 14; Association of American Geographers, Washington, D.C., 88 blz.
WASHBURN, A.L., 1979: Geocryology. A survey of periglacial processes and environments. Edward Arnold, 406 blz.