

# Geomorfologiska effekter av den globala uppvärmningen

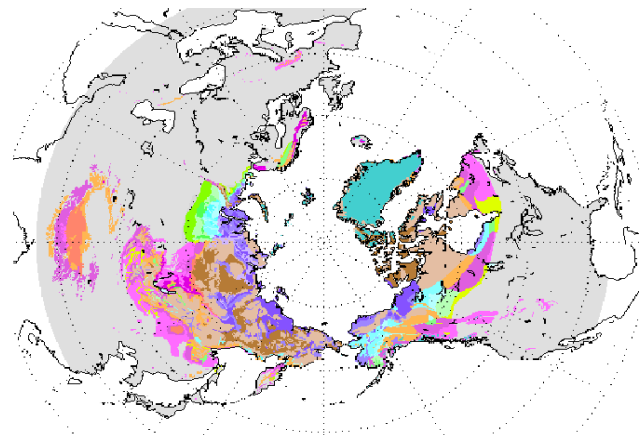
## Inledning

Den globala uppvärmningen ger upphov till en stor mängd olika geomorfologiska effekter som påverkar i stort sett hela jorden. Ett urval av dessa effekter är hydrologiska effekter som glaciärstorlek, vattenflöden och snötäcken, geomorfologiska effekter såsom förändrad erosion och sedimentation, ökad lutningsinstabilitet med ökade rasrisker, brandrisk och dynrörelser och även kust/marina geomorfologiska effekter som kusterosion, minskad landareal och korallblekning.<sup>1</sup> Att ta upp alla ÿeller ens en större delmängd ÿav dessa effekter är givetvis inte möjligt. Därför kommer jag att fokusera på ett område som jag inte nämnt i denna listan, geomorfologiska och hydrologiska förändringarna av den globala uppvärmningens påverkan på permafrosten.

Jag kommer inleda resterande delen av uppsatsen med en genomgång om vad permafrost är och dess utbredning, därefter tittar jag på hur den globala uppvärmningen påverkar permafrostens utbredningen följt av olika möjliga geomorfologiska effekter av permafrostens minskning. Efter detta tittar jag på möjliga feedback-loopar mellan effekterna av permafrostens minskning och den globala uppvärmningen följt av en diskussion av det jag gått genom.

## Permafrost

Rent definitionsmässigt har permafrost inte så mycket med is eller snö att göra, utan definitionen av permafrost är kort och gott den del av sedimenten och berggrunden som har en temperatur som understiger noll grader under två på varandra följande år. På grund av variationer i geografi och klimat så urskiljer man fyra olika typer av permafrost beroende på dess utbredning, den kontinuerliga, den diskontinuerliga, den sporadiska och den isolerade. På norra hemisfären förekommer permafrosten huvudsakligen mellan 60°N och 68°N breddgraden, norr om 67:e breddgraden förekommer det inte mycket fast land där permafrost kan bildas. Men permafrost kan befinna sig så långt norrut som 87°N på norra Grönland och så långt söderut som 26°N och då på Himalaya. Ungefär 24% av den nordliga hemisfären, eller knappt 23 miljoner km<sup>2</sup>, är permafrost. Det förekommer även att det ovanpå permafrosten finns ett aktivt lager som tinar upp på sommaren och sedan fryser igen under vintertid.<sup>2</sup> Permafrost bildas ned till ett relativt stort djup, i de arktiska regionerna mellan 400 och 1500 meter och i de subarktiska regionerna är permafrostdjupet närmare 150 meter. Totalt finns det 4.5 miljoner km<sup>3</sup> vatten i permafrosten, vilket om allt detta smälte skulle resultera i en höjning av havsytan på ca 7 meter.<sup>3</sup>



Permafrost Extent (percent of area)	Ground Ice Content (visible ice in the upper 10-20 m of the ground; percent by volume)				
	Lowlands, highlands, and intra- and intermontane depressions characterized by thick overburden cover (>5-10m)			Mountains, highlands, ridges, and plateaus characterized by thin overburden cover (<5-10 m) and exposed bedrock	
	High (> 20%)	Medium (10-20%)	Low (0-10%)	High to medium (>10%)	Low (0-10%)
Continuous (90-100%)	Dark blue	Light blue	Yellow	Orange	Light orange
Discontinuous (30-90%)	Light blue	Yellow	Light orange	Orange	Light orange
Sporadic (10-50%)	Yellow	Light orange	Light orange	Orange	Light orange
Isolated Patches (0-10%)	Light orange	Light orange	Light orange	Orange	Light orange
Ice caps and glaciers	White				

1 Viles & Goudie (2003)

2 NSIDC (2008)

3 UNEP kap 7 (2007)

## **Globala uppvärmningens effekt på permafrosten**

Det sker extensiva undersökningar av permafrosten på flera ställen i världen, främst Alaska, nordvästra Kanada, Nordeuropa och Sibirien. Mätningar från dessa platser överensstämmer inte helt, vilket är föga överraskande med tanke på att den globala uppvärmningen har regionala variationer. Beroende på lokation och djup så har permafrostens temperatur ökat med mellan 0 och 2°C under de senaste två decennierna. Närmare ytan där permafrosten har en temperatur närmare nollgradigt sker förändringen generellt långsamt medans den på lite större djup där temperaturen är lägre sker något snabbare. Den lägre skillnaden närmare nollpunkten kan förstås av den högre mängd energi som krävs för att smälta is.<sup>4</sup> Temperaturens ökning bör också förstås i relation till permafrostens minitemperatur som ligger runt -15.<sup>5</sup> Tjockleken av det aktiva lagret har dock inte ökat i något större grad, den har varit marginell och har även på sina ställen återgått.<sup>6</sup>

## **Permafrostens geomorfologiska effekt**

### **Termokarsta landskap**

En av de allvarligaste effekterna av att permafrosten minskar i omfattning är bildandet av termokarsta landskap. Det innebär att när isen som har en lägre densitet än vatten smälter minskar i storlek med resultatet att landskapet sätter sig. Isen som smälter kan i sin tur bilda nya sjöar där landskapet satt sig och även på andra platser. Även många vattendrag kommer bildas vilket leder till en omfattande erosion, vilket förstärks av att mark som tidigare haft permafrost är relativt mjuk. Både bildandet av nya sjöar och vattendrag kan i sin tur leda till att uppvärmningen av permafrosten accelererar. Bildandet av termokarst landskap kommer i första hand ske där det nu finns tundra då det inte finns någon vegetation som håller samman marken. I områden där permafrosten börjar på större djup och det finns gott om barrskog som håller ihop marken är problemet mindre, men enbart på kortare sikt.<sup>7</sup>

### **Sluttningsstabilitet**

Branta sluttningar är något som karakteriserar permafrost i bergområden, det är också ett problem när permafrosten smälter. Övergången från is till vatten minskar viskositeten i det underliggande lagret där permafrosten finns varvid det överliggande lagret lättare kan röra på sig. Detta ökar risken för rasrisk i bergområden.<sup>8</sup> Detta är något som sannolikt även kommer drabba sluttningar med mindre lutning. En underminering av bärlagret och ett tillskott av nysmält permafrost ökar risken för massrörelser.

### **Havsnivå**

Som påpekats ovan så innebär smältningen av permafrosten en ökning av havsnivån på upp till sju meter. Även vid en mindre höjning så kommer det ha en avsevärd inverkan på kustlandskapet i hela världen. Mycket av detta ligger dock utanför denna uppsatsens omfattning då jag fokuserar på de morfologiska effekterna i området med permafrost.

---

4 UNEP kap 7 (2007)

5 Romanovsky et al (2010)

6 UNEP kap 7 (2007)

7 UNEP kap 7 (2007)

8 Gude & Barsch (2005)

## Kustlandskap

Ungefär 35% av den arktiska kustlinjen består av kraftig berggrund som till stor del kan motstå havsvågornas erosion. Resten består däremot av mjukare sediment som hålls ihop av permafrosten, denna delen är mycket dålig på att motstå havsvågornas erosion. Redan nu kan åtta meter kust eroderas bort på bara ett år.<sup>9</sup> Det är inte osannolikt att detta kommer bli ett större problem efterhand som smältningen av permafrosten ökar. Detta har en avsevärd inverkan på kustlandskapets morfologi.

Även de delar som finns i de arktiska områdena eroderas bort snabbare än vad floderna kan tillföra sediment<sup>10</sup>, vilket också har en inverkan på kustlandskapets utformning. Detta är dock något som vars framtida effekter kan vara svåra att förutsäga. Samtidigt som erosionstakten ökar, inte bara för att permafrosten smälter utan även för att havsvågornas kraft ökar i och med havsisarnas minskning så är det möjligt att tillförseln av nya sediment kommer öka i den nära framtiden. Som jag diskuterat tidigare så är ett resultat av att permafrosten smälter att nya vattendrag bildas och att erosionen av inlandet ökar avsevärt, detta sediment kommer då föras vidare ut mot havet och flodernas deltar vilket kommer öka på avlagringen av sedimenten. Med det i åtanke så är det inte lätt att förutsäga netto-effekten av erosion och sedimentavlagring.

## Ekosystem

Att permafrosten minskar kan ha dramatiska effekter på ekosystemet. Bildandet av termoklaster med tillhörande ökad markfuktighet kan skapa omfattande våtmarker vilket kommer driva ut vissa djur och växtarter medan andra istället kommer att migrera dit. Bildas det istället termoklaster i områden med låg markfuktighet så kommer ett stäppliknande område bildas. Även grundvattenavrinning kan påverkas avsevärt, där permafrosten tidigare har varit ett ogenomträngligt lager så kan nu grundvattnet tränga längre ned i marken och eventuellt dräneras helt från området.<sup>11</sup>

## Feedback-loopar

Som tidigare noterats finns en feedback-loop i och med att bildandet av nya sjöar och vattendrag på grund av permafrostens minskning accelererar den fortsatta smältningen av permafrosten. Men en ytterligare feedback-loop är det organiska kol som är bunden i permafrosten. På 1-25 meters djup räknar man med att den totala mängden organiska kol är 750-950 miljarder ton, vilken kan jämföras med de 750 miljarder ton som finns i atmosfären. När det organiska kolet bryts ned vid tillgång till syre kommer växthusgasen koldioxid bildas. Men när det istället bryts ned utan tillgång till syre så kommer den 23 gånger starkare växthusgasen metan bildas. Enligt vissa uträkningar så innebär en avsevärd minskning av permafrosten att tiotals miljarder ton metan släpps ut i atmosfären, vilket ska jämföras med de ca 5 miljarder ton som redan finns i atmosfären.<sup>12</sup> En sådan mångdubbling av den kraftigaste växthusgasen leder till en snabbare ökning av den globala uppvärmningen.

Även ökningen av havsnivån kan ha en positiv feedback-loop gentemot smältningen av permafrosten. Som tidigare diskuterats innebär smältningen av permafrosten i kustlandskapen att havsvågornas erosionsmöjligheter ökar, vilket ökar än mer vid höjd havsnivå. Detta kommer i förlängningen att för det första frilägga fryst mark som då smälter fortare och för det andra kommer havet att lägga mer permafrost under sig varvid denna också kommer smälta snabbare.

---

9 Forbes (2011)

10 Forbes (2011)

11 UNEP kap 7 (2007)

12 UNEP kap 7 (2007)

## Diskussion

Efter denna genomgång kan man utan större problem konstatera att de geomorfologiska effekterna av permafrostens smältning är avsevärda. Landskapet kommer påverkas på många olika sätt, på grund av sättningar i marken skapas ett termoklastiskt landskap, mängden sjöar och vattendrag kommer öka markant vilken ökar erosionen av inlandet. Samtidigt ökar också erosionen av kusten på grund av att denna förlorar sin sammanhållning när permafrosten smälter. Sluttningar branter kommer även bli känsligare för ras och andra massrörelser. Detta kommer också i förlängningen påverka ekosystemet i stora delar av den norra hemisfären.

En mycket tydlig effekt av permafrostens smältning som jag inte nämnt då den i sig inte är morfologisk är den skada detta kommer ha på den mänskliga infrastrukturen. Många städer, byar, gruvor, ledning, rör och så vidare ligger på mark där det finns permafrost. Denna infrastruktur kommer i första hand troligen påverkas av rasrisk vid brantare sluttningar och när marken sätter sig när permafrosten smälter.

Att permafrosten har några positiva feedback-loopar kommer också att öka riskerna och snabba på förloppet. Det kanske mest problematiska i sammanhanget är utsläppen av koldioxid och metan som har en direkt och kraftig positiv feedback med den globala uppvärmningen.

## Källförteckning

Forbes, D.L. (editor). 2011. ' *State of the Arctic Coast 2010 - Scientific Review and Outlook.*' International Arctic Science Committee, Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone, Arctic Monitoring and Assessment Programme, International Permafrost Association. Helmholtz-Zentrum, Geesthacht, Germany, 178 p. <http://arcticcoasts.org>

Gude M, Barsch D (2005) ' *Assessment of geomorphic hazards in connection with permafrost occurrence in the Zugspitze area (Bavarian Alps, Germany)*' *Geomorphology* Volume 66, Issues 1-4, 1 March 2005, Pages 85-93

NSIDC (2008) ' *Permafrost and Frozen Ground*' (URL: <http://nsidc.org/sotc/permafrost.html>)

Romanovsky et al (2010) ' *Permafrost thermal state in the polar Northern Hemisphere during the international polar year 2007-2009: a synthesis*' *The International Polar Year* Volume 21, Issue 2, pages 106-116, April/June 2010

UNEP (2007) ' *The Global Outlook for Ice and Snow*'

Viles H.A., Goudie A.S. (2003) ' *Interannual, decadal and multidecadal scale climatic variability and geomorphology*

' *Earth-Science Reviews* 61 (2003) 105-131