

Klimahistorie – istider og breer

Fra Milankovic til iskierner: hva driver jordens klima?

NAT1039 – Klima og bærekraft

Mannen som ikke ble trodd på 40 år

I 1920 publiserte den serbiske astronomen og matematikeren Milutin Milankovic en teori om hva som driver jordens istider. Han hadde tilbrakt åtte år i et ungarsk fangenskap under første verdenskrig med ingenting annet enn bøker og matematikk, og brukte denne ufrivillige fritiden til å beregne innstrålingen fra solen til jorda gjennom 600 000 år bakover i tid. Hans konklusjon: tre astronomiske sykluser bestemmer mengden sollys jordens halvkuler mottar, og disse syklusene driver istidene. De fleste vitenskapsmenn ignorerte ham. Iskjerner analysert i 1976 bekreftet alle tre syklusene nøyaktig.

«Jeg er særlig stolt av at jeg publiserte den komplette matematiske teorien om istidenes årsak mens jeg satt i fangenskap.»

— Milutin Milankovic, selvbiografi (1952)

De tre Milankovic-syklusene

Tre uavhengige astronomiske fenomener varierer jordens eksponering mot sol med ulike perioditeter:

Syklus	Periode	Hva varierer	Effekt på klima
Jordbaneelliptisitet	~100 000 år	Jordbanen fra nesten sirkulær til mer elliptisk	Endring i total innstråling med ~0,1 %
Aksetilt (obliquitet)	~41 000 år	Aksens helning mellom 22,1° og 24,5°	Mer tilt = varmere somre, kaldere vintre
Presesjon	~26 000 år	Retningen aksen peker i verdensrommet	Angir hvilken halvkule som er nærmest solen

Ingen enkelt syklus alene er kraftig nok til å drive en full istid. Men når alle tre virker i samme retning – det vil si at sommeren på den nordlige halvkule er spesielt kjølig – smelter ikke snøen fra ett år til det neste, albedoen øker (snø reflekterer lys, blottlagt jord absorberer det), og et selvforsterkende system er i gang.

Iskjerner: en tidsmaskin fra Antarktis

Den russiske Vostok-stasjonen i Antarktis borer iskjerner ned til 3,7 km dyp – dypt nok til å nå is som er 800 000 år gammel. Hvert år legger snø seg oppå snø; sommersnø og vintersnø lager synlige lag, akkurat som årringar i et tre. Og i hvert lag er det mikroskopiske luftbobler – direkte prøver av atmosfæren fra den tid isen ble dannet.

Av disse luftboblene kan vi måle CO₂-konsentrasjonen med ekstrem nøyaktighet. I tillegg forteller forholdet mellom tunge og lette oksygenatomer (O-18/O-16) i selve isen om

temperaturen da snøen falt. Resultatet er en sammenhengende klimapost gjennom 800 000 år som viser klart at CO₂ og temperatur er sterkt korrelert gjennom åtte istids-mellomistids-sykluser.

Tidsepoke	CO ₂ -nivå	Global temperatur (rel. i dag)
Siste istids-maksimum (~20 000 BP)	~180 ppm	~5–6 °C kaldere
Preindustriell mellomistid (~1750)	~280 ppm	Ca. som i dag
2024	~423 ppm	+1,2 °C over preindustriell
Siste gang CO ₂ var 400+ ppm	~3–5 mill. år siden (Pliocen)	Ca. 2–4 °C varmere, hav 15–25 m høyere

Breer og havnivå

Jostedalsbreen er Europas største fastlandsbre med 487 km² og er en pålitelig klimaindikator. Under den lille istiden (ca. 1600–1850) var den vesentlig større: historiske fortellinger beskriver bønder som så is krype ned mot husene sine. Siden 1850-toppunktet har norske breer mistet om lag halvparten av volumet, og de aller fleste trekker seg nå tilbake med akselererende hastighet.

Globalt er ca. 69 % av alt ferskvann bundet i is – primært på Antarktis og Grønland. Om Grønlandsisen smelter fullstendig (prosess som vil ta hundrevis av år) vil havet stige ca. 7 meter. Antarktis-isen tilsvarer ca. 57 meter. Selv en brøkdel av dette vil ha dramatiske konsekvenser for kystbyer og lavtliggende øynasjoner.

Havet stiger nå med ca. 3,7 mm per år – mer enn dobbelt av 1990-tallet. Driverne er to: termisk ekspansjon (varmere vann tar mer plass) og smelting av landis (havvann er latt uendret av smeltende sjøis).

Albedo-tilbakekoblingen: selvforsterkende oppvarming

Is og snø reflekterer 80–90 % av innkommende sollys. Hav absorberer 94 %. Når is smelter, eksponeres mørkt hav eller mørk jord som absorberer mye mer varme. Mer varme → mer smelting → mer mørk overflate → mer absorpsjon. Dette er et positivt tilbakekoblingssystem: det forsterker den opprinnelige endringen i stedet for å motvirke den. Arktis varmes opp 3–4 ganger raskere enn globalt gjennomsnitt – mye av dette skyldes albedo-effekten.

■ Nøkkelsammendrag

- ✓ Milankovic (1920): tre astronomiske sykluser (100 000/41 000/26 000 år) driver istidene
- ✓ Iskjerner fra Antarktis: 800 000 år med CO₂-data og temperaturhistorie
- ✓ Istider: CO₂ ~180 ppm. Mellomistider: ~280 ppm. I dag: ~423 ppm (høyest på 3–5 mill. år)
- ✓ Albedo-tilbakekobling: is reflekterer lys → smelting → mørkt hav → mer varme (selvforsterkende)

- ✓ Norske breer: tapt ~50 % av volum siden 1850. Global bremasse negativ siden 1990-tallet
- ✓ Havet stiger 3,7 mm/år. Drivere: termisk ekspansjon + landismelting
- ✓ Arktis varmes 3–4x raskere enn globalt snitt – albedo-effekten er nøkkelen

Tenk og drøft

1. Forklar de tre Milankovic-syklusene og begrunn hvorfor ingen enkelt syklus er tilstrekkelig til å drive en full istid.
2. Beskriv metoden for å rekonstruere fortidens CO₂-nivåer fra iskjerner, og forklar hva resultatene forteller om forholdet mellom CO₂ og klima.
3. Forklar albedo-tilbakekoblingen. Bruk begrepene positivt tilbakekoblingssystem og sammenlikn med et negativt tilbakekoblingssystem.
4. Hvorfor stiger havet raskere nå enn på 1990-tallet? Forklar de to driverne: termisk ekspansjon og issmeltning fra land.
5. Hva er den viktigste forskjellen mellom naturlige klimaendringer (Milankovic-syklusene) og de pågående klimaendringene?
6. Drøft: Hva er "tipping points" i klimasystemet, og gi to eksempler. Hvorfor er de bekymringsfulle fra et klimaperspektiv?

Praktiske forsøk

Forsøk 1: Albedo-eksperiment: mørk vs. lys overflate

Mål temperaturforskjellen mellom en mørk og en lys overflate under lys, og koble til albedo-tilbakekoblingen i Arktis.

Utstyr:

- To like plastkopper
- Sort maling eller sort papir
- Hvitt papir
- To termometre
- Lampe (60 W) eller sterk lyskilde
- Stoppeklokke

Fremgangsmåte:

1. Mal én kopp sort, dekk den andre med hvitt papir.
2. Fyll begge med like mengder vann. Mål starttemperatur.
3. Still lampene like langt unna. Start timer.
4. Mål temperatur hvert 5. minutt i 30 minutter.
5. Plot grafene. Diskuter resultater.

Refleksjon: Hvilken praktisk konsekvens har albedo-effekten for Arktis og Grønland?