

Istiderna som kommer



En ny istid ingår bland de framtida händelser som SKB använder när man gör säkerhetsanalyser av djupförvar för använt kärnbränsle.

Vi går mot kallare tider – det är forskarna överens om. Men vi som lever nu behöver inte vara oroliga, den riktiga kylan ligger långt fram i tiden. Nästa istid kommer först om flera tusen år och blir inte så kraftig. Men om ungefär 60 000 år kommer Stockholm att täckas av ett istäcke – 2 500 meter tjockt.

Skandinavien har genomgått flera istider. Många av oss har lärt sig att det varit fyra stycken bakåt i historien. Idag vet dock forskarna att det har varit många fler.

Den senaste istiden slutade för 10 000 år sedan. Idag lever vi i en period med ganska varmt klimat men kan se fram emot att temperaturen gradvis sjunker på sikt.

Forskarna är idag eniga om att de naturliga klimatvariationerna framför allt beror på variationer i jordens läge i förhållande till solen. Teorin om denna återkommande klimatvariation lanserades i början av seklet av den jugoslaviska astronomen Milutin Milankovitch (1879–1958), professor i Belgrad och direktör för

observatoriet. Den gick då varken till avfärda eller bekräfta.

Det är först under de senaste decennierna som forskningen har kommit så långt att teorin har kunnat bekräftas. Data kommer bl a från iskärnor som har tagits från Antarktis och Grönlands istäcken, men det är främst genom studier av borrhärdar från djuphavsbottenarna som man har fått kunskap om klimatförhållanden under hundratusentals år.

Det är möjligt genom att havsvattnets syreisotopförhållanden vid en viss tidpunkt ger hur mycket vatten som varit bundet till inlandsisar. Det beror på att vatten som avdunstar från haven innehåller en större halt av den lätta isotopen syre-16 jämfört med den tyngre isotopen syre-18, som i högre grad blir kvar i havsvattnet. I normala fall medför det ingen förändring i havsvattnets isotopsammansättning, eftersom det avdunstate vattnet efter en kort tid kommer tillbaka till haven i form av nederbörd.

Under en istid kommer emel-

lertid det avdunstate vattnet inte direkt tillbaka till haven utan kommer i stället att bindas i inlandsisar. Det medför att syreisotopförhållandet i havsvattnet förändras. Analyser av syreisotopförhållanden i sedimenterat material på havens botten kan därför användas till att uppskatta inlandsisarnas storlekar vid en viss tidpunkt.

Foraminiferer är encelliga organismer med skal som är vanliga i havsbotten. Storleken varierar från någon millimeter upp till en centimeter. Genom att analysera syreisotopförhållanden i skal av foraminiferer i borrhärdar från havsbotten har man kunnat visa att det har varit regelbundet återkommande istider under de senaste 750 000 åren. De följer helt Milankovitch' teori.

Klimatmodeller

Milankovitch' teori används i flera klimatmodeller. En sådan modell kan användas för att förutsäga klimatet i framtiden. De båda viktigaste är ACLIN (astronomical cli-

mate index) och Imbrie & Imbrie (efter upphovsmännen).

ACLIN ger, för en viss tidpunkt, ett värde mellan 0 och 6. Ett värde över 4,3 representerar varmare perioder med ett klimat varmare än dagens. Värden mellan 4,3 och 2,5 representerar ett gradvis kallare klimat, i den nedre delen kanske liknande Grönlands eller Sibiriens. Värden under 2,5 är istider. För närvarande har vi ett ACLIN-värde på omkring 4, men det går utför.

Figur 1 visar ACLIN för de senaste istiderna och 60 000 år framåt i tiden. Som jämförelse visas också variationen i havsytans nivå för olika tidpunkter fram till idag. Överensstämmelsen är som synes mycket god.

Imbrie & Imbries modell förutsäger den globala variationen av havens innehåll av isotopen syre-18.

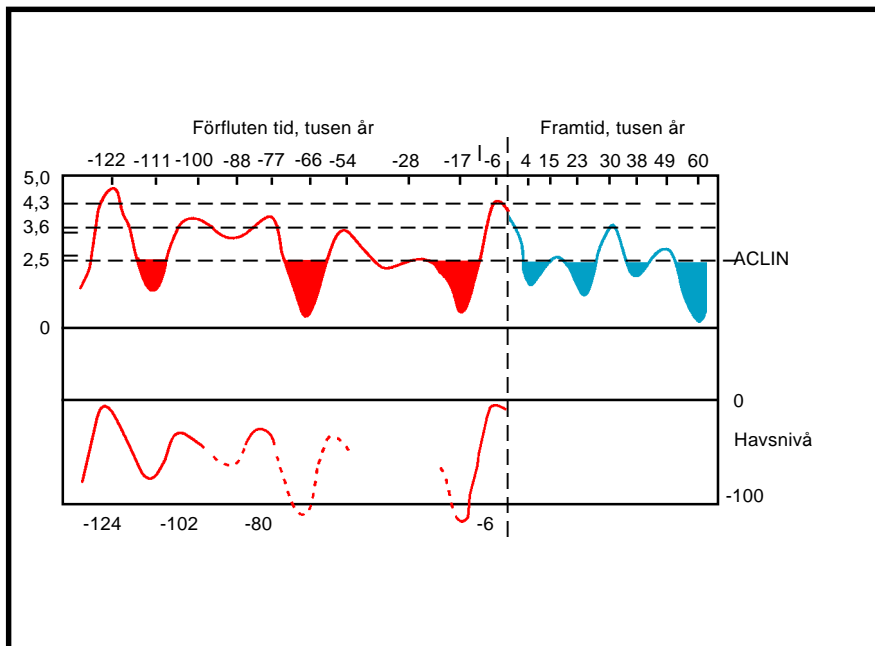
Som nämnts tidigare är det ett indirekt mått på hur mycket vatten som är bundet i istäcken. Modellen är justerad med hänsyn till uppmätta tidigare variationer. Figur 2 visar ut-data från modellen. Som jämförelse är uppmätta variationer i Indiska oceanen inlagda.

Om man jämför de båda modellerna kan man konstatera att ACLIN förutsäger istider med maximum om cirka 5 000 år, 20 000 år, 60 000 år och 100 000 år. Imbrie & Imbries modell saknar istiden om 5 000 år men stämmer för övrigt väl överens med ACLIN.

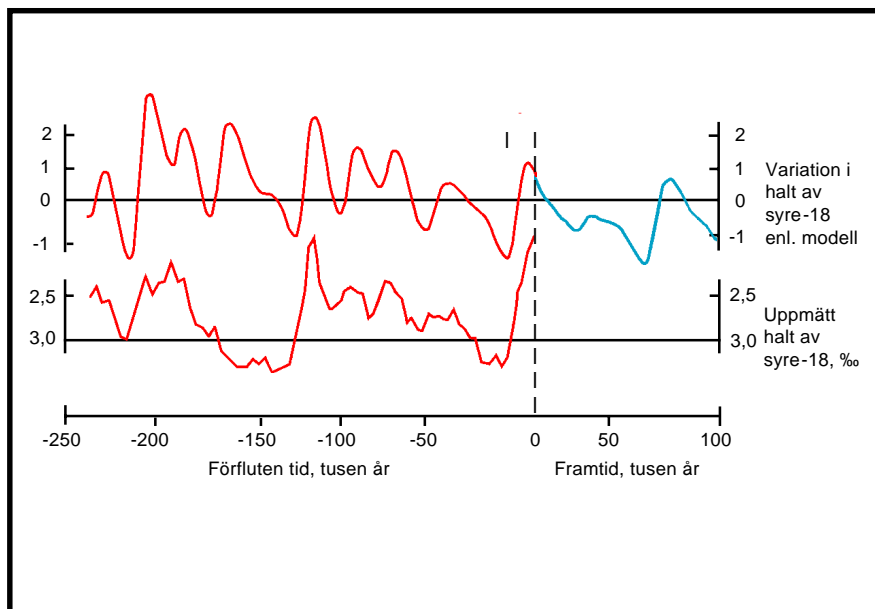
Vi kan för övrigt konstatera att nästa period med ett klimat liknande dagens kommer på våra breddgrader först om ca 125 000 år. Mellan istiderna som nämns ovan kommer klimatet att likna Grönlands.

Vad händer under istiden?

Om ett tjockt istäcke täcker markytan trycks jordskorpan ner av isens tyngd. Vid den kraftigaste av de istider som nämns ovan, den vid ca 60 000 år från nu, beräknas istäcket på det tjockaste stället vara ca 3 000 meter. Jordskorpan trycks då ned ca 700 meter för att när isen smälter bort åter höjas med naturlig landhöjning. Det är viktigt att komma ihåg att hela jordskorpan sänks och höjs. Det innebär att ett djupförvar kan hållas intakt under hela processen.



Figur 1. ACLIN för de senaste istidsperioderna samt för de närmaste 60 000 åren. Den nedre kurvan visar uppmätta variationer i världshavens nivå.



Figur 2. Variation av havsvattnets innehåll av syre-18 enligt Imbrie & Imbrie. Nedre kurvan visar uppmätta värden från Indiska oceanen.

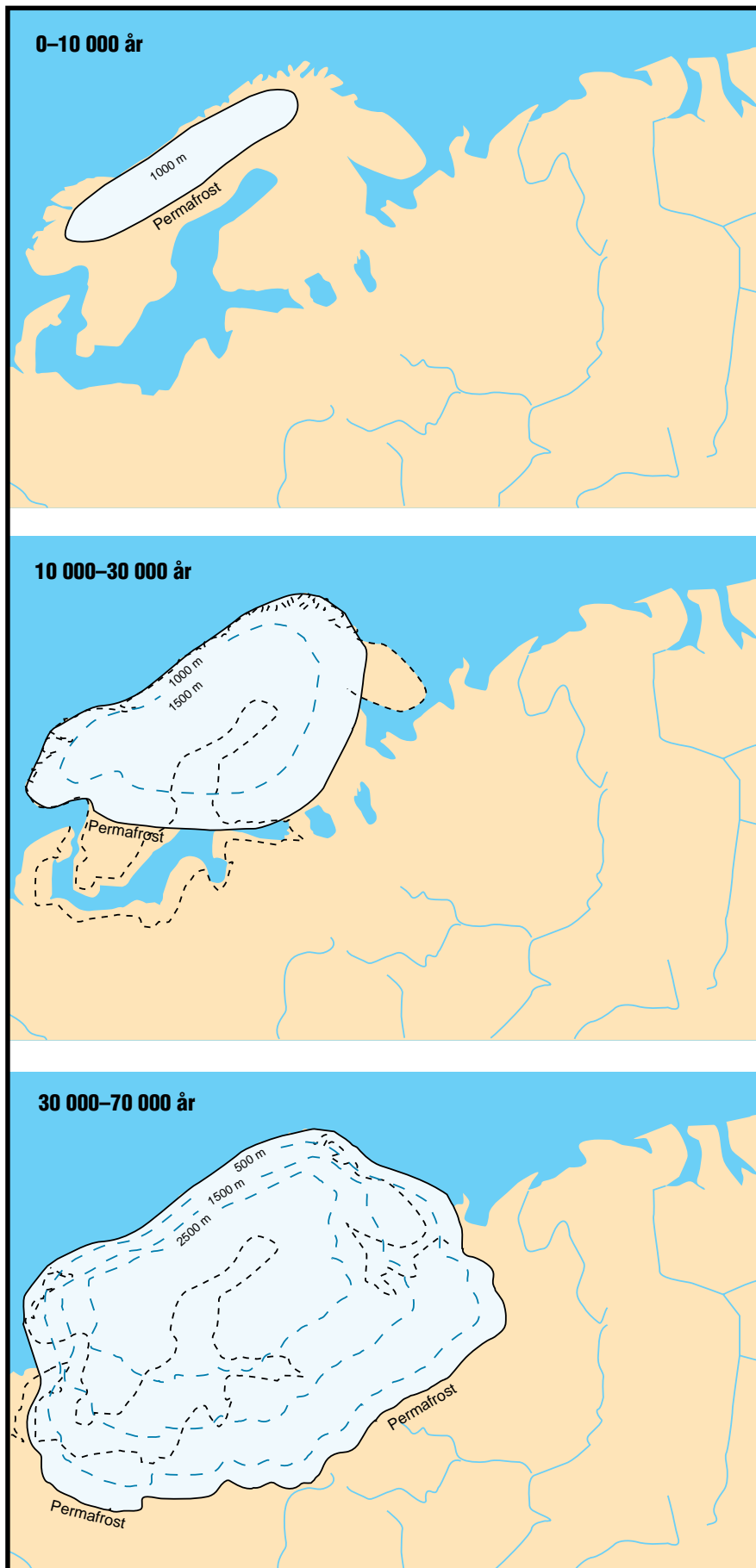
Själva markytan påverkas av istäcket. På samma sätt som vid tidigare istider kommer klippblock att flyttas, åsar bildas och bergytan omvandlas genom erosion. Erosionen sträcker sig några meter ner i berget.

Stora mängder vatten kommer att bindas i istäcken. Det medför att havsytan sänks. Hur mycket beror på istäckets storlek. Under den istid som inträffar om ca 60 000 år kommer havsnivån att sänkas ca 150 meter över hela världen.

I samband med att klimatet blir kallare förekommer områden med

ständig tjäle, sk permafrost. Permafrosten kan nå ner till 500 meters djup.

Levnadsförhållandena kommer att förändras. Frusen eller istäckt mark kan inte odlas och levnadsförhållandena är allmänt kärva. Förmodligen kommer Sverige därför inte att vara befolkat från och med den första kommande istiden till efter den tredje, dvs om ca 8 000 år. Då kommer levnadsförhållandena att likna dem som finns i norra Sverige idag.



Figur 3. Istäckets utbredning under de nästkommande istiderna. Dagens kustlinjer har behållits för att underlätta jämförelse trots att de kommer att förändras på grund av variationer i havsnivån.

Vad händer i Mellansverige?

För att illustrera effekten av klimatvariationerna har vi valt att exemplifiera dessa för en ort som inte ligger i centrum av de kommande istäckena, Stockholm.

0 - 10 000 år. Klimatet i Skandinavien blir gradvis kallare. Ett istäcke kommer att uppstå i fjällkedjan med maximal utsträckning om ca 5 000 år. Jordskorpan under istäcket trycks ned ca 300 meter. Stockholm är inte istäckt men har ett mycket kallt klimat med ständig tjäle. Havsnivån kommer att sjunka mellan 5 och 50 meter.

10 000 - 30 000 år. Efter en kortvarig, något varmare, period kommer en ny istid med maximum om ca 20 000 år. Isen är på det tjockaste stället 1 500 meter. När isarna är som störst kommer istäcket att nå Mälardalen. I Stockholmsområdet är isen ca 800 meter tjock vilket trycker ner jordskorpan i området ca 60 meter innan isen drar sig tillbaka.

30 000 - 50 000 år. En mellanperiod med torrt och kallt klimat som liknar det på dagens Grönland. Landhöjningen lyfter Stockholm ca 50 meter och havsnivån ligger ca 50 meter under dagens nivå.

50 000 - 70 000 år. Den kraftigaste istiden med sitt maximum om ca 60 000 år. Hela Skandinavien kommer att vara istäckt. Istäcket över Stockholm är ca 2 500 meter vilket trycker ner vad som är kvar av staden ca 600 meter. När isen så småningom smälter kommer havets nivå att stiga 100 meter över dagens nivå.

70 000 - 80 000 år. Perioden blir varmare. Stockholm har ett klimat som motsvarar dagens i norra Sverige. Landhöjningen återställer markytan till nuvarande nivåer. Havet har samma nivå som idag.

80 000 - 120 000 år. Klimatet blir återigen kallare med ett maximum om ca 100 000 år. Istäcket kommer att vara mycket utbrett.

120 000 - 130 000 år. En varm period med ett klimat som påminner om dagens.

Milankovitch' teori

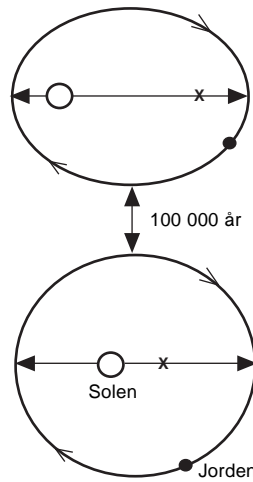
Teorin innebär att klimatet varierar med tre återkommande variationer i jordens rörelse i förhållande till solen. De påverkar solstrålningens fördelning över jorden.

Jordbanan är elliptisk, med solen i en av ellipsens brännpunkter, se figur 4. Jorden står som närmast solen vid en tid på året, för närvarande i januari, och som längst från solen ett halvår senare. Jordbanans form, hur elliptisk den är, varierar i cykler på ca 100 000 år. För närvarande är den nästan rund, vilket innebär att skillnaden i solinstrålningen över året är liten.

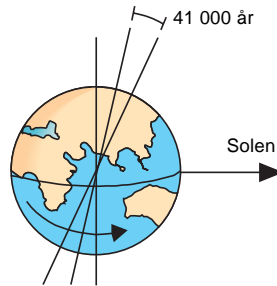
Jordaxelns lutning, som ger oss årstiderna, varierar mellan 21,8° och 24,4° vinkel till en axel genom jorden som är vinkelrät mot jordbanan (normalen), se figur 5. Variationen går i cykler om 41 000 år. Större lutning ökar kontrasten mellan årstiderna. För närvarande är lutningen ca 23,5°.

Jordaxeln vrider sig också runt normalen till jordbaneplanet. Ett varv tar i snitt 21 000 år, se figur 6. Varvtiden varierar med jordaxelns lutning, se ovan. Det medför att tidpunkten för största solinstrålningen för en viss punkt på jorden förskjuts över året. Det bidrar till att omväxlande skärpa och mildra kontrasterna mellan årstiderna, men med omvänd fas mellan södra och norra halvklotet.

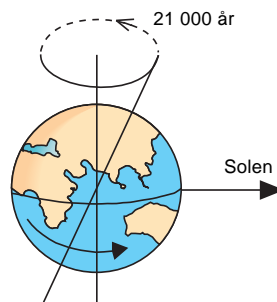
Alla tre variationerna samverkar, vilket innebär att medeltemperaturen för en viss punkt på jorden varierar.



Figur 4.



Figur 5.



Figur 6.



Mänsklig klimatpåverkan

Under det senaste århundradet har människan åstadkommit betydande förändringar på jorden. Bland annat har jordens reflektionsförmåga ändrats och atmosfärens kemiska sammansättning rubbats. Denna påverkan kan innebära förändringar i klimatet.

Genom att ta hänsyn till Milankovitch' teori kan man se vilka klimatförändringar som är naturliga och därigenom bättre avgöra vilka klimatförändringar som beror på människan.

Växthuseffekten har diskuterats under de senaste åren. Den skulle kunna innebära att den nuvarande, ganska varma, perioden förlängs. På sikt kommer dock de naturliga klimatvariationerna att dominera.

Vill du veta mer?

Den fullständiga rapporten om SKB-TVO istidsscenario (på engelska), SKB Technical Report 91-32, kan mot kostnad rekvireras från SKB:s bibliotek. Information om SKB:s verksamhet beställer du så här: Skriv ner namn och adress och vad du är intresserad av och skicka i ett ofrankerat kuvert till: FRISVAR, Svensk Kärnbränslehantering AB, 110 05 Stockholm.

Du kan också beställa information genom att ringa 020-78 61 61. Det kostar bara en markering och fungerar dygnet runt.

I serien Naturvårdsverket informerar finns en informationsskrift –Naturliga klimatvariationer. Den kan rekvireras mot kostnad från Naturvårdsverket, 171 85 Solna.

Fakta om... utges av Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB.

Adress: SKB, Box 5864, 102 40 STOCKHOLM

Tel: 08-665 28 00

Fax: 08-661 57 19

Redaktör: Carl Öström, Carl Öström Information AB

Original: Ann-Katrin Flodén, Fras&Form

Tryck: Jakobsbergs Tryckeri AB

Trycksaksnummer: H29 439 005

Utgiven: December 1993