

Urvalsprovet i geovetenskap 2024

Läs noggrant igenom alla anvisningar

Provet består av två delar. Du kan fördela tiden på de olika delarna hur du vill. Du kan fritt förflytta dig mellan de olika delarna under provets gång. Spara alltid dina svar innan du återlämnar uppgiften.

Under provet får du öppna endast urvalsprovssystemet och en separat materialfil.

Du kan planera dina svar och skriva egna anteckningar på konceptpappret. Anteckningarna på konceptpappret beaktas inte i bedömningen.

I urvalsprovet kan det finnas material i pdf-format. Det är tillåtet att ha materialet i ett separat fönster invid frågorna. Du får använda webbläsarens sökfunktion (Ctrl+F tai Cmd+F).

Materialet som delas ut under provet får användas endast för urvalsprovet. Av upphovsrättsliga skäl är det inte tillåtet att dela materialet vidare.

Bedömningen av urvalsprovet

Urvalsprovets högsta möjliga poäng är totalt 30 poäng. Första uppgiften i urvalsprovet (uppgift 1, 10 poäng) är en gallrande uppgift, på basis av vilken de sökande rangordnas. De sökande som fått mest poäng i den första uppgiften går vidare till andra skedet av bedömningen. Antalet sökande som går vidare till andra skedet av bedömningen är minst 45.

Du kan bli antagen endast om du i provets andra del får minst det lägsta antalet poäng för att kunna bli antagen. Det lägsta antalet poäng för att kunna bli antagen bestäms av provets bedömningsgrupp. De sökandes slutliga antagningsordning avgörs på basis av de sammanlagda poängen för del 2 (högst 20 poäng).

Del 1, uppgift 1

Provets första del är en flervalssuppgift som innehåller tio frågor. Varje fråga har fyra svarsalternativ, varav en är rätt och tre är fel. Rätt svar ger +1 poäng och andra svar -0,5 poäng. Att lämna frågan obesvarad ger 0 poäng.

Du kan få sammanlagt 10 poäng från uppgift 1.

Fråga 1.1

För paleontologer och paleoekologer är evolutionsteorin den viktigaste referensramen för forskning och därför är det viktigt att förstå grunderna för den. Följande fråga gäller evolutionsteorin: Ett vulkanutbrott har inträffat på en ö. Ask som frigjordes från vulkanen förändrade surheten (pH) i jordmånen från den nivå den hade haft i hundratals år. Denna förändring i jordmånens surhet orsakade nya miljöbelastningar för arterna i jordmånen. Vilket av följande är det sannolika resultatet av dessa belastningar? Välj det alternativ som du anser vara RÄTT.

- a. **Vissa arter försvinner från jordmånen eftersom individer av dessa arter inte har egenskaper som gör det möjligt för dem att överleva i en jordmån med förändrad surhetsnivå.**

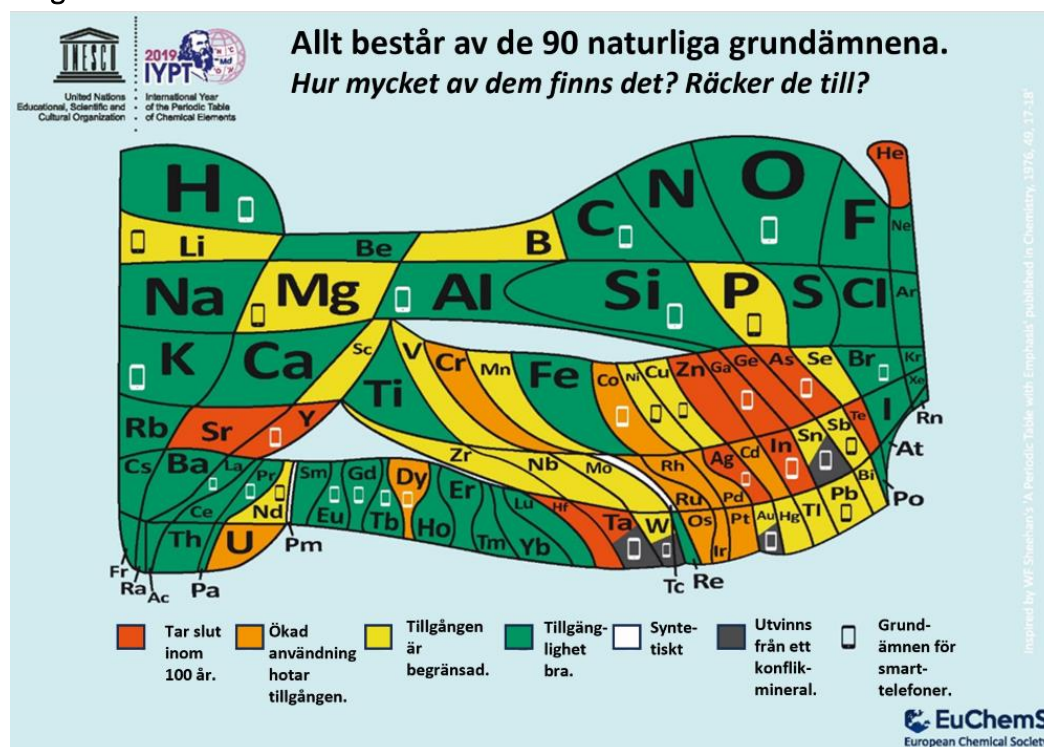
- Endast vissa arter kan utveckla de mutationer de behöver för att anpassa sig till förändringen, andra arter dör ut.
- De flesta arter får fler genetiskt ärftliga egenskaper och denna ökning av komplexiteten gör det möjligt för dessa arter att leva i jordmån med förändrad surhetsnivå.
- Individer av varje art utvecklar egenskaper som behövs vid förändrade förhållanden.

Fråga 1.2

Under Karbon (för 359-299 miljoner år sedan) täcktes de kontinentala områdena för första gången av skogsvegetation och i synnerhet under periodens senare hälft bredde enorma myrskogar ut sig i låglänta områden. I dessa fuktiga miljöer lade sig dött växtmaterial i lager i syrefria förhållanden och när havsytan tidvis steg täcktes detta material av sediment. I denna process förvandlades växtrester sakta mak till stenkolk. När stenkolk numera utnyttjas som energikälla genom förbränning frigörs det kol som är bundet i stenkolk och bildar i kombination med syre koldioxid, vilket i sin tur värmer upp jordens klimat. Vilka slutsatser kan du utifrån dessa uppgifter dra av utvecklingen av atmosfärens sammansättning och jordens temperatur under Karbon? Välj det alternativ som du anser vara RÄTT.

- Under perioden steg syre- och koldioxidhalten i atmosfären och jordens medeltemperatur steg.
- Under perioden steg syre- och koldioxidhalten i atmosfären och jordens medeltemperatur sjönk.
- Under perioden steg syrehalten i atmosfären, koldioxidhalten sjönk och jordens medeltemperatur sjönk.**
- Under perioden sjönk syrehalten i atmosfären, koldioxidhalten steg och jordens medeltemperatur steg.

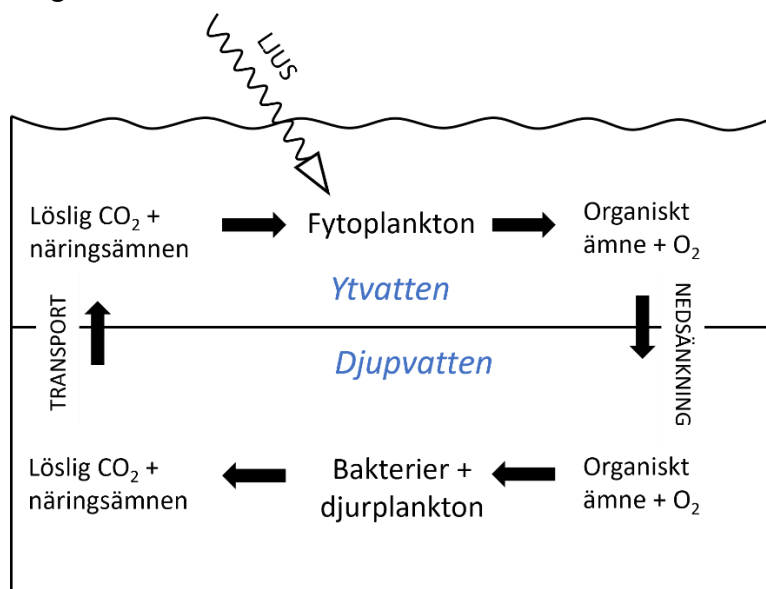
Fråga 1.3



Se ovanstående periodiska system. Den relativa förekomsten av grundämnen på jorden visas med hjälp av symbolernas storlek. Välj vilket av följande påståenden som är RÄTT:

- a. I smarttelefoner används endast tyngre grundämnen.
- b. **Förekomsten av lättare grundämnen på jorden är större än förekomsten av tyngre grundämnen.**
- c. Alla grundämnen som förutspås ta slut inom 100 år är metaller.
- d. Den ökade användningen hotar tillgången på järn.

Fråga 1.4



Se diagrammet ovan som beskriver världshavens biogeokemiska kretslopp. I ytvatten med ljus tar fytoplankton tillvara koldioxid och näringsämnen i biomassan (organiskt material). Död biomassa sjunker ner i djupt vatten där bakterier och djurplankton bryter ned den och frigör koldioxid och näringsämnen. När vattnet väller upp, eventuellt på andra håll i oceanerna, transporteras koldioxid och näringsämnen tillbaka till ytvattnet.

Följande ekvationer beskriver processerna:

1. $106 \text{ CO}_2 + 16 \text{ H}^+ + 16 \text{ NO}_3^- + \text{H}_3\text{PO}_4 + 122 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O})_{106}(\text{NH}_3)_{16}(\text{H}_3\text{PO}_4) + 138 \text{ O}_2$
2. $(\text{CH}_2\text{O})_{106}(\text{NH}_3)_{16}(\text{H}_3\text{PO}_4) + 138 \text{ O}_2 \rightarrow 106 \text{ CO}_2 + 16 \text{ H}^+ + 16 \text{ NO}_3^- + \text{H}_3\text{PO}_4 + 122 \text{ H}_2\text{O}$

Välj vilket av följande påståenden som är RÄTT:

- a. Ekvation 1 beskriver nedbrytningen av organiskt material i djupt vatten.
- b. **Nedbrytning av organiskt material förbrukar syre.**
- c. Fytoplankton behöver mer fosfor (P) än kväve (N).
- d. Om näringsbelastningen på oceanen minskar ökar fytoplanktonets primärproduktion.

Fråga 1.5

Statsrådet fattade våren 2021 ett principbeslut om ett strategiskt program för cirkulär ekonomi. Visionen för programmet för cirkulär ekonomi är att grunden för en framgångsrik ekonomi i Finland 2035 är ett koldioxidneutralt samhälle med cirkulär ekonomi. För att denna vision ska kunna förverkligas krävs en hållbar och effektiv användning av naturresurserna.

I Finland uppkommer cirka 90 miljoner ton utvinningsavfall per år. Detta är 75 procent av all avfallsmassa som uppstår i Finland varje år. Enligt arbets- och näringsministeriets förutredning (Vasara et al. 2021) är det möjligt att utnyttja sidosten och anrikningssand från gruvor på ett mångsidigt sätt.

Möjliga kedjor för vidareanvändning

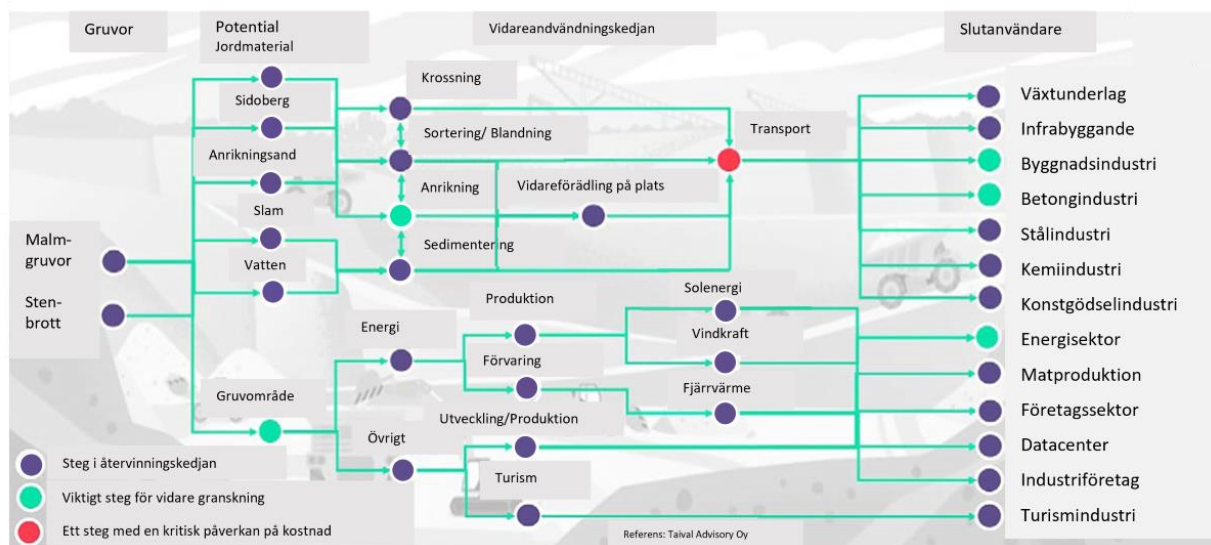


Bild 1.5 Schema över potentiella återvinningskedjor för sidoströmmar från gruvor. Källa: Vasara et al. 2023.

Avgör RÄTT alternativ på basis av bilden:

- Utvecklingen av anrikningsprocesserna gäller inte gruvvatten och -slam.
- Gruvområdet har ingen potential inom energiproduktionen.
- Hur användbart anrikningssand och sidosten är inom byggindustrin beror inte på transportkostnaderna.
- Användningen av gruvområdet för turismändamål är ett potentiellt alternativ.**

Fråga 1.6

Vatten är världens mest utnyttjade naturresurs. Som naturresurs är vatten förnybart, men samtidigt också begränsat. Jordens vattenresurser skulle räcka till för 20–30 miljarder människor om vattnet var jämnare fördelat. Det är mycket viktigt att känna till vattnets kretslopp och förekomsten av grundvatten, särskilt med tanke på vattenförsörjningen. Grundvattenresurserna är begränsade. Därför är det viktigt att känna till, hantera och använda dem på ett sätt som är hållbart med tanke på dagens värld och framtiden.

Välj det alternativ som är RÄTT utifrån det som berättats ovan och det du lärt dig tidigare.

- Med virtuellt vatten avses vatten som är fäst vid partiklar i marken och som är svårt att utnyttja.
- Grundvattnet strömmar mot havet.**
- Största delen av jordens sötvattenreserver finns i grundvattnet.
- Det liv vi lever i dag skulle inte vara möjligt utan det globala hydrologiska kretslopp som jordens geotermiska energi och tyngdkraft orsakar.

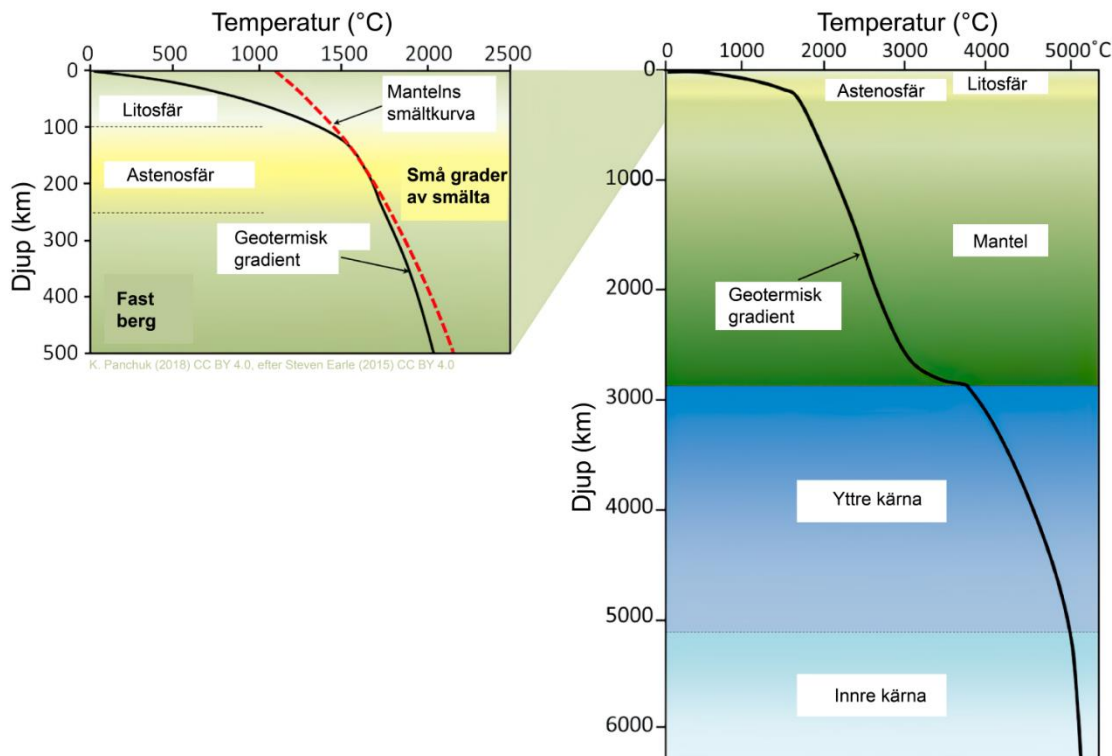
Fråga 1.7

Hantering av sandresurser är en av 2000-talets största hållbarhetsutmaningar. Efter vatten är sand, grus och stenmaterial de av världens resurser som utnyttjats mest. Användningen av dessa

material har tredubblats under de två senaste decennierna och uppnått en mängd på 40–50 miljarder ton per år. Denna trend förväntas fortsätta eftersom efterfrågan fortsätter att öka till följd av urbaniseringen, befolkningstillväxten och utvecklingen av infrastrukturen. Det är allt svårare att få sand och grus till de ställen där man bygger (UNEP 2022). Sandkornens kantighet förbättrar sandens användbarhet för byggande på ett avgörande sätt. I det geologiska kretsloppet transporteras och avlagras mineralämnena av is, vatten och vind. Av dessa påverkas sandkornens form och slitaget av dess mineral minst av is och mest av vind. Det material som transporteras av is är kantigt och minst slitet, medan materialpartiklarna i material som transporteras av vind blir runda och slits effektivt. Välj det alternativ som är RÄTT utifrån det som berättats ovan och det du lärt dig tidigare.

- Finlands grus- och sandreserver är koncentrerade till granulitbågen i Lapland.
- Största delen av sandformationerna i Finland är avlagrade av is.
- Sandformationerna finns på landområden (är inte täckta av vatten).
- Användbarheten av dynsand i byggande är dålig.**

Fråga 1.8



Den svarta linjen på bilden visar jordklotets geotermiska gradient, dvs. temperaturvariationen vid rak skärning ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$). Den röda streckade linjen på bilden till vänster visar stenens smälttemperatur vid olika djup.

Vilket av följande påståenden är SANT?

- Mantelns geotermiska gradient är mindre än innerkärnans.
- Magma uppstår huvudsakligen i ett djup på över 200 km.
- Av jordens zoner är den geotermiska gradienten minst i litosfären.
- Litosfärens geotermiska gradient är cirka $15^{\circ}\text{C}/\text{km}$.**

Fråga 1.9

Redan för hundratals år sedan märkte man att jordens temperatur stiger när man går djupare. Utifrån detta drog bl.a. William Thomson (Lord Kelvin) slutsatsen att jordklotet var varmare vid dess uppkomst och har svalnat sedan dess på grund av värmediffusion. Om man uppskattar att (1) temperaturen vid jordens uppkomst var 4173 K (T), (2) den termisk diffusionskoefficienten k är 37.8 m²/år och den geotermiska gradienten (β) är 3.6 x 10⁻² K/m, uppskattar Lord Kelvin jordens ålder med följande värmediffusionsekvation (t):

$$t = \frac{1}{\pi k} (T/\beta)^2.$$

Med hjälp av dessa uppgifter och det du lärt dig tidigare, hur nära den nuvarande informationen om jordens ålder (ca 4,567 miljarder år) ligger Lord Kelvins uppskattning?

- Jordens rätta ålder är över 10 gånger högre än enligt Kelvins uppskattning eftersom Kelvin inte beaktade den värmeproducerande radioaktiva nedbrytningen.**
- Jordens rätta ålder är över 10 gånger lägre än enligt Kelvins uppskattning eftersom Kelvin inte beaktade klimatets uppvärmningseffekt.
- Jordens rätta ålder är över 10 gånger lägre än enligt Kelvins uppskattning, eftersom Kelvin inte beaktade den värmeproducerande radioaktiva nedbrytningen.
- Kelvins uppskattning föll inom en intervall som utgjorde ±10% av jordens rätta ålder.

Fråga 1.10

Det litostatiska trycket (P, enheten Pascal, Pa) i jordskorpan bestäms enligt djupet (h), densiteten i stenen ovan (ρ) och tyngdkraftsaccelerationen (g): $P = \rho gh$. Om man antar att diamanter endast uppstår vid ett tryck över 5 x 10⁹ Pa, använd standarderna i den bifogade tabellen samt det du tidigare lärt dig för att avgöra vilket av följande påståenden är SANT:

	g (m/s ²)	r (m)	ρ (kg/m ³)
Jorden	9,82	6371 x 10 ³	3300
Månen	1,62	1734 x 10 ³	2540
Pluto	0,62	1188 x 10 ³	1854

- På jorden kan diamanter uppstå på ett djup av 50 km.
- Diamanter kan inte uppstå på Pluto eftersom det litostatiska trycket inte är tillräckligt.**
- På Månen kan diamanter uppstå närmare ytan än på jorden eftersom tyngdkraften är mindre.
- På jorden kan diamanter endast uppstå i den nedre manteln.

Referenser:

Thomson, W 1862. On the secular cooling of the Earth, Trans.Royal Soc. Edinburgh, XXIII, (1862) 157–169.

UNEP 2022. Sand and sustainability: 10 strategic recommendations to avert a crisis. GRID-Geneva, United Nations Environment Programme, Geneva, Switzerland. Production: UNEP/GRID-Geneva.
<https://unepgrid.ch/en/resource/2022SAND>

Vasara et al. 2023. Kaivosalan toimintaraportti. TEM toimialaraportit 2023:4

Del 2, uppgift 2

Uppgift 2 baserar på materialet "Datering av geologiska formationer". Läs och bekanta dig noggrant med materialet och besvara frågorna i uppgift 2 på basis av det.

Fundera på följande frågor utifrån det du läst. Använd hela meningar.

Du kan få sammanlagt 5 poäng från uppgift 2.

Fråga 2.1

På basis av naturforskaren Plinius den yngres ögonvittnesberättelse inträffade Vesuvius utbrott som förstörde Pompeij år 79. Om Plinius berättelse inte fanns, fundera utifrån det du läst på vilka naturvetenskapliga metoder och material man kan använda för att få information om tidpunkten för utbrottet. Välj två dateringsmetoder och motivera ditt svar. (2 p)

Bedömningsgrunder: Förstörelsen av Pompeji skedde för cirka 2000 år sedan, så lämpliga naturvetenskapliga dateringsmetoder är radiokolmetoden, tefrahorisonter, paleomagnetism (sekulära variationer), varvkronologi och luminescensdatering. I ett tvåpoängssvar nämns två lämpliga metoder (rätt metod +0,5 p, totalt 1p), en kort motivering för lämplighet och ett exempel på det material som ska dateras (motivering och material/metod +0,5 p, totalt 1p). Poängavdrag för fel- eller bristfälligt förklarade grunder.

Fråga 2.2

Från tidslaboratoriet får du åldern 1,4 miljarder år för ditt stenprov baserat på datering med U-Pb. Förklara kort med egna ord för din vän hur dateringen har gjorts. (3 p)

Bedömningsgrunder:

Svaren poängsättes enligt följande:

- +1p: datering görs från zirkonkristaller (beskrivning av egenskaper), kristallisationsprocess
 - +1p: radioaktivt sönderfall av uran-235 isotopen till bly-207 beskrivs, halveringstid nämns.
 - +1p: en beskrivning av hur under halveringstiden på 704 miljoner år har hälften av uran-235 sönderfallit till bly-207, och att efter nästa halveringstid återstår bara $\frac{1}{4}$ av det ursprungliga uranet, vilket ger provet en ålder på 1,4 miljarder år.
- Poängavdrag för felaktiga eller ofullständigt förklarade svar.

Del 2, uppgift 3

Uppgift 3 baserar på materialet "Stora magmatiska provinser och deras betydelse för utvecklingen av livet på jorden". Läs och bekanta dig noggrant med materialet och besvara frågorna i uppgift 3 på basis av det.

Fundera på följande frågor utifrån det du läst. Använd hela meningar.

Du kan få sammanlagt 15 poäng från uppgift 3.

Fråga 3.1

Vad avses med termen termogent gasutsläpp? (3 p)

Bedömningsgrunder:

Från ett 3-poängssvar framgår det tydligt att (1p) med termogena gasutsläpp avser flyktiga föreningar (t.ex. koldioxid, metan, klormetan) som släpps ut i atmosfären, (1p) som härstammar från sidoberget runt magmaintrusioner (vanligtvis sedimentära bergarter - alltså inte från själva magman), och (1p) som frigörs på grund av magmans uppvärmande effekt.

Poängavdrag för felaktigt eller ofullständigt förklarade begrepp.

Fråga 3.2

Hur ledde det förhållandevis lilla Laki-utbrottet till att klimatet på norra halvklotet blev svalare i två år, vilket ledde till dåliga skördar och år av hungersnöd? (obs. vid detta utbrott var de termogena gasutsläppen obefintliga) (3 p)

Bedömningsgrunder:

Kriterier för ett bra svar, exempelinnehåll:

- Under Laki-utbrottet släpptes även svaveldioxid (SO_2) (1p) ut i atmosfären (och aska, vilket också ger poäng om mekanismen är väl förklarad)
- SO_2 bildade aerosoler i atmosfären (1p)
- Aerosoler har en kylande effekt (0,5p) eftersom de reflekterar solstrålning (0,5p)

Poängavdrag för felaktiga eller ofullständigt förklarade svar.

Fråga 3.3

Utifrån det du läst, räkna upp tre egenskaper hos den stora magmatiska provinsen som kan leda till globalt massutdöende. (3 p)

Bedömningsgrunder:

Egenskaper för ett bra svar, exempelinnehåll (1p/punkt):

- Magma frigör CO_2 eller andra växthusgaser, som har en värmande effekt på jordens klimat -> värmestress
- Termogena gasutsläpp (CO_2 + andra) värmer jordens klimat -> värmestress
- Gaser (t.ex. SO_2) försurar regn och hav -> surhetstress
- SO_2 bildar aerosoler som kylvir jordens klimat -> (negativ) termisk stress
- Minskade temperatur minskar fotosyntesen i haven och påverkar marina ekosystem
- Gaser frigör giftiga ämnen, t.ex. kvicksilver -> orsakar mutationer m.m.
- I alla mekanismer: flödet och varaktigheten av utsläppen påverkar konsekvenserna
- Den geologiska miljön som utbrotten sker i påverkar utsläppsmängden
- En annan rimlig mekanism baserad på figur 3.3

Poängavdrag för felaktiga och ofullständigt förklarade svar.

Fråga 3.4

Varför har vissa stora magmatiska provinser lett till massutdöende, medan andra inte? (6 p)

Bedömningsgrunder:

I ett bra svar är det viktigt att lyfta fram skillnaderna i utbrottsmiljöer. Ett utbrott genom den kontinentala skorpan kommer sannolikt att ha mer destruktiva effekter än ett utbrott genom den oceaniska skorpan (1p). Dessutom är det viktigt att nämna att vid utbrott genom kontinentalskorpan är den destruktiva kraften större när utbrottet sker genom sedimentära berglager, eftersom det då sannolikt kommer att frigöras en hel del termogena gaser, som har klimat- och andra effekter och som påverkar den totala mängden och hastigheten av gasutsläpp (2p). Det är också bra att poängtera att skillnaderna i sammansättningen av sedimentära bergarter påverkar vilken typ av termogena gaser som släpps ut: förutom metan och kol- och svaveldioxid som påverkar klimatet kan det även under lämpliga förhållanden frigöras halogengaser, som påverkar ozonskiktet och som därmed kan öka utbrottets destruktivitet (0,5p). Ett bra svar innehåller också en meningsfull jämförelse, baserat på materialet (särskilt figur 3.4), av hur storleken, varaktigheten och utbrottsmiljön för stora magmaprovinser är kopplad till massutrotningar, med den Sibiriska och Ontong-Java magmaprovinserna som exempel (2,5p), eller på något annat sätt hänvisar korrekt till informationen i materialet (1p).

Ett mindre antal poäng hade kunnat uppnås t.ex. genom att nämna skillnaderna i utsläppsflödet: ju längre och ju snabbare gaserna släpps ut, desto starkare klimateffekt och desto mer destruktiva är följderna för livet, genom att nämna effekten av termogena gaser eller genom att nämna skillnaderna i kvantitet och kvalitet på gaser som frigörs.

Poängavdrag för tydliga misstag och orelevanta svar.

Material

DEL 2, uppgift 2: Datering av geologiska formationer

Kunskapen om hur jordklotet har utvecklats från ett böljande hav av magma till en blå planet med kontinenter har bland annat skapats genom att undersöka de geologiska formationernas relativa och absoluta åldrar. **Den relativa åldern** jämför olika formationer i förhållande till varandra. En sediment- eller bergartenhet som ligger ovanpå en annan är till exempel yngre och har bildats senare än den ursprungliga stenarten. **Den absoluta åldern** visar däremot hur gammal formationen är. När man känner till förhållandet mellan två bergartenheter eller formationer, kan denna information kombineras med en absolut åldersbestämning av den andra formation.

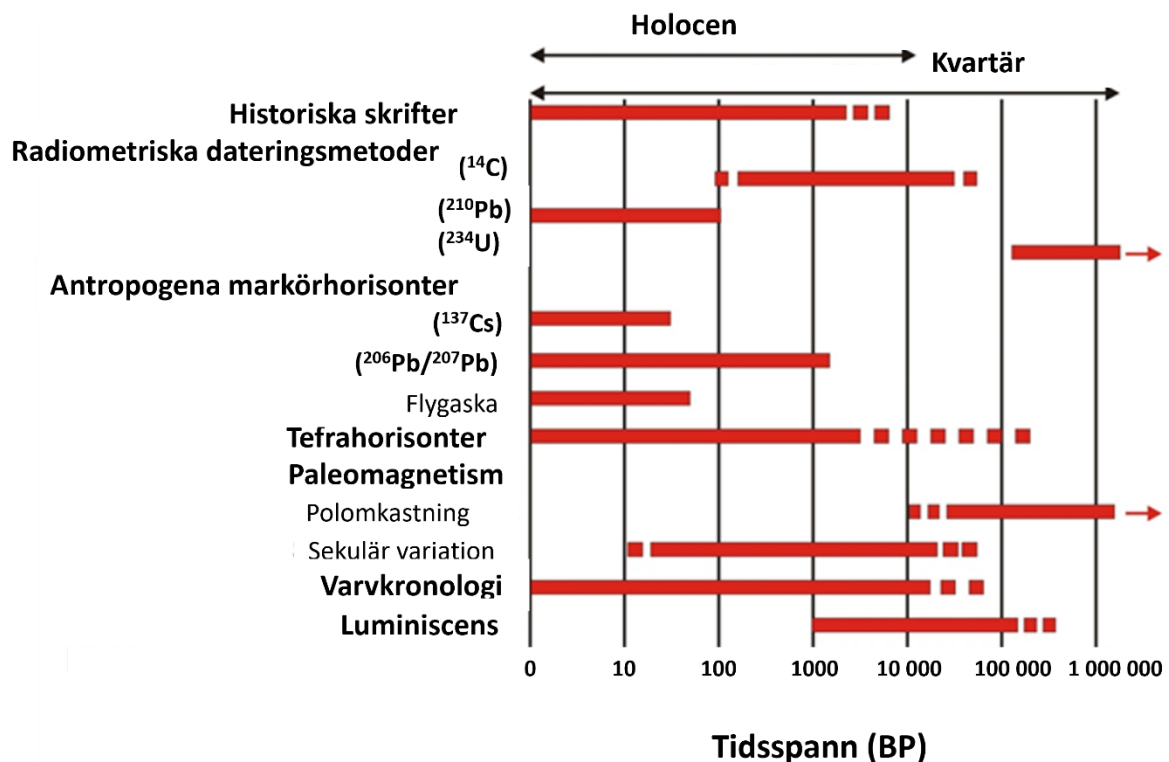


Bild 2.1 Olika dateringsmetoder och tidsspann i år före nutid (BP *before present*).

Det finns flera metoder för att fastställa den relativa och absoluta åldern. Om man granskar den senaste årsmiljon, kan man se att metodernas tidsspann varierar och inte täcker hela tidsperioden (bild 2.1). Även material som lämpar sig för datering skiljer sig från varandra i olika metoder. Radiometrisk dateringsmetoder producerar absoluta åldrar. Till exempel vid datering med radiokol används organiskt material (till exempel trä, kol, slagg från keramik, ben, djurskal och kollagen).

Mikrofossiler som landat på markytan och sedimenterats djupare med tiden, såsom pollen eller vulkanaska (så kallad tefra) som transporteras av luftströmmar, ger däremot en relativ datering för avlagringen. Användningen av tefrahorisont för datering baserar sig på den individuella kemiska sammansättningen av vulkaniskt glas som produceras vid varje vulkanutbrott. Därför kan man identifiera olika geologiska lager av vulkanisk aska som sprids av ett visst vulkanutbrott även långa sträckor från utbrottet. När avlagringen har daterats någonstans, kan samma avlagring som förekommer överallt på andra ställen också dateras.

Den paleomagnetiska dateringen grundar sig å sin sida på hur de magnetiska mineralerna i provet riktar sig i förhållande till landets magnetfält. Järnhaltiga magnetiska mineraler flyter i magman och rikta sig i samma riktning som det aktuella magnetfältet i marken när magman svalnar och stenen kristalliseras. Stora polarvändningar och mindre sekulära variationer sker i magnetfältets variationer. Med hjälp av paleomagnetisk datering har man till exempel kunnat spåra kontinentalplattornas och den Fennoskandiska sköldens rörelser.

Luminiscensdatering baserar sig å sin sida på den elektriska laddning som ackumuleras i de så kallade elektronfällorna. Detta sker på grund av effekterna av naturlig radioaktiv bakgrundsstrålning i defekterna i kristallgittret hos ett kristallint ämne som sand, kvarts eller fältspatkorn. Solljus eller uppvärmning nollställer kornets kristallgitter, och när kornet täcks av solljus (d.v.s. sedimenteras till ett lager) eller används efter uppvärmning (till exempel vid tillverkning av keramik eller tegelstenar),

börjar elektronladdning långsamt samlas i kristallgittrets fällor. I laboratoriet kan denna elektriska laddning som samlats i kristallen frigöras och mätas (med ljus eller upphettning) för att få dateringen för hur länge sedan avlagringen har uppkommit eller föremålet har tillverkats.

Vid forskning av varv kan man använda s.k. årsvarv, enheter som uppkommit under ett år och som urskiljs i avlagringen. Genom att räkna och mäta och jämföra variationer i varvens tjocklek med andra serier kan man bygga upp en varvkronologi. Varv bildas i sjö- och havssediment. Där kan ett vårsikt vanligtvis urskiljas som ett ljust skikt och vintersikt som ett mörkt skikt av finkornt material. Bottensedimentens varvskikt påminner om trädens årsringar. De uppstår i sin tur när cellerna minskar mot slutet av trädens växtperiod. Efter det ljusa, snabbt växande vårsiktet uppstår ett mörkt skikt med små celler. Den dateringsmetod som uppstår genom undersökning av trädens årsringar kallas dendrokronologi.

I den geologiska tiden krävs ofta ett tidsspänn på flera hundra och tusen miljoner år. Flera mineraler kan användas för att fastställa stenars absoluta ålder. Men för åldersbestämningen av mycket gamla stenar hör **zirkon** (kemisk formel: ZrSiO_4) till de bästa. Zirkon är ett kemiskt och mekaniskt mycket hållbart ämne, vilket gör att kristallerna inte lätt skadas av miljöförhållanden. Dess smältpunkt, 900 °C, är högre än för många bergarter. Därför stör inte ens nödvändigtvis smältningen av den omgivande berggrunden dateringen.

Åldern som man kan beräkna från zirkon grundar sig på isotopförhållandena som uppmätts i mineralkornt. Från stenen kan man fastställa enskilda zirkonkristallers ålder. Den äldsta stenen som hittats i Finland och Europeiska unionen är gnejs från Siurua, som är cirka 3,5 miljarder år gammal. De äldsta zirkonerna som hittats på jorden är nästan 4,4 miljarder år gamla och har hittats i Australien, i det berömda konglomeratet i Jack Hills. I den andra ändan tidsmässigt, uppstår det hela tiden fler yngsta bergarter, såsom på det vulkaniskt aktiva Island eller på de mittoceaniska ryggarna.

Zirkons användbarhet grundar sig på att zirkon tar radioaktivt uran (U) som lämpar sig väl för den, men avvisar bly (Pb) i uranets nedbrytningsprodukt när den kristalliseras från bergssmälta, dvs. magma. Därför kan man anta att det ursprungligen inte fanns något bly alls i sådana kristaller, utan att allt bly som finns i kristallen har uppkommit när uranet brutits ned när kristallen redan har bildats (bild 2.2).

Kristalliserad zirkon förblir som ett slutet system i under 900°C – i bästa fall från stunden då kristalliseringen skett till idag. Med tidens gång bryts det radioaktiva uranet i zirkon ned via en bestämd nedbrytningsserie och formas till stabilt bly. Händelsen är enkelriktat: bly kan inte återgå till uran.

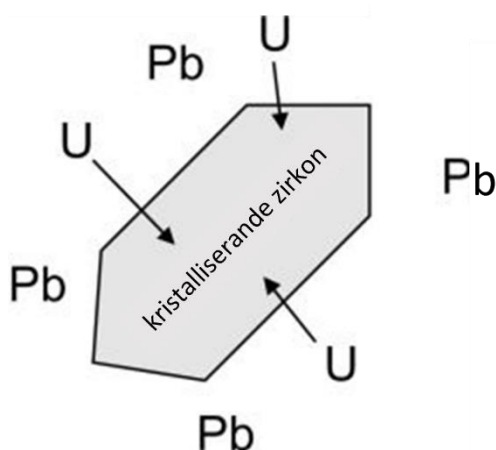


Bild 2.2 Kristallisering av zirkon i magma (Lehtonen, E. 2015).

Nedbrytningen av radioaktiva ämnen beskrivs med **halveringstid**. Alla radiometrisk dateringsmetoder, även den tidigare nämnda datering med radiokol, grundar sig på halvering och en känd halveringstid. Halveringstiderna för radioaktiva grundämnen varierar. Halveringstiden för uranisotopen ^{235}U är till exempel 704 miljoner år. Detta innebär att hälften av ^{235}U isotoper under en halveringstid, dvs. inom 704 miljoner år, har brutits ned till ^{207}Pb . Genom att mäta antalet isotoper i uran och bly kan stenens ålder beräknas med hjälp av en känd halveringstid. Med U-Pb-metoden kan man datera prover vars ålder varierar från en miljon till fyra och en halv miljard år.

Referens:

Lehtonen E. 2015. *Vihreän kiven arvoitus -blogg*. Sidan besökt 12.2.2024.

<https://vihreakivi.wordpress.com/2015/02/27/kivi-muistaa-ikansa/>

Del 2, uppgift 3: Stora magmatiska provinser och deras betydelse för utvecklingen av livet på jorden

Smält berg, det vill säga magma, uppstår när jordens mantel smälter vid kontinentalplattornas fogar. Därför ligger största delen av de aktiva vulkanerna i subduktionszoner och på mittoceanryggar som korsar oceanerna. Vulkaner förekommer också i kontinentalplattornas inre delar. Ett exempel på detta är Mauna Kea i Hawaiis skärgård, som mätt från den omgivande havsbotten till toppen är världens högsta berg (9330 m). Uppkomsten av dessa "hetfläckar" långt från kontinentalplattornas fogar kan ofta förklaras med mantelplymer som reser sig djupt från manteln och som är varmare än omgivningen och därför producerar mer magma.

Hela tiden pågår tiotals vulkanutbrott både på markytan och på havsbotten. Man har uppskattat att den nuvarande vulkanismen i mittoceaniska ryggar producerar ca 20 km^3 ny (basaltisk) jordskorpa per år, medan det i subduktionszoner och hetfläckar i genomsnitt väller ut ca 2.5 km^3 utbrottslava per år (Deligne & Sigurdsson 2015). I jordens geologiska historia finns det dock många så kallade stora magmatiska provinser som på en kort tid geologiskt sett (kortare än en miljon års tid) producerade enorma lavafält (s.k. platåbasalter) samt en stor mängd magmatiska intrusioner i jordskorpans översta lager. Vissa stora magmatiska provinser formas på kontinenter, och därför också ibland genom sedimentära bergartslager. Ett viktigt exempel är de Sibiriska magmaprovinserna, som vällde ut genom sedimentära bergartslager i Tunguskabassängen för cirka 252 miljoner år sedan (bild 3.1). Andra magmatiska provinser, såsom Ontong-Java provinsen (för ca 120 miljoner år sedan), formades direkt på oceanisk skorpa.

Uppkomsten av många stora magmatiska provinser anses bero på att en mantelplym stigit kraftigt mot en litosfärplatta, vilket lett till en stor mängd mantelsmälta. Den totala volymen av lava från vulkanutbrott i de största magmatiska provinserna når upp till miljontals kubikkilometer (Bild 3.2A). Enskilda platåbasaltutbrott producerade över $1\,000 \text{ km}^3$ lava – det skulle täcka hela Nyland med över hundra meter lava. Jämfört med dessa verkar Laki, som hade ett utbrott på Island 1783–84 och var det största basaltiska utbrottet på jorden under de senaste tusen åren, liten. Utbrottet producerade cirka 15 km^3 lava under 8 månader.

Den största globala negativa konsekvensen av stora utbrott är gaser som under utbrotten frigörs i atmosfären. En stor mängd utbrottsgaser kan påverka klimatet och beroende på gasernas kemiska sammansättning orsaka antingen global uppvärmning eller nedkylning samt syrebrist i och försurning av världshaven (Bild 3.3). Koldioxid (CO_2) och andra flyktiga kemiska föreningar hålls upplösta i magma under stort tryck djupt i skorpan, men frigörs i atmosfären när trycket sjunker under ett utbrott när magma når ytan.

För att koldioxiden ska ha en långvarig inverkan på klimatet måste halten i atmosfären vara hög tillräckligt länge. Det är till exempel anmärkningsvärt att vulkanernas CO_2 -utsläpp för närvarande endast motsvarar cirka 1 % av de antropogena koldioxidutsläppen, dvs. koldioxidutsläpp av mänskligt ursprung (Bild 3.2B) och på lång sikt är i balans med andra biologiska och geologiska processer som producerar och binder växthusgaser. Till exempel avlägsnar vittringen av stenar koldioxid från atmosfären och återför den till oceanerna och slutligen till jordskorpan med en hastighet på cirka 0,37 Gt/år. Därför är klimatkonsekvenserna av utbrott och stora magmatiska provinser desto större ju snabbare koldioxidutsläppen uppstår och ju längre denna snabba utsläppstakt bevaras.

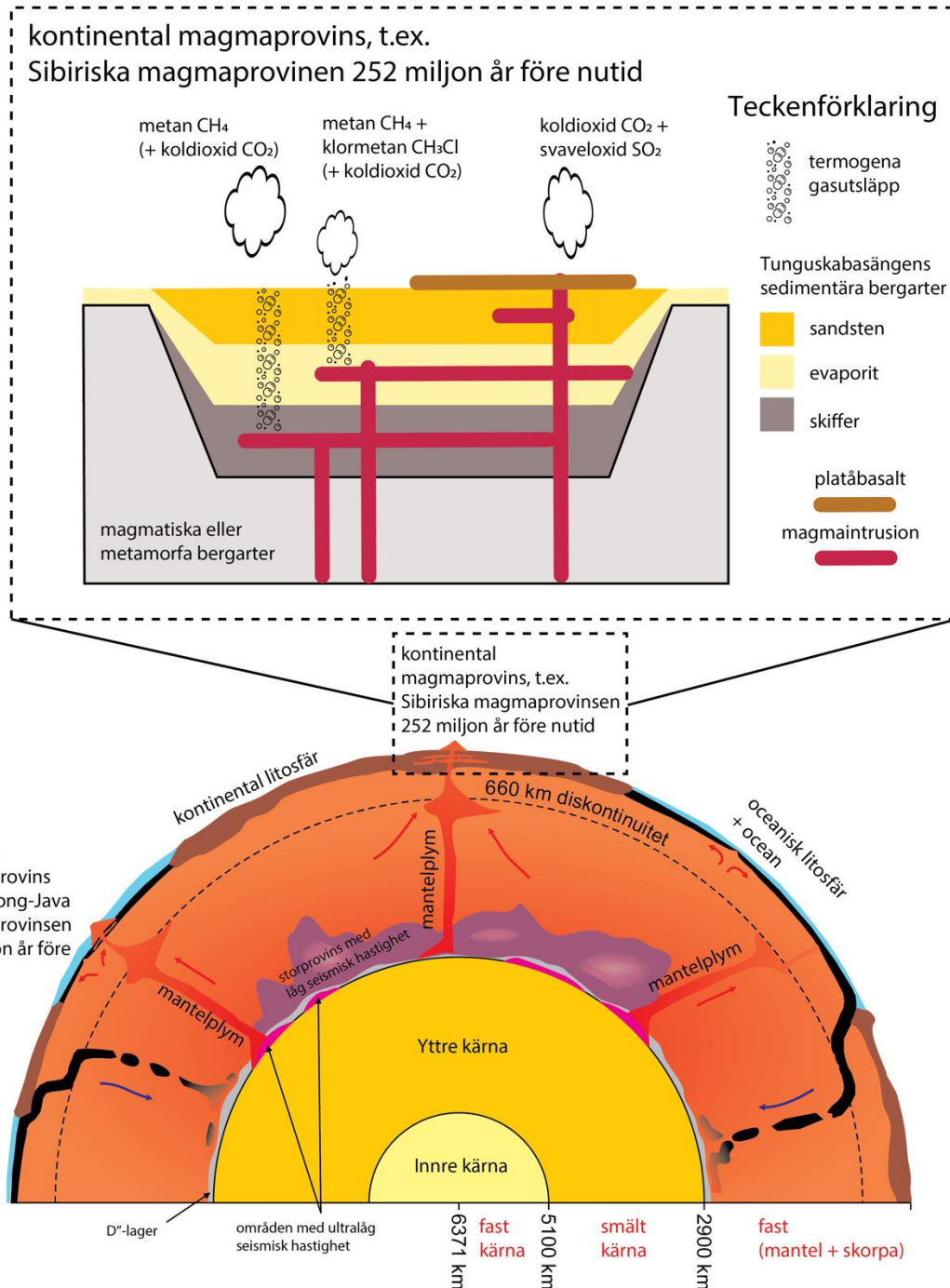
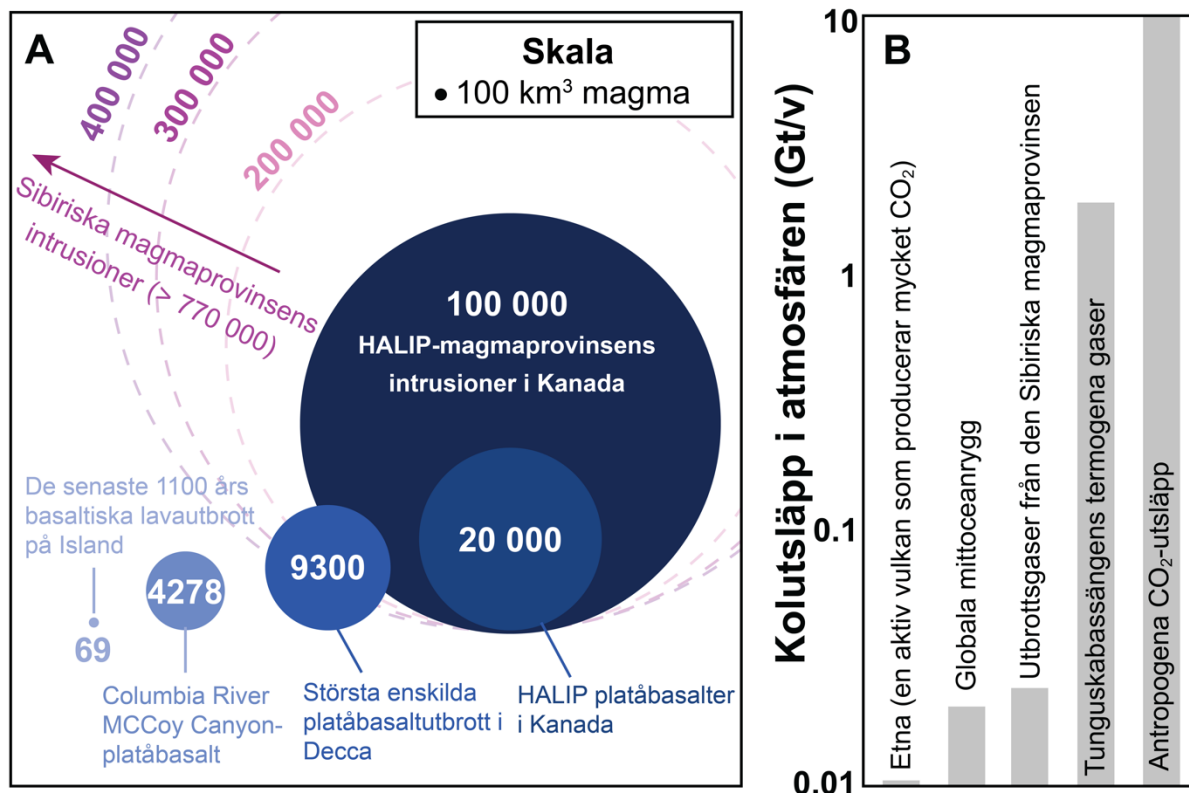


Bild 3.1. (nedre) Jordklotets struktur som visar kärnan, manteln, kontinental och oceanisk litosfär. Mantelplymer stiger vertikalt mot ytan och kan orsaka så kallade stora magmatiska provinser (högre). När en stor magmatisk provins förekommer i den kontinentala miljön frigörs gaser i atmosfären direkt från magma, men också från sedimentära bergarter, genom vilka magma passerar på väg till ytan. Observera att gasernas sammansättning beror på den bergart som utsläppet härstammar ifrån. Bilden har redigerats enligt bloggen Suomen muinaiset tulivuoret (Jussi Heinonen, Elina Lehtonen, 2022) och artikeln av Svensen et al. 2023.



Figur 3.2 (A) Dimensionerna av stora magmatiska provinser. Enstaka lavafält (platåbasalter) som vällt ut i stora magmatiska provinser når upp till volymer på tusentals kubikkilometer. Jämfört med detta har Islands alla basaltiska utbrott under de senaste 1100 åren format endast 69 km³ lava. Magmatiska intrusioner i stora magmatiska provinser kan ha en större volym än lava som runnit ut på ytan. (B) Kolutsläpp från vulkaniska processer jämfört med antropogena processer. Bilden är redigerad enligt Deegan et al. (2023).

Miljö- och klimatkonsekvenserna av stora magmatiska provinser påverkas i hög grad av utbrottets lavaflödes hastighet (utbrottsflöde). Även om det genomsnittliga utbrottsflödet beräknat enligt de magmatiska provinsernas varaktighet och volym endast är cirka 0.1–1 km³/år, är det sannolikt att de hundratusentals år långa perioderna omfattar både aktivare och tystare episoder (Mather & Schmidt, 2021). Man har till exempel uppskattat att utbrottsflödet för Deccans stora magmatiska provins kunde vara upp till 40–240 km³/år under aktiva perioder på 100–500 år (Fendley et al. 2019). Mellan de aktiva perioderna i de stora magmatiska provinserna kunde det finnas lugnare perioder på tusentals år. Utbrottsflödet har i sin tur ett direkt samband med hur snabbt utbrotts- och termogena gaser frigörs.

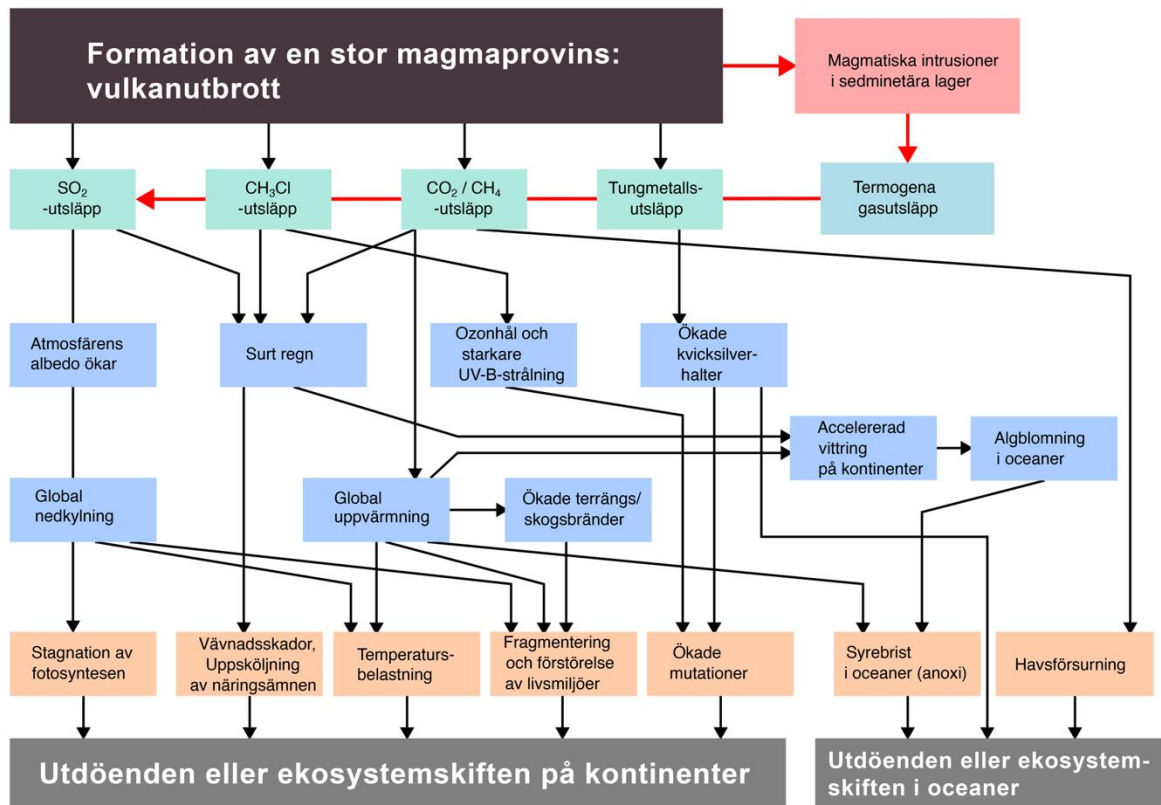


Bild 3.3. Ett flödesschema som beskriver ekosystemkonsekvenserna av en stor magmatisk provins (enligt Grasby & Bond, 2023, Galloway & Lindström 2023)

Som ovan konstaterats är frigörandet av växthusgaser en nyckelvariabel som diktar eventuella klimatkonsekvenser av en stor magmatisk provins. I dagens värld är mittoceaniska ryggar den största källan till vulkaniska CO₂-utsläpp och deras utsläpp uppskattas till 0,02 Gt/år (Bild 3.2B). När Sibiriens stora magmatiska provins hade ett utbrott för cirka 252 miljoner år sedan frigjordes 0,1 Gt/år koldioxid från magman. För jämförelsens skull uppskattas mängden CO₂-utsläpp orsakade av dagens människa till över 35 Gt/år.

Inom geovetenskaperna har man länge diskuterat de eventuella klimatkonsekvenserna av stora magmatiska provinser, eftersom de uppskattade mängderna koldioxid som frigörs från lava från vulkanutbrott ändå ofta verkar vara för små för att orsaka långvarig klimatförändring.

Utöver typen och mängden av utbrottsgaser påverkas omfattningen av den stora magmatiska provinsens miljö- och klimatpåverkan av den geologiska utbrottsmiljön. Utöver magmatiska och metamorfa bergarter består jordskorpan också av sedimentära bergarter som har uppkommit i s.k. sedimentationsbassänger i lågt belägna områden på markytan. Ibland formas stora magmatiska provinser ut i berggrund som består av sedimentära bergartslager (bild 3.1). Vid utbrott måste den uppstigande magman bryta sig igenom dessa sedimentära lager. En betydande del av magma blir också kvar i skorpan och bildar intrusioner. Den höga temperaturen i magmatiska gångar och intrusioner värmer upp omringande berg och kan frigöra skadliga gaser från det. En del av de flyktiga ämnen som frigörs från sedimentära bergarter transporteras till atmosfären och producerar så kallade termogena gasutsläpp.

Under formationen av den stora Sibiriska magmatiska provinsen, för cirka 252 miljoner år sedan, frigjordes uppskattningsvis 20 000 Gt koldioxid direkt från magma till atmosfären under 200 000 år. Man har dock uppskattat att under samma period frigjordes cirka 114 000 Gt CO₂ från sedimentära

bergarter i Tunguskabassängen som termogena gasutsläpp. Således verkar sedimentära lager ha varit den huvudsakliga källan till koldioxidutsläpp i Sibiriens stora magmatiska provins. Denna stora koldioxidkälla kan vara orsaken till att formationen av Sibiriens stora magmatiska provins hade en så kraftig klimatpåverkan (bild 3.2 och bild 3.4A-B).

Vid utbrotten frigörs utöver koldioxid även andra gaser från magma och sedimentära bergartslager. Metan (CH_4) är en kraftig växthusgas som frigörs i huvudsak från skiffer (bild 3.1). I atmosfären bildar svaveldioxid (SO_2) svavelsyra som orsakar surt regn samt aerosoler som har en kortvarig (några år) nedkylande effekt på klimatet. Dessutom har halogengaserna (t.ex. CH_3Cl) en förtunnande effekt på ozonskiktet som skyddar markytan och allt levande mot solens ultraviolette strålning.

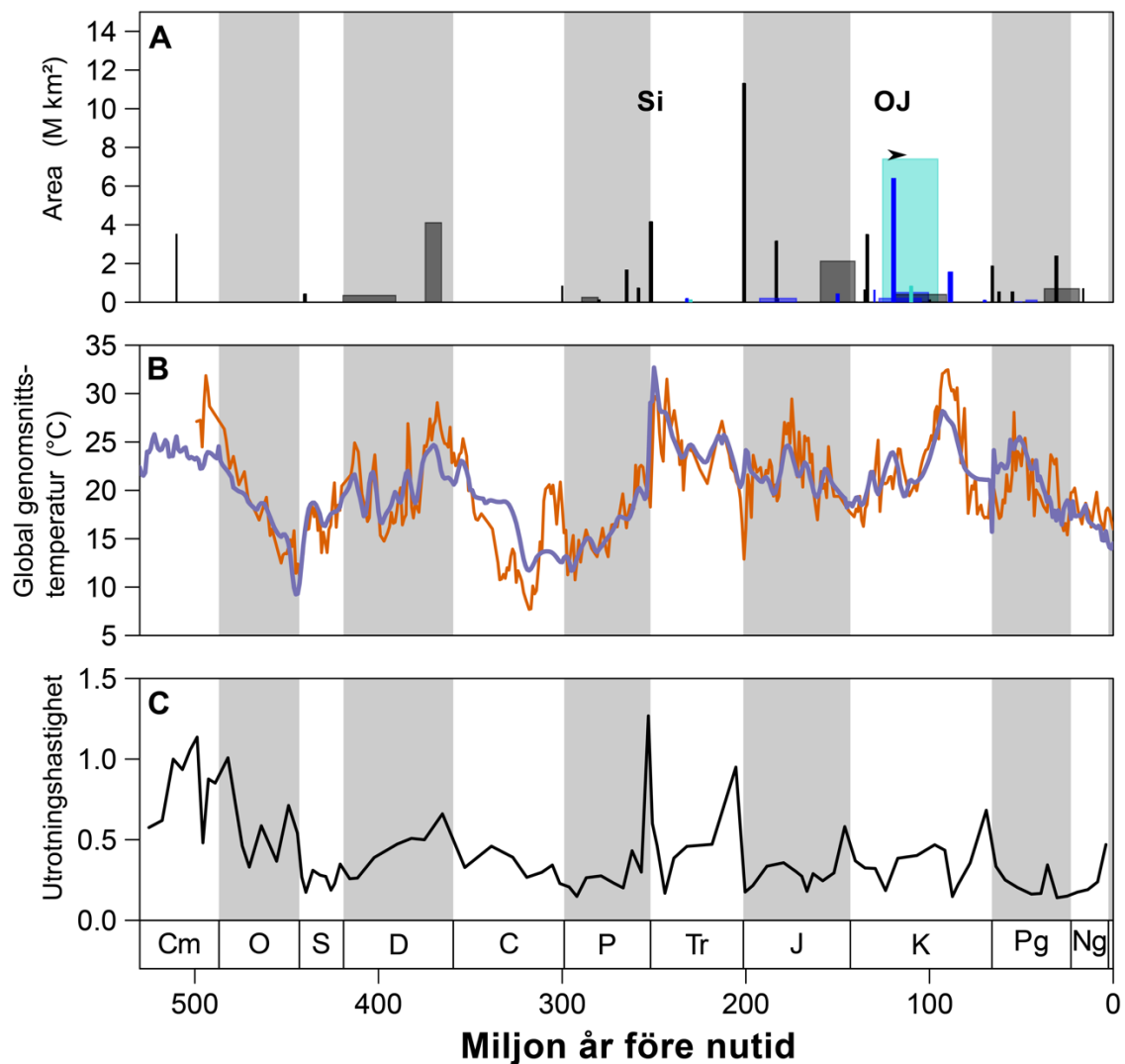


Bild 3.4 De stora magmatiska provinsernas samband med klimatförändring och utdöenden. A: Arealen på utbrottsområdet för en stor magmatisk provins. Stapelns tjocklek beskriver magmaprovinsens tidsmässiga varaktighet. Stapelns färg beskriver magmaprovinsens miljö. Svart/mörkgrå stapel: magmaprovinsen inträffade på en kontinent; blå stapel: magmaprovinsen inträffade på oceanisk skorpa; turkos stapel: utbrottet inträffade delvis på kontinenten och delvis på oceanisk skorpa. På bilden finns också exempel på stora magmatiska provinser i Sibirien (Si) och Ontong-Java (OJ) (Ernst et al. 2021). B: Två rekonstruktioner av den globala medeltemperaturen som baserar sig på olika metoder (Scotese et al. 2021; Shaviv et al. 2023). C: Utdöendehastighet i

oceanerna (Kocsis et al. 2019). Även om grafen presenterar utdöenden i marina ekosystem återspeglar den tidpunkterna för, och styrkan av utdöenden även på kontinenterna.

Med hjälp av de senaste decenniernas förbättrade åldersbestämningsmetoder kan man påvisa att formationen av stora magmatiska provinser hänger ihop med nästan alla betydande biologiska kriser i jordens historia. I slutet av perm för cirka 252 miljoner år sedan har den största av de fem stora massutdöenden kopplats till utbrottet av den stora magmatiska provinsen i Sibirien (Bild 3.4). 80–96 % av de arter som lever i havet och cirka 70 % av de arter som lever på land dog ut då. Antalet fyrbenta (tetrapod) stammar var till exempel före massutdöendet under permperioden 40. I och med utrotningstågen minskade antalet stammar till tio.

Stora magmatiska provinsernas utbrott i sig har endast relativt lokala effekter, även om deras areal kan vara enorm. Miljöförändringen på global nivå orsakas emellertid av utsläppen i anslutning till utbrotten (Bild 3.3). De växthusgaser som frigörs från magma och sedimentära bergartslager värmer upp klimatet globalt, vilket påverkar organismernas temperaturlastning, förändrar livsmiljöerna på kontinenterna, ökar antalet skogsbränder och därmed fragmenterar eller förstör livsmiljöerna ytterligare.

Utöver växthusgaserna frigörs också rikligt med svaveldioxid vid utbrotten. Den kan kortvarigt öka atmosfärens reflekterande förmåga (albedo) och därmed kyla ner klimatet. Även detta påverkar organismernas temperaturstress och förlusten av livsmiljöer. Även om svaveldioxid inte har någon långvarig inverkan på klimatet ökar de förhöjda svaveldioxidhalterna mängden surt regn, vilket i sin tur försurar marken. I samband med utbrotten kan också s.k. halogengaser (t.ex. CH_3Cl) och tungmetaller såsom kvicksilver frigöras. Halogenerna förstör atmosfärens ozon, vilket i sin tur förstärker solens ultravioletta strålning på markytan och ökar mängden mutationer. I växternas pollenpartiklar som tillvaratagits från sedimentlager som formades vid tidpunkten för utbrott av stora magmatiska provinser kan man ofta observera tydliga mutationer som i praktiken har gjort växterna sterila. Giftiga kvicksilverhalter som observerats i dessa sedimentära formationer kan också ha orsakat skadliga mutationer.

I marina ekosystem minskar havsvattnets förmåga att lösa upp syre till följd av temperaturhöjning, medan ökningen av koldioxidens deltryck i atmosfären ökar upplösningen av koldioxid i havsvattnet, vilket ger upphov till kolsyra, vilket i sin tur leder till att världshavets pH sjunker (Bild 3.3). Oceanernas syrefattiga eller syrefria faser observeras i samband med formationer av stora magmatiska provinser. Dessa kan variera från perioder då de syrefattiga områdena i havet utvidgas till perioder då de syrefria och sulfidhaltiga förhållandena sträckte sig ända till de översta vattenskikten. När syrefattiga förhållanden sprider sig från havsbotten till kontinentalsocklarna, där största delen av de komplicerade livsformerna lever, blir oceanerna snabbt ödemarker som endast lämpar sig för mikrobli. Uppkomsten och utvidgningen av syrefria och sulfidhaltiga förhållanden är mycket förödande för de flesta komplexa livsformer och skapar förhållanden som påminner om prekambiska oceaner.

De biologiska kriser som orsakas av stora magmatiska provinser har ännu ett intressant drag. När man undersöker sedimentära lager och fossilmaterial som sparats i dem omedelbart efter en sådan kris (t.ex. massutdöende), kan man observera en kraftig ökning av spörväxter såsom sporer av ormbunkar och mossor (senare även pollen från gömfröiga växter). I tidsseriematerialet syns detta som en kraftig sportopp. Dessa sportoppar reflekterar ökningen av populationerna av opportunistiska pionjärarter

och deras utbredning i en miljö som nyligen drabbats av en kraftig störning, där den övriga växtligheten till största delen har förstörts. Sådana spor- eller pollentoppar av pionjärarter beskriver den första fasen av normal ekologisk succession. Sportoppar som kopplas till massutrotning kan emellertid observeras globalt, vilket avspeglar hur kraftig och omfattande störningen som föregår sportoppen är. Samtidigt berättar sportopparna också om livets seghet och förmåga att återhämta sig från en kris som verkar katastrofal.

Referenser:

- Deegan, F. M., Callegaro, S., Davies, J. H., & Svensen, H. H. (2023). Driving global change one LIP at a time. *Elements*, 19(5), 269–275.
- Deligne, N. I., & Sigurdsson, H. (2015). Global rates of volcanism and volcanic episodes. In *The encyclopedia of volcanoes* (pp. 265–272). Academic Press.
- Ernst, R. E., Bond, D. P. G., Zhang, S.-H., Buchan, K. L., Grasby, S. E., Youbi, N., El Bilali, H., Bekker, A., Doucet, L. S. (2021). Large Igneous Province Record Through Time and Implications for Secular Environmental Changes and Geological Time-Scale Boundaries, in: *Large Igneous Provinces*. American Geophysical Union (AGU), 1–26.
- Fendley, I. M., Mittal, T., Sprain, C. J., Marvin-DiPasquale, M., Tobin, T. S., & Renne, P. R. (2019). Constraints on the volume and rate of Deccan Traps flood basalt eruptions using a combination of high-resolution terrestrial mercury records and geochemical box models. *Earth and Planetary Science Letters*, 524, 115721.
- Galloway, J. M., & Lindström, S. (2023). Impacts of Large-scale Magmatism on Land Plant Ecosystems. *Elements*, 19(5), 289–295.
- Grasby, S. E., & Bond, D. P. G. (2023). How Large Igneous Provinces Have Killed Most Life on Earth—Numerous Times. *Elements*, 19(5), 276–281.
- Heinonen, J. & Lehtonen, E. (2022). *Suomen muinaiset tulivuoret –blogi*. Sivulla vierailtu 26.2.2024. <https://www.tulivuoret.net/>
- Kocsis, Á. T., Reddin, C. J., Alroy, J., Kiessling, W. (2019). The r package divDyn for quantifying diversity dynamics using fossil sampling data. *Methods in Ecology and Evolution* 10, 735–743.
- Mather, T. A., & Schmidt, A. (2021). Environmental effects of volcanic volatile fluxes from subaerial large igneous provinces. *Large igneous provinces: A driver of global environmental and biotic changes*, 103–116.
- Scotese, C. R., Song, H., Mills, B. J. W., van der Meer, D. G. (2021). Phanerozoic paleotemperatures: The earth's changing climate during the last 540 million years. *Earth-Science Reviews* 215, 103503.
- Shaviv, N. J., Svensmark, H., Veizer, J. (2023). The Phanerozoic climate. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1519, 7–19.
- Svensen H.H, Jones, M.T., Mather, T.A. (2023) Large Igneous Provinces and the Release of Thermogenic Volatiles from Sedimentary Basins. *Elements*, 19(5), 282–288.