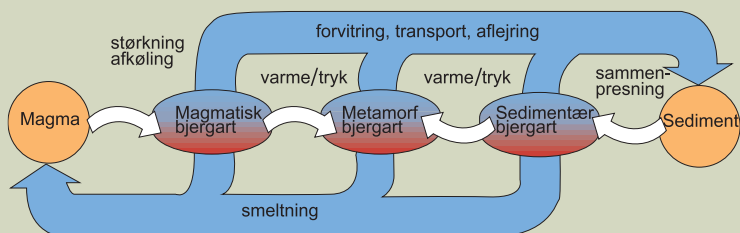


11. Det geologiske kredsløb

11.1 Indledning

Det er en kendt sag, at faste bjergarter i tidens løb nedbrydes til løse produkter, ler, sand og grus. Udsættes de senere for stærke tryk- og temperaturpåvirkninger omdannes de over lange tidsrum til nye, faste bjergarter, f.eks. sandsten og skifer. Man kan sige, at de på den ene side nedbrydes til deres enkeltbestanddele af *ydre processer* for derefter gennem *indre processer* at opbygges igen. Der er tale om et *geologisk kredsløb*.



Figur 11.1

Geologisk kredsløbsmodel.

Kilde: F.H

Bjergarter er som en kampestenmur opbygget af forskellige mindre enheder, *-mineraller*. Mineraller er enten *grundstoffer* eller forbindelser mellem grundstoffer.

Lad os se på et eksempel:

Almindelig *granit* finder man anvendt til mange forskellige formål i dagligdagen, f.eks. som kantsten langs fortovet, som gravsten eller som havnemoler. Et nærmere eftersyn afslører dem som dels meget forskellige fra sten til sten, men også som tydeligt sammensatte bjergarter. De er opbygget af forskellige *mineraller*. SiO_2 , siliciumoxid, *kvarts* er et af de almindeligste mineraller i naturen. Det forekommer i mange forskellige bjergarter, der alle har fællesbetegnelsen *silikater*. De har selvfølgelig nogle fællestræk, f.eks. den glasagtige glans, men kan hver for sig være meget forskellige at se på.

I granit er de tre vigtigste mineraler *feldspat*, *kvarts* og *glimmer*. Feldspat er et sådant *silikatmineral*. Det har glasglans og tre tydelige spalteredninger, der forløber næsten vinkelret på hinanden. Det kan have mange forskellige farver, lige fra nuancer i rosa til ensartet gråt. *Kvarts* er oftest lyst og tydeligt glasagtigt. Det krystalliserer tit i smukke regelmæssige krystaller. Forskellige farvevariationer gør kvartsen til en yndet smykkesten, f.eks. er den violette *ametyst* en sådan kvartsvarietet. Glimmer er som feldspat et silikat. For det meste optræder det som det mørke mineral i stenen. Det krystalliserer typisk i tynde blade, som man med held kan pille fra hinanden blad for blad. Alt efter det %-vise forhold mellem de tre mineraler underinddeler geologerne igen granit i mange forskellige typer.

Mens altså et mineral har en eentydig kemisk sammensætning, ser vi i eksemplet, at samme *bjergartstype* (granit) kan optræde meget forskelligt alt efter *blandingsforholdet* mellem mineralerne, den er opbygget af. Alene på Bornholm optræder mindst 5 forskellige granitvarieteter.

Figur 11.2

Kvartskrystaller.



Alt efter bjergarternes dannelseshistorie inddeler vi dem i en række logiske hovedgrupper:

størkningsbjergarter (eruptive• bjergarter)

aflejringsbjergarter (sedimentære bjergarter)

omdannede bjergarter (metamorfe• bjergarter)

11.2 Størkningsbjergarter

Der er generelt to årsager til at stenmateriale smelter i jordens kappe: 1 – at der i forbindelse med jordskælv opstår en dybtgående sprække ned til de hårdt sammenpressede og varme faste bjergarter i dybet, hvorved trykket falder og smeltepunktet derfor sænkes og 2 – at to lithosfæreplader ved bevægelser mod og med hinanden i deres kontaktzone udvikler gnidningsvarme. Den varme og lettere smeltet masse søger naturligt opad mod overfladen. Hvor den bryder igennem, går en vulkan måske i udbrud.

Et af de typiske ledsagefænomener ved vulkanudbrud er derfor, at smeltet stenmasse, *lava*, fra krateret strømmer ud på jordoverfladen. Efter kort tid størkner lavaen i de kølige omgivelser og bliver til fast klippe – den er blevet til en *størkningsbjergart*. I andre situationer sker det, at lavaen størkner inden den når ud i det fri. Foregår det i en revne i den faste klippe, bliver resultatet en såkaldt *gangbjergart* (revne = gang). Det rum i jordskorpen, hvor den smeltede stenmateriale befinder sig, kaldes *magma-kammeret*. Allerede her kan størkningen starte, først og fremmest i kontaktzonen mellem kammeret og den faste, “kølige” klippe udenom. Selv et helt magmakammer kan efterhånden størkne, hvis processerne i det går i stå. Sådanne “dybe” størkningsbjergarter kaldes *dybbjergarter*. De er tit meget grovkornede, fordi størkningen i dybet foregår så langsomt, at mineralkrystallerne i stenen kan nå at vokse sig store (se i øvrigt kapitel 5 om vulkaner).

11.3 Aflejningsbjergarter

Den fine lagdeling, man tit ser af sandet i en grusgrav, kan skyldes, at materialet er bragt dertil af strømmende vand. Ved nærmere eftersyn kan man konstatere, at kornene i aflejringen er tydeligt sorteret: nederst ligger de grove mineralkorn og højere oppe bliver materialet mere og mere finkornet.

Sådan vil der også være en tydelig lagdeling at se i strandens sand, i det organiske mudder i bunden af en mose og i deltaaflejringerne ved mange store floders udmunding, f.eks. Nilen og Mississippi.



Det er altså et karakteristisk træk ved de fleste sedimentbjergarter, at de er lagdelte og at kornene i det enkelte lag er sorteret efter størrelse, hvad enten transporten er sket i strømmende vand i en flod, eller det er havets bølger eller vinden, der har båret materialet til dets aflejningssted.

Foregår aflejringen i en rolig havbugt med lavt vand, vil der sådanne steder ofte være et rigt dyreliv i vandet. Når organismerne dør, synker de ned på bunden og de organiske dele ædes af bunddyr og bakterier. Tilbage bliver skaller af kalk eller siliciumoxid, som ofte kan danne meget tykke aflejringer. Får aflejringen lov at ligge gennem mange millioner år, kan man senere genfinde spor af dyrene som forsteninger (fossiler). Det er også i den slags organisk prægede bjergarter, man finder mineralolie, som typisk er dannet ud fra plante- og dyrerester. Foregår en aflejring over meget lange tidsrum, måske flere millioner år, kan underlaget ikke i længden bære de tykke og tunge lagserier og havbunden synker. Derved kommer materialet under et voldsomt tryk, temperaturen stiger og enkeltkornene kittes sammen til mere faste bjergarter som kalksten, sandsten osv. Bjergarterne er under en langsom, men fremadskridende forvandling – en *metamorfose*.

11.4 Omdannede (metamorfe) bjergarter

Det samme sker, når lithosfæreplader støder sammen, eller når to plader skyder sig ind under hinanden. Så vil sediment og andre bjergarter på deres overflade blive bragt ned i jordens ydre skorpe. Trykket stiger til omkring 3000 atm., mens temperaturen let når op på 400°-500°C.

Nu sætter omdannelsen for alvor ind: de “kølige” mineraler fra overfladen danner under de ændrede forhold nye forbindelser og dermed andre og efter de givne forhold stabile mineraler og mineralkombinationer – og nye bjergarter opstår.

Både sediment og størkningsbjergarter omdannes under sådanne forhold, f.eks. er bjergarten *marmor* opstået ved omdannelse af kalkaflejringer i dybet under stort tryk og høje temperaturer, mens bjergarten *granit* repræsenterer en endnu stærkere omdannelse og et helt andet mineralselskab.

11.5 De ydre kræfter – forvitring og erosion

Landskabet omkring os kan synes uforanderligt set gennem et menneskelivs perspektiv. Men kigger vi nærmere efter, kan vi mange steder se et bjerg smuldre for vejr og vind, hvorefter en flod eller et vandløb fører materialet bort for siden at aflejre det et helt andet sted. For at bjerge kan smuldre og levere materialer til bl.a. floders delta, skal mange kræfter i gang. Samlet kalder vi processen *forvitring*. Den kan foregå på flere forskellige måder, men overordnet er to “typer” vigtige: mekanisk forvitring, f.eks. sol- og frostsprængning, og kemisk forvitring, hvor strømmende vand, som indeholder aktive forbindelser, f.eks. syre, opløser mineraler og fører dem med sig. Senere aflejres eller udfældes sedimenterne igen, når forholdene er gunstige.

11.6 Mekanisk forvitring

Fra klimaafsnittet véd vi allerede, at temperaturerne ved jordoverfladen varierer alt efter, hvor vi befinder os på kloden. I Danmark vil man ofte kunne finde store sten, der er flækket helt igennem, fordi vand er trængt ned i sprækker og revner, hvorefter frostudvidelse har sprængt dem. Det er skiftet mellem frost og tøj, der her er den aktive faktor, idet vand har den besynderlige egenskab, at det udvider sig med ca. 9% af sit omfang ved frysning og derved i spalter og revner kan udøve et tryk på op til 0,5 t/cm². Ved foden af de fleste stejle bjergvægge i tempererede egne finder man store ophobninger af skarpkantede klippeblokke, sprængt løse af frosten. Tænker vi os processen til ende bliver slutresultatet: grus, sand og ler.

I verdens store tropiske og subtropiske ørkener, f.eks. Sahara i Afrika og Atacama i Sydamerika er dag/nat betingede temperaturforskelle årsag til dannelsen af enorme sandområder. Store temperaturvariationer i døgnets løb får bjergarterne til at smuldre. Solens opvarmning og deraf følgende udvidelse af sten og klippers overflade i dagtimerne, afløses om natten af et temperaturfald på måske 80°C, der får overfladen til igen at trække sig sammen. Det yderste lag løsner sig derved gradvist og skaller af som bladene i et løg. Processen kaldes *exfoliation*. Slutresultatet er, at alt bliver til sand og fint ler, der kan flyde afsted med vinden.

Figur 11.3

Aflejringskegle i DeathValley,
Californien, USA

Foto: M. Stender 1999.



Om Sahara er det dog værd at vide, at kun ca. 18% af totalarealet er “rigtig” sandørken – resten består af bjergområder eller store sletter med større, spredte klippeblokke, der er på vej til at blive findelt ved den mekaniske forvitring.

Før i tiden, før krudtets opfindelse, brugte man i f.eks. Sverige aktivt erfaringerne fra forvitringen, når man skulle bryde jernholdig malm. Man tændte simpelthen bål på klippen og hældte senere koldt vand på den varme overflade. Derved sprængtes større eller mindre stykker løs, som man så kunne fortsætte med at bearbejde til jern.

5.7 Kemisk forvitring

Kemiske forandringer i de bjergartsdannende mineraler skyldes overvejende, at de i forhold til deres dannelsesbetingelser under høje tryk og temperaturer i jordens skorpe og kappe i mødet med overfladen udsættes for atmosfærens ekstremt lave tryk og for vand, der i opløsning indeholder mange forskellige ioner.

Man kan kort sammenfatte de vigtigste kemiske reaktioner som resultat af kontakten mellem bjergarten og a) vand (hydrolyse), b) ilt (oxydation) og c) kulsyre (carbonation).

Sedimentbjergarterne lader sig derimod næsten ikke påvirke, da de selv for det meste er dannet under atmosfæriske betingelser. Kun *carbonationen* er af væsentlig betydning. Hvor der f.eks. er meget kalk i undergrunden i form af kridt, dolomit• og

marmor, ser vi mange eksempler på og resultater af den kulsyrekemiske forvitring. Kuldioxid-CO₂ – fra luften opløses let i regnvand og danner dermed en svag syre, som opløser kalken i jorden og fører det videre til grundvandsmagasinerne og vandløbene. Den proces kan være endog meget effektiv, så der dannes store, langstrakte huler, der kan være flere km lange.

Dem har menneskene på et tidligt stadium under istiden forstået at udnytte til f.eks. boplads.



Figur 11.4

Drypstenshule.

Hvor kalkmættet vand på sin vej siver ned i allerede dannede huler eller kommer frem i kilder, kan kalken igen udfældes som *drypsten* eller *kildekalk*. Især kildekalk har mange steder været vigtig som bygningssten og flere danske kirker er opført i den i bjergart, f.eks. Veng Kirke nær Skanderborg.

I tropiske og subtropiske egne med hyppig nedbør og høje dagtemperaturer vil kulsyreholdigt regnvand over længere tidsrum udvaske og opløse både silikater og næringsstoffer fra den forvitrede overfladebjergart. Tilbage bliver uopløselige forbindelser af jern og aluminium, og jordbunden *lateritiseres*. Den antager en rødgul farve og forvittringsresultatet er den typiske røde tropejord – *laterit (plinit)*.

Men for at landskabet virkelig skal forandres og skifte form og udseende er forvitring ikke nok. Forvittringsprodukterne må transporteres væk efterhånden, som de dannes, så ny erosion kan finde sted. Hertil medvirker først og fremmest: vand, vind og is.

11.8 Flodens landskaber

Der findes kun ganske få steder i verden, hvor det aldrig regner. Selv i ørkener sker det nu og da – tit med stor voldsomhed. For det meste skyldes nedbøren et helt lokalt tordenvejr. Når regnen så styrter ned, kan den end ikke synke i jorden – så hurtigt går det, men den løber derfra i voldsomme strømme, der under særlige omstændigheder kan erodere stejle kløfter eller ligefrem “flodlejer” i ørkensandet – *Wadi'er*.

Med andre ord, det strømmende vand skaber selv sit leje ved at udgrave det i underlaget og transportere materialet, sand, grus og ler bort med strømmen for så at aflejre det igen.

Figur 11.5

Slyngninger på Karup Å.



Den iagttagelse lægger op til en lang række spørgsmål, f.eks.:

1. Hvor kommer vandet i floder åer og bække fra?
2. Hvad bestemmer vandets hastighed?
3. Hvad angriber vandet sit leje med – hvilke “redskaber” er i brug?
4. Floddale er så forskellige af udseende – hvorfor?
5. På nogle afsnit af en flods forløb snor den sig gennem landskabet. Hvorfor det?
6. Hvor bliver materialet af? Hvor aflejres det? Hvorfor netop der?

ad 1.:

Hvor kommer vandet i floder åer og bække fra?

Det meste af det vand, vi i støder på i naturen, stammer fra nedbør. Der er tale om alle former for nedbør, men først og fremmest regn og sne.

Nedbøren måles i mm/time. For sne gælder det, at snelaget i cm nogenlunde svarer til 1/10-del af tykkelsen af tilsvarende vandmængde, altså 10 cm sne svarer til 1 cm regn.

Der er mange grunde til, at det regner. Alt efter årsagen har man opstillet 4 hovedgrupper, hvor forløbet af regnvejret kan være meget forskelligt:

- a) stigningsregn (*orografisk regn*)
- b) frontregn
- c) konvergensregn (*zenitalregn, ækvatorialregn*)
- d) konvektionsregn (*varmetordenregn*)

Vandet i vandløbene, er alt efter årstiden fordelt mellem overfladevand og grundvand•. Overfladevand er nedbør, der strømmer direkte ned i vandløbene efter et regnvejr eller ved snesmeltning, mens grundvand, på den anden side, strømmer ud fra jordlagene, når vandløbets bundkote• ligger under grundvandspejlet•.

I visse dele af et vandløb kan næsten alt vandet bestå af grundvand. Det er f.eks. tilfældet, der hvor en å starter som et kildevæld. I Danmark kommer der i øvrigt et ret stort vandbidrag fra drænledninger i de dyrkede marker.

ad 2.:

Hvad bestemmer vandets hastighed?

Det er tyngdekraften, der får vandet til at bevæge sig – altid nedad og om muligt altid den korteste vej. Jo stejlere et vandløbs længdeprofil er desto stærkere og voldsommere løber vandet. Med andre ord – højdeforskellen mellem kilde og udløb, *faldet*, er et godt udtryk for vandets hastighed. Det er også klart, at jo hurtigere vandet løber, desto mere passerer der igennem floden pr. tidsenhed. Et mål herfor er *vandføringen*, der defineres som det antal m³ vand, der pr. tidsenhed (oftest sek.) passerer et tværsnit på vandløbet. Verdens vandrigeste flod, Amazonas, har en vandføring anslået til ca. 180.000 m³/sek. ved munden, mens Gudenåen ved Randers bro præsterer 33 m³/sek..



Men der er også den tydelige sammenhæng, at jo større vandføringen er, jo hurtigere løber vandet, og jo mere materiale kan det føre med sig.

Desværre har store oversvømmelser sidst i 1990'erne plaget beboerne langs mange større vandløb i Europa og ikke mindst i Kina, for vandet har slet ikke kunnet løbe væk i samme hastighed, som det er strømmet til. Det er der flere årsager til, men to forhold har været altafgørende: en længere periode med stærke regnskyl, og dertil at skove og anden bevoksning langs vandløbene er blevet fældet eller ryddet for at man har kunnet opdyrke jorden. Med andre ord, – den naturlige, langsomme nedsivning igennem plantedækket har ikke kunnet finde sted, så det meste af vandet er som overjordisk afstrømning strømmet direkte til vandløbene, der slet ikke har haft kapacitet til at føre de store vandmasser bort.

Figur 11.6

Oversvømmelse, Øvre Weichel, Polen

Foto: W. Oginski, 1997



ad 3.:

Hvad angriber vandet sit leje med – hvilke “redskaber” er i brug?

Det rindende vands virksomhed er en *ydre proces*, der langsomt omformer landskabet. Derved opstår der både erosions- og aflejringslandskaber.

Følger vi f.eks. et vandløb fra dets kilde højt oppe i bjergene til dets udløb i havet går ganske bestemte landskabsformer igen fra det ene vandløb til det andet.

De typiske *erosionslandskaber* findes i flodernes øvre løb, mens det nedre løb er præget af *aflejringslandskaber*. Hvor

vandet har stor hastighed slider det på og udgraver sit leje, med sedimenterne som "høvl", mens det frigjorte materiale igen aflejres, når forløbet bliver roligere og transportevnen aftager. Især om foråret, efter snesmeltning og på andre årstider efter stærke og vedvarende regnperioder, kan vi iagttage, hvordan vandet er plumret og uklart af det materiale, der føres med. De synlige materialer er altså flodens *værktøj*, men dertil kommer så alt det usynlige, kolloiderne og de opøste stoffer, der ender som salte i søer og have.

ad 4.:

Floddale er så forskellige af udseende – hvorfor?

Bjergbække har som allerede nævnt et meget hurtigt løb, fordi deres leje skråner stærkt. Hele tiden fører de nedfaldende forvittringsmateriale fra de omgivende skrånninger med sig og arbejder sig samtidig nedad i lejet. Derved får de et karakteristisk V-formet tværprofil, og typisk er dalbunden ikke bredere end vandløbet selv.

Såfremt bjerggrunden under sådanne forhold stadig hæver sig, vil erosionen overvejende finde sted i *bunden* af vandløbet og dalsiderne vil blive næsten lodrette – der dannes en *canyon*.

Når terrænet begynder at flade ud aftager farten på vandet selvfølgelig også. Det betyder, at vandløbets transportevne aftager, så her og der finder der nu en aflejring sted.

ad 5.:

På nogle afsnit af en flods forløb snor den sig gennem landskabet. Hvorfor det?

Flodens *mellemste og nedre løb* er præget af en bred flad daltype af et uregelmæssigt tværsnit, hvor floden skiftevis eroderer i dalsiderne og aflejrer sediment. Derved får vandløbet et helt specielt udseende præget af store regelmæssige buer – man kalder dem *mæanderbuer*.

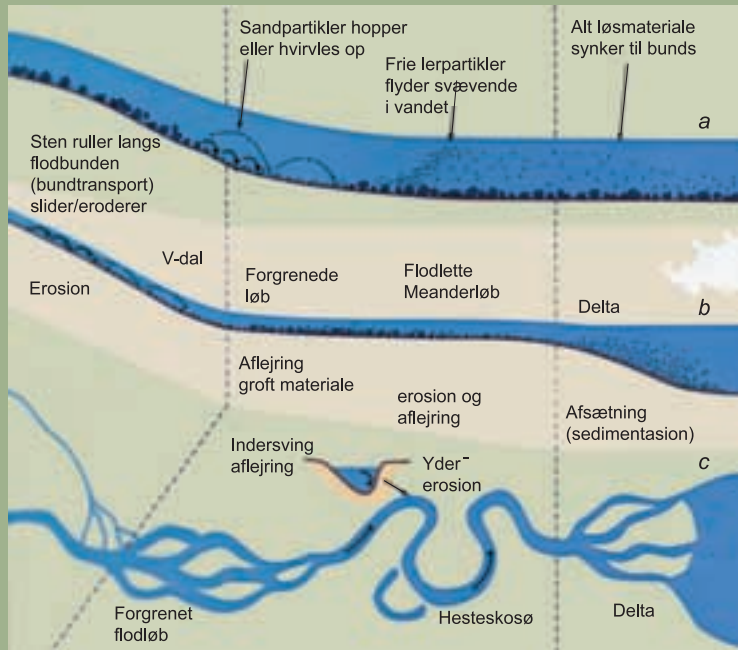
De steder, hvor dalen er bred nok til, at der *kan* dannes mæanderbuer, flytter løbet sig efterhånden gennem hele dette afsnits længde. Typisk er det, at floden eroderer i svingenes yderside, hvor strømningshastigheden er stor, men samtidig aflejrer materiale på indersiden, hvor vandhastigheden er ringe.



Figur 11.7

Stadier i flodens udvikling.

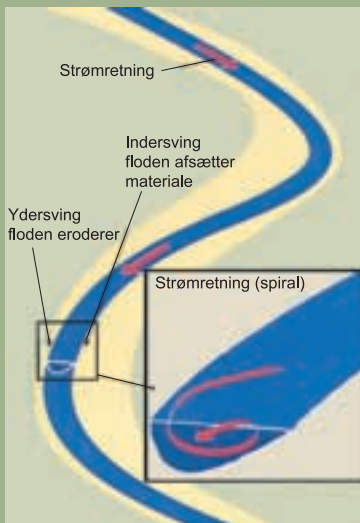
Kilde: Cappelen, Geografi, 1993.



Figur 11.8

Mæandreende vandløb.

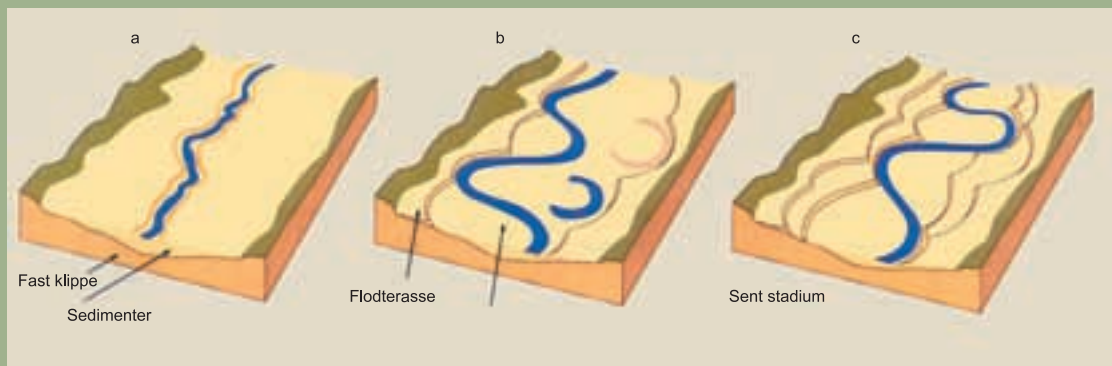
Kilde: Cappelen, Geografi, 1993.



I særlige situationer kan der ske det, at slyngningerne på grund af erosionen kan nå hinanden, hvorved en hel bue kan afsnøres, og den bliver til en særlig søtype, der efter sin form kaldes en *hesteskosø*.

Processerne i floddalen vil på langt sigt føre til, at der dannes en bred aflejringsflade, hvor floden hele tiden flytter rundt på materialerne – vi har fået dannet en *flodlette*.

Af forskellige grunde sker det ofte, at landområder enten hæver sig eller synker, så højdeforskellen til havoverfladen ændres. Derved vil faldet enten øges eller mindskes. Sker det første, vil en flod starte ny erosion i sin egen dal. Set fra kano eller båd vil den gamle flodbund fremstå som en højere liggende terrasse, der brat stiger op fra den nu-værende dalbund. Den slags "dal i dal"-former findes mange steder i f.eks. Gudenåens dal – særlig flot udviklet ved Mossø i Midtjylland. (Se kapitel 6)



Figur 11.9

Dalterasser.

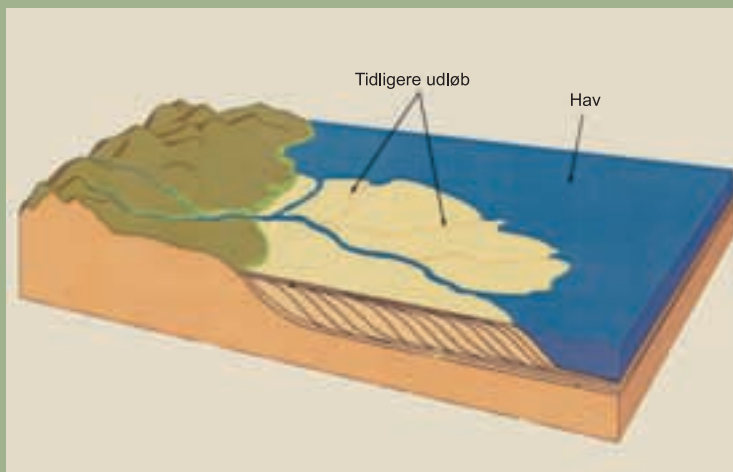
Kilde: Cappelen, Geografi, 1993.

ad 6.:

Hvor bliver materialet af?

Hvor aflejres det? Hvorfor netop der?

Når floden endelig udmunder i havet eller en større sø, ophører dens transport- og erosionsevne brat, og den må slippe sin medbragte last af organisk slam, ler sand og grus. Først aflejres de tunge partikler, der er rullet med strømmen langs bunden, dernæst det opslemmet sand og ler og senest, ofte langt til havs, synker det organiske slam langsomt til bunds.



Figur 11.10

Dalterasser.

Kilde: Cappelen, Geografi, 1993.

Figur 11.11



Landsby i Nildeltaet.

Foto: Natur.e

Figur 11.12

Elbmundingen - modelfoto.

Foto: F. Hansen.

I stille farvand, uden kystnære strømme vil der typisk dannes en trekantet aflejringsfane, med den ene spids pegende mod flodmundingen -et *delta* kalder vi det efter det græske bogstav Δ pga. formen. – Nildeltaet i Egypten er verdens mest berømte delta, men mange andre af verdens største floder danner deltaer ved deres udmunding, f.eks. Ganges, og Mississippi.

Ved tidevandskyster, med stærk flod og ebbe (se kap. 3) bliver flodmundingen derimod "tom", for flodens materialer føres til havs af det faldende vand og aflejres helt andre steder som marsk, der ved inddæmning og dræning kan omdannes til frugtbar landbrugsjord. Det sker f.eks. i Holland og i de danske marskområder, hvor det meste af materialet stammer fra de floder, der udmunder i Nordsøen, f.eks. Themsen og Elben.



11.9 Ringen slutes

Sedimenterne er som stoffestanddele igen i ro. Aflejringsbassinene vil under vægten af tykkere og tykkere lag synke langsomt ind i jordens kappe. Det voksende tryk og den stigende temperatur sætter metamorfosen i gang. Langsomt, men sikkert gør naturen sit arbejde: skaber nye bjergarter, der i en ny cyklus igen nedbrydes.

Ordforklaring

bundkote

bundens højde over havniveau angivet i meter.

dolomit

CaMg (CO₃)₂ – magnesiumkalk – efter kalksten i de østrigske alper: Dolomitterne.

eruption

udbrud (ofte voldsomt) – her vulkanudbrud.

grundvand

frit underjordisk vand - grundvandszone: den zone, hvor alle porer er vandfyldte.

grundvandsspejlet

overfladeniveau for grundvandsmagasinet.

metamorfose

forvandling.

mæanderbuer

Mæander. Efter den lilleasiatiske flod Maiàndros, der har et meget bugtet forløb.