



SZÉCHENYI
ISTVÁN
EGYETEM

dr. Papp Zoltán

FÖLDTANI
ALAPISMERETEK
(GEOLÓGIA I-II.)

Széchenyi István Egyetem
Környezetmérnöki tanszék

DR. PAPP ZOLTÁN
FÖLDTANI ALAPISMERETEK
(GEOLÓGIA I-II.)
főiskolai jegyzet

Lektorálta:
Dr.rer.nat. Erdélyi Mihály
hidrogeológus

Győr, 1997

Bevezetés

A tárgyi összeállítás terjedelmét – a szerzői szándéktól függetlenül – rendkívül szűk korlátok szabták meg. Így a mindössze négy ívben foglalt ismeretanyag egyféle útmutató, tanulási segédlet – tehát nem a szükséges tananyag összessége –, amelynek céljai között a teljesség kizárólag az adott témakörhöz kapcsolódó önálló olvasói munka révén érhető el, belefoglalva az előadásokon tárgyalt, de a jelen kiadványban nem részletezett (legfeljebb csak érintett) anyagrészeket is.

A tematika – főbb vonalaiban – a győri Széchenyi István Főiskola környezetmérnök-képzésének oktatási programjához illeszkedik, amelynek további (ehelyütt nem kifejtett) földtani részismeretek találhatók a Talaj és védelme, a Vízügy, valamint a Levegővédelem című alaptárgyak keretében.

Lényeges szempont az érintett fogalmak, témakörök egyetemes fontossága és konvertálhatósága a földtan → alkalmazott (műszaki és környezet-) földtan napjainkra rendkívül bonyolulttá finomodott összefüggérendszerében. Ez az oka, hogy esetenként a hivatkozott ismeretek a klasszikus földtan határterületeire „csúsznak”, vagy már valamelyik rokontudományhoz sorolandók.

A Föld belsejében, felszínen és környezetében történt és/vagy napjainkban is zajló folyamatok tér- és idődimenziói az emberi létezést képest nagyságrendekkel nagyobbak lehetnek, bár az emberi tevékenység egyes következményei ma már földtani méretekben is azonos nagyságrendet mutatnak a természeti tényezőkével. Nincs mód a Földet és környezetét felépítő, sokkomponensű, időben is változó anyagi rendszer minden pontját megvizsgálni. A matematikai-fizikai modellektől kézzelfogható eredményt a földtudományokban általában két határesetben várhatunk: ha a vizsgált jelenség, folyamat, változás „emberöltőnyi” dimenziókban is kimutatható (mérhető, megfigyelhető, számítható), vagy konstans.

Mivel az adatok pontszerűek, diszkrét, a földtani ismeretek elsajátítása az átlagosnál nagyobb ténytanyag ismeretét és az egyéni szintézis készségét feltételezi. Kivételesen nagy szerepe van a gondolati elemeknek – az általános ismereteket tudni kell alkalmazni a hétköznapi gyakorlat szintjén.

A földtani ismeretanyag a szükségletek sokszor kényszerű növekedése és a technika fejlődése következtében rendkívüli mértékben sokszorozódik a mikro- (elektronmikroszkópia, tömegspektrometria stb.) és makrotartományban (a tengeraljzat feltárása, szupermélységű fúrások, orbitális geológia) egyaránt. A Földkéreg fejlődésének mozzanatait egységes, átfogó szemlélettel magyarázó elmélet – a globális vagy lemeztektonika – mindössze 35 esztendő. A cél az újak tükrében sokszor módosítandó ismeretek alapján a Föld anyagai és a földtani folyamatok közül az adott feladat szempontjából lényegeset térben és időben felismerni, helyesen értékelni.

Létező – bár sokszor megtévesztő – könnyebbség, hogy a tananyag egy része az előzetes tanulmányokból (pl. természeti földrajz) és más forrásokból, mint az általános műveltséghez tartozó tudás, ismert. Az új alapfogalmak viszont (amelyek sokszor idegen kifejezések) – pontos jelentésükkel együtt – elsajátítandók. **Tényismeret nélkül nincs földtani gondolkodás.**

A tárgyi összeállítás a földkéreg anyagainak és folyamatainak a felismerését szolgáló készséget fejlesztő ismereteket kíván nyújtani az adott keretek között. E készség napjainkban a mérnöki tevékenység egyik legfontosabb összetevője.

Az egyes tárgykörök után az Olvasó ellenőrző kérdéseket és szakirodalmi ajánlásokat talál. Ne felejtse – a megadott szakirodalom önmagában is csak válogatás lehet a napról napra változó, bővülő írott ismeretek halmazából, annak tér- és időbeli, valamint szubjektív korlátaival. Az **apró betűs** részek olvasásakor a megértésre célszerű törekedni.

Tartalom

I. A földtan, mint természettudomány.....	8
1. A földtan tárgyköre, tagolása, rokontudományai	8
2. Az alkalmazott földtani ismeretek tárgya, rendszere	10
3. A földtani megismerés alapelvei.....	12
3.1. Általános (klasszikus) elvek	12
3.2. Speciális elvek a műszaki földtan vonatkozásában	13
II. A Föld gömbhéjas felépítése – a geoszférák	14
1. A földtani egyensúlyi állapotok típusai.....	14
2. A külső geoszférák.....	15
2.1. A légkör (atmoszféra).....	15
2.2. A vízőv (hidroszféra).....	17
2.3. Kontakt geoszférák	17
3. A belső geoszférák.....	17
3.1. A kőzetöv (litoszféra)	17
3.2. A kőzetöv alatti geoszférák, fizikai állapotuk	18
3.3. Földmodellek.....	21
3.4. A geofázisok	21
3.5. A földfejlődés általános tendenciája	21
III. A földkéreg.....	22
1. Meghatározása, egyensúlya, vastagsága	22
2. A földkéreg elemi összetétele	23
3. Az ásványok.....	23
3.1. Meghatározásuk.....	23
3.2. Kristálytani alapismeretek	23
3.3. Kristályfizika	24
3.3.1. A sűrűség	24
3.3.2. A fajhő	24
3.3.3. Alakváltozások (deformációk)	24
3.3.4. Hasadás, törés	25
3.3.5. Keménység	25
3.3.6. Fénytani jellemzők.....	25
3.3.7. Mágneses és villamos tulajdonságok	26
3.4. Fontosabb ásványok.....	26
4. A kőzetek	29
4.1. Meghatározásuk.....	29
4.2. A kőzetek genetikai csoportosításának elvi alapja – a litoszféra anyagának körforgalma	29
4.3. A magmás kőzetek képződése, jellemző típusai, rendszere	30
4.4. Az üledékes kőzetek képződése, jellemzői, rendszere, főbb típusai.....	33

4.5. A metamorf (átalakult) kőzetek keletkezése, jellemzői, fontosabb típusai.....	39
IV. A földkéreg arculatát formáló erők – a dinamikai (fizikai) földtan alapjai.....	40
1. A kőzetöv (litoszféra) anyagi körforgalmának területi és időbeli rendje	40
2. A lemeztektonika	41
2.1. Alapfeltevés: blokkok + mozgás	41
2.2. Földtani jelenségcsoportok a lemeztektonika tükrében	42
2.2.1. Az óceáni aljzat szétterülése (4.3. ábra).....	42
2.2.2. Alátolódás (szubdukció)	43
2.2.3. Kontinentális lemezek ütközése	43
2.2.4. Törésrendszerek	44
2.2.5. A hőáramlás extra értékeivel jellemzett területek.....	44
3. Az egykori mozgások jelei – töréses és gyűrődéses szerkezetek.....	45
3.1. Gyűrődés.....	45
3.2. Törés	45
4. A földrengések	46
4.1. A földrengés fogalma	46
4.2. A keletkezés módja szerinti felosztásuk	46
4.3. Néhány alapfogalom.....	47
4.4. Földrengéserősségi skálák	47
4.5. Szeizmicitás – szeizmotektonika	48
5. A magmás anyagmozgás vulkáni kifejlődése	48
5.1. A vulkanizmus fogalma.....	48
5.3. Vulkanizmus és tektonika.....	49
6. A külső geoszférák mozgásai és azok hatása a földkéreg anyagára.....	50
6.1. A külső geoszférák mozgásainak általános jellemzői.....	50
6.2. Az atmoszféra hatása a földkéregre	50
6.3. A hidroszféra hatása	52
6.4. A jég hatása	54
6.5. A kéregfelszín gravitációs mozgásai	54
7. Az üledékgyűjtők feltöltődése (akkumuláció), kőzetté válás (diagenézis)	55
7.1. Akkumuláció.....	55
7.2. Diagenézis	57
8. Rétegtani alapismeretek	58
8.1. A réteg, rétegződési típusok	58
8.2. A formáció.....	60
8.3 A kőzettani (litológiai) korreláció	60
8.4. Kormeghatározási módszerek.....	61
V. Magyarország földtörténete.....	63
VI. A földkéreg felépítésének ábrázolása.....	67

VII. Vízföldtani (hidrogeológiai) alapismeretek	70
1. A földi vízkészlet eredete, megoszlása	70
2. A víz körforgalma (hidrológiai ciklus)	71
3. A felszín alatti vizek osztályozása	72
3.1. A kőzetanyaggal egy időben keletkezett, csak hőközléssel eltávolítható víz	72
3.2. A szemcsék felületéhez kötött víz (a szemcséfelülettől való távolodás sorrendjében).....	72
3.3. Szabad víz.....	73
3.4. A szabad (gravitációs) víztípusok.....	73
4. A talajvíz.....	73
4.1. Fogalma	73
4.2. A felszín alatti vizek szintjének (a „talajvízszint”) fogalma.....	74
4.3. A víztükör nyomásviszonyai szerinti csoportosítás.....	74
4.4. A víztükör geometriai alakja, földtani helyzete szerinti csoportosítás	77
4.6. A talajvízjárás	79
4.9. Talajvízszint-adatok beszerzése.....	87
4.10. Néhány, a talajvízzel kapcsolatos megjegyzés	88
5. A rétegvíz.....	91
5.1. Fogalom	91
5.2. Rétegvíztípusok	91
5.3. Kapcsolata a felszínmozgásokkal	92
6. A karsztvíz	92
6.1. Fogalma	92
6.2. Karszt-típusok.....	93
6.3. Néhány jellemzője, jelentősége	94
7. A források	94
7.1. Fogalom, osztályozás.....	94
7.2. Néhány példa	94
8. Geohidrológia.....	95
Kérdések	96
VIII. Műszaki földtani ismeretek - betekintés -.....	97
1. A mérnökgeológiai szemlélet kettőssége	97
2. Létesítmény	97
3. A természeti környezet.....	97
3.1. A talaj	97
3.2. A mérnöki munkák környezetmodelljének elemei	99
3.3. A fontosabb természeti adottságok	99
4. A mérnökgeológiai közetmodell.....	100
4.1 A modellalkotás.....	100
4.2. Homogenitás, izotrópia és folytonosság	100

4.3. A kőzetmodell kialakításának folyamata, a mérnökgeológia tevékenység fázisai	100
5. Kőzetfizikai alapismeretek.....	101
5.1. A természeti jellemzők csoportjai.....	101
5.2. A (laza, törmelékes) „talaj” és a szilárd (szálban álló) kőzetek megkülönböztetése	102
5.3. A szilárd kőzetek fizikai jellemzőinek eredete	102
5.4. A kőzetalkotó ásványok; kristályok és alkattan közegek.....	103
5.5. A kőzetszövet és a szilárdság (törés) kapcsolata	103
5.6. A kőzetek tömegeloszlása.....	104
5.7. A törés elmélete	105
5.8. A tagoltság	106
5.9 Laza kőzetek (üledékek vagy talajok)	107
5.9.1. Megnevezésük.....	107
6. A mérnökgeológiai tevékenység elemei	112
6.1. Adatgyűjtés (archív adatok, dokumentációk összegyűjtése, értékelése)	112
6.2. Terepi munka.....	112
6.2.1. Megfigyelések.....	112
6.2.2. Információk a felszín alól.....	116
6.3. Laboratóriumi vizsgálatok	117
6.4. Az adatok komplex értékelése	117
6.4.1. Térképváltozatok	117
6.4.2. Az extrapolálás megbízhatóságáról.....	117
6.4.3. A geodinamikai helyzet	118
A gyakoribb szak kifejezések.....	122

I. A földtan, mint természettudomány

1. A földtan tárgyköre, tagolása, rokontudományai

A földtan fogalmának megfelelő idegen, de a magyar szóhasználatban is meghonosodott "geológia" kifejezés a görög "gé" (föld) és a "logosz" (tudomány) szóösszetételéből ered. Tárgykörébe tartozik a Föld szerkezetének, geometriájának vizsgálata, beleértve a felszínén és a belsejében valaha végbement vagy jelenleg is munkálkodó folyamatok megismerését. Magában foglalja az élővilág fejlődéstörténetét is. A földtudományok összességére újabban használatos egy másik fogalom is használatos: a geonómia ("nomosz" = törvény).

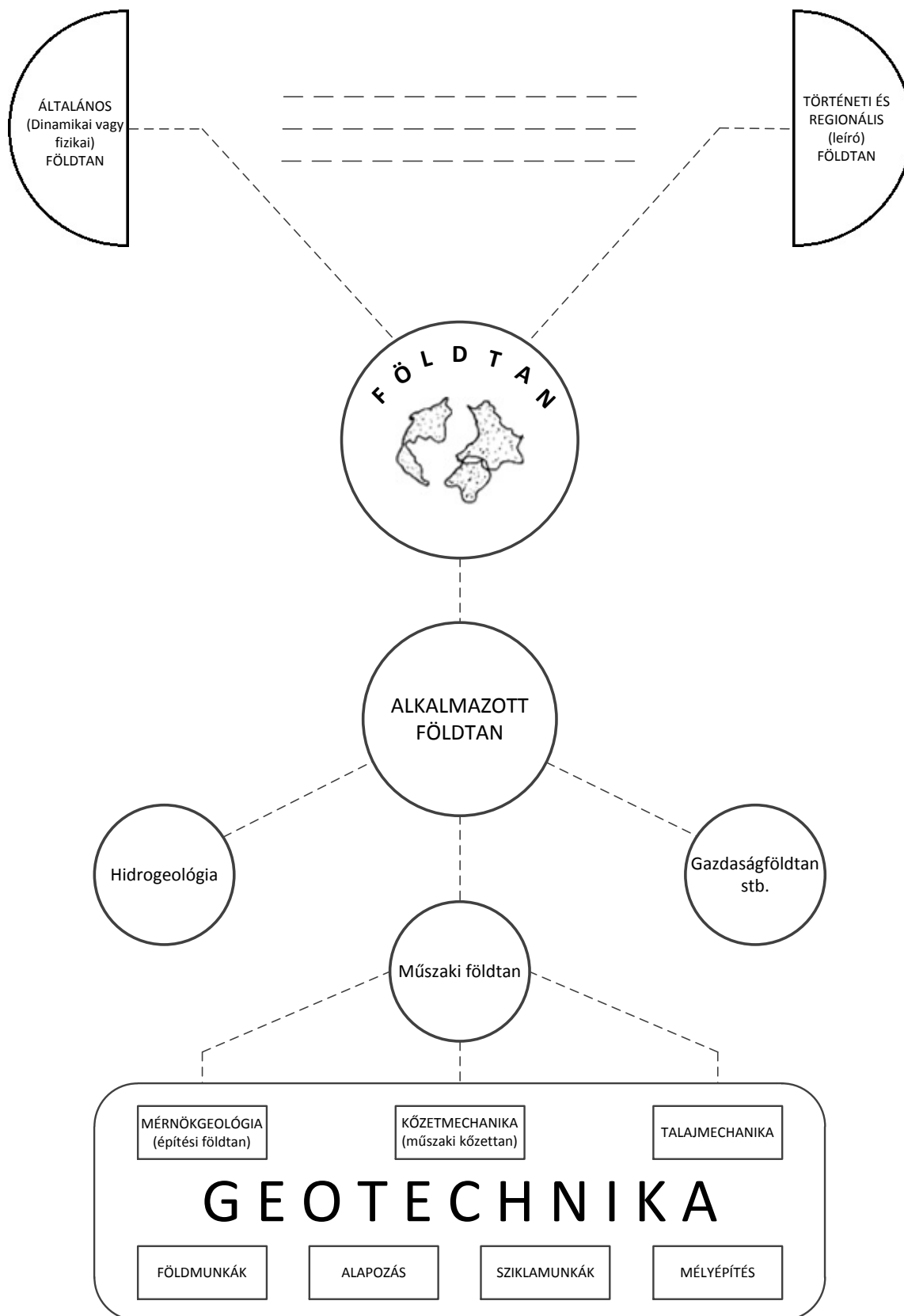
A földtan az alaptudományokon (fizika, kémia, matematika, biológia stb.) kívül széles körű ismereteket egyesít, az atomfizikától a rádiócsillagászatig.

K A földtan komplex ismeretanyagának alapvető sajátossága a **történetisége**. A földtörténet időfüggése egyedi, komplexitása miatt megismételhetetlen, kísérletileg a folyamatoknak csak egy kis, a valóságban lévő összefüggések rendszeréből kiragadott része állítható elő és reprodukálható.

A földtani ismeretek két részre oszthatók – az **általános** (dinamikai vagy fizikai) **földtani**, valamint a **történeti és regionális földtani** ismeretek halmazára (1.1. ábra).

Az első halmazba a Föld és a földfelszín felépítésére, szerkezetére és az azokat formáló folyamatokra vonatkozó ismeretek tartoznak – ide sorolható pl. az ásvány- és kőzettan, geomorfológia, földrengés- és vulkanológia stb. Ezek jelenségtudományok: tapasztalatiak, kísérletiek, oknyomozók.

A másik halmaz a földtörténet térben és időben lejátszódott eseményeinek láncolata. Azok megismerése céljából tanulmányozza az ásványokat, kőzeteket, kutatja a múlt földrajzi és klímaváltozásait. Eszközüln használja az ősmaradványokat, genetikai kapcsolatokat keres az egymástól térben távoli kőzettestek, rétegek között, meghatározva azok relatív és/vagy abszolút korát. Ilyen módon egy terület adott földtani korban jellemző földrajzi körülményei részletekbe menően kideríthetők – ezek változásainak időbeli rendje egymásutánisága az adott terület földtörténete – regionális földtana -, hasonlóan ahhoz, ahogy álló képek sorozatából mozgófilm állítható elő. Ide sorolható tudományágak pl. a rétegtan, ősélettan, amelyek jellegükben történetiek és leíróak.



1.1. ábra
A földtani és a műszaki ismeretek kapcsolata

GÖMBHÉJAK		ROKONTUDOMÁNYOK
KÜLSŐ	BELSŐ	
LÉGKÖR (atmoszféra)		PLANETOLÓGIA ŰRFÖLDTAN [Kozmo(geo)lógia] (kozmikus v. orbitális geológia ÉGHAJLATTAN (Klimatológia) METEOROLÓGIA
VÍZBUROK (hidroszféra)		HIDROLÓGIA VÍZFÖLDTAN (hidrogeológia) TENGETAN (óceanológia) A JÉG "FÖLDTANA" (glaciális geológia)
TALAJ (ÜLEDÉK) – ÖV (pedoszféra) ÉLET – ÖV (bioszféra)		TALAJTAN (pedológia) ÜLEDÉK FÖLDTAN (szedimentológia) ÉLETTAN (biológia)
	KÖZETÖV (litoszféra)	GEOKÉMIA ÁSVÁNYTAN (minerológia) KRISTÁLYTAN (krisztallográfia) KÖZETTAN (petrológia) RÉTEGTAN (sztratigráfia) ŐSÉLETTAN (paleontológia) GEOFIZIKA FÖNDRENGÉSTAN (szeizmológia) SZERKEZETI FÖLDTAN A FELSZÍNFORMÁK ALAKTANA (geomorfológia) FÖLDKÉREG SZERKEZETTANA (tektonika) VULKANOLÓGIA
	MÉLYEBB GEOSZFÉRÁK (köpeny, mag)	PLANETOLÓGIA KOZMO(GEO)LÓGIA

1.2. ábra

A földtan fontosabb rokontudományai a gömbhéjak (geoszférák) természeti sorrendjében

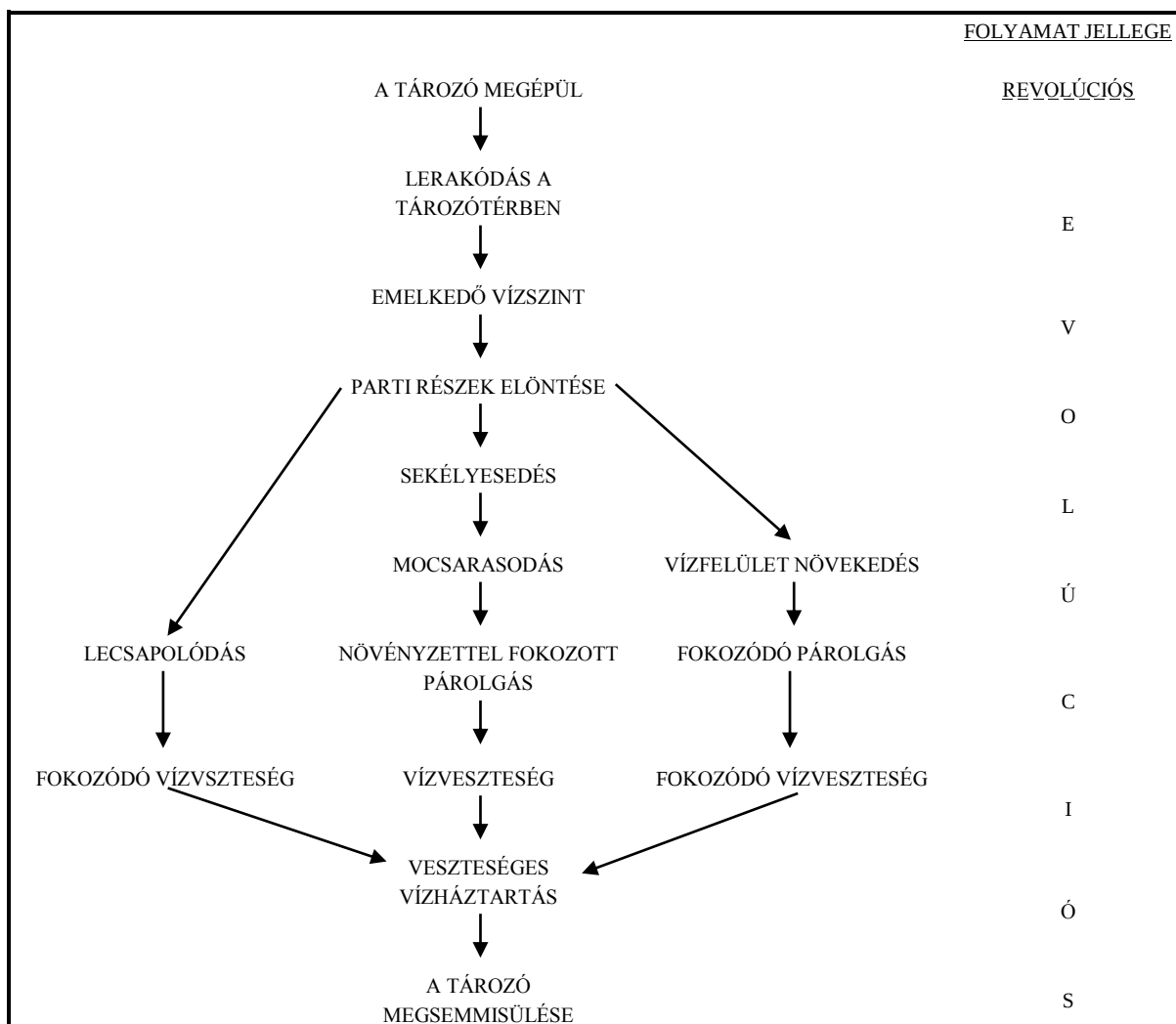
A két halmaz összefügg egymással, átfedésben van, nem választható szét élesen. Az 1.2. ábra a földtan fontosabb rokontudományait az illető tudományterület vizsgálódásainak színtere alapján, a gömbhéjak (geoszférák) sorrendjében foglalja össze.

2. Az alkalmazott földtani ismeretek tárgya, rendszere

A földtudományi ismeretek egyik célja – változatlanul – a szükséges földanyagok – nyersanyagok – kutatása, azok keletkezési, előfordulási és települési viszonyainak felderítése.

A bányászat kialakulásával nagyjából egy időben egy másik, a Föld történetében új, sajátos tényező jelent meg – az (emberi) létesítmény. (Maga a bánya is létesítmény, az utóbbi fogalom az általánosabb.) A létesítmények száma az ember társadalmi és technikai fejlődésével – a Föld felszínén és a felszín alatt – horizontálisan és vertikálisan egyaránt fokozott mértékben nő (a szakirodalomban már megjelent az "emberi burok" – nooszféra – mint térbeli, és az "antropozoikum" – mint időbeli kategória). A létesítmények a természeti környezet oldaláról "idegenek", ottlétükkel (súlyukkal, térfogatukkal, vízzáróságukkal, hőmérsékletükkel stb.)

megváltoztatják az eredeti egyensúlyviszonyokat. Válaszként a "beavatkozásra", újabb egyensúlyi állapot felé irányuló földtani folyamatok lépnek működésbe. Ezt a válaszreakciót kell felismernünk, és a folyamatok jellegétől, sebességétől, valamint a létesítménnyel szemben támasztott igényeinktől függően megoldást kell találnunk. Ezek a reakciók – bár néha kevésbé látványosak – minden, a természet rendjébe való beavatkozáskor kiváltódnak. A figyelem tehát azokra a földtani folyamatokra kell, hogy irányuljon, amelyek a létesítmény környezetében működnek, vagy annak megépülte pillanatától, esetleg később bekövetkez(het)nek – a természet és az építmény kölcsönhatásában. E tárgykörrel foglalkozik a műszaki földtan. Az előbbiekre az 1.3. ábra mutat példát.



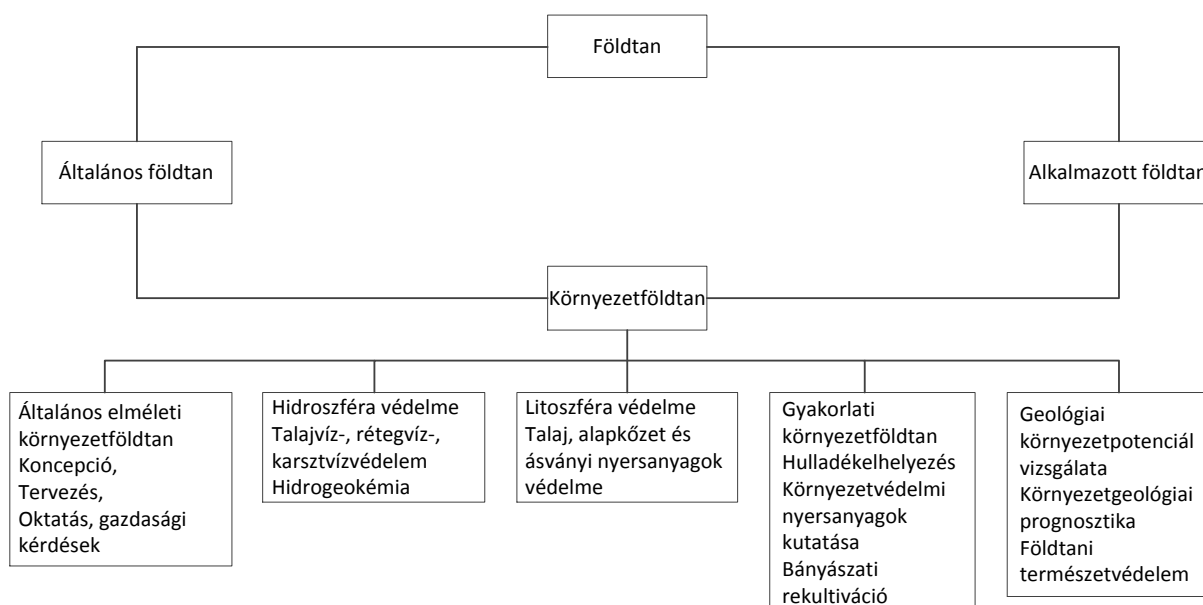
1.3. ábra
Magára hagyott víztározó földtani eseményláncolata

Egy völgyzárógáttal létrehozott tározó a vízfolyás eredeti sebességét csökkenti, azonnal megindul a z eredeti körülmények között tovább szállított hordalék egy részének lerakódása a tározótérben. Ha a tározótér (létesítmény) fenntartására nem fordítanak többletenergiát (kotrás stb.), az ábrán ismertetett földtani eseményláncolat volna várható.

A hullámozás partromboló hatása, a völgyoldalak víz alá kerülése (lejtőcsúszások), a hatalmas víztömeg altalajra nehezedő súlya által esetleg kiváltott földrengések (katasztrófa-jelenségek) a feltöltődés folyamatát nagyságrendekkel megváltoztathatják.

A műszaki földtan sajátossága a földtani és a mérnöki szemlélet összefonódása. Az igen változatos és nehezen áttekinthető földtani viszonyokat úgy kell kivonatolnia, hogy azok a tervek, számítások, építési előírások stb. számára felhasználhatók legyenek. Ami a geológusnak döntő tény (pl. ősmaradvány vagy mikroszerkezet), a mérnök számára közömbös lehet, vagy fordítva.

A kb. két évtizedes múlta visszatekintő, növekvő jelentőségű **környezetföldtan** kapcsolatrendszerét az 1.4. ábra tekinti át.



1.4. ábra
Környezetföldtan illetve környezeti geológia kapcsolatrendszere

3. A földtani megismerés alapelvei

3.1. Általános (klasszikus) elvek

A természetes állapotában és természetes környezetében levő minden földanyag (ásványok, kőzetek) korábbi geológiai folyamatok eredménye, és további földtani folyamatok **nyersanyaga**. Tulajdonságai részben a földtörténeti események következtében alakultak ki – ilyen értelemben a földanyagok a földtörténeti múlt dokumentumai.

Nincs okunk feltételezni, hogy a földtani energiák és folyamatok lényegbevágóan mások voltak a múltban, mint a jelenben működők. Ilyen módon a jelen megértése előre viszi a múlt rekonstrukcióját (**aktualizmus elve**).

Az üledékes közetrétegek települési sorozata – amely térbeli kategória – időbeli sorozatot is rögzít (**rétegtani elv**). A térbeli helyzet egyben időfolyamat. A földtani folyamatok jellegükben pusztítók is lehetnek, tehát a rétegsorban egyes – valamikor meglévő – rétegek hiányozhatnak. Ezek lepusztulásához is idő kellett, vagyis matematikai megfogalmazásban a rétegek térbeli sorozatában lehet, az idő folyamatában azonban nem lehet szakadás.

A földkéreg nagyszerkezeti formái (gyűrődések, törések stb.) és mikroszerkezeti adottságai (szöveti jellemzők, kristályszerkezet) pillanatképek, amelyek alapján a mozgások jellegére és fizikai körülményeire következtethetünk (**tektonikai elv**).

Az élet fejlődésének eseményei a környezettel való kapcsolatuk révén a földtörténeti eseményektől is függenek.

Egyes fajok kihaltak, mások a körülményekhez való alkalmazkodás során egyre bonyolultabb struktúrát kialakítva, virágzásnak indultak. Az üledékekben megőrződött élőanyag-maradványok (kövületek) alkalmasak a rétegek egymáshoz való viszonyának felderítésére, és a távoli lerakódások tér- és időbeli azonosságának megállapítására (korrelációjára). Mivel erre elsősorban a földtörténet viszonylag rövid szakaszában, nagy számban és elterjedésben élő lények (növények, állatok) – az ún. vezérlő ősmaradványok – kedvezőek, a szóban forgó elvet **vezérkövület-elvnek** hívják.

A földtani (tárgyi, érzéki és gondolati) megismerés természetes rendje az alak – anyag – változás (folyamat) – kapcsolatok, összefüggések megállapítása – alkalmazás logikai sorozata. A jelen állapotából, jellemzőiből az összefüggése, törvények alapján a múltra és a jövőre következtethetünk.

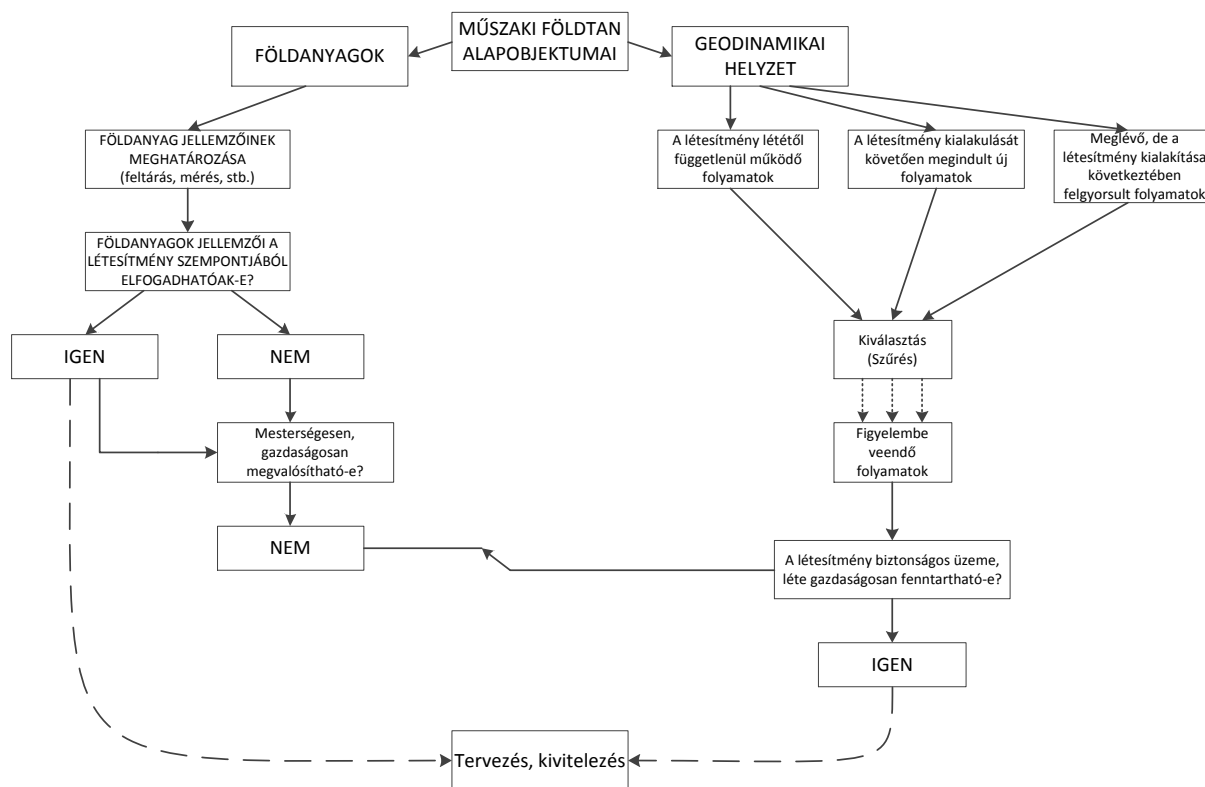
3.2. Speciális elvek a műszaki földtan vonatkozásában

A tárgyi – érzéki, tehát közvetlen földtani tényanyagot nyújtó megismerés téridő horizontja – bár határai vertikálisan a Föld környezete és a földbelső felé egyaránt tágulnak – napjainkban a földkéreg felső övezetére terjed ki. Ebben a zónában – döntően a Föld felszínén – található építményeink szorosabb értelemben vett környezete (nem tartoznak ide pl. a mesterséges holdak és a nagymélységű kutatófúrások).

Létesítményeink környezete egyúttal a Föld anyag- és energiaáram rendszerében a külső (földkéreg feletti) és belső (a felszín alatti) gömbhéjak körfolyamatainak kapcsolódási felülete. Míg a földtani ismeretek döntően a múlt földtani eseményeinek felismerésére irányulnak – egyszerűen azért, mert az ásványi nyersanyagok/földanyagok kialakulása és jellemzői azokhoz kötődnek -, mérnöki vonatkozásban ez a szemlélet önmagában nem vehető át. A cél, amelynek elérése érdekében földtani ismereteket **is** alkalmazunk, lényegesen más.

Kiválasztandók a feladat szempontjából fontos környezeti jellemzők. Ilyen lehet pl. az altalaj (kőzet) összetétele, repedezettsége stb. Szükségtelen pl. a repedezettséget okozó hegységképződési fázis pontos ismerete. Lényeges azonban a kőzetet a létesítménytől függetlenül is formáló (globális), és a létesítmény által kiváltott vagy felfokozott (lokális) földtani folyamatok **felismerése** és azok **kiválasztása**, amelyek a kőzetanyag számításokban, tervezésben stb. alapul vett anyagtani tulajdonságait és geodinamikai helyzetét az emberi lét téridő mérettartományában a tűréshatárt meghaladóan megváltoztathatják.

Ilyen módon a geotechnikai kérdések a földanyagok, mint alapobjektumok vonatkozásában kettős természetűek (1.5. ábra).



1.5. ábra
A földtani környezet és a létesítmény kapcsolatának kettős jellege

Az anyagtani kérdések és döntések folyamatábrája kettős logikai igen-nem kapuval modellezhető.

A geodinamikai helyzettel kapcsolatos vizsgálat- és döntéssorozat pedig frekvenciaszűrőhöz hasonlítható. Olyanhoz, amely a létesítmény állékonysága, üzembiztonsága szempontjából döntő – és valamilyen értékkel alapul vett – jellemzőket megváltoztató földtani folyamatok közül azokat a "sávokat" engedi át (hagyja figyelmen kívül), amelyek által a környezetben okozott változás mértéke egy bizonyos – a létesítmény jellegétől is függő – érték alatt marad.

II. A Föld gömbhéjas felépítése – a geoszférák

1. A földtani egyensúlyi állapotok típusai

A Föld – ugyanúgy, mint az eddig ismert többi bolygó – centrálszimmetrikus, gömbhéjas (szférikus) felépítésű, a középponttól távolodva ritkuló anyagkoncentrálódási rendszer, amelyhez a felszín feletti, a gravitáció és a mágneses tér által fogva tartott gáznemű burok is hozzátartozik.

A szilárd Föld felszíne egyben az ún. külső és belső geoszférák határfelülete. Az elkülönítést a gravitáció szerinti anyagrendeződést befolyásoló tényezők mechanizmusbeli eltérései indokolják.

E határfelület – amelyen az élet és így az emberi létesítmények "öve" is kialakult – a belső geoszférák folyamatai során ismételt kimozdul egyensúlyi állapotából. A kimozdulás a külső,

mozgékonyabb geoszférák újabb egyensúlyi állapot felé irányuló, "rendező" folyamatsorát indítja el. Következésképpen a felszín az említett, két ellentétes jellegű folyamatsor kölcsönhatásának pillanatnyi helyzetét tükrözi. Minden folyamat a megzavart egyensúly eredménye és az (új) egyensúlyi állapot helyreállítására irányul. A "helyreállítódás" folyamata maga is egyensúlyzavarok sorozata. Legyen példa a következő eseménysor:

A földkéreg valamely pontjában törés következtében leesik a nyomás → csökken a kőzetolvadék térfogatsúlya, viszkozitása, térfogata nő → elmozdul felfelé → termális és hidrosztatikus zavart okoz az új környezetében → szétválasztódás (gázok feszítőereje megnő) → vulkánkitörés → zavar a légkörben (vulkáni felhő) és a felszínen (vulkáni kúp) → a felhő eloszlása (légkörzés) és a vulkáni kúp pusztulása (erózió) azonnal megindul.

Egyben az új fogalmakat is megvilágítandó, a szilárd földkéreg föltani egyensúlyának az alábbi típusai léteznek:

Gravitációs: A Föld felszíne mindenütt azonos a geoiddal (a nehézségi erőter minden pontjára merőleges, önmagába visszatérő potenciálfelülettel), és mindenütt azonos mélységű tenger borítja. Példaként az óceáni aljzat sík régiói említhetők.

Izosztatikus: Nincsenek zavarok (anomáliák) a gravitációs erőterben. A gömbhéjak sorrendje közömbös.

Hidrosztatikus: A sűrűség a mélységgel nő, és adott mélységben mindenütt ugyanannyi. A gömbhéjak sorrendje e feltétellel már meghatározott.

Geotermális: Dinamikus feltétel. A hőáramlási vektor adott mélységben mindenütt ugyanakkora és sugárirányban kifelé irányul.

Fizikai-kémiai: Adott nyomáson és hőmérsékleten az anyagi fázis (atomi és molekuláris kapcsolatok) stabil. A stabil fázisok között nincs kölcsönhatás.

Alaptörvény, hogy a potenciális geológiai energiák, erők csak az egyensúly sérülésével mobilizálódnak. Pl. nincs vízmozgás gravitációsan, izosztatikusan, geotermálisan és fiziko-kémiailag egyaránt egyensúlyban levő rendszerben.

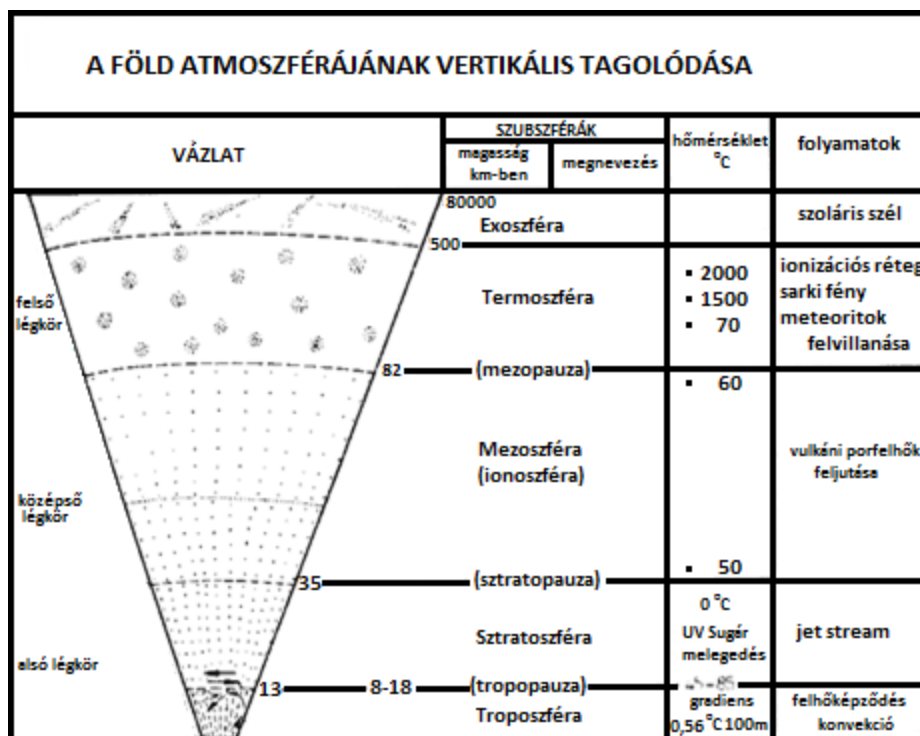
Az egyensúly dinamikus is lehet: pl. a folyó adott lejtésviszonyok mellett bizonyos hordalékmennyiséget képes szállítani. Dinamikus egyensúly van a szállítóképesség és a szállított hordalékmennyiség között. A lejtésviszonyok változásával újabb – dinamikus – egyensúlyi állapot alakul ki – a hordalék mennyisége nő (a folyási sebesség növekszik) vagy csökken (sebességvesztés).

2. A külső geoszférák

2.1. A légkör (atmoszféra)

A Föld legkülső, a többi gömbhéhoz viszonyítva a legkisebb tömegű és sűrűségű szférája. Vastagsága az újabb eredmények alapján 80-100 ezer kilométer – felső határa a Föld mágneses terének és a Nap sugárnyomásának kompenzációs övezete.

A légkörben játszódik le az időjárás és az éghajlat összes jelensége. Szerkezetére, fizikai állapotára és egyensúlyviszonyaira az említetteken kívül döntően a gravitáció és termikus viszonyok hatnak. Ez utóbbiak részben a Föld csillagászati értelemben vett mozgásaira (keringés, forgás, precesszió), másrészt a többi geoszférával való kölcsönhatásokra vezethetők vissza. A légkör gömbhéjas felépítését és annak jellemzőit – vázlatosan – a 2.1. ábra nyomán a következőkben tekintjük át.



2.1. ábra

Troposzféra: A légkör anyagának 80%-át foglalja magában. Vastagsága az Egyenlítőn 18, a pólusok térségében 8 km körüli, vastagságának ingadozása a földfelszín adott pontjában több kilométert is elérhet. Jellemzői a függőleges és vízszintes légmozgások (szélrendszerek), a felhőképződés. Egyben a hidro- és bioszféra színtere, a légkör vízkészletének 90%-át hordozza.

Sztratoszféra: Majdnem vízgőzmentes övezet. A földfelszín hatása itt már jelentéktelen, döntő tényező viszont a napsugárzás ionizációs hatása (ózonképződés). Alsó zónájában 300-350 km/óra sebességű futóáramok (jet streams) alakulnak ki.

Mezo- vagy ionoszféra: Az "ózonpajzs" öve. A földi életre káros ultraibolya sugarak egy részét elnyeli, így hőmérséklete is viszonylag magas (alsó részében 50° C körüli). A Földtől távolodva az ózontartalom csökkenésével a hőmérséklet is csökken, a legfelső zónában -80° C körüli érték.

Termoszféra: Hőmérséklete +1500-2000° C. A rádióhullámoknak a termoszféra ionizált rétegeiről való visszaverődése a Föld görbülete folytán egyébként kizárt adás-vételt is lehetővé teszi.

Exoszféra: Az 500 km feletti légréteg. Felfelé fokozatosan megy át a Föld és a kozmikus tér közötti anyagkicserélődés övébe. Szerkezetéről, folyamatairól még viszonylag kevés ismeretünk van.

2.2. A vízöv (hidroszféra)

A légkör és a kőzetöv (litoszféra) közötti, uralkodóan vízből álló geoszféra. Ide tartoznak az óceánok, tengerek és szárazföldek vizei, valamint a jégtakaró. A víz – elsősorban a hőmérséklettől függő – halmazállapot-változásai természeti körforgalomban nyilvánulnak meg, amelynek földtani vonatkozásai az alábbiak:

- A kőzetöv anyagainak szelektív mobilizálása (mállás + szállítás);
- A kőzetöv anyagainak szelektív felhalmozása (a helyben maradó és elmozgatott anyagok dúsulása);
- Mindkét tényező a felszín kiegyenlítődése irányában hat (v.ö. a földtani egyensúlyi állapotokkal), miközben egyes mélyebb helyzetű (idősebb) geoszférák a felszínre kerülnek, mások pedig eltemetődnek, kialakulnak az ún. kontakt geoszférák;
- Az élet kialakulásának, fennmaradásának egyik feltétele.

Az atmo-, hidro- és litoszféra sajátos átszövődéséből, kölcsönhatásaiból adódóan – mint később részleteiben is látni fogjuk – a geotechnikai-környezetföldtani feladatok többsége nem oldható meg a víz tulajdonságainak, viselkedésének, funkcióinak stb. ismerete nélkül.

2.3. Kontakt geoszférák

Talajöv (pedoszféra):

Néhány mm-től 1-2 m-ig változó vastagságú övezet, anyaga és annak tulajdonságai az atmo-, hidro- és litoszféra közötti kölcsönhatások eredményeképpen alakultak ki. E kölcsönhatások anyag- és energiaforgalmához a három szférán kívül a Nap energiája társul. A talaj földtani és geotechnikai (fogalmi) meghatározását, tulajdonságait a későbbiek során tárgyaljuk.

Az élet öve (bioszféra):

A legösszetettebb, speciális kölcsönhatásokkal bír. Termékei képesek a napenergia tárolására (kőolaj, szén). A bioszféra része maga az ember is, mint az anyag legbonyolultabb (élő) szerveződési formája.

3. A belső geoszférák

3.1. A kőzetöv (litoszféra)

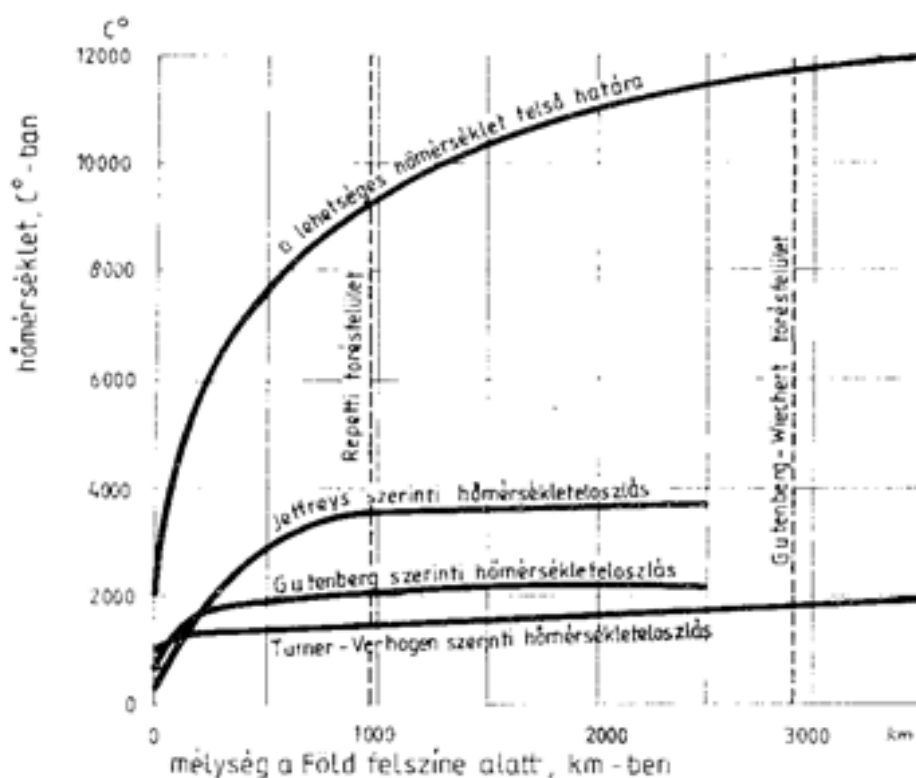
Külső felülete a földkéreg felszíneként a külső és a belső geoszférák kölcsönhatásának, kapcsolódásának színtere. A kontakt geoszférák e felülethez kötöttek. Alsó felülete egyes felfogások szerint azonos a szilárd földkéreg alsó határát jelentő Mohorovicic (röviden Moho)-féle szeizmikus töréssel, mások szerint a litoszféra magában foglalja a felsőköpeny mechanikailag a kéreghez kapcsolódó, azzal együttmozgó övezetét is. Ebben az értelemben az alsó határfelülete a földrengéshullámok sebességének némi csökkenését mutató ún. Gutenberg-csatorna.

3.2. A kőzetöv alatti geoszférák, fizikai állapotuk

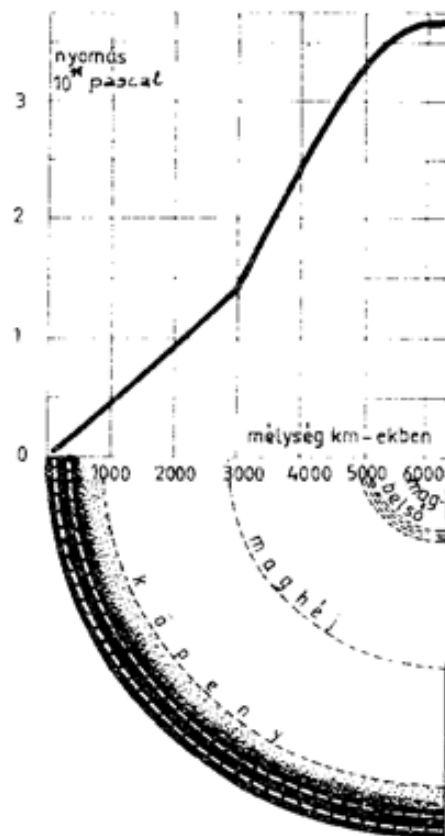
A Föld belsejének fizikai viszonyaira, anyagi összetételére és szerkezetére vonatkozó közvetlen, mélyfúrásokból szerzett ismereteink határa a technika mai szintjén kb. 12 km. Az óceáni medencék egyes területein mindössze 3-5 km-es vastagságúnak ismert földkéreg átfúrását még az ezredforduló előtti időszakra jósolják. Az erózió helyenként fokozatosan 30-40 km vastagságú kőzettömeget pusztított le, felszínre juttatva a mélységben keletkezett képződményeket. Ezt a számot tekinthetjük a földbelsőre vonatkozó közvetlen ismeretek mai határának.

Ez az érték a Föld sugarával, illetőleg a külső geoszférák ismerethatárával való összevetés során egyaránt jelentéktelennek tűnik. Meglepő, hogy már az Apollo-programot megelőzően pontosabb ismeretek voltak a Hold túlsó oldalának felszínformáiról, mint a földkéreg alatti geoszférák viszonyairól. Az ellentmondást a földbelső fizikai viszonyai által a technika elé állított nehézségek (hőmérséklet, nyomás, halmazállapot stb.) magyarázzák.

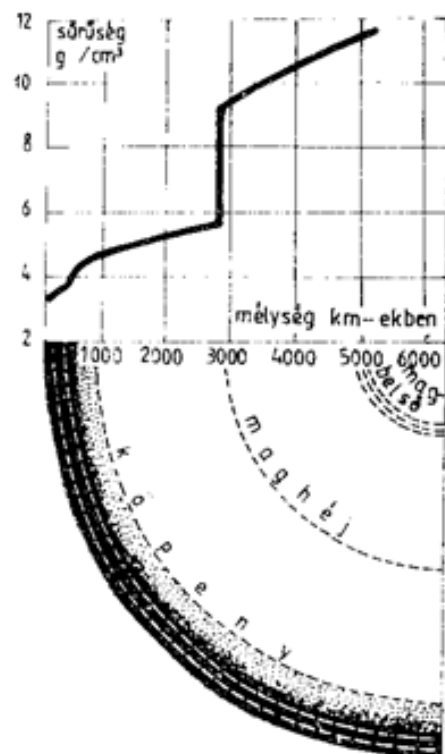
Milyenek **lehetnek** a földbelső fizikai viszonyai? A közvetett és közvetlen módszerekkel szerzett ismeretek és elméleti megfontolások szintézise alapján – figyelemmel kísérve a 2.2./a, b, c, d, ábrákat – a válasz röviden a következő:



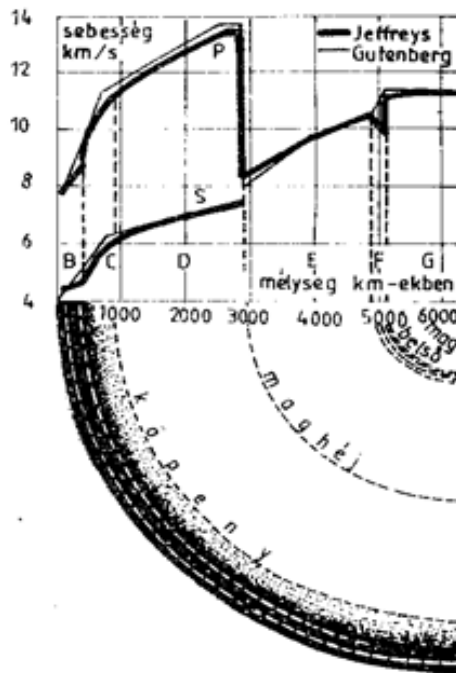
2.2./a ábra



2.2./b ábra



2.2./c ábra



2.2./d ábra

A hőmérséklet (a), a nyomás (b), a sűrűség (c) és a földrengéshullámok sebességének (d) alakulása a Föld belsejében

Hőmérséklet (a):

A geotermikus gradiensnek (ami a Föld belseje felé haladva 1 m hosszon mért hőmérséklet-emelkedés $^{\circ}\text{C}$ -ban megadott értéke) a felszín közelében tapasztalt tendenciája a földbelső egészére nem extrapolálható. A maximális hőmérséklet helye és értéke bizonytalan. A földi hőáramot, amelynek átlaga 63 kW/km^2 , kisebb részben a Föld kezdeti hőtartalma, nagyobb részben a radioaktív hőtermelés tartja fenn. Mivel a felszínen a napsugárzás energiája nagyságrendekkel nagyobb a hővesztésénél, a felszín hőmérséklete döntően a napsugárzás függvénye.

Nyomás (b):

Közel lineáris összefüggést mutat kb. 2900 km-es mélységig. Az itt uralkodó ún. kritikus nyomásnál az anyagok feltehetően fémállapotba alakulnak. Mélyebben a fokozódó nyomás az elektronhéjak deformálásával az anyagok elfajult állapotára vezet.

Sűrűség (c):

Radiális eloszlását a földrengéshullámok sebességelosztásából számították ki. Szembetűnő a 2900 km-es mélységben mutatkozó ugrásszerű változás (kritikus nyomás szintje). A Föld átlagos sűrűsége $5,5 \text{ g/cm}^3$.

Rugalmassági jellemzők, szeizmikus törésfelületek:

A **primer** (jelük: P, longitudinális) és **szekunder** (S, transzverzális) rengéshullámok sebességeloszlását a 2.2./d ábra ismerteti. Kivételes jelentőségűek, mivel a földbelső gömbhéjas szerkezetét ezek alapján ismerték fel. Felvilágosítást adnak a földbelső halmazállapotáról is.

A kérget a köpenytől a Mohorovicic-féle, a köpenyt a magtól pedig a Gutenberg-Wiechert-féle törésfelület választja el, mint elsőrendű törésfelület. Másodrendűek a Byerly (410 km), Repetti (980 km) és Lehmann (5100 km) nevről elnevezett határfelületek.

Az ábra nem teszi lehetővé a Conräd-féle (kb. 15 km) törésfelület szemléltetését, amely a kontinensek területén a kérget kétoztatúvá teszi. Ez a határfelület az óceánok alatti kéregben hiányzik.

A transzverzális hullámok megszűnése a magban arra utal, hogy a mag folyadékként viselkedik (folyadékban a transzverzális hullámok nem terjednek, mivel a folyadék nyírófeszültségeket nem tud felvenni).

Nem ilyen egyértelmű a helyzet a kéreg alatt elhelyezkedő köpeny esetében. Bizonyítottnak tekinthető, hogy a köpeny **nem** egységes, izzón folyó geoszféra. Rövid ideig tartó erőhatásokra rugalmasan, tartósakra képlékenyen, plasztikusan viselkedik. Folyékonnyá a nyomás, a hőmérséklet és az elemkoncentráció megváltozásával válhat.

3.3. Földmodellek

A Föld anyagi felépítésének és állapotának egységes értelmezésére törekvő hipotézisek – a földmodellek – két csoportra oszthatók. Egyik csoportjuk a kétségtelenül létező határfelületeket a fizikai állapot és az anyagi összetétel egyidejű változásaként értelmezi. Pl. a sűrűségugrást nikkeltől és vasból álló mag feltételezésével magyarázzák (Suess, Goldschmidt).

A másik csoport mindössze a fizikai állapotban tétel fel éles változást (Kuhn-Rittmann, Ramsey, Egyed stb.).

Mindegyik feltevésnek van reális alapja. Minden kérdésre világos választ nyújtó földmodell jelenleg nem létezik.

3.4. A geofázisok

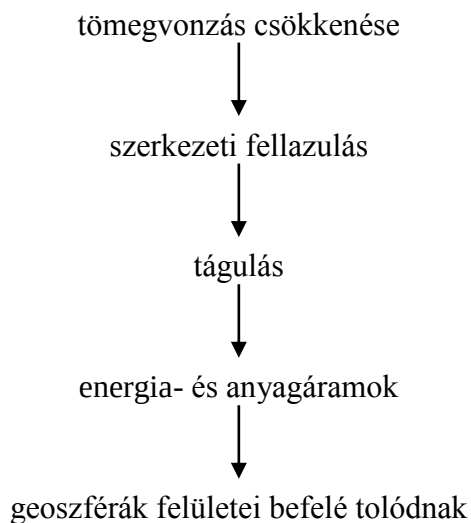
Az elemeknek a gravitációs tér szerinti rendeződése általános törvény.

Az anyagsűrűség a nyomás (p) növekedésével nő, a hőmérséklet (T) növekedésével csökken. A földbelső irányából kifelé haladva mindkét állapotjelző értéke csökken. E tényezők minden egyes szinten más és más, kifelé egyre lazább kémiai kapcsolatok kialakulásának, ugyanakkor különböző elemek kötődésének kedveznek. A meghatározott elemekkel és azok kapcsolódási formáival jellemezhető nyomás- és hőmérséklet-tartományok a **geofázisok**. A Föld természetes elemei követik koncentrációjukban a nyomás és a hőmérséklet által meghatározott geofázisok rendjét. Ennek alapján az elemek geokémiai csoportokba sorolhatók. Ilyen pl. az atmofil ("fil"-kedvelő) elemek (H, He, stb.) és a szedimentofil elemek (N, O, S, C stb.) csoportja. Koncentrációjuk maximuma a legkisebb p – T tartományokhoz kötődik. A külső geoszférákkal való kapcsolatuk miatt megemlítjük még a közetövet felépítő ún. litofil elemeket – Si, Al, Ca, Mg, Na, K.

3.5. A földfejlődés általános tendenciája

A külső geoszférák ismertetése során hangsúlyoztuk azok mobilitását. Helytelen lenne – csupán azért, mert a változás nem mindig szembe-tűnő – a belső geoszférákat sztatikusnak,

változatlanak tekinteni. A földfejlődés általános tendenciájaként a kutatások egy része a tágulást jelöli meg, amely az általános tömegvonzás nagyon lassú időbeli csökkenésének eredményeként a következő hierarchikus sorrendet hozza létre:



Ebben az értelmezésben a korábbi, nagyobb nyomáson kialakult anyagi szerkezetek fellazulása a geofizikai határfelületeken zajlik. A szerkezet az ún. egyensúlyi állapotnak megfelelően módosul, a leadott (felszabadult) energia hő és feszültség formájában közvetítődik. Ezen energiák és a radioaktivitásból származó energia fedezi a belső geoszférák ritmikus anyagmozgási folyamatainak energiaszükségletét. (A kozmológiai, elméleti fizikai szakértők a gravitációs "állandó" csökkenésére vonatkozó feltevéseket újabban kétségbe vonják.)

A Föld mélyében és a külső geoszférákban zajló folyamatok dinamikus egyensúly körül ingadozó állapota tükröződik minden földtani jelenségben, változásban és törvényben.

III. A földkéreg

1. Meghatározása, egyensúlya, vastagsága

A belső geoszférák közül a legkülső szilárd halmazállapotú, a szilikátos földanyag felülete és a Moho-féle törésfelület között elhelyezkedő övezet. Felszíne a külső és a belső anyag- és energiaáramok csatlakozási felülete, földtani-morfológiai jellemzőit a külső és a belső erők viszonya határozza meg.

A Moho-féle törésfelület – hasonlóan a felszínhez – csak helyenként közelíthető síkkal. Alakulását a földköpenyben és a felszínen működő folyamatok szabályozzák. A kéreg és a köpeny sűrűségbeli (vertikális nagyságszerkezet), valamint a kéregelemek (oldalirányú nagyszerkezet) eltérései további, a Moho-felületet formáló mozgásokat váltanak ki. Ha a felszínen letisztulás megy végbe, a kéregterhelés csökkenése következtében a szóban forgó kéregrész emelkedik. Ilyen mozgást eredményezhet a jégterhelésnek pl. klímaváltozás (felmelegedés) miatt bekövetkező csökkenése. A jégkorszaki eljegesedés visszahúzódása Skandináviában helyenként 280 m-es emelkedést váltott ki.

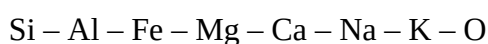
A felszíni anyagfelhalmozódás (akkumuláció) területein beálló terhelésnövekedés süllyedésre vezet, a Moho-felület mélyebbre kerül. A kéreg azonban rugalmassága folytán is egyensúlyban tud tartani bizonyos tömegtöbbletet. Így a kéreg és a köpeny egyensúlyviszonyait

a vízen úszó deszka vagy jégtábla példájával szemléltetni pontatlanság. Tovább bonyolítják a helyzetet a köpenyben zajló mozgásfolyamatok is.

Mivel a kéreg határfelületeinek egyike sem sík, a kéreg vastagsága – csupán geometriai okokból is – változó. Óceáni medencék alatt átlagosan 3-5 km, lepusztult kontinentális területeken (pajzsokon) 18-20 km, magashegységek alatt eléri a 80 km-t. Az előbbieket miatt csak nagyjából igaz a kép, amely szerint a felszíni morfológiát a Moho-felület tükörképszerűen követi. A kéreg egyensúlyát a köpeny és a kéreg sűrűségkülönbségéből adódó felhajtóerőn kívül az atmoszféra és a kontakt geoszférák állapotából adódó felszíni terhelésvizonyok (pl. légnyomás, árapályhatás stb.), a mélyebb geoszférák fizikai-dinamikai jellemzői (köpenyáramlások) és a kéreg jellemzői (összetétel, rugalmassági állapot, szerkezet) együttesen határozzák meg.

2. A földkéreg elemi összetétele

Nagyszámú – horizontálisan és vertikálisan azonban természetesen egyenlőtlen eloszlású – kőzetlemez alapján a földkéreg felső 16 km-es zónájának tömegét 96,5%-ban nyolc kőzetalkotó főelem építi fel:



Legnagyobb mennyiségben a Si és az Al fordul elő. Erre utal a földkéreg SiAl megnevezése (a köpenyt hasonló okokból SiMa-ként /Ma® Mg/ is szokás említeni).

A maradék 3,5%-ot 79 természetes elem adja. A kis és a nagy atomsúlyú elemek mennyisége a Földön a radioaktív bomlás és a könnyű elemek (He, H) egy részének a világűrbe való távozása következtében csökken, a közepes atomsúlyú elemek mennyisége növekszik.

A földkéreg mintegy 2000 természetes ásványából a Si kb. 380, az Al 270, a Na pedig 100 fajtában képviselt.

3. Az ásványok

3.1. Meghatározásuk

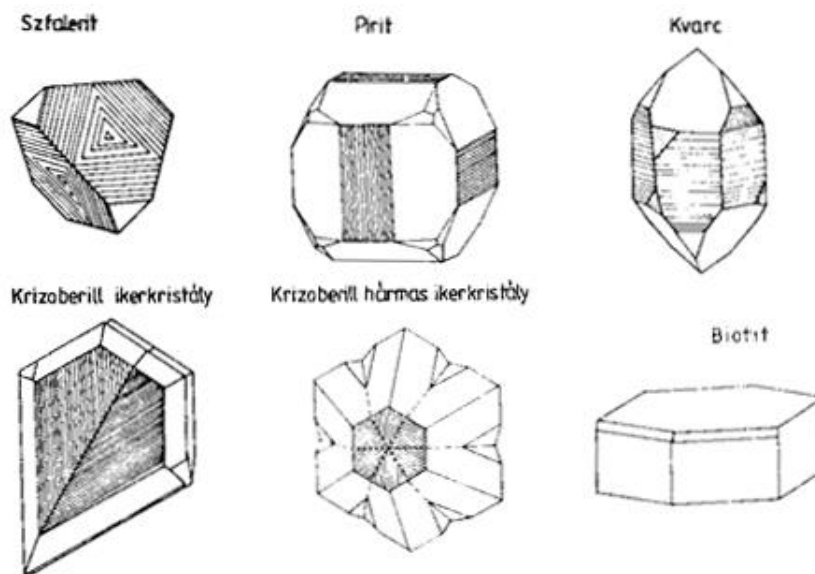
Természetes, túlnyomórészt szervetlen eredetű, meghatározott belső szerkezettel és vegyi összetétellel bíró, szilárd (kivétel: a víz) anyagok. Szerkezeti stabilitásuk és összetételük a környezettel való kölcsönhatás függvényében változik. A mesterségesen előállított anyagok (ipari gyémánt, kén, korund, műanyagok stb.) nem ásványok, hanem **műtermékek**.

3.2. Kristálytani alapismeretek

Az ásványok építőelemei (atomok, molekulák) rendezetlenül vagy rendezetten töltik ki a teret. A szabálytalan felépítésű, meghatározott belső szerkezet nélküli, ún. **izotróp** ásványok tulajdonságai iránytól függetlenek, **szkalárisak**. A rendezett belső szerkezet hiányában nincs meghatározott geometriájú külső alakjuk sem: alakatlanok, **amorfo**k. Ilyen pl. az opál vagy a limonit.

Az ásványok többsége azonban meghatározott belső térrácsszerkezetű, ennek kifejeződése a szabályos geometriai alak, a **kristályforma**. Tulajdonságaik részben iránytól függőek, mivel a

tömegpontok egymáshoz képest eltérő pozícióban vannak. Ezeket az ásványokat **vektoriális** tulajdonságaik (pl. fénytörés mértéke, hasadás stb.) következtében **anizotrópoknak** nevezzük (an-izo-troposz = nem egyenlő hely). A mesterségesen előállított anyagok egy része is anizotróp – tehát kristályos állapotú -, vagyis a kristály fogalma általánosabb, mint az ásványé.



3.1. ábra

3.3. Kristályfizika

3.3.1. A sűrűség

A sűrűség függ a kristályszerkezettől – a jobb térkitöltésű, tömörebb rácsú ásványoké a nagyobb. Legnagyobb a termésvémek sűrűsége (irídium: 21,6-22,0; platina: 21,5), nagy sűrűségűek az ércek (hasznosítható fémeket tartalmazó ásványi nyersanyagok) is. A legfontosabb közetalkotó ásványok (földpátok, kvarc) sűrűsége 2,0-3,5 közötti érték (gondoljunk a földkéreg sűrűségére!). Jelentős eltérés van egyazon anyag kristályos és olvadt (izotróp) állapotban mérhető sűrűsége között – az olvadéka a kisebb. Közismert kivétel a víz.

A fajtsúly a sűrűség és a (helyi) nehézségi gyorsulás szorzata.

3.3.2. A fajhő

Az ásványok fajhője mindig kisebb a vízénél, és hőmérsékletfüggő. A fémek, ércek fajhője alacsonyabb, mint a nemfémes ásványoké.

3.3.3. Alakváltozások (deformációk)

Ha az igénybevétel után a kristály visszanyeri eredeti alakját, rugalmas (elasztikus), ellenkező esetben rugalmatlan (plasztikus) deformációról van szó. (Kapcsolódó földtani jelenségek pl. a földrengések, a közetek gyűrődése, törése). A plasztikus deformáció különleges esete a mechanikai transzláció, amelynek során a rugalmas alakváltozás határát meghaladó erő hatására meghatározott síkok mentén a szerkezeti összefüggés megszűnése nélkül elmozdulás következik be. A transzláció síkját a kristályrács felépítése, nem pedig a külső terhelés iránya szabja meg. Ezen a jelenségen alapul pl. a gleccserek egységes jégtömbként való mozgása, a kőszótelepek sajátos felboltozódása, vagy bizonyos fémek kiváló nyújthatósága, megmunkálhatósága is. Valamennyi fém közül leginkább nyújtható az

arany, amelynek 1 grammjából 2000 m hosszú drót húzható. Ekkor az aranyszál átmérője tízmilliomod mm nagyságrendű.

3.3.4. Hasadás, törés

Ha a kristály mechanikai hatásra meghatározott síkok, kristálylapok mentén részekre válik, a kristály hasad. A hasadás mindig a legkisebb összetartó erő irányára merőleges, tehát vektoriális tulajdonság. Maga a hasadási sík mindig sűrűn terhelt tömegpontokkal. Csak kristály hasadhat, de nem minden kristály hasad. A hasadás minősége többféle (tökéletes – jó – rossz), jellegzetességei megkönnyítik az ásvány orientációjának meghatározását. A hasadási hajlam sokszor igen finom repedések formájában jelenik meg, amelyek utat engedve a víznek, gyorsítják az ásvány elbontódását, mállását.

Az ásványnak a mechanikai hatásra történő, kristálytani irányoktól függetlenül kialakuló, egyenetlen felületek mentén bekövetkező részekre válása a törés. A jobban hasadó kristályokon nehezebb törési felületet kialakítani. A törési felületek kialakulását, tehát az ásvány szilárdsági jellemzőit is befolyásolják az ún. rácshibák (idegen ionok beépülése, mikrorepedések, zárványok).

3.3.5. Keménység

Szintén vektoriális jellemző, összefüggésben van a hasadással, lényegében a kristálynak a mechanikai hatásokkal szembeni ellenállása. Mindig a hasadási lapon a legkisebb, rá merőlegesen a legnagyobb. Több módon határozható meg – karcolással, csiszolással, nyomással és fűréssel. Legismertebb a relatív keménység meghatározására alkalmas Mohs-féle skála, amelyben minden nagyobb sorszámú ásvány karcolja az előzőeket. A sorrend a következő: talk ← gipsz ← kalcit ← fluorit ← apatit ← földpát ← kvarc ← topáz ← korund ← gyémánt

Természetszerűen a transzlációra hajlamos ásványok keménysége természetesen kisebb. kisebb.

3.3.6. Fénytani jellemzők

A fényvel kapcsolatos alapismeretek – törés, visszaverődés, interferencia – az olvasó birtokában vannak, ezekre nem térhetünk ki.

Az ásványok fénye visszaverő-képességüktől és a tükröző felülettől függ. Legjobb fényvisszaverők a fémes fényű, ún. opak (átlátszatlan) ásványok. A különféle fokozatok közül a leggyakoribb ásványokra (szilikátok) jellemző **üvegfényt**, és a földes megjelenésű anyagokat jellemző **fénytelen** kifejezést említjük (ilyen pl. a kaolin).

A jellegzetes színt mutató ásványok színe lehet saját és idegen. Saját, ha az alkotórészek között színes ionok vannak, karcuk, poruk az ásvány színét mutatja. Kivételek az opak ásványok – a nagyobb darab a visszavert, poruk az áteső fényt mutatja. Karcuk azonban az ásványra jellemző. A színváltozás az anyag elbomlásával jár együtt.

Az idegen színű ásványok alapvegyülete eredetileg színtelen (ilyen pl. a kvarc). A színt a rácsba beépülő idegen ionok, zárványok adják. Ha a színezőanyag finom eloszlása következtében az ásvány átlátszó marad és a színezőanyag külön nem látható, ún. dilut színezésről van szó. Ide tartoznak a legszebb drágakövek (rubin, smaragd, zafír stb.). Karcuk, poruk nem mutatja az eredeti darab színét.

Az átlátszatlan (opak) ásványok a fényt az úthossztól és az anyagi minőségtől függően elnyelik. Optikai jellemzőik a törésmutató és az elnyelődés mértékét kifejező elnyelési együttható.

3.3.7. Mágneses és villamos tulajdonságok

Az ásványok egy része – hasonlóan más anyagokhoz – lehet poláris mágnesességet mutató (ferromágneses). Ilyen pl. a magnetit (Fe_3O_4). Mágneses mezejének – irányának és erősségének – pontos mérésével kiszámítható a földi mágneses pólusok földrajzi helyzete az ásvány vagy ásványtársulás – kőzet – keletkezésekor. Többek között ilyen mérésekből rekonstruálták a mágneses pólusvándorlás útgörbéjét, a kontinensek elmozdulását, a mozgás sebességét, a pólusváltások számát és relatív korát stb.

Az ún. paramágneses ásványokat (pl. a vas egy másik ásványát, a hematitot) vonzza, másokat taszít a mágnes (pl. a kőso ásványát). Az utóbbiak a diamágneses ásványok.

Villamos vezetés alapján jól vezető (termésfémek, grafit), félvezető (cinkit) és szigetelő (csillámok) ásványok különböztethetők meg.

A kőzetek mállásában nagy szerepe van a lokális galvánelem kialakulásának. Galvánelem keletkezik, ha kétféle jól vezető ásvány elektrolitba (vízbe) ér és ugyanakkor egy másik ponton érintkeznek is. A keletkező galvánáram elősegíti a bomlást, esetleg újabb, másodlagos ásványok keletkezését. Galvánáramot kelt a jól vezető és egyidejűleg érintkező ásványok jelenlétekor a felmelegedés is (termoelektromos áram). Ennek erőssége a két ásvány anyagi minőségétől és a hőmérséklettől függ.

3.4. Fontosabb ásványok

A mintegy 2000 természetes ásványt – amelyekhez kb. 8000 ásványnév kapcsolódik – a rendszeres (leíró) ásványtan a vegyi összetétel alapján sorolja osztályokba. A következőkben részletezett ásványok kiválasztásában a talajmechanikai-mérnökgeológiai gyakorlatban való előfordulási gyakoriságuk és jelentőségük a döntő szempont. Esetenként olyan példákat említünk, amelyekkel a természetben, múzeumban vagy tanulmányai során az olvasó maga is találkozhatott.

Szulfidok és rokon vegyületek

Kevés kivétellel átlátszatlanok. Átmenetet képviselnek a földbelsőben feltételezett fémes kötés mód és a külső szilikátövek ionrácsos szerkezetei között. Mennyiségük a felszín felé haladva csökken, a felszínen vagy annak közelében – ahová magmás folyamatokkal kerülnek – kevésbé időállók.

A víz és az oxigén jelenlétében könnyen oxidálódnak, bomlanak és vízben oldódó szulfátokká alakulnak. Ezekből hidroxidok, majd stabilabb oxidok, karbonátok stb. keletkeznek. Különleges körülmények között H_2S -tartalmú környezetben a fémek szulfidokként is leválhatnak (másodlagos szulfidképződés). Ez utóbbi folyamat a geotechnikai vonatkozásban is gyakran előforduló üledékes kőzetekhez kapcsolódik.

A kénnel és vegyületeivel a mérnökgeológiában főként a betonkorrozio (szulfátos talajvíz) témakörében találkozunk. Ismertebb ásványai a galenit (PbS), a kalkopirit (CuFeS_2) és a pirit (FeS_2), amelyek mutatós kristályai szinte minden ásványgyűjteményben megtalálhatók.

Oxidok és hidroxidok

A földkéreg kb. 17%-át építik fel, ebből 12,6% szilícium-dioxid (kvarc), jelentősebb még a vas-oxid és a vas-hidroxid (3,9%) mennyisége. A légkörben a szén-dioxid és a vízgőz, a hidroszférában pedig döntően a víz képviseli az oxidos formát.

Jellemzőjük a tömöttebb rácsszerkezet, amely tartósságban, magas olvadáspontban és gyenge oldhatóságban fejeződik ki, átlagosnál nagyobb keménység mellett. Kevésbé stabil vegyületek a hidroxidok. Az oxidok nagy része vízfelvétellel hidroxiddá alakul (hidrolízis), amelynek főként a mállási folyamatban van jelentősége.

Karakterisztikus ásvány a mindenki által ismert jég és a kvarc (SiO_2). Ez utóbbinak tízféle változata van, kristályformája és fénytani tulajdonságai alapján az egyik legszebb természeti képződmény. Módosulataiból a keletkezés kori hőmérsékletre lehet következtetni. A laza üledékes kőzetek legfontosabb kőzetalkotó ásványa – pl. a homok, kvarcit, homokkő, csaknem kizárólag kvarcból áll. Néhány változata kedvelt díszítő- és ékkő (ametiszt, macskaszem stb.).

Víz-tartalmú módosulata ($\text{SiO}_2 + n \text{H}_2\text{O}$) az opál (megszilárdult kovasavgél). Főként szilikátok (hidrolitos) elbomlásával keletkezik, nemesebb példányai földragakövek (nemesopál, tűzopál).

Szilikátok

A földkéreg mintegy 75%-át építik fel, az ismert ásványok harmada a szilikátokhoz sorolható. Szerkezeti alapjuk a komplex ionnak tekinthető, tetraédes elrendezésű (SiO_4)⁴⁻ csoport. E csoport kapcsolódási viszonyai határozzák meg a rácsszerkezetet, és ennek folytán számos egyéb tulajdonságot, ezért kézenfekvő alapot nyújtanak a rendszerezéshez.

A SiO_4 tetraéderek kapcsolódási viszonyai – polimerizációs jellege – legegyszerűbben a Si : O aránnyal fejezhetők ki. Ezen arány növekedése szerint a szilikátok következő alosztályai különböztethetők meg:

Nezo- vagy szigetszilikátok

A rácsszerkezetben önálló, egymással nem kapcsolódó tetraéderek vannak. A kapcsolódás más fématomok közvetítésével jön létre. Jellemző példa az egyik legfontosabb kőzetalkotó ásvány, az olivin. Összetétele: $(\text{Mg}, \text{Fe})_2 (\text{SiO}_4)$. Bázisos magmás kőzetek (gabbro, bazalt, diabáz) lényeges elegyrésze.

Szoro- vagy gyűrűs szilikátok

A rácsszerkezetre a gyökkapcsolással 2-, 3-, 4- vagy 6-os csoportokká fűződő tetraédes alapépítmény jellemző. Ismertebb példák a berill – $\text{Be}_3\text{Al}_2 (\text{Si}_6\text{O}_{18})$ – és a turmalin. Az élénkzöld smaragd a berill egyik nemes változata.

Ino- vagy lánc- és szalagszilikátok

A SiO_4 tetraéderek egyirányú kapcsolódással láncra fűződnek. Kristályaik nyúltak, hosszirányuk szerint jól hasadnak. Két fontos kőzetalkotó ásványcsoport tartozik ide: az egyes láncú piroxének (általános képletük $\text{R}_2^{2+} \text{Si}_2\text{O}_6$, ahol R_2^{2+} helyét különféle kationok – Na-Al, Mg-Ca stb. – tölthetik be), és a kettős láncú amfibolok.

Fillo- vagy rétegszilikátok

A szerkezetet a SiO_4 tetraéderek kétdimenziós kapcsolódása jellemzi. Az ide tartozó ásványok a rétegeség síkjával párhuzamosan jól hasadnak, megjelenésük is elsősorban lemezes-táblás. A hasadás és transláció következtében keménységük csekély. Példaként – széles körű ipari alkalmazása miatt is – a muszkovitcsillámot említjük, ami kitűnő elektromos szigetelőanyag. Általánosan elterjedt kőzetalkotó elegyrész a Mg-Fe-csillám, a biotit is. Összetétele (egyszerűsítve): $\text{K} (\text{Mg}, \text{Fe})_3 / \text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$.

A geotechnikai vonatkozásban kiemelkedő jelentőségű másodlagos képződmények, az **agyagásványok** szintén a rétegszilikátokhoz tartoznak. Szemcseméretük nagyságrendje mikrométer körüli, a kristályok lemezes, pikkelyes formájúak. Kémiaiilag Al- és Mg-hidro-szilikátok. Sajátosságuk a rétegek közötti vízfelvétel és vízleadás (dehidráció), a kationmegkötő- és -cserélőképesség. A vízfeltevő- és leadóképességükkel függ össze duzzadási és zsugorodási hajlamuk.

Az agyagásványok közül a kaolinitfélék (kerámiai nyersanyagok), az illit (hidrocsillám-)félék és a montmorillonit-félék csoportját említjük. Legismertebb ásvány közülük a montmorillonit, amely a rácsszerkezetben történő helyettesítések (egyéb kationok és anionok beépülése) következtében elektromosan kiegyenlítettlen. A kiegyenlítettlenség cellánként akár több molekuláris vírzéteg beépülését is lehetővé teszi. Ebből a sajátosságból adódik reverzibilis duzzadóképesége, tixotrópiája, adszorpciós hajlama és ioncserélő képessége. Fajlagos felülete elérheti a $800 \text{ m}^2/\text{g}$ értékét.

Gyakran említett agyagásványok még a következők: dickit, halloysit, beidellit, nontronit, vermikulitok, paligorszkít-félék. Túlnyomóan montmorillonitból álló kőzet a bentonit.

Tekto- (térhálós vagy állvány-) szilikátok

A SiO_4 tetraéderek mind a négy oxigénen keresztül kapcsolódnak egymással, így háromdimenziós szilikátkötet alakul ki. Az ide tartozó ásványcsoportok közül a földkéreg közel 60%-át kitevő földpátok a legfontosabbak. Megnevezésükön általában elegykristályokat kell értenünk, amelyek a $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (nátronföldpát = albit), KAlSi_3O_8 (káliföldpát = ortoklász), $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (kalciumföldpát = anortit) háromkomponensű (terner) rendszer tagjai.

Korlátlan elegyedés az albit és az anortit között jön létre, hőmérséklettől függetlenül. Az albit-ortoklász elegyedése alacsony hőmérsékleten nem stabil, végül az anortit-ortoklász között elegyképződés nem alakulhat ki. Az arányoktól függően a sorozat tagjai más és más elnevezésűek. A Na-Ca-tartalmú sorozat tagjai a **plagioklászok**, a Na-K tartalmúak pedig az **alkáli földpátok**.

A gránitban való gyakori előfordulása miatt a halványpiros, húsvörös, könnyen azonosítható ortoklász a legismertebb.

A plagioklászok a leggyakoribb kőzetalkotó ásványok, mikroszkópos vizsgálattal viszonylag könnyen felismerhetők.

A **földpátok külszíni elbomlásával** a környezettől függően kaolin, montmorillonit, illit és más **agyagásványok képződnek**. Ellenállóbb viszont az ortoklásszal azonos összetételű mikroklin és az albit.

Ha a kőzetkeletkezés során a SiO_2 mennyisége már nem elegendő a földpátok képzésére, kisebb szilikáttartalmú ásványok, **földpátpótlók** keletkeznek. Leggyakoribb képviselőjük a nefelin ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) és a leucit (KAlSi_2O_6).

Szulfátok és rokon vegyületek

Keletkezésükhöz a Föld felszínén vagy annak közelében kialakuló oxigéndús környezet kell. Ismertebb példák a kitűnően hasadó, változatos kifejlődésű barit (BaSO_4) és a jellegzetes, esetenként fecskefark alakú ikerkristályként megjelenő gipsz ($\text{CaSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$).

Borátok, karbonátok, nitrátok

Gyakorisága révén legismertebb a sok száz kristályformában kifejlődő kalcit vagy mészpát (CaCO_3). A kombinációk számában egyedülállóan gazdag. Kristályai kitűnően hasadnak. Víziszta, nagykristályos változatából készült régebben a kőzettani mikroszkóp kettőtörő Nikol-prizmája. Kalcitból áll a cseppkő,

és az apró szemcsés kristályos mészkő, amely metamorfózissal márvánnyá alakulhat. Rácsszerkezetéből adódóan kevésbé stabil, de azonos összetételű rokona az aragonit.

Ide soroljuk az ugyancsak mindenki által ismert dolomitot. Az elnevezés ásványtani és kőzettani értelemben egyaránt használatos. A kőzet hazánkban is hegységeket alkot, összetétele: $\text{CaMg/CO}_3/2$.

Organikus vegyületek

Ide tartoznak pl. a borostyánkő (fenyőfélék fosszilis gyantája), és – egyedül hazánkban előforduló, szintén megkövesedett gyantaként – az ajkait.

Az említett ásványosztályok közül a földkéreg a szilikátok optimális kifejlődési tartománya. A felsőköpenyben az oxidok, mélyebben a szulfidok, a magban a terméselemek válnak uralkodóvá. A kéreg felső részében és az üledékvénben a víz- és komplex aniontartalmú ásványok előfordulása jellemző. Az ásványoknak a Föld metszetében való vertikális eloszlása az elemek és a kötéstípusok gravitációs tér szerinti rendeződésével, valamint az ásványok képződési és stabilitási viszonyait meghatározó fizikai jellemzőkkel – nyomás, hőmérséklet – kapcsolatosak. E "rend" körülményeit – amely alatt az elemek, ásványok, ásványtársulások (kőzetek) jellemző eloszlását értjük – a földkéreg anyag- és energiaáramai, mozgásai megváltoztatják. A mélyben stabil ásványok a felszínre kerülve szétesnek, elmállanak, míg a felszínt jellemző laza, döntően hidro- és atmoszférikus elemekből álló agyagásványok a mélybe jutva víztartalmuk elvesztésével stabil mélységi ásványokká alakulnak.

4. A kőzetek

4.1. Meghatározásuk

A kőzetek a földkéreg adott nyomás- és hőmérséklet-viszonyai között keletkezett természetes ásványtársulások. Esetenként csupán egyféle ásványból állnak (pl. gipszből vagy montmorillonitból). Az ilyen ásványtömegek egyszerű vagy monomineralikus kőzetek, az összetett, heterogén kőzetekkel szemben.

4.2. A kőzetek genetikai csoportosításának elvi alapja – a litoszféra anyagának körforgalma

A geoszférák térbeli rendjéből következik, hogy a litoszféra (kőzetöv) a belső geoszférákból a külső geoszférák felé irányuló anyag- és energiaáramok mozgásának tartománya. E folyamatot a belső energiák váltják ki. Az anyag- és energiaáramok a mozgás zónájában fellazítják a szilárd kapcsolódásokat és új ásvány-együtteseket hoznak létre. Ezek a **magmás kőzetek**.

Az előbbi folyamat a litoszféra felszínén a Nap sugárzó energiája által fenntartott külső anyag- és energiaáramlás-rendszerhez csatlózik. A litoszféra e külső mozgások által felszaggatott anyagából alakulnak ki az **üledékes kőzetek**.

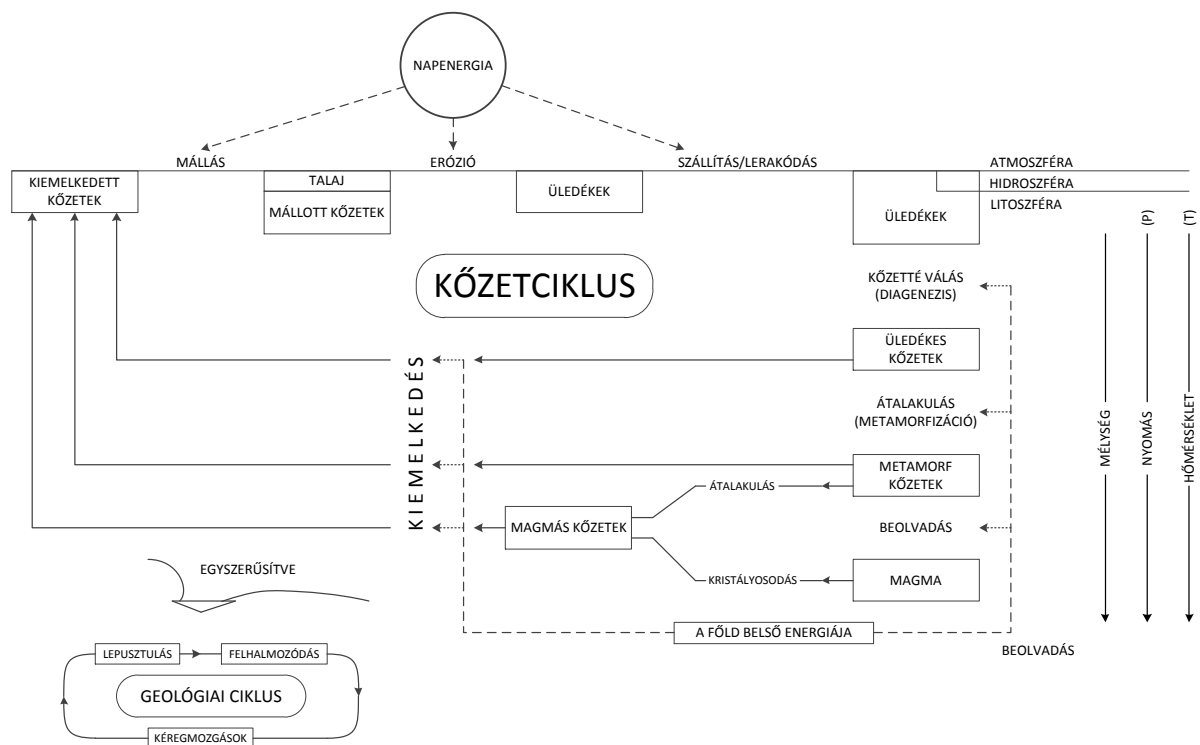
A lepusztulásból származó, áthalmozott üledékek a vertikális mozgások (emelkedés, süllyedés) során mélyebbre, tehát magasabb p-T tartományokba kerülnek. Ilyen viszonyok között átalakult, **metamorf** kőzetek képződnek.

Bizonyos határmélység alatt a kőzetek megolvadnak. Olvadékként – de szilárd fázisként is – újra a felszínre kerülve zárják a geológiai körfolyamatot. A fentiek alapján a litoszféra anyagi körforgalma a magmás-üledékes-metamorf geofázissorokon át játszódik le.

Geofázissor	Fő tényező	p-T változás jellege	Anyagmozgás iránya	A sor végén
magmás	hőmérséklet	csökkenés	felfelé	külső geoszférák
üledékes	külső geoszférák mozgása	közel állandó	↑ vízszintes →	elemei dúsulnak koncentrációjuk maximális
metamorf	nyomás	növekedés	lefelé ↓	csökkennek

A földkéregben zajló anyagmozgást a mélyebb geoszférák termikus energia- és anyagáramai indítják el és tartják fenn, ezért elsőként a magmás folyamatok lényegét és a kapcsolódó ásványegyütteseket tekintjük át.

Ezt az elmondottak áttekintését segíti a földtani körfolyamatnak és a kőzetcsoporthoz kialakulásának összefüggését (kőzetciklus) szemléltető 3.2. ábra.



3.2. ábra
A földtani és a kőzetképződési körfolyamat összefüggése

4.3. A magmás kőzetek képződése, jellemző típusai, rendszere

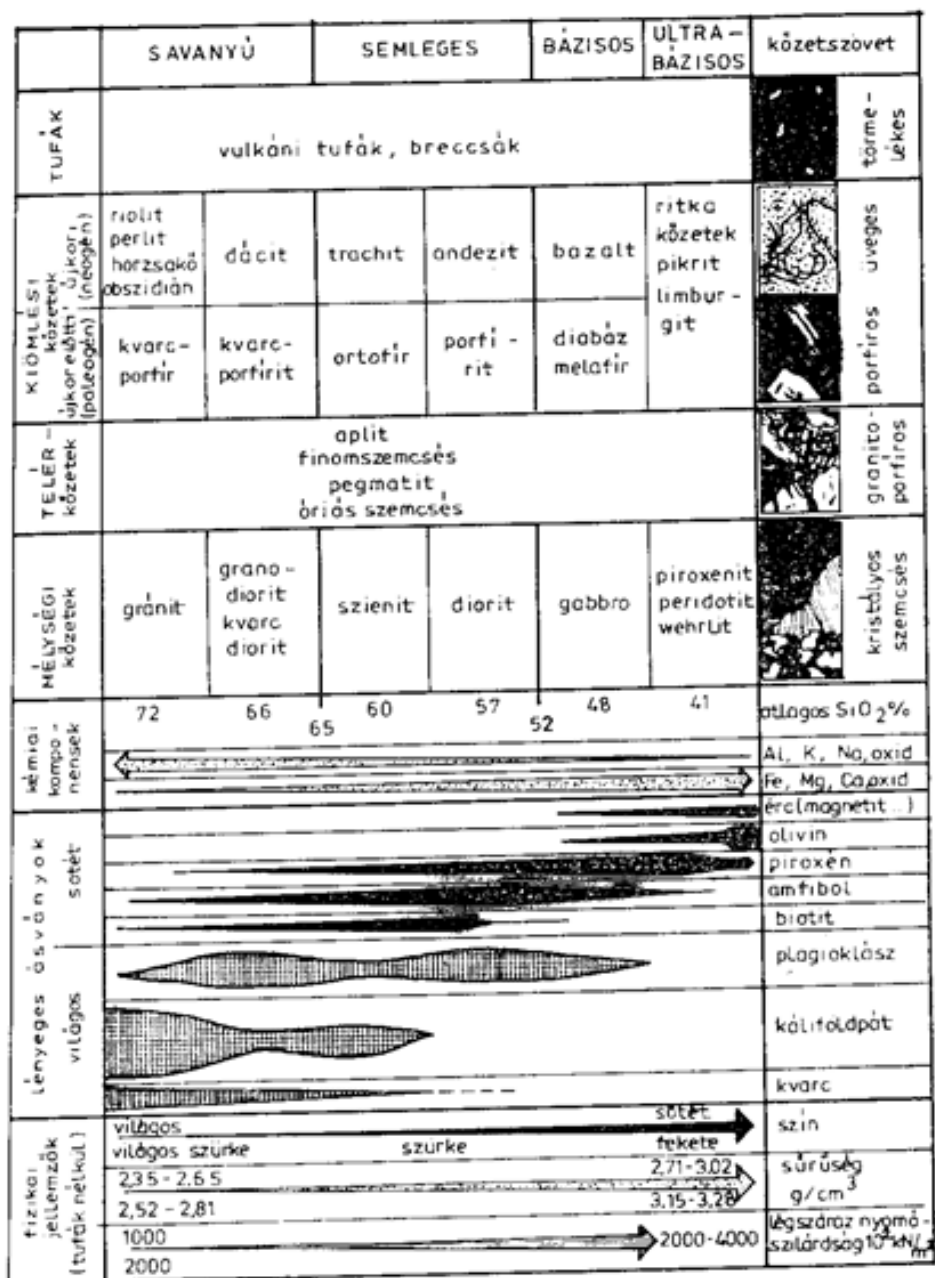
A belső geoszférákból származó energiák és a fizikai állapotban (p, T, c) bekövetkezett változás(ok) következménye a földkéreg anyagának helyenkénti megolvadása, a magma kialakulása.

Az olvadék elsősorban kőzetalkotó főelemekből felépülő, heterogén, instabil nyitott rendszer, amely a földkéreg felszíne felé mozogva fokozatosan alacsonyabb nyomású és hőmérsékletű terekbe kerül. Az olvadás révén mobilizált elemek a csökkenő nyomás és

hőmérséklet (amelyek a mélységgel is kapcsolatosak) függvényében rendeződnek, és kapcsolódnak kristályosodás, megszilárdulás révén ásványokká, kőzetekké.

A kristályosodás több fázisban megy végbe – a magasabb hőmérsékleten az alacsonyabb olvadáspontú elegyrészek válnak ki.

A magmás kőzetek rendszerét, kémiai és ásványos összetételét, képződési helyét a földkéregben és néhány szöveti sajátosságát a 3.3. ábra ismerteti. Mivel a részleteket a gyakorlatok során tárgyaljuk, itt mindössze a hazai viszonylatban legfontosabb kőzettípusok rövid ismertetésére szorítkozunk.



3.3. ábra
A magmás kőzetek rendszere és néhány jellemzője

Mélységi kőzetek

Gránit

A földkéreg legnagyobb tömegben előforduló mélységi kőzete. Szabad szemmel is jól megkülönböztethető ásványokból áll. Savanyú, túltelített, kristályos-szemcsés kőzet.

A **lényeges** elegyrészei: földpátok (40-60 térf.%), kvarc (10-14%), színes elegyrészek (10-30%), melyek közül a csillám, a piroxén és amfibol említhető.

A kvarc ritkán saját alakú, főleg a többi elegyrész közötti teret tölti ki, tehát szabálytalan alakú szemcséket alkot. A gránit jellemző földpátja a káliföldpát, amely leginkább ortoklász.

Többnyire pados elválású. A padok gyakran igen vastagok. Ha a padokra merőleges síkok mentén is tagolódik, akkor a gránit kockaszerű tömbökre válik szét.

Málláskor a kocka alakú tömbök élei és sarkai lekopnak, és gyapjúzsákhhoz hasonló tömbök keletkeznek.

A gránitban lévő földpátból a mállás során kaolin képződik. A gránit a mállása során gránit-darára hullik szét. A kvarc kémiaiilag változatlanul marad vissza a darában.

A hazai gránitjaink (Velencei-hegység, Mecsek) nem a legjobb minőségűek, mivel eléggé repedezettek és mállottak.

Gabbro

Semleges, telített mélységű kőzet. Legfontosabb ásványa a táblás kifejlődésű, szürke színű, bázisos plagioklász (30-70%). Színes ásványai leginkább piroxének, olivinek (30-70%), esetleg zöldes-fekete amfibol vagy biotit.

Kiömlési kőzetek

Riolit

A riolit (rio = folyik) a gránitos magma kiömlési kőzete. Szerkezete porfíros. Ha az alapanyag kristályos, akkor általában meg lehet különböztetni az ortoklászt és a kvarcot. Az alapanyag színe fehér vagy rózsaszín, esetleg barnás vagy sárgás.

A mállott riolit felülete érdes, színe fakult.

A riolit láva gyorsütemű lehűlése és megmerevedése eredményeként alakultak ki a riolit különböző változatai. (Ilyenek az obszidián, perlit és a horzsakő.)

Hazánkban a riolit több helyen előfordul. A Zempléni-hegység déli részén nagy tömegben található, előfordul a Bükk déli részén, továbbá a Mátra déli és délnyugati részén, a Dunántúlon Sárszentmiklós mellett.

Andezit

Az andezit a dioritos magma vulkáni kőzete. Nevét az Andok (Andes) hegységről nyerte.

Egyes változatait a színes elegyrészek szerint szokták elnevezni, pl. biotitandezit, amfibolandezit, piroxénandezit stb. A piroxénandezitek egyes fajtái már bázisosak.

Színük igen különböző. A savanyúbb ambifol-andezitek szürke, szürkés-kék színűek, a bázisosabb piroxén-andezitek feketék.

Nagy tömegekben fordul elő a Föld sok részén. A fiatal lánchegységek területén a leggyakoribb vulkáni kőzet. A harmadkorban intenzív vulkáni működés zajlott le a Kárpátok ívének belső peremén, amelynek eredményeként óriási andezittömegek halmozódtak fel és hoztak létre vulkáni hegységeket. E vulkáni vonulatnak hazánk területén levő tagjai a Szentendre-Visegrádi hegység, a Börzsöny, Cserhát, Mátra és a Tokaji- vagy Zempléni-hegység. Zömében piroxénandezitből állnak. Az andezit kisebb tömegben előfordul még a Mecsekben Komló környékén és a Velencei-hegységben Nadap mellett.

Bazalt

A bázisos magma híg folyóssága miatt a bazalt rendszerint vulkáni takarók, lávaárak, esetleg telérek alakjában fordul elő. A kőzet lemezes, pados elválású, de ezen kívül jellemző a bazaltra az oszlopos elválás. A jó minőségű bazalt igen kemény és mállással szemben ellenálló kőzet. Színe sötét, és szabad szemmel tömörtnek látszik, széttörésekor lapos felszínű darabokra esik szét. A legszilárdabb kőzeteink egyike. Többnyire igen jól hasítható.

Hazánkban a bazaltvulkáni működés a pliocén végén és a pleisztocénben történt. Területileg két körzetben fordulnak elő: az egyik körzet a Balaton északi előtere, a másik pedig Salgótarján környéke.

4.4. Az üledékes kőzetek képződése, jellemzői, rendszere, főbb típusai

A földkéreg ismert részét mintegy 95%-ban magmás és metamorf (átalakult) kőzetek építik fel. A maradékot az üledékes kőzetek képviselik. Kiemelt jelentőségűek, mivel a létesítmények környezetével – geotechnikai szóhasználattal élve a "talajjal" – kapcsolatos (műszaki) problémák, feladatok döntően az üledékekhez és az üledékes kőzetekhez kötődnek. Fokozott jelentőségűek hazánkban azért is, mert Magyarországon – annak medence jellege miatt – a felszínen és annak közelében **főként üledékes kőzetek** tárhatók fel.

A kőzetek mállása, szállítódása, felhalmozódása során keletkezett **üledékek** a kőzetté válás (diagenézis) során **üledékes kőzetekké** alakulnak. A növekvő rétegterhelés és hőmérséklet hatását a későbbiekben részletezzük, egyik legfontosabb jellemzőjükkel, a **rétegzettség**gel együtt.

Ásványaikat részben az eredeti kőzet mállásából visszamaradt (ellenállóbb) típusok, másrészt a diagenézis vagy a keletkezés (pl. kicsapódás vagy szervesanyag-képződés) során képződött **új** ásványok adják.

Keletkezésük módja és anyaga szerint **törmelékes** (ezek lazák vagy összeállóak), **kémiai** (maradéküledékek, oldatból elpárolgással vagy kicsapódással kivált) és **szerves** üledékeket, illetőleg üledékes kőzeteket különböztetünk meg.

a, Törmelékes üledékes kőzetek

Laza törmelékes üledékek

A laza törmelékek a fizikai mállás termékei, a nagyobb kőzettömbökből folyamatosan lesz mindig kisebb és kisebb kavics, majd homok képződik. A legfinomabb törmelék a szél hatására mint lösz, a víz sodrása következtében mint iszap marad vissza. A mállás végső terméke az agyag.

A szemnagyság szerint oszthatjuk fel a laza törmelékes üledékeket az alábbi csoportokra: görgeteg – kavics – homok – iszap – agyag.

A **görgeteg** anyaga teljesen megegyezik a kiinduló kőzet anyagával. A legnagyobb méretű kőzettörmelék, amelyet a szállítóközeg mozgatni képes. Leginkább szögletes darabokból áll.

A **kavicsok** fokozatos gömbölyődéssel keletkeztek a kőzettömbökből. A gömbölyödés mértéke, a kőzet minősége és a megtett út között összefüggés állapítható meg. Nagyobb távolságra csak az ellenállóbb kavicsok jutnak el, főleg a kvarckavicsok. Kavicsok a folyókön kívül tengerpartokon, tavakban, sivatagokban is keletkeznek.

A **folyami kavicsokat** az élővizekből nyerik, a **bányakavicsok** régi idők folyóinak vagy tengerének lerakódásai.

A **homok** szemnagysága a kavicséhoz csatlakozik, sok homokban kavicszemeket is találunk. Amíg a kavicsok még kőzetszemeket tartalmaznak, addig a homokot már csak egyes ásványszemek alkotják, melyek egymástól függetlenek.

A homok ásványai a kőzetek legellenállóbb ásványai, a gyengébb, könnyen bomló ásványok már elpusztultak. Mivel a kőzetek leggyakoribb, igen ellenálló elegyrésze a kvarc, a homokok is nagyrészt kvarcból vannak. A homok-előfordulások mintegy 3/4 rész kvarcot tartalmaznak, a maradék negyedrészt a vízgyűjtő-terület földtani felépítése alapján különböző ásványokból áll.

A **homokszemcsék alakja** változó: a folyami és tengeri homokban a szemcsék túlnyomó része szögletes, a futóhomokok szemcséi nagyrészt legömbölyödöttek, különösen, amelyek már nagyobb utat tettek meg.

A Duna-Tisza köze és a Tiszántúl tekintélyes részét homok borítja, nagy folyóink völgyében állandó homoklerakódást észlelhetünk.

Az **iszap** fizikai tulajdonságai alapján is átmenet a homok és az agyag között. Szemnagysága megközelíti az agyag-szemnagyságot és legtöbbször tartalmaz agyagásványokat is. Az agyagtól jól megkülönböztethető, mert benne az egyes ásványszemcsék (különösen a csillámok) még jól látszanak. Ásványi összetétele a homokéhoz hasonló. Kiszáradva a homokkal ellentétben sokszor nem laza, hanem kissé összeáll a benne levő kalcium-karbonát miatt. A folyók alsó szakaszának, tavaknak, tengereknek gyakori üledéke.

Agyag. Összetételében a 0,002 mm-nél kisebb átmérőjű szemcsék uralkodók. Szabad szemmel nem lehet benne ásványt felismerni. Legtöbb helyen vízi eredetű (tengeri, tavi,

folyami) agyag fordul elő. Kisebb részben szárazföldön is keletkezhet. Ez utóbbiak általában vörös színűek vagy sárgásbarnák. A vízi eredetűek ősmaradvány-tartalmukról is felismerhetők.

Megnevezés	Mérettartomány [mm]
Görgeteg	200-630
Macskakő	63-200
Kavics	2-63
Homok	0,063-2
Iszap	0,002-0,063
Agyag	-0,002

Az agyagok a törmelékes üledékek legkülönlegesebb és legtöbb problémát okozó tagjai. Összetételükben **különleges ásványok** is megjelennek. Az agyagokban levő ásványokat az alábbi csoportokba oszthatjuk:

- A más kőzetekből változás nélkül átkerült **maradék ásványok** (kvarc, földpát, színes elegyrészek stb.);
- Az agyag keletkezésével és diagenézisével egy időben létrejött különleges ásványok: Az **agyag-ásványok**;
- Az agyag keletkezése után újonnan képződött **másodlagos ásványok**. Ezekhez néha **szerves eredetű ásványok** is csatlakoznak.

A **maradékásványok** megegyeznek a homokban található ásványokkal, de itt már csak a legellenállóbbak jelennek meg. Az **agyagásványok** szemnagysága majdnem mindig a kolloidnak megfelelő 0,002 mm-nél kisebb frakcióba tartozik. Közös tulajdonságuk, hogy rétegrácsos szerkezetű szilikátok.

Az agyagok jellegzetes tulajdonságait és műszaki viselkedését elsősorban az határozza meg, hogy az agyagásványok milyen arányban találhatók benne. Az agyagok vizsgálata során tehát igen fontos azok ásványtani meghatározása is, amely csak röntgen- és/vagy termikus elemzés útján végezhető el.

Az agyagban lévő ásványok harmadik csoportja a leülepedés után, az agyag diagenézisét követően keletkezik. Így jön létre az apró élőlények maradványából származó kénhidrogén reakciójából a pirit, a pirit bomlásakor gipsz, illetőleg limonit.

A vízzel kapcsolatosak az agyagok különleges **fizikai tulajdonságai**:

Víztartalom, vízáteresztő-képesség vonatkozásában: Víztartalma a legmagasabb (lehet), vízáteresztő-képessége pedig a legkisebb a laza üledékek között. A vízzáróság viszonylagosságára a későbbiekben még visszatérünk.

Duzzadás és zsugorodás: Víz hatására az agyag nagymértékben megduzzad, mivel a rétegrácsos kristályszerkezetű agyagásvány belső szerkezetébe is vizet vehet fel. Nemcsak az agyagrészecskék hézagai közé épülhet be víz, hanem az egyes agyagásványok is felvehetik azt.

Az agyagba beépülő víz az agyagásványok rétegrácsait szétfeszíti. Száradáskor a víz az agyagrészecskék hézagai közül és az agyagásványok belső szerkezetéből eltávozik. Ezért amilyen mértékben duzzadt, olyan mértékben **zsugorodik**. A duzzadás alkalmával akár a 8×10^4 kN/m² nyomás is keletkezhet.

A **képlékenység** az agyagok jellemző tulajdonsága. A rétegrácsos kristályszerkezet következménye.

A **koaguláció** az agyag kolloid tulajdonságával kapcsolatos. Az agyagrészecskék vízben elosztva negatív elektromos töltésűek. Azonos töltésük miatt egymást taszítják, ezért sokáig lebegve maradnak. A részecskék egymást taszító hatása a pozitív töltésű ionok oldatba jutásával szűnik meg. A különben hosszú ideig zavaros (diszperz) oldat a pozitív elektromos töltésű sók közbejöttére pelyhes szerkezetűvé válik. A pelyhes csomókba összeállt agyagrészecskék gyorsan leülepednek.

A folyók tengerbe ömlésének helyén, a deltákon óriási arányokban megy végbe ez a folyamat. A koagulált agyag elveszti eredeti tulajdonságait: vízáteresztő, nem duzzad, nem zsugorodik és nem is képlékeny.

Báziskicserélődés és adszorpció: A báziskicserélődés alkalmával a kationokat tartalmazó oldatokból határozott mennyiségű kationt vesznek fel az agyagrészecskék, viszont az agyagból egyenérték-mennyiségű más ionok kerülnek az oldatba.

Tixotrópia: Egyes esetekben az agyag nagy mennyiségű vizet képes felvenni anélkül, hogy képlékennyé válna. A vízzel telített agyag hirtelen rázkódtatás következtében folyóssá válik. Ez a jelenség az agyagásványok, elsősorban a montmorillonit jelenlétével függ össze. Az agyagásvány hézagai és belső szerkezete vízzel telítődve, a hirtelen rázkódtatás következtében mintegy összeomlik, és folyékonyra válik.

Vályog: homoktartalmú agyag.

A **löss** a homokliszthez hasonló szemcseösszetételű $=0,05-0,02$ mm átmérőjű szemcsék a leggyakoribbak benne). A szélhordta finom por a szélárnyékos helyeken lerakódott, és a növényzet megkötötte (képződését, típusait később tárgyaljuk). Szerkezetében észlelhető a növények hatása: a gyökök körül kivált vékony kalcium-karbonát hártya szilárdabb vázat alkot függőleges szerkezettel.

Kémiai összetételében fontos szerep jut a kalcium-karbonátnak: a kiváló mész nemcsak csöveket, hanem a kőzet belsejében nagyobb csomókat, konkréciókat (lössbabákat) is alkot. A lösz sárgásbarnás színű, innen származik magyar neve: a sárgaföld.

A lösz jellegzetes tulajdonsága a hézagok hirtelen összeroppanása, a **roskadás**. Függőleges, csöves, kissé cementált szerkezete miatt gyakran magas **falakat alkot**, pl. a Dunaújváros-Paks környéki Dunapart. Vastagsága hazánkban a 40-50 métert, Kínában a több száz métert is eléri. Hazánk tekintélyes részét borítja lösz, főleg a Dunántúlon (Mezőföld) és a Tiszántúl egyes területein.

Összeálló törmelékes kőzetek

A laza törmelékes üledékek a diagenézis folytán összecementálódnak, vagy a nyomás hatására összeállhatnak, így keletkeznek az összeálló törmelékes kőzetek.

A **konglomerátum** és **breccsa** a homoknál nagyobb szemű törmelékek összecementálódásával keletkezik. A konglomerátum szemcséi gömbölyödöttek, a breccsáé szögletesek. A kettő között a gömbölyödés mértéke szerint folyamatos az átmenet. A breccsa kőzetanyaga vagy nem szállítódott el, vagy pedig a szállítás jelentéktelen volt. A vetődések, elmozdulások következtében letöredezett és összeragasztott kőzetdarabokból keletkezik a **dörzsbreccsa**.

A kötőanyag főleg kova, egyben a legszilárdabb is. A karbonátos kötőanyag gyengébb, az agyagos kötőanyag vízben szétázik. A breccsa főleg tektonikailag igénybevett helyek környékén, a konglomerátum folyami vagy tengerparti üledékösszletekben gyakori.

A **homokkő** 2 mm-nél apróbb ásványszemcsék és kőzettörmelékek, legtöbbször vízből kivált kötőanyag által történő összeragasztásával keletkezik. Szemcséi a homok ásványait tartalmazzák, uralkodó a kvarc, ezenkívül a lepusztulási terület kőzeteinek függvényében jelennek meg az egyéb ásványok.

A kötőanyag az előbb említetthez hasonlóan lehet kovasavas, karbonátos, agyagos, néhol vasas vagy gipszes is. Műszaki felhasználásra csak a kovasavas és karbonátos homokkövek alkalmasak.

Az **agyagpala** az agyagból nyomás hatására keletkezik: a kőzet víztartalma eltávozik és az ásványok lassan átkristályosodnak. Az agyagkő átmenet az átalakult kőzetekhez.

b, Kémiai üledékes kőzetek

Maradék üledékek: Keletkezésük során az anyakőzetük nagyobb tömege elszállítódott. A maradék (el nem szállított anyag) a kőzetünk. Ide tartoznak azok az átalakulások is, amelyek nem diagenetikus jellegűek, helyben mennek végbe és új kőzetek keletkezéséhez vezetnek: pl. a kaolin- és bentonit-képződés.

Kaolin: hófehér, utóvulkáni hatásra földpátok bomlásából, de lápok, mocsarak agresszív (savas) vizeinek hatására is keletkezhet.

Száraz tapintású, nedvesen igen képlékeny, duzzad, zsugorodik. Hevítve vizet veszít. A Tokaji-hegységben: Mád, Szegilong, Hollóháza környékén fordul elő fejtésre érdemes tömegben.

Bentonit: más néven **derítőföld**, vulkáni tufákból másodlagosan jön létre.

A **bauxit** a legfontosabb alumíniumérc. Összetett ásványokból álló (tehát nem ásvány), jellegzetes kőzet.

Egyes fajtái trópusi éghajlaton, magmás kőzetek kilúgozásával keletkeznek. A mérsékelt égöv bauxitjai karbonátos kőzetekhez, mészkőhöz, kisebb részben dolomithoz kötöttek.

A jelenleg is hasonló módon keletkező agyagos kőzet a **terra rossa**, amely mészkővidékeinken gyakori

A bauxit színe sárgás, vöröses.

A **termőtalaj** szintén e kőzetscsoportba tartozik: az altalaj kőzeteiből alakul át a szerves élet fizikai és kémiai hatására. Összetétele az éghajlatnak, az alapkőzeteknek és az élővilágnak függvénye. Jellegzetessége az élőanyag – és szerves élettelen anyag – tartalom.

Oldatból kivált kémiai üledékek

Márga: átmenet a mechanikai és kémiai üledékek között, és pedig az agyag és mészkő között. Tengerpartok közelében keletkezik a folyók hordta finom iszap és agyag, valamint CaCO_3 egy időben való leülepedésekor.

A CaCO_3 és agyagásvány tartalom szerint megkülönböztetünk **mészmárgát** 90-65% CaCO_3 és 10-35% agyagtartalommal, **márgát** (65-35% CaCO_3 és 35-65% agyag), és **agyagmárgát** 35-10% CaCO_3 és 65-90% agyagtartalommal.

Mészkő: lényegében tiszta CaCO_3 . Színe fehér, sárga, szürke, vörösesbarna. Keletkezési helyét tekintve lehet szárazföldi és tengeri, a **szárazföldi mészkő** források, tavak medencéiben, vagy barlangüregek falán rakódik le, szárazföldi vizekből kiválva (pl. cseppkő), a **tengeri mészkő** tengerben képződik. A szárazföldi édesvízi mészkövek közül legfontosabb a **mésztufa** vagy **travertino**: ez üreges, likacsos, jól faragható és fűrészelhető kőzet. Építkezésre használják. Legfontosabbak a Budakalász, Dunaalmás és Üröm-környéki édesvízi mészkövek. A tengeri mészkövek gyakorlati szempontból lehetnek tömöttek és durvák. A **tömött mészkövek** kristályosak és jól polírozhatók, ezért **ipari szempontból** "márványoknak" nevezhetők. Ilyenek a Piszke, Siklós, Bükkösd környékiek. Hasonlóak, de ilyenek a Bükk-hegység, a Bakony, Vértes, Budai-hegység és a Mecsek mészkövei is, melyek Földünk középkorából valók. A **durva mészkövek** jóval fiatalabbak, porózusak és kövületesek (Sóskút, Tárnok, Zsámbék).

Dolomit: uralkodóan dolomit ásványból álló kőzet, vagyis kémiaiilag a CaCO_3 és MgCO_3 kettős sója. Tengeri képződmény. Részben közvetlenül vált ki a tengervízből, vagy a mészkövek utólagos eldolomitosisával keletkezett. Színe fehér, sárga, vörösesbarna. Igen elterjedt kőzet: hazánkban a Bakony, Vértes, Gerecse és a Budai-hegység felépítésében van jelentős szerepe.

Kovaüledékek: A kovaüledékek lehetnek kémiai és organikus eredetűek. A kémiai eredetű kovaüledékek uralkodó ásványa az **opál**, **kalcedon** és a **kvarc**. Vulkáni vidékek hévforrások táplálta forrástavainak üledékei. Időszakos kovasavas hévforrások üledéke a **gejzirit** (pl. nálunk Tihanyban). Kovasavas, de langyosabb vizű források üledéke a **hidrokvarcit** (**édesvízi kvarcit**) is. Előfordul Gyöngyössolymos, továbbá Mád, Erdőbénye, Sárospatak határában.

c, Szerves (biogén) üledékes kőzetek

Szénkőzetek: az ásványi szenek egykori lápok növényyszerkezetének elbomlása és átalakulása, ún. szénülési folyamata révén jöttek létre. A szénülés két fokozatban megy végbe. Az első fokozat a **tőzegesedés**. Ez víz alatt, a levegő csaknem teljes kizárása mellett végbemenő biokémiai átalakulási folyamat. A keletkező kőzet a kőszénképződés kiinduló anyaga. A tőzeg tehát lápokban keletkezik: tengerpartokon vagy a szárazföld belsejében.

A szénülés második fokozata a **tőzeg átalakulása kőszéné**. Ez kisebb-nagyobb mélységben az oxigén teljes hiánya mellett végbemenő geokémiai folyamat, amely a széntartalom viszonylagos növekedésében és a H, O erős csökkenésében nyilvánul meg.

Szénhidrogének: Alacsonyabb rendű állati és növényi szerkezetek levegőtől mentes elbomlása folytán képződnek egyes rosszul szellőzött beltengerekben. A szénhidrogének főleg a **metánsor** vegyületeiből állnak, melynek legegyszerűbb tagja a metán: CH_4 . Levegővel alkotott keveréke a **sújtólég**. A sor egyszerűbb tagjai légzeműek, míg a nagyobb széntartalmúak

cseppfolyósak, illetve szilárdak. Légnemű a **földgáz**, cseppfolyós a **kőolaj**, szilárd a **paraffin**, az **ozokerit** és az **aszfalt**.

Hazánkban jelentősebb **szénhidrogén területek** Dél-Zalában és az Alföldön vannak.

A **kovaföld** vagy **diatomaföld** legfontosabb felhasználója a szigetelőipar és az elektromosipar.

4.5. A metamorf (átalakult) kőzetek keletkezése, jellemzői, fontosabb típusai

A **metamorfózis** az a folyamat, amelynek során a már egyszer kialakult kőzetek (magma vagy üledékes) átalakulnak.

A metamorfózis folyamán az eredeti kőzet egyes ásványai átalakulnak, új ásványok keletkeznek és a kőzet szerkezete is megváltozik. A folyamat a szilárd kéreg mélyebb részein és hosszú idő alatt megy végbe. Mértéke a metamorfózist szenvedő kőzet összetételétől, a metamorfózis természetétől és az alakító erők intenzitásától függ.

Fontosabb metamorf kőzetek:

Gneisz. Színe leginkább szürke vagy szürkésfehér. Ásványi összetétele a gránitéhoz hasonló. A lánchegységek (pl. Alpok, Déli Kárpátok) központi övében nagy kiterjedésű vonulatokat alkot.

Csillámpala. Palás kifejlődésű, gyakran zezzugosan gyűrődött kőzetek. Párhuzamos síkok mentén lemezekben válik szét.

Fillit. A fillit igen vékonyan lemezes, gyakran gyűrűt. A palásság síkja ezüstös-selymesfényű. Hazánkban Sopron, Kőszeg környékén, a Balaton-felvidéken és a Mecsek-hegységben fordul elő.

Márvány. A márvány a mészkő vagy a dolomit átalakulása révén létrejött metamorf kőzet.

A márvány tehát kristályos eredetű mészkő. Ha a dolomit kristályosodik át hasonló folyamat révén, akkor **dolomitmárvánnyá** alakul át. A márványban a kalciton kívül előforduló egyéb ásványok az eredeti mészkő szennyezéseiből (agyag, márga, kvarc stb.) keletkeznek. Ezért a márványnak nincs jellegzetes színe. Lehet fehér (pl. carrarai márvány), halványrózsaszín, rózsaszín, szürke, sárga stb.

Hazánkban Polgárdi mellett a gránit kontaktusán keletkezett világosszürke színű márvány. Jelentősebb márványtelep van még Rakaca mellett (Borsod). Dolomitmárvány a Vértesben, Csákberény határában található.

IV. A földkéreg arculatát formáló erők – a dinamikai (fizikai) földtan alapjai

1. A kőzetöv (litoszféra) anyagi körforgalmának területi és időbeli rendje

A napjainkban elfogadott geofizikai modell szerint a hideg, merev litoszféra vízszintes mozgásai – vándorlása – döntően a termikus zavarok által keltett ún. köpenyáramlások következménye. A függőleges irányú – izosztatikus – mozgások pedig főként a litoszféra terhelésviszonyaival (lepusztulás, felhalmozódás) és vastagságával kapcsolatosak. Ezen egymással is összefüggő, kétféle mozgástípus a merev állapotú litoszféra törését, illetőleg – ha az a nyomás és a hő hatására kissé plasztikus – gyűrődését váltja ki.

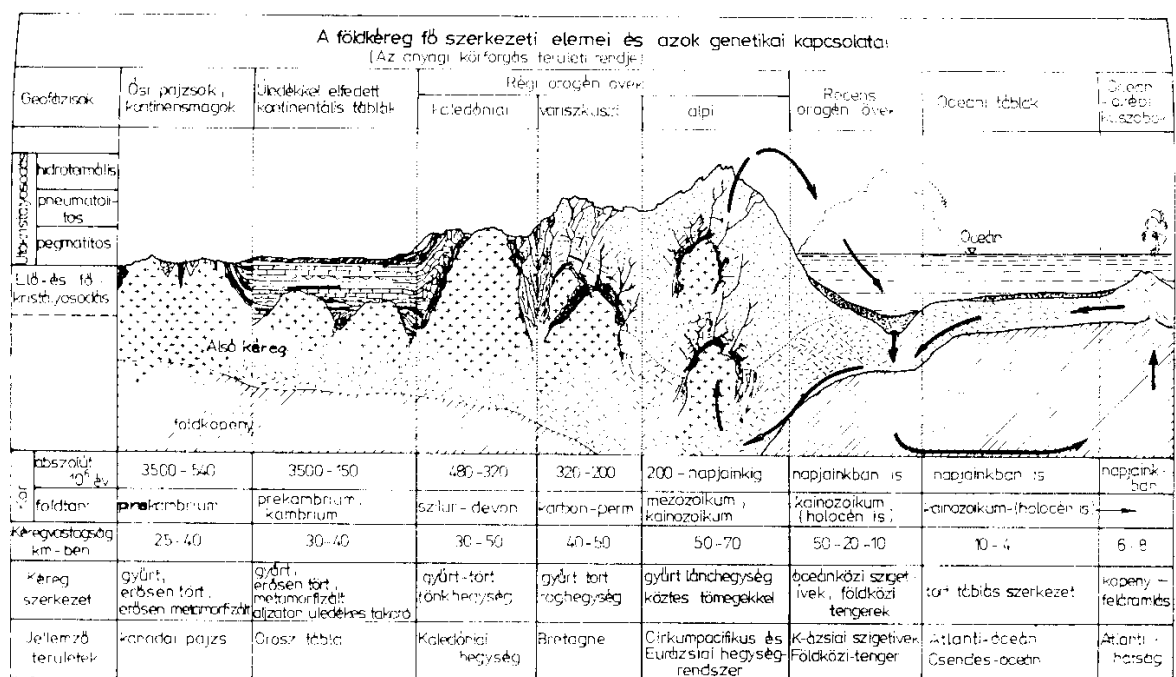
A földtani egyensúlyi állapotok, a földtani körfolyamat és kőzetciklus már ismert sémája szintézisével az alábbi dinamikai kép alakítható ki:

A szárazulat felszínének lepusztulása – amely a külső geoszférák közreműködésével (exogén terresztrikus geofázisok) megy végbe, csökkenti a litoszféra tömegét, ezért emelkedést eredményez. A lepusztított, elszállított földanyagok a felhalmozódás övezeteiben (exogén szubakvatikus geofázisok) többletterhelést váltanak ki, ami süllyedéssel, szerkezeti (tektonikai) elváltozással, összetöredezéssel jár. Ezek a szárazulatok szegélyén kialakuló, süllyedő üledékgyűjtők a **geoszinklinálisok**. A fokozódó terhelés által kiváltott süllyedés az üledéktömegek magasabb p-T tartományokba kerülését hozza magával (metamorf geofázisok).

A külső geoszférák anyagával (H_2O , O_2) dúsult üledékek a litoszféra magasabb p-T tartományaiban részben a túlterhelés miatt bekövetkező törések (amelyek során a nyomás hirtelen csökken) következtében megolvadnak, így mobilizálódva a kisebb nyomású külső terek felé térnek ki (magmás geofázisok). Kapcsolódó felszíni jelenségsorozat a vulkanizmus.

Az olvadéktömegek kihűlésével a részben megolvadt, részben magmás tömegekkel átjárt egykori üledékanyagok a földkéreg részeivé válnak, hozzáforrva a már meglévő szárazulatok szegélyéhez. A mozgásirány megváltozása a süllyedő üledékgyűjtők anyagát újra kiemeli (hegységképződés), az anyagi körforgalom újabb ciklusát indítja.

A kéregelemek genetikai kapcsolatát, szerkezeti és felszíni jellegét néhány példát is felsorolva a 4.1. ábra vázolja.



4.1. ábra

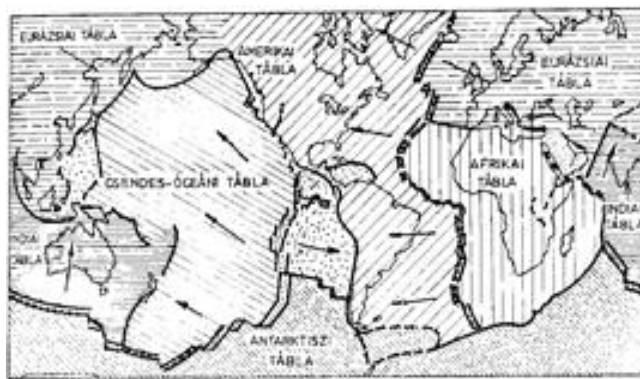
A litoszféra körforgalma kifelé a hidro- és atmoszféra, befelé a köpeny körforgalmával csatolódik. Ezeken a csatolódási felületeken keveredik a geoszférák anyaga. Valószínű, hogy hasonló folyamatok a belső geoszférákban is léteznek. A geoszférák anyagának keveredése a Föld anyagi rendszere legáltalánosabb törvényének, a gravitációs tér- és a geoszférák szerinti elem (ásvány-) rendeződésnek az ellentétpárja.

2. A lemeztektonika

2.1. Alapfeltevés: blokkok + mozgás

A földkérget alakító nagyszerkezeti jelenségek – hegységképződés, az óceáni árkok, vulkanikus és földrengés zónák kialakulása, a világrészek mozgása stb. – egységes értelmezését kíséri meg az ún. globális vagy lemeztektonika. Bár a szóban forgó hipotézis alapfogalatainak némelyike (pl. Afrika és Dél-Amerika néhai összefüggésének feltételezése a partok lefutásának hasonlósága alapján) a múlt századba nyúlik vissza, az elmélet kialakulása a hatvanas évekre tehető. A lemeztektonika feltevéseinek és következtetéseinek helyességét azóta bizonyítékok ezrei igazolták, elsősorban a következmények vonatkozásában. Tisztázatlan kérdések a hatalmas arányú mozgást kiváltó és fenntartó energiákat illetően vannak.

A lemeztektonika feltevése szerint a Föld felszíne ez idő szerint hat nagy (elsőrendű táblák) (Amerikai, Csendes-Óceáni, Eurázsiai, Afrikai, Indiai, Antarktiszi) és mintegy húsz kisebb, ún. másodrendű litoszféra-táblára (lemezre) osztható (4.2. ábra).



4.2. ábra
A fontosabb litoszféra-táblák

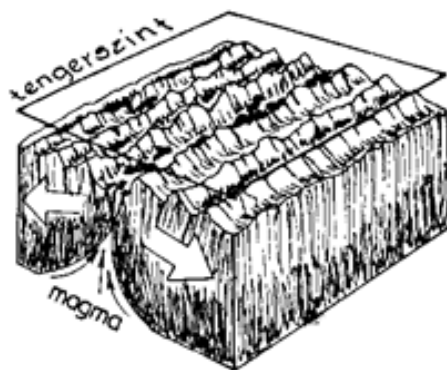
A táblák vastagsága 70-150 km közötti, szerkezetileg a **szilárd kérget** és a **köpeny felső részét** foglalják magukban. (A köpeny mélyebben lévő része kb. 700-750 km-es mélységig az asztenoszféra). E két szerkezeti rész mechanikailag egységes, együtt mozdul el. A nagyobbak "hordozzák" az óceánokat és kontinenseket – eszerint lehetnek óceáni, szárazföldi (kontinentális) és "komplex" táblák. Egymáshoz és a Föld forgástengelyéhez képest folyamatosan és/vagy epizodikusan mozognak.

Mozgásuk megnyilvánul a kontinensek "elúszásában" (kontinensvándorlás), az óceánaljzat szétterülésében (repedésvölgy-rendszer), vagyis az óceáni kéreg keletkezésében és az óceáni árkok régióiban történő megsemmisülésében. A gömbgeometria törvényei alapján a táblák elmozdulása a Föld felszínén rotáció, amely egyértelműen jellemezhető a rotáció szögével és a rotáció pólusával. Nyilvánvaló, hogy napjaink grandiózus földtani jelenségei (földrengések, vulkanizmus, szintváltozások stb.) is döntően a lemezszegélyekhez kapcsolódnak.

2.2. Földtani jelenségcsoportok a lemeztektonika tükrében

2.2.1. Az óceáni aljzat szétterülése (4.3. ábra)

A szilárd kéreg repedésein át felnyomuló köpenyanyag (magma) oldalirányban hozzáferr az egymástól távolodó litoszféra lemezek szegélyéhez, kitöltve a dilatáció révén keletkező űrt. Ezek a lemezperemek a divergens (gyarapodó) szegélyek. A folyamat epizodikus, amelyet időszakos vulkáni és földrengésjelenségek kísérnek. Mivel a szilárd kéreg vékony, a földrengések döntően a 0-30 km-es mélységben pattannak ki. Az óceánközépi hátságok és a repedésvölgy-rendszer (a gyarapodó lemezszegélye közös határvonala) az óceáni kéreg és az óceánok keletkezésének szinterei. Afrikának a kelet-afrikai törésrendszer mentén napjainkban is zajló szétnyílása egy új óceán keletkezésének mozzanata, melynek során a levált tömb (Kelet-Afrika) az Indiai-óceán medencéjében évmilliók múlva új kontinensként jelenik meg.



4.3. ábra

Az óceánfenék szétsodródása

2.2.2. Alátolódás (szubdukció)

A lemezek ütközése során a már idős, kihűlt, merev óceáni lemez a vastagabb kontinentális lemez alá tolódik (4.4. ábra), létrehozva a Föld legmélyebben fekvő régióit, az óceáni árkokat. Az alátolódó, kb. 700-750 km-es mélységig még mechanikailag merev óceáni táblában pattannak ki a közepes- és mélyfészkü földrengések. A rengések fészkei által kirajzolható, különféle dőlésű síkok az ún. Benioff-féle övek. Mélyebben a kéreg anyaga megsemmisül, beolvadva a köpeny anyagába. A folyamat során keltett súrlódási hő, tágulási repedések stb. aktív vulkáni tevékenységre vezetnek. E szigetívszerkezetek, amelyeket a mélytengeri árok – aktív vulkáni lánc – földrengéstevékenység – hármasa jellemez, a kéreg részleges megsemmisülésének és a kontinentális kéreg keletkezésének színterei (pl. a Csendes-óceán szigetívei – a cirkumpacifikus övezet).



4.4. ábra

Az alátolódás mechanizmusa

2.2.3. Kontinentális lemezek ütközése

Tartós alátolódás nem alakul ki, mivel a kontinentális kéreg és a köpeny közötti sűrűségkülönbség nagyobb. Az ütközési zónában képződnek a közettömegek felgyűrődésével a lánchegységek. Így alakult ki az Indiát hordozó tábla és az Eurázsiai lemez ütközése során a Himalája roppant méretű hegytömege (4.5. ábra).



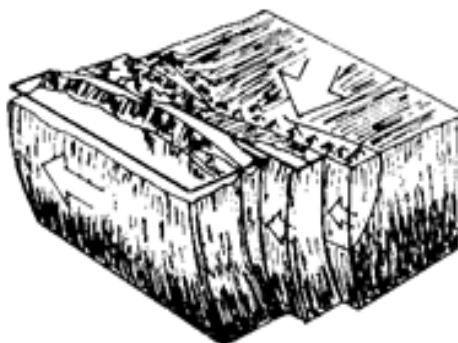
4.5. ábra

A lemezek ütközése

2.2.4. Törésrendszerek

A lemezekben a mozgás során mechanikai feszültségek halmozódnak fel. Ezek energiája részben földrengések révén szabadul fel, és a kéreganyag törésében nyilvánul meg (4.6. ábra). E törési zónák hossza több ezer km lehet, a törésekkel elválasztott részek egy-egy földrengés során többször is elmozdulhatnak egymáshoz képest (szeizmoaktív törésvonalak).

Legnevezetesebb a kaliforniai Szent András-törésrendszer. Az 1906-os, San Fransiscót romba döntő földrengés során a törésvonal mentén 6 m-es eltolódást regisztráltak.

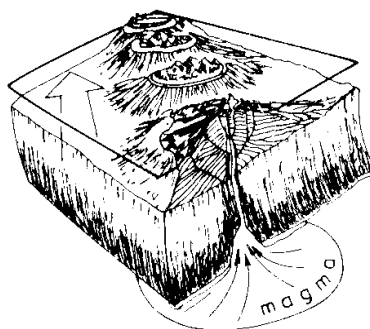


4.6. ábra

Törésvonalak, törésrendszerek

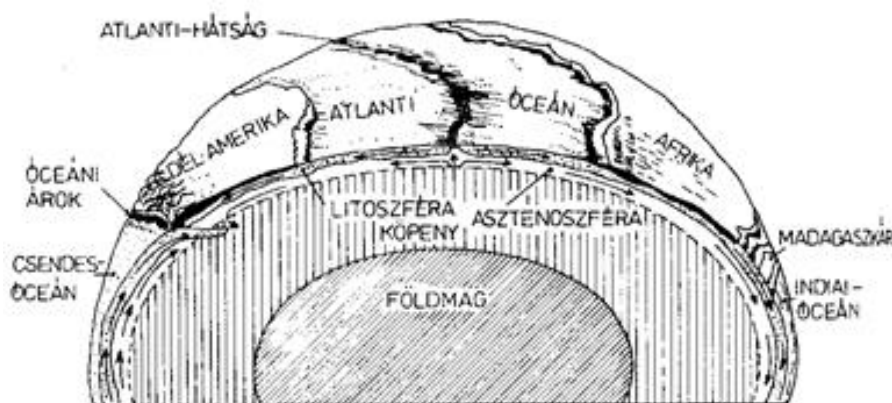
2.2.5. A hőáramlás extra értékeivel jellemzett területek

A lemezszegélyeket csaknem mindenütt az átlagot (kb. 63 kW km²-t) meghaladó hő(energia)áramlás jellemzi, különösen a repedésvölgyek mentén. Némely esetben a lemezszegélyektől távol is extra termikus viszonyok alakulnak ki – pl. a csendes-óceáni Hawaii-szigetek térségében. Ezek egyébként a világ legmagasabb képződményei -, a szigetek legmagasabb pontjai több mint 10 000 m-re emelkednek ki a környező óceáni aljzatból. A szigetsor keleti végén működő világhírű lávató-vulkanizmus a köpenyben feltételezett, lokális, ún. gomolyáramlásokkal kapcsolatos, ezek anyaga jut a vulkánok révén a felszínre. Ahogy a helyben maradó hő- és anyagáramlási centrumok felett a szigeteket hordozó litoszféra lemez elmozdul, az aktív vulkáni terület is fokozatosan eltolódik, illetőleg elhal. A szigetsor vonala a tábla egykori mozgásirányát őrzi (4.7. ábra).



4.7. ábra
A gomolyáramlások mechanizmusa

A főbb mozgások összefüggését a 4.8. ábra szemlélteti.



4.8. ábra
A litoszféra nagyszerkezeti mozgásainak összefüggése

3. Az egykori mozgások jelei – töréses és gyűrődéses szerkezetek

3.1. Gyűrődés

Kialakulásához a mozgás által keltett kompressziós feszültségállapot és plasztikusan viselkedő kőzetanyag szükséges. A gyűrűt formák alapeleme a redő, felboltozódó része az antiklinális (nyereg), völgyülete (teknője) a szinklinális. A kőzetanyag legnagyobb mechanikai igénybevételét kiváltó ferde redőből fejlődik ki a takaró (itt már törési sík is kialakul), amely a kőzeteket a helyükről tíz kilométeres nagyságrendű távolságra tolhatja el, gyakran megfordítva az eredeti rétegsorrendet.

3.2. Törés

A bizonyos rugalmassági és/vagy deformációs határt meghaladó feszültségállapot a kőzetanyag törését okozza. A litoklázisok azok a törések, amelyek mentén nincs elmozdulás (kőzetrések, hasadékok). A kőzettömegek néha több száz méteres elmozdulása az ún. vetősík mentén történik. A mozgás tényéről és irányáról a vető menti szétmorzsolódott, esetleg részben megolvadt kőzetanyag (dörzsbreccsa), valamint a vetőlap rovátkái informálnak. A földrengések túlnyomó része is egy-egy törési mechanizmus kísérőjelensége.

Mindkét szerkezeti formának nagy jelentősége van földtani (mozgások rekonstrukciója) és nyersanyagkutatói (elvetett nyersanyagzónák nyomozása, karsztvízfeltárás stb.) vonatkozásban egyaránt.

A ferde (megbillent) rétegek térbeli helyzetét a réteglap síkjának a vízszintes síkkal alkotott metszéke – a **csapásvonal** – és a csapásvonalra merőlegesen, a réteglap síkjában lejtőirányban (amerre a lejtőn elengedett golyó is gurulna) húzott **dőlésvonal** határozza meg (4.9. ábra). Hasonlóan rögzítik a vetősík térbeli helyzetét is.



4.9. ábra
A dőlés és a csapás értelmezése

4. A földrengések

4.1. A földrengés fogalma

Három, egymással kapcsolatban lévő értelemben használatos. Jelenti a **természeti csapást**, amelynek következményeként a létesítmények megrongálódnak, a rugalmas hullámok valamilyen centrumból – a földrengéshelyekből – kiinduló **terjedését**, végül a hullámokat elindító jelenséget, az ún. **fészekmechanizmust**. Az időrendi sorrend a fentiek éppen fordítottja.

4.2. A keletkezés módja szerinti felosztásuk

Szerkezeti (tektonikus) rengések. A rugalmas feszültségeknek a kőzetanyag törését követő, részben rugalmas energiák formájában történő feloldódásával keletkeznek. A rengések 85%-a ilyen – ezek a legpusztítóbbak. Csak szilárd halmazállapotú kéreganyagban pattanhatnak ki.

Vulkanizmussal kapcsolatos rengések (a vulkánkitörés energiájának egy része rugalmas hullámokká alakul) – 7%.

Beszakadásos – beomlásos rengések (magmakamrák beomlása – implózió, barlangok beszakadása) – 3%.

Mesterséges rengések (nukleáris, bánya- és egyéb robbantások).

Talajnyugalanság.

- a, Géprezgések, járművek által keltett rezgések;
- b, Léggöri jelenségek által okozott rengések.

A földrengések kipattanását a belső feszültségállapot jellemzőin kívül befolyásolják még a terhelésváltozást okozó külső tényezők. Az erózió, klímaváltozás – pl. a jégtömegek megolvadása -, mesterségesen megnövelt terhelés, pl. tározó kialakítása, légnyomásváltozás, égitestek vonzása stb.

4.3. Néhány alapfogalom

Földrengés keletkezésekor a kőzetben tönkremeneteli zóna és maradó alakváltozás jön létre. A maradandóan deformált, a térben ponttal helyettesíthető tartomány a földrengés fészke, hipocentruma, amelynek sugárirányú vetülete a Föld felszínén az epicentrum. A fészekmélység alapján a földrengéseket sekély- (0-30 km), közepes – (30-300 km) és mélyfészű (300-750 km) csoportba sorolják. A rugalmas energiák döntően sekélyfészű rengésekben szabadulnak fel, mivel a Föld mélye felé a szilárd halmazállapot előfordulási gyakorisága és a viszkozitás csökken. Ritkák a felszínközeli – néhány km-es mélységben keletkező – rengések is, mivel e zóna kőzeteinek nyírószilárdsága (az üledékes kőzetek gyakorisága miatt is) kisebb, mint mélyebben.

A rugalmas hullám – ami lényegében impulzusáramlás – lehet hosszanti, longitudinális. Ekkor az impulzusvektor iránya egyező a hullámterjedés irányával. A térfogatelemre a sűrűsödések és ritkulások váltakozása (térfogatváltozás) jellemző. Ez a hullámtípus gáznemű és folyékony körzetben is terjed. Ha az impulzusvektor a terjedés irányára merőleges, a térfogatelem csak alakját változtatja, térfogatát nem (haránt vagy transzverzális hullámok). Az alakváltozással szembeni rugalmas ellenállás feltétele csak **szilárd** halmazállapotban biztosított. A szeizmogramon – a földrengés műszerrel rögzített elmozdulás-idő függvényén – elsőként (Primer) a longitudinális hullám jelenik meg. Ezek a P hullámok, a transzverzálisok pedig az S hullámok (Secunder). A harmadik típus, az ún. felületi hullám a Föld szabad felszínén terjed, energiája a mélységgel exponenciálisan csökken.

4.4. Földrengéserősségi skálák

A korszerű földrengésjelző műszerek (szeizmográfok) 10^{-6} mm nagyságrendű elmozdulásokat is jeleznek. Elterjedésükkel lehetővé vált a fészekben felszabadult kinetikus energia számítása. A műszeres adatokból meghatározható dimenzió nélküli szám a **méret** vagy **magnitúdó**. Ha a földrengés mérete Richter-féle magnitúdóban (M) ismert, a felszabadult energia az alábbi képlettel számítható:

$$\log E = 1,5 M + 4,8 \text{ [Nm]}$$

A rengések hatása a Föld felszínén okozott jelenségek, elváltozások mértéke alapján is becsülhető. Ezen alapulnak az intenzitás-skálák. E hatások a mélyben felszabadult kinetikus (össz-)energián kívül függnak

- a hipocentrum mélységétől,
- a hely (létesítmény) és az epicentrum távolságától,

- az energia döntő részét hordozó hullámok frekvenciájától,
- a kérdéses hely altalajától (ha laza, adott térfogaton belül nagyobb impulzus nyelődik el), annak geológiai szerkezetétől, a talajviszonyoktól,
- a lökések irányától, végül "létesítmény-oldalról" a létesítmény állapotától, szerkezetétől és anyagától.

Európában a Mercalli-Cancani-Sieberg-féle 12 fokozatú skála terjedt el. Az egyes fokozatokhoz a jelenségek (a 6. foktól kezdődően az épületekre gyakorolt hatások) leírásán kívül mms^{-2} -ben megadott, mérhető gyorsulás-intervallumok tartoznak. A volt szocialista országokban többnyire az MSK-64 skálát fogadták el. Az egyes fokozatok – amelyek száma szintén 12 – jellemzése kiterjed a természeti jelenségekre, az építményekre, az emberek érzeteire és környezetére. A hazánkban eddig kipattant legerősebb rengés 8-9-es fokozatú volt.

4.5 Szeizmicitás – szeizmotektonika

A földrengésviszonyokról – szeizmicitásról – a térképi ábrázolás ad áttekinthető képet. Szokás ábrázolni a rengések epicentrumát, térbeli eloszlását, gyakoriságát, az egyenlő erősséggel "megrázott" pontokat összekötő vonalakat, az izoszeiztákat. Nyilvánvaló, hogy az ilyen módon készült térkép önmagában még csak a múlt rengésviszonyairól tájékoztat, az "extrapolálás" bizonytalan. Megbízhatóbb adatokhoz jutunk, ha a geológiai viszonyokat – törésvonalak helye, kéregmozgások, deformációk helye, sebessége stb. – is figyelembe vesszük. A földrengés zónák és a földtani szerkezetek kapcsolata ismeretében nyert ún. szeizmotektonikus térkép már gyakorlati célokra – pl. egy-egy létesítmény helyének a földrengésveszély vonatkozásában történő kiválasztására – is alkalmas. Megjegyezzük, hogy az emberi érdekek minden vonatkozásában megbízható földrengés-előrejelzési módszer napjainkban még nem létezik.

5. A magmás anyagmozgás vulkáni kifejlődése

5.1. A vulkanizmus fogalma

A **mágmas anyagmozgás** fogalmába valamennyi, a földkéregben zajló anyag- és energiaáramlás beletartozik, a magmaolvadék képződésének kezdetétől az endogén hőfluxus elhalásáig. A mozgó anyag halmazállapota és kihülési-kristályosodási jellege alapján négy típusa – likvidmágmas, kontakt, utómágmas, vulkáni – különíthető el. Ezek közül a vulkáni az egyetlen, amely végső szakaszában túlhaladja a litoszféra külső határfelületét. A másik döntő különbség az anyagmozgás gyorsasága.

A vulkanizmus során a mélyből háromféle áramlás irányul a felszín felé: mechanikai mozgással **szilikátolvadék**, **hőáram** és elemmobilizációs, iondiffúziós, infiltrációs **anyagáram**. A felfelé mozgó kőzetanyag gyors mozgása következtében lényeges anyagi elkülönülés a mozgás állomásain, az elsődleges és másodlagos magmakamrákban mehet végbe (4.10. ábra). Az elkülönülés lehetőségeitől (kéregvastagság, kéregszerkezet, anyagmozgás sebessége, összetétel stb.) függ, hogy mennyiben tér el a felszíni, felszínközeli vulkáni anyag az elsődleges olvadékanyagtól.

lefutásának felel meg. A globális tektonika értelmezésében ezek a területek döntően a lemezszegélyek régiói.

Nyilvánvaló, hogy a kéreg blokkjainak mozgásritmusára vezethető vissza a vulkanizmus és a földrengések időbeli eloszlásában tapasztalt, nagyjából egyidejű intenzitásváltozás is. A magmás működés, mint endogén jelenségcsoport, a geoszinklinálisok – üledékgyűjtők – exogén feltöltődési – hegységképződési ciklusának kísérője is. E folyamat kezdetét a magmaaktiválódás, befejeződését az olvadék megszilárdulása jelenti. A mozgásmechanizmus alapján kezdeti (iniciális) és befejező (finális), valamint köztes, ún. későorogén vulkáni szakasz különböztethető meg. Mindegyik fázishoz sajátos összetételű és mechanizmusú vulkanizmus kapcsolódik. Azaz, a vulkáni működés karaktere pontosan jelzi a hegységképződés egy-egy fázisát.

Magyarországon már nincs aktív vulkáni működés. A földtörténeti múlt vulkáni tevékenységének kőzetanyagai főként az újkor miocén (riolit, riolittufa, andezit), illetőleg pliocén-pleisztocén (bazalt) korához kapcsolódnak.

6. A külső geoszférák mozgásai és azok hatása a földkéreg anyagára

6.1. A külső geoszférák mozgásainak általános jellemzői

A fenti alcímre adandó választ az alábbiakkal egészítjük ki:

- a mozgások a komplex anyagmozgási feszültséglejtőt követve, a $p - T - c$ különbségek kiegyenlítődése irányában hatnak, miközben a kéreganyag szelektíve mobilizálódik (mállás + szállítás);
- a mozgásintenzitástól (térben és időben) függően a kéreganyag szelektíve, zónákba rendeződve lerakódik (lerakódás). A változások az egymás melletti állapotok (zónák) egymás fölé tolódására vezetnek;
- az intenzitásváltozások időritmusa a képződmények ritmikus térbeli ismétlődésében nyilvánul meg;
- a külső geoszférák kiegyenlítő munkájának terét a belső geoszférák biztosítják, lepusztításnál emelkedő, lerakódáskor pedig süllyedő tendenciájú mozgásukkal.

Összefoglalva: a külső geoszférák a földkéreg fejlődési folyamatában a szelektív mobilizálódás (mállás + szállítás – transzportáció) és a lerakódás (akkumuláció + üledékképződés – szedimentáció) funkcióit töltik be. A kéreg anyaga fellazulva, összetételében megváltozva, vízszintesen elmozdul. A folyamat jellegének eltérései az adott közeg (szél, víz, jég, gravitáció stb.) minőségi és mozgásbeli különbségeire vezethetők vissza.

E folyamatok felismerését megkönnyíti, hogy a kéreg felszínén jelenleg is zajlanak, és határozott nyomokat hagynak. Összhatásuk a klímazónák rendjében változik. A kéreg egyenetlenségei foltszerűen adott klímazónán belül is kiválthatják a szomszédos vagy távolabbi zónákra jellemző mechanizmusát (pl. a Kilimandzsáro hóhatár feletti része).

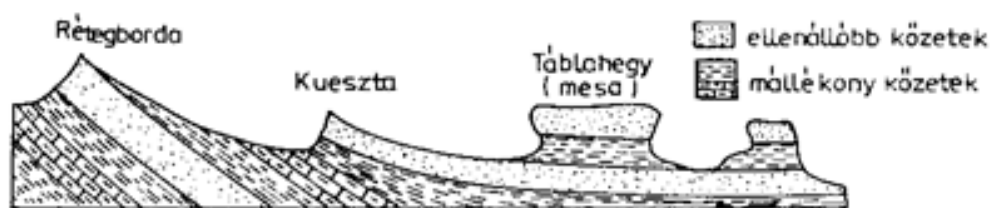
6.2. Az atmoszféra hatása a földkéregre

A legritkább anyagú valamennyi geoszféra közül, következésképpen itt a legkisebb a benne levő anyagra (pl. szilárd szemcsékre) ható felhajtóerő és a viszkozitás. Ezért a szelektálódást szabályozó főerő a szél (8ami a levegő vízszintes elmozdulása az izobárfelületek mentén a

gradiens irányában) sebességéből adódik, és igen élesen választja el fajsúlyuk és szemcseméretük szerint a lebegésben tartott szilárd anyagokat. A szél által szállított és lerakott szemcsék szemeloszlása meredek, egymaximumos görbe. Az anyagmozgatásban csupán az atmoszféra legalsó része, a troposféra játszik szerepet, bár az igen finom por 1600 km-es magasságba is feljut. A szél, amelyet a Nap sugárzó energiája kelt és tart mozgásban, csak száraz (arid) klíma mellett képes a kéreg anyagának elmozdítására.

Ilyen szempontból a száraz (sivatagi) övek rendszerint leszálló jellegű szélrendszerei jelentősek.

A szél pusztító munkájának (defláció) morfológiai jegyei a deflációs tanúhegyek (4.11. ábra), platók, szélbarázdák, medencék stb. A lepusztítás a mindenkori talajvízszintig folyhat.



4.11. ábra
Szélerózióval keletkezett (deflációs) felszínformák

Építő munkáját (eolikus akkumuláció) a szelektíve lerakott futóhomokos övezetek, barkánok, dűnék, löszvidékek stb. jelzik. A változó irányú szél csiszoló munkájának eredménye az ún. sarkos kavics is.

Hazánkban példaként a nyírségi futóhomok, a hajdúsági és a mezőföldi lösz említhető. A lösz nem hullik – az ún. hullóporból alakul a nedvesség és a növényzet hatására kohéziót mutató lösszé. Lepelszerű lerakódásokat formál, amelyeket a jelenlegi nedves klíma roncsol. Szakadékok, mélyutak, partrogyások jelzik a folyamatot.

A szél romboló tevékenységét őrzik a Kisalföld peremének tanúhegyei (Somló, Ság), ahol az eredeti térszín mintegy 150 m-es vastagságban pusztult le a földtörténeti negyedkor száraz, hideg klímájú időszakában (4.12. ábra).



4.12. ábra
A balatonfelvidéki "tanúhegyek". A bazaltsapkák alatt települő üledékeket az erózió kevésbé érintette. Az elválások következtében azonban a bazaltkúpok – elsősorban oldalirányban – maguk is erőteljesen pusztulnak; e mállás látványos jelei az ún. bazaltorgonák (pl. Badacsony)

6.3. A hidroszféra hatása

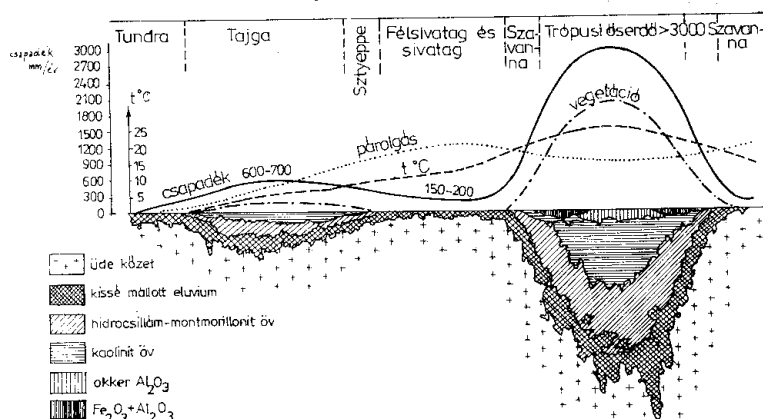
Az atmoszféránál sűrűbb, nagyobb viszkozitású, halmazállapot-változásra hajlamos geoszféra. Cseppfolyós (víz) és szilárd változatának (jég) szempontunkból való elkülönítése földrajzilag és mechanizmusát tekintve is célszerű.

A víz szerepe a mállásban a következő: A víz-jég átmenet mechanikailag **lazítja** a földkéreg építőelemei közötti kapcsolatokat. A víz szelektíve **oldja** a kéreg szilárd anyagait, a szemcsék körül hidratburkot hoz létre, csökkenti a súrlódást, növeli a mobilizálódás lehetőségét. Elmozdulva magával ragadja a szilárd kéreg részecskéit (közegellenállás), ezzel hozzáférhetővé teszi a még érintetleneket.

Nyilvánvaló, hogy a víz-jég átmenetből fakadó fellazítást a melegebb klímaövekben az ásványok, kőzetek hőtágulása veszi át. A mállás ezen típusának szelektivitása a mikrorepedezettségre való hajlamtól függ.

A földkéreg döntő hányadát képviselő térszilikátok vegyi mállása elsősorban a hőmérséklet és a vízmennyiség függvénye, ezért optima a bő csapadéku forró égőveken alakul ki. A szilikátok felületén kohéziósan kötődő víz a molekulák dipól jellege révén rendeződik – az egyik H^+ -ion bediffundál az alumínium-szilikát rácsába, részben elfoglalva az alkáliák, alkáliföldfémek helyét. A szabadon maradt oxigén-ionok taszítása nyomán a szerkezet gyökökre, doménekre esik szét – ezek válnak az agyagásványok építőköveivé.

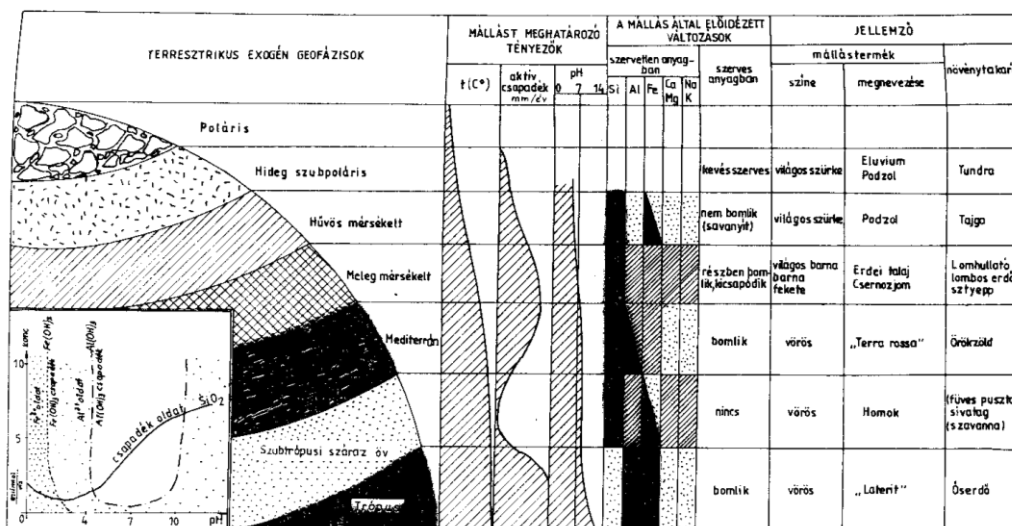
A fenti folyamat hatékonysága a klíma függvénye (4.13. ábra).



4.13. ábra

A víz szilikátbontásának hatékonysága az éghajlati övek függvényében

A talaj – mint mállási termék – összetétele a szelektálódás jellegétől függ. A Na és K mobilizálódik a legkönnyebben – a K-tartalmú (anyag)kőzetből illitfélék, a Mg-tartalmúból közepes csapadékmennyiség mellett montmorillonit-félék képződnek. Az alacsony pH és a bő csapadék a kis kavasvartartalmú kőzetekből kaolinitfélék képződésének kedvez. A Fe-, Al- és Si-ionok oldódása a pH függvénye. Az alkáliák és alkáliföldfémek lúgos, a szerves (humusz-) és szervesetlen savak pedig savas pH-értékű közeget alakítanak ki. Következésképpen a klímazónák pH-juk révén a három említett főelem természetes dúsulási övezetei. A kapcsolódó geofázisok viszonyait és azok talajképződési kihatását a 4.14. ábra mutatja.



4.14. ábra

Az anyagmozgás (rendeződés) jellemzői az exogén geofázisokban

A mérsékelt égöv viszonyai savanyú vagy intermedier pH-t alakítanak ki, ezért az Al és Si laza agyagásvány-szerkezetekben kötődik.

A másik vegyi mállási folyamatsor, amelyben a víz oldószerként működik, a mészkőhegységek pusztulása, a **karsztosodás**. A vegyi folyamat az alábbi:



A CO₂ oldatból való távozásával a CaCO₃ kiválik. A kiválás oka lehet a nyomás csökkenése, hőmérséklet emelkedése vagy a CO₂ (pl. vízinövények általi) elhasználódása. A kiválás (az egyetlen eset, mikor a víz nem nivellál, hanem épít) jelei a cseppkövek, édesvízi mészkő (travertino). Az oldódás nyomait morfológiai jegyek tömege őrzi felszínen és felszín alatt egyaránt (karmezők, víznyelők, zsombolyok, karsztforrások, barlangrendszerek stb.). Ezekre hazánkban is számos példa akad (Bükk, Észak-Borsodi Karsztvidék). A bauxit, mint fosszilis trópusi málladék, és a dunántúli barnaszentlepek egy része az egykori öskarszt negatív felszínformáiban halmozódott fel, illetőleg alakult ki.

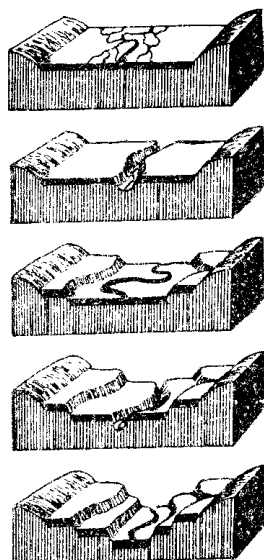
Az oldás témakörénél maradva a szulfidokat említjük meg. Víz és oxigén hatására elbomlanak, módosulásuk reakciósora az ércásványból (pl. piritből) vas-hidroxid és kénsav keletkezésére vezet. Az ilyen zónák közelében agresszív talajvizek tárthatók fel.

A víz nyugalmi és áramló állapotban mechanikailag is szelektál – nyugalmi állapotban a lebegő részecskék szemcsemérete és fajsúlya szerint (főerő a gravitáció), áramlása során pedig a sebességtől négyzetesen függő mozgási energiámmennyiség a meghatározó.

A szállított anyag összetétele és jellege a szállítási pálya (vízválasztótól az erózióbázisig), vagyis a lehordási terület kőzetanyagától, valamint a szállítás mechanizmusától függ. A kőzetanyagok részben mechanikailag (kopás, aprózódás), részben vegyileg változnak. Az előbbi kedvező feltételeket teremt a felülethez között oldódási folyamatoknak, ugyanakkor mechanikailag ellenállóbb formák (a szögletes kőzetdarab könnyebben aprózódik, kopik, mint a gömbölyű) alakulnak ki. Az állóvizet a mechanikailag és vegyileg egyaránt legellenállóbb (nagy keménységű, nem hasadó oxidok, szilikátok: SiO₂, TiO₂, ZrSiO₄ stb.) ásványok érik el.

A folyóvizek mozgási energiája és a hordaléktömeg elszállításához szükséges elvi mozgási energia viszonya határozza meg a folyóvíz építő és romboló tevékenységét, és az ehhez kapcsolódó morfológiai-lerakódási viszonyokat (szakasz-jelleg). A folyóvízi szállítás tér- és időbeli intenzitásváltozásai a vízgyűjtő területtel, a klímával, a medervonal állapotával és az erózióbázissal kapcsolatosak.

Az előbbieket adják az alapot a folyók teraszképző tevékenységének (korábban lerakott hordaléktömegekbe való – esetleg ismételt – bevágódás) magyarázatára (4.15. ábra). A Közép-Európában kimutatható hét terasz rendje részben a klímaváltozások (eljegesedési időszakok), részben a tektonikai mozgások áttételes ritmusát tükrözi.



4.15. ábra

A teraszképződés mechanizmusa.

A lerakott üledék elszállításához a folyó mozgási energiájának növekedése szükséges.

A jelenség (ritmikus) ismétlődése több teraszt is kialakíthat

6.4. A jég hatása

E hatás színterei a magashegységek és a pólusok környéke. A szilárd halmazállapotú mozgásba bekerült kéreganyag nem osztályozódik, csak bizonyos felületeken kopik és kémiai összetételben nem, vagy alig változik (az alacsony hőfok a kémiai folyamatokat lassítja).

Hazánkban ilyen folyamatok jelenleg nem működnek, mindössze a kb. 1 millió évvel ezelőtt kezdődött, és mintegy 12 000 éve tárhatók fel. Befejeződött jégkorszaki eljegesedéseket kísérő klímaváltozások ritmusa őrződött meg az üledéksorok váltakozásában, a lejtők talajfolyásos (szoliflukció, krioturbáció) rétegzavaraiban. A Kárpát-medence a jégkorszakban sem tartozott az eljegesedett területek közé.

6.5. A kéregfelszín gravitációs mozgásai

Ilyen típusú a mozgás, ha a szilárd részecskék közötti kohéziót a gravitációs erők meghaladják, ami a kohézió csökkenésével jöhet létre. Ez utóbbit a külső geoszférák szabályozzák, klímaövenként eltérő módon. Poláris klíma mellett a víz-jég állapotváltozás a döntő (kőfolyások, kőfűlkék). A szubpoláris viszonyok alatt ehhez a kohéziót csökkentő vízburok nyomán kialakult talajfolyások járulnak. A klíma az agyagos rétegekben sajátos

rogyási formákat alakít ki (suvaszás). Száraz sivatagi klímában a szilárd kőzetek kapcsolatait a hőingadozás lazítja fel. A hegyomlások klímaterületekhez nem köthetők – az alámosásokkal, földrengésekkel, tektonikai mozgásokkal mutatnak kapcsolatot.

7. Az üledékgyűjtők feltöltődése (akkumuláció), kőzetté válás (diagenézis)

7.1. Akkumuláció

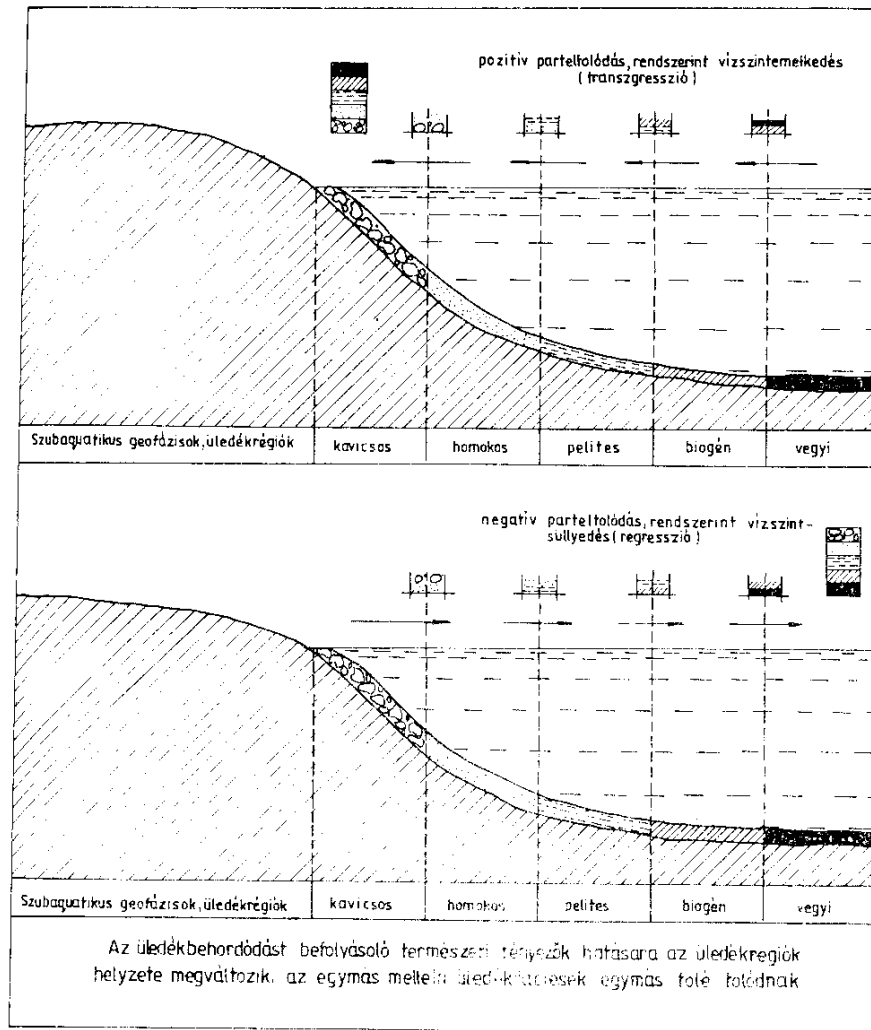
Területétől és mélységétől függetlenül a földfelszín minden olyan mélyedése üledékgyűjtő, amelyben a litoszféra mobilizált anyaga felhalmozódik. Szorosabb értelemben csak a vízzel kitöltött mélyedések üledékgyűjtők – ezek két típusa a tavak és az óceáni medencék.

Eltérés a két típus között, hogy a tavak – mint a szárazföld üledékgyűjtői – hosszabb-rövidebb idő alatt feltöltődnek, tehát a bennük zajló anyagmozgási folyamatoknak határozott kezdete és vége van. Az óceánok feltöltődése azonban – az óceánközépi kéregtágulás miatt is – elvileg csak a nagyon távoli jövőben következhet be.

Az óceánok szegélyövezetei a kéreg vastagsági és minőségi különbségei, a szerkezeti mozgások jellege, valamint a folyamatosan és aszimmetrikusan érkező átmozgatott üledéktömegek terhelése miatt mobilisak. A kezdeti stádiumban süllyedés jellemzi őket, fejlődésükben önállósulnak, jellegükben elválnak az óceánmedencéktől. Később – magmás hatások által kiváltva és kísérve – kiemelkednek (hegységképződés-orogenezis), vagyis a hegységképződési övezetek a néhai, feltöltődő óceánszegélyi árokrendszerek helyén alakulnak ki.

A geoszinklinálisok területénél nagyságrendekkel kisebb kiterjedésű tómedencék genezistől (beleértve a mesterséges tavakat, tározókat is) független jellemvonása, hogy képződésük pillanatától megindul a megszűnésükre vezető feltöltődés.

Az üledékképződés szelektivitása miatt a behordási zónától való távolság függvényében az üledékrégiók alábbi rendje alakul ki: kavicsos-homokos-pelites (nagyon finom szemcsés) – vegyi. A sorrend a feltöltődés során változatlan. Az egyes régiók térbeli helye a lepusztulási terület, az áramló közeg és medence állapotainak változásaitól függően eltolódik. Az elmozdulások az egymás melletti üledékrégiók egymás fölé tolódását váltják ki. A partvonalnak az üledékgyűjtő felől nézve kifelé történő tolódása során a durvaszemcsés üledékekre finomabbak rakódnak (transzgressziós üledéksor), fordított esetben pedig regressziós üledéksor keletkezik (4.16. ábra).



4.16. ábra

Az üledékképződés egymás melletti zónáinak egymás fölé tolódásával transzgressziós vagy regressziós üledéksorok jönnek létre

A dinamikus rendszer tényezőiben elvileg az alábbi változások lehetnek:

A lehordási területen:

- tompuló morfológia,
- kifelé tolódó vízválasztó.

Az áramlási pályán:

- növekvő víztömeg,
- csökkenő sebesség,
- csökkenő hordalékmennyiség.

Az üledékgyűjtőben:

- vízmélység csökken,
- vízszint emelkedik,
- a szabad vízfelszín változik.

A fenti mechanizmus során kialakuló üledékrendet egyéb, "külső" változások is befolyásolják – ezek általában ritmikusan következnek be. A leggyakoribbak:

klíma – növényzet – kőzetminőség – morfológia.

Az üledéksorok két éles határfelület közötti szakaszai az üledékritmusok.

A vázolt általános kép alapján egy adott üledéksor nyomán számos, a földtörténeti múltra vonatkozó eseményre következtethetünk. Az események láncolatából és térbeli helyéből pedig a még feltáratlan tartományok várható viszonyai körvonalazhatók (földtani extrapoláció).

7.2. Diagenézis

A laza üledékek túlnyomórésze vízben rakódik le. A szemcsék közötti tér (pórustér) megtelik vízzel. Az üledékek azonban a rájuk települő további tömegek következtében fokozatosan növekvő nyomás- és hőmérsékleti tartományokba kerülnek. E folyamatok összessége a **kőzetté válás**, vagy diagenézis, amelynek során a laza üledéktömegből szilárd – üledékes – kőzet képződik. A kőzetciklus nyomán már ismert, hogy bizonyos nyomáson és hőmérsékleten a kőzetek átalakulnak, metamorfizálódnak. A diagenézis és a metamorfizáció határa ott van, ahol először jelennek meg olyan ásványok, amelyek üledékes viszonyok között nem keletkezhetnek. Ez a határ 300° C körüli.

A diagenézis során a **mésziszapból mészkő**, a **kvarchomokból homokkő**, az **agyagiszapból agyagkő** lesz. Rétegzettségük a palásság jegyeivé alakul. Így keletkeznek a palás agyagok és az agyagpalák.

A diagenézis kísérőjelensége a konszolidáció, amelynek ismérvei a tömörödés, fokozatosan csökkenő vízáramlás és víztartalom, valamint az, hogy a szemcséken és a pórusokat kitöltő vízen összességében átadódó (teljes) feszültség fokozatosan csupán a szemcséken át közvetítődő hatékony feszültségek formájában nyilvánul meg.

Fontosabb hatásai:

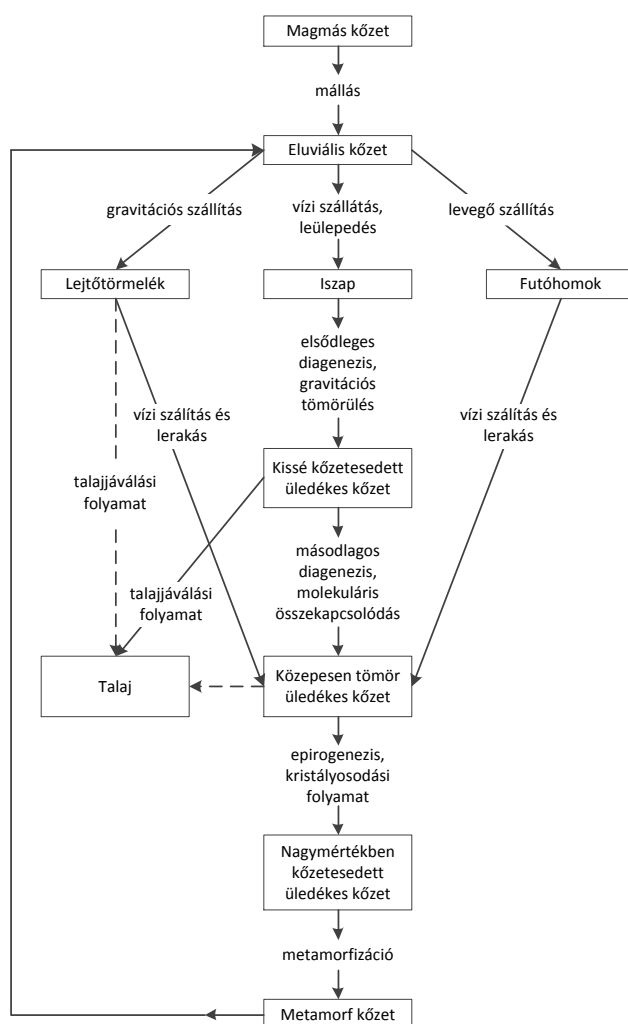
Növekszik:

Térfogatsűrűség
teljes és hatékony
feszültség
teherbírás

Csökken:

áteresztőképesség
pórustérfogat
víztartalom
semleges feszültség
kompresszibilitás

Az elmondottakat a 4.17. ábra segítségével célszerű áttekinteni.



4.17. ábra
A diagenezis mechanizmusa és "termékei"

KŐZETFAJTA	MECHANIKAI SÉMA
Magmás kőzet, szilárd és repedezett	Teljesen szilárd anyag
Kohézió nélküli vázta- és iszapok (mozgatott és gravitációs kőzetek)	Szemcsés halmaz
Vízben ülepedett (talajszuszpenzió, iszap)	Kohéziós talajok
Gravitációsan konsolidált talajok (gyengén tömör lencsés agyag, és puha agyag)	Porózus anyagok: a) pórustér vízzel kitöltve
Molekuláris kötésű talaj (tömött vizes agyag, lösz, gyengén tömör homoktalajok)	b) háromfázisú talaj
Másodlagos ismételt tömörödés, szilárdulás a) kristályosodási tömörödés (márga, agyagpala)	Porózus anyagok kohéziós szerkezettel
b) kristályos szilárd kapcsolat (homokkő, krist. pala)	Teljesen szilárd anyagok

8. Rétegtani alapismeretek

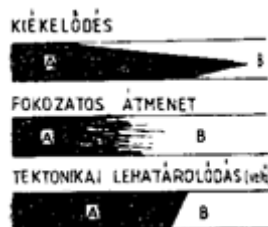
8.1. A réteg, rétegződési típusok

A földtani események térben és időben zajlanak. E kettősség tükröződik egy adott kőzetoszlop kőzetrétegtani (litosztratigráfiai) és időrétegtani (kronosztratigráfiai) tagolásában. Az összetartozó és egymással hierarchikus viszonyban levő kategóriák:

Tér:	Idő
réteg (rétegtan)	korszak
tagozat	kor
formáció	időszak
formációcsoport	idő

Legszűkebb kategória a réteg, legtágabb a formációcsoport. A réteg az a szedimentációs (üledékes) egység, amely lényegében állandó környezeti feltételek mellett képződött. Az egymásra települő rétegeket a réteglapok (szöveti és/vagy anyagi elváltozások felületei) választják el egymástól. Keletkezésük az üledékképződés szünetével, a lerakódási feltételek

változásával és az egykori erózióval állhat kapcsolatban. A réteglapok egymáshoz viszonyított térbeli helyzete adja a réteg alakját (párhuzamos, sík- vagy görbült felületek stb.). A réteg vastagsága néhány mm és néhányszor 10 m között lehet, oldalirányban kilométeres, vagy ennél is nagyobb távolságokra terjedhet. Az oldalirányú elvégződés változatait (kiékelődés, fokozatos átmenet, tektonikai lehatárolás) a 4.18. ábra szemlélteti.



4.18. ábra
A réteg oldalirányú végződésének típusai

Sokszor a rétegen belül is makroszkopikusan megkülönböztethető kis rétegek (lemezek, laminák) vannak. Ezek vastagsága ritkán több 10 mm-nél.

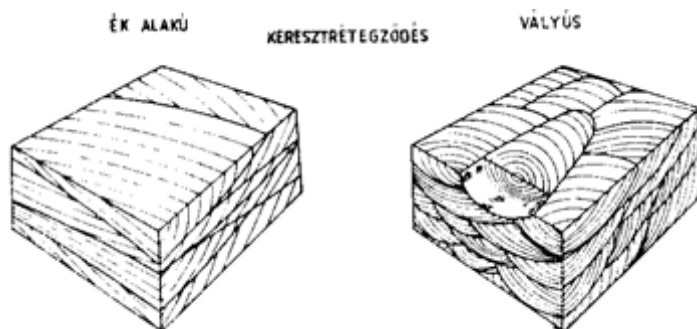
A rétegzés az **üledékes** közettestek jellemzője. Kivételek a mészkőzátonyok és a hirtelen lerakódó üledékek (breccsa- és homoktestek stb.). Megsemmisíthetik a rétegzettséget a fenéklakó szerkezetek is, csekély idővel az üledék lerakódása után.

A rétegzés formái: – párhuzamos (horizontális),

- kereszt- vagy ferderétegzés,
- flázeres (fűzérés) és lencsés,
- konszolidáció előtti atektonikus deformációs szerkezetek (pl. iszaprogtyások, csuszamlások alakítják ki).

A párhuzamos rétegzés álló, vagy laminárisan mozgó vízben alakul ki. A rétegek eredetileg vízszintesek – nyilvánvalóan később a tektonikai mozgások hatására megdőlhettek.

Keresztrétegzésnél a réteglapok metszik egymást, általában görbült felületek. Kialakulásához a szemcsés üledék fodrosodását kiváltó áramlási sebesség szükséges. Az áramlási sebesség irány- és méretbeli változásai különféle, rendkívül változatos keresztrétegzési és lencsés típusokat alakítanak ki (4.19. ábra).



4.19. ábra

A füzéres rétegzés a keresztarétegzés változata. A homokhullámok vályúiban és néha a tarajokon is finom szemcséjű sávok (flázerek) vannak. Keletkezéséhez áramlás és nyugalom váltakozása, valamint homok és pélit (iszap + agyag) szükséges. Elsősorban a lapos partok sávja mentén képződik.

Lencsés rétegződésnél a pélites tömegben pl. a **homok** elszigetelt lencsék formájában van jelen.

8.2. A formáció

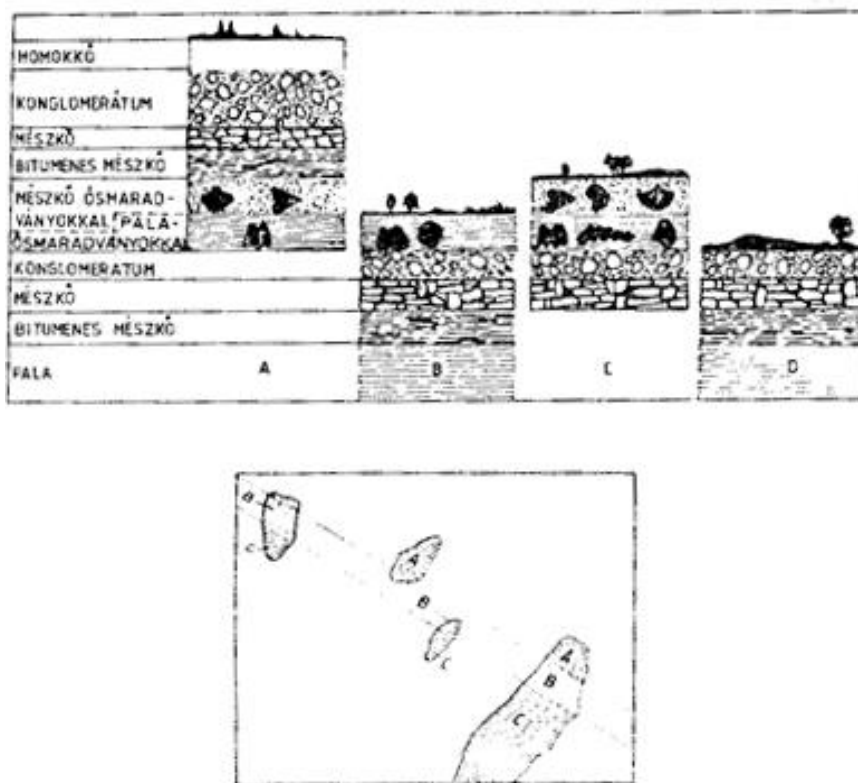
A terepen felismerhető és a szomszédosaktól megkülönböztethető kőzettest. Üledékes, metamorf és magmás is lehet. Vastagsága méterestől több ezer méterig, horizontálisan több száz km-re is kiterjedhet. Ha időközben az üledékképződés folyamatos volt, az egyik formáció vertikálisan fokozatosan megy át a másikba – a település konkordáns. Ellenkező esetben diszkordáns településről van szó (4.20. ábra). A diszkordancia mindig az üledékképződés szünetét jelzi. A formációk felismerése a geológus terepi munkájának alapja. Az elnevezésük általában a lelőhelyre és a kőzettani kifejlődésre utal: pl. kiscelli agyag, budai márga.



4.20. ábra
Eróziós és szögdiszkordancia

8.3 A kőzettani (litológiai) korreláció

Geotechnikai szempontból is nagyon lényeges dolgot jelent: a kőzetrétegtani egységek felismerését, nyomon követését, azonosítását. Eszközei sokfélék: helyszíni bejárás, légi fényképezés, űsmaradványok, anyagi és szerkezeti tulajdonságok összevetése, fúrások, geofizikai mérések stb. A vertikális és csapásmenti korrelációra mutat példát a 4.21. ábra.



4.21. ábra
Vertikális (felső ábra) és csapásmenti (alsó ábra) korreláció

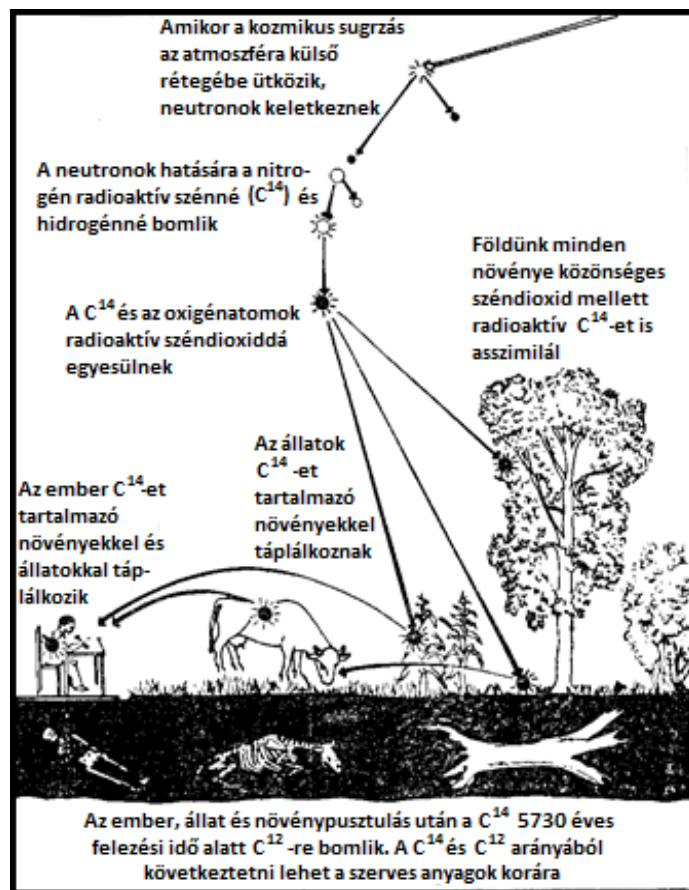
8.4. Kormeghatározási módszerek

Az egymásra települő kőzettestek közül – ritka kivétellel – az alul levő az idősebb (települési törvény). Ilyen módon megállapítható a kőzetoszlop és az azt kialakító földtörténeti események egymáshoz viszonyított ún. relatív kora.

A kőzetekbe zárt radioaktív elemek átalakulása lehetővé teszi a kérdéses kőzet, ásvány abszolút korának meghatározását is. A radioaktív bomlás irreverzibilis folyamat, sebessége állandó és független a környezettől. A valamely kőzetben mért radioaktív elem és inaktív végtermék mennyiségi arányának és a bomlás felezési idejének ismeretében számítható a kőzet keletkezése óta eltelt idő. A mérésre felhasznált radioaktív elem és a végtermék adja a módszer nevét (U-Pb, Rb-Sr, K-Ar stb.)

A hibalehetőségek miatt az abszolút kormeghatározás fogalma bizonyos mértékig helytelen, célszerűbb rádiometrikus korokról beszélni.

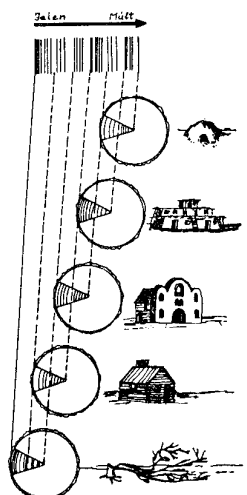
A földtörténet legfiatalabb korú eseményei az említett módszerekkel nem datálhatók. Legfeljebb 50-70 ezer évet fog át az ún. **rádiokarbon**-módszer. Felezési ideje 5730 év. Az atmoszférában – így az élő szervezetekben is – bizonyos C^{14} -egyensúly áll be, ami a szervezetek elhalását követően a C^{14} bomlásával megváltozik (4.22. ábra). A módszert elsősorban a régészet alkalmazza.



4.22. ábra
A radioaktív szénizotóp keletkezése és útja a szerves anyagokban

Korlátozott időtartamban ugyan, de kormeghatározásra alkalmasak az üledékképződés ritmusán és sebességén alapuló eljárások is. A jégkorszakban a belföldi jég szélén lerakódó agyagképződmények finom – félèves felbontású (világos, homokos nyári üledékek változnak a sötét, agyagos téli üledékekkel) – rétegeinek megszámlálásával az egyes jégkorszakok időtartamára lehetett következtetni.

Az évgűrűk számlálása, korrelációja, jellegzetességei az utolsó 8000 év földtani (pl. földrengések) és régészeti eseményeinek datálását teszik lehetővé. Az évgűrűk szélességéből a múlt klíma- és időjárás-változásai nyomozhatók (4.23. ábra).



4.23. ábra

Az évgűrűs kormeghatározás alapelve az egymással átfedésben levő évgűrűk illesztésével összeállított "végtelen fa"

A hazai szóhasználat a földtörténeti ősz-, ó- és középkor képződményeit alaphegységnek nevezi, akkor is, ha az elvi rétegsorból bármelyik hiányzik. A fiatalabb kőzeteket a "fedőhegység" és/vagy "medenceüledékek" címszavak jelzik.

V. Magyarország földtörténete

Hazánk földtörténetének főbb mozzanatai időrendben az alábbiak (5.1. ábra).

Az őskort nagy mélységben megszilárdult magmás kőzetek és metamorf palák képviselik – túlnyomórészt eltemetődve, ezért csupán mélyfúrásokkal tárhatók fel. Néhány példa:

<i>Lelőhely:</i>	<i>Kor:</i>	<i>Kifejlődés</i>
<i>Pusztaföldvár</i>	$7-8 \times 10^8$ év	<i>csillámpala</i>
<i>Sopron-Lővérek</i>	6×10^8 év	<i>csillámpala</i>
<i>Mecsek</i>	10^9 év	<i>gránit</i>

E kőzetek két okból nem tartalmaznak ősmaradványokat. Egyrészt a nagyfokú átkristályosodás minden nyomot eltüntetett, másrészt az ebben a korban élt lények szilárd – tehát ellenállóbb – vázzal (különösen mészvázsal) nem nagyon rendelkeztek. Ez a magyarázat az ilyen ősi mészkőtömegek hiányára is.

*A földtörténeti őskort magmás, üledékes és metamorf kőzetek egyaránt képviselik. Az ordovícium és a szilur homokos-agyagos üledékei a Balaton mentén, a Kőszegi-hegységben és a Mecsek peremén **felszínre bukkannak**. A devon őstengerében már meszes üledékek váltak ki – ősmaradványaik trópusi klímára utalnak. A tengeri üledékeket helyenként a tengeralatti vulkanizmus kőzetei szakítják meg. A szilur és a devon határán ment végbe a kaledóniai hegységképződés, amely a hazai kőzetek gyenge átkristályosodását okozta.*

A karbon, amely Európában hatalmas kőszéntelepeket produkált (nevét is innen kapta), nálunk – süllyedő tengerpartok hiányában – nem hozott létre szénmezőket. Az ekkor induló és a földtörténeti középkorig tartó variszkuszi hegységképződés kristályos palák keletkezésével járt. A mozgás által

átgyúrt kőzetek magmás folyamatokkal kísérve emelkedtek ki. A variszkuszi gránit legismertebb lelőhelye a Velencei-hegység.

A kiemelkedés a tenger visszahúzódását okozta. Az ország nagy részén a perm időszakot sivatagi-félsivatagi éghajlatra utaló vörös színű, összeállt kőzet, a vöröshomokkő képviseli, amely a Mecsekben uránérc-tartalmú lencséket rejt.

A Bükk meszes üledékei gazdag élővilágról tanúskodnak. A perm vulkánosság emléke a kvarcporfir – egy része a lepusztulás miatt kavicskő (konglomerátum) formájában azonosítható.

A földtörténet középkora tengerelőntéssel indult, amelyből először homokkő- és márgarétegek, később hatalmas mennyiségű mészkő és dolomit képződött. Ez utóbbiak építik fel a Dunántúli-középhegység fő tömegét és a Kisalföld mélyét, egészen a Rába vonaláig. A triász mészkő hasadék- és üregrendszere tárolja a Zalaegerszeg környéki kőolajat. Mészkő építi fel a Naszályt, és – folytatódva a Börzsöny és a Mátra vulkáni tömege alatt – a Bükk-hegységet, valamint az észak-borsodi karsztvidéket is (cseppkőbarlangok!). Ekkor keletkezett a rudabányai vasérc (a bánya már kimerült), a perkupai gipsz és anhidrit.

A jurában – amely a hatalmas termetű őshüllők virágkora – főleg mészkőfeleségek keletkeztek, pl. a piszkei "márvány", ami egyszerű mészkő. A juratenger élőlényei közül az Ammoniták (a mai polipok rokonai) néhol kocsikerék-méretű maradványai láthatók a felszínen (Gerecse, Bakony).

A Mecsek környéki mocsarakban élő dús növényzetből keletkeztek feketekőszén telepeink.

KOR (MAI NAPTÓL VISSZAFELE SZÁMÍTVA)			IDŐSZAKOK, ILL. KOROK	FŐBB KÖZETEK	HOL TALÁLHATÓK?	TENGER, SZÁRAZFÖLD, HEGYSÉGGÉPZŐDÉS, VULKANIZMUS	ÉGHAJLAT	ÉRTÉKES KÖZETEK, ÁSVÁNYI KINCSEK	
ÚJKOR (KAINOZOIKUM)	Negyed	Időszak	Millió év	Jelenkor	futóhomok	Duna-Tisza köze		ásványvizek, tőzeg	
			2,5	Pleisztocén (jégkorszak)	homok, kavics, mésztufa, lösz	Alföld, elsősorban a Duna mentén, Dunántúl,	Szárazföld	változó hideg és meleg	mésztufa, lösz, kavics
	Harmad		12	Pannon	homok, agyag	Balaton-felvidék, Nógrád	Bazaltvulkánok, alig sós vizű beltenger majd tó	mainál melegebb	üveghomok, lignit, kőolaj, földgáz, CO ₂ , termálvizek, bazalt
			25	Miocén (az alsó pannon nélkül)	riolit, dácit, andezit, vulkáni tufák, mészkő, agyag, homokkő, kavicskő	É-középhegység, Alföld mélye, Mecsek	szigettenger, vulkánok	szubtrópusi	ólom-és cinkércsek, barnaköszén, kőolaj, földgáz, betonit, kaolin, perlit
			37	Oligocén	agyag, homokkő	Budapest, É-középhegység Alföld mélye	tenger és szárazföld is	kissé hidegebb	„kiscelli” agyag, hárshegyi homokkő, kőolaj (Bükk)
			65	Eocén	andezit, mészkő, homokkő, márga	Dunántúli-középhegység, Alföld mélye, É-középhegység előtere	tengerelöntés, lagúnák, szárazföld is	meleg szubtrópusi, trópusi	barnaszén (Tatabánya, Oroszlány, Dorog, Dudar), Rézérc (Recsk)
Paleocén	Kréta	mészkő, márga, „???” homokkő, kavicskő, (konglomerátum), vulkáni kőzetek (főleg diabáz)	Bükk	alpi hegységképződés, tenger, tenger alatti vulkánok, szárazföldek					
KÖZÉPKOR (MEZOZOIKUM)			135	Kréta	mészkő, márga, „???” homokkő, kavicskő, (konglomerátum), vulkáni kőzetek (főleg diabáz)	Dunántúli-középhegység, Megyek, Alföld mélye, Villányi hegység,	tenger, a Mecsekben parti mocsarak	nedves, meleg	Feketeköszén, (Mecsek) ”vörösmárvány” (Gerecse) Mangánérc (Bakony)
			195	Jura	Mészkő, („vörösmárvány”), homokkő, mészfilit, zöldpala	Kőszegi hegység			
			240	Triász	dolomit, mészkő, homokkő, vulkáni kőzetek (kvarcporfir, diabáz)	Dunántúli khg, Villányi hg, Mecsek, Cserhát, Bükk, É-borsodi karszt, Alföldek mélye	trópusi tenger, vulkánok	trópusi meleg	mészkő, dolomit, vasérc (Rudabánya), gipsz, (É-Borsod)
			285	Perm	vörös homokkő, kavicskő, a tengerben mészkő, vulkáni kőzetek (kvarcporfir)	Mecsek, Balaton-felvidék, Alföld mélye, Bükk	félsivatag, lagúna, részben tenger, vulkánok	félsivatagi	Uránérc (Mecsek), Gipsz (Mecsek)
			375	Karbon	gránit, márvány, enyhén kristályos palák, mészkő, homokkőpalák	Velencei-hg, Alföld mélye, Mecsek, Soproni hg, Szendrői-és Upponyi hg, Bükk, Füle???, Szabadbattyán	variszkuszi hegységképződés, trópusi tenger és szárazföld	trópusi nedves meleg, üledékképződés az egyenlítő közelében	ma már nem működő volt ólombánya (Szabadbattyán mellett), márvány (Rakaca)
			420	Devon	palás dolomit, mészkő, agyagpala, diabáz	Kisalföld mélye, É-borsod, Szabadbattyán	trópusi tenger, vulkanizmus (diabáz)	meleg	fehér kristályos mészkő, Szabadbattyán
ÓKOR (PALEOZOIKUM)			450	Szilur	palás kőzetek, (filit, agyagpala), kovabetelepülések	Balaton-felvidék, Kisalföld mélye, Mecsek	tenger	trópusi vagy mérsékelt (déli félgömbön)	
			520	Ordovícium					
			580	Kambrium					
			1600	Rifeikum (felső proterozoikum)	a gneisz, csillámpala (kristályos palák) eredeti üledéklerakódási kora	Alföld mélye, Mecsek, Zempléni hegység			Az Alföld medencealjzatának felső, repedezett részén kőolaj
			1900	Középső proterozoikum					
			2600	Alsó proterozoikum					
ŐSKOR	Archaikum			A Föld kora	A Föld keletkezési kora: 4,6 milliárd év. Az legidősebb életmaradványok a Földön 3500 millió évesek. (A legidősebb hazai kőzetek kora kb. 1 milliárd év)				
			4600						

Az induló alpi hegységképződési ciklus újabb kiemelkedést okozott a kréta időszakban. A mai Alföld területén tengervályú alakult ki, a Dunántúli-középhegység kiemelkedését követő karsztosodás töbreiben halmozódott fel jellegzetes mállási termékként a bauxit, mint az trópusi-szubtrópusi klíma egyik bizonyítéka.

Az újabb tengerelőntés az eocénben indult. Az ország területének csak egy részét érintette, a Dunántúli-középhegység bizonyos részei szigetként álltak ki. A part menti öblökben, lagúnákban keletkezett a barnaszén (Oroszlány, Tatabánya, Dorog, Nagygyeháza-Mány). A szénrétegek fedője néhol kőzetalkotó mennyiségű mészváz, az egysejtű Nummulinák vázait tartalmazza – ezeket hívják Szent László pénzének.

Az oligocénhez kötődik a téglagyártásra kiváló kiscelli agyag, és az ismert építőkö, a hárshegyi homokkő.

A miocénben erőteljes vulkánosság kezdődött. Kb. 20 millió évvel ezelőtt óriási törésvonalak keletkeztek Szentendre, Visegrád-Tokaj vonalában. A vulkanizmus főként andezitlávát, riolitot és riolituffot produkált. A feltörő gázok, gőzök – amelyek még néhol ma is szénsavas, kén-hidrogénes forrásokat hoznak létre – kőzetbontó hatására keletkeztek a kaolintelepek. További, ehhez a vulkanizmushoz kötődő nyersanyagok a perlit, bentonit, tűzálló agyag és kvarcit, valamint az ólom-, cink- és rézérc. A finom vulkáni porból, törmelékből és lávából felépülő térszint az erózió és a későbbi mozgások elroncsolták – így jött létre a Visegrádi-szoros, és így került felszínre a Cserhát mélyben megszilárdult kőzetanyaga. Maga a Mátra is egy hatalmas, kör alakú vulkáni gyűrű északi roncsa – déli fele az Alföld mélyébe süllyedt.

A miocén vulkánok lassan kialudtak, a medence újra süllyedni kezdett, nagyjából a mai Alföld és Kisalföld területét elöntötte a pannon tenger.

A fokozatosan kiédesedő beltenger feltöltődésével beltó jött létre. Ebben képződtek a Mátra és a Bükk előterében jelenleg is bányászott lignittelepek. A helyenként 5-6 km-es vastagságú pannon üledékek őrzik szénhidrogén-kincsünk túlnyomó részét, amelyek felfelé vándorolva (migrálva) a zárórétegek által kialakított csapdákban gyűltek össze. E rétegekben fordul elő a Kisalföld szén-dioxidja, valamint a termál- és rétegvíz kincsünk döntő hányada. A pannon tenger hullámverése hozta létre az igen tiszta, szinte azonos szemcsékből álló üveghomokot (Fehérvárcsurgó).

Az üledéktömegeket 1,5-2 millió évvel ezelőtt a bazaltvulkánok anyaga törte át, (Balatonfelvidék, Somoskő, Salgó). A megszilárdult láva megvédte az alatta települő üledékeket, jelezve az egykori térszint (Somló, Ság).

A bazalt vulkanizmus a jégkorszakba is átnyúlt. Az utóvulkáni hévízforrás-tevékenység legszebb emlékei a Tihanyi-félszigeten láthatók.

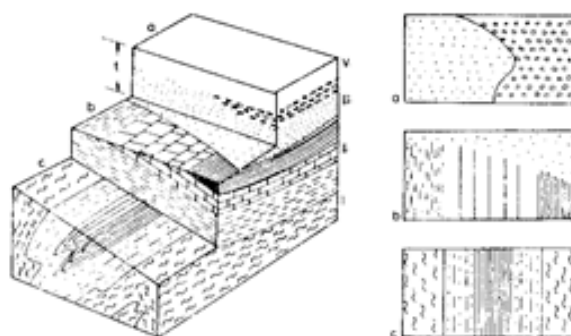
A negyedkor felszínformáló tevékenysége elsősorban a folyóvizek és a szél munkája – ekkor alakult ki a Dunántúl és az Alföld lösztakarója.

A földtani mozgások ma is zajlanak. A törésvonalak, törésszerek mentén emelkedések, süllyedések jellemzők, a deformációk esetenként földrengésekben oldódnak fel. Rendszerint törésvonalakhoz kapcsolódnak a meleg- és gyógyvízfeltörések is (pl. Budapest hőforrásai).

VI. A földkéreg felépítésének ábrázolása

A földtani térkép

A földtani térkép földtani adatokkal kiegészített topográfiai térkép, amely a közettani-szerkezeti felépítést bizonyos – egységesített – jelkulcs (színek, vonalkázás, pontbejegyzések stb.) segítségével ábrázolja. A részletes földtani térkép általában a terület altalaját – amelyet rendszerint 0,2-2,0 m vastagságú málladéktakaró fed – tünteti fel. A mélyebben települő képződmények ábrázolására ún. fedetlen földtani térképek készülnek. Ezek vagy bizonyos (általában a földtani kor szerint tagolt) fedőrétegek elhagyásával, vagy valamely megadott szintre vonatkoztatott síkmetszetben, végül a felszín alatt adott mélységben tüntetik fel a földtani felépítést (6.1. ábra).



6.1. ábra

A közvetlen altalaj térképe és a fedetlen földtani térkép.

Bal oldalon – különféle takartságú részletekkel a tömbszelvény, jobb oldalon az egyes szinteknek megfelelő földtani térképek láthatók

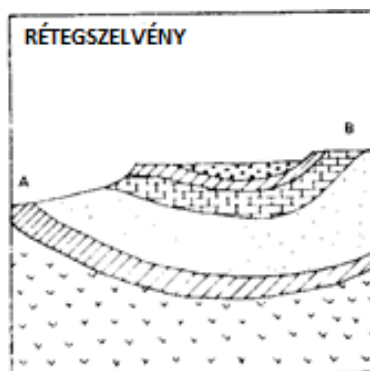
a) az altalaj a málladéktakaró elhagyásával; b) a felszíntől számított "t" mélységben levő rétegek; c) az V., III. és II. rétegösszletek elhagyva

Színes térképeken az általánosan elfogadott színekulcsot használják (nem megtanulandó!):

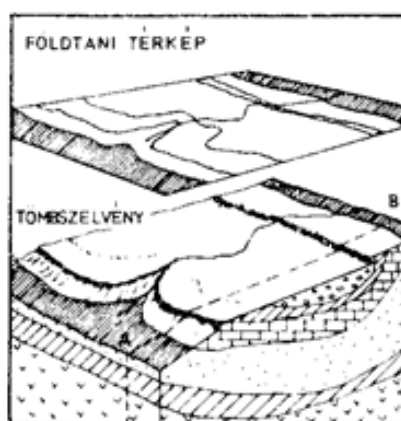
	Mostanáig	A jövőben
Holocén	fehér, kékes vagy zöldes	halvány zöldesszürke
Pleisztocén	halvány krémszínű	halvány sárgásszürke
Harmadidőszak	világos krómsárga	sárga, ill. barnássárga
Kréta	világoszöld	zöld
Jura	kék	világoskék
Triász	halvány-ibolya, rózsaszín, kékesszürke	ibolya
Felső perm	porosz-kék	barna
Alsó perm	barna	barna
Karbon	szürke	szürke
Ó-paleozoikum	szürkészöld, barnás zöld	szürkészöld
Proterozoikum	szürkés-narancs	szürkésbarna
Archaikum	szürkés rózsaszín	olajzöld, kékeszöld

A részletes és áttekintő földtani térképeken kívül készülnek még ösföldrajzi, szerkezeti (tektonikai), teleptani, talajtani, mérnökgeológiai stb. térképek.

Szemléletes kép nyerhető a földtani felépítésről az ún. **földtani szelvény – rétegszelvény** – (6.3. ábra) és a szelvényekből összeszerkeszthető **tömbszelvény** (6.4. ábra) segítségével. Könnyen áttekinthető ábrázolási mód a **kulissza-szelvény** is.



6.3. ábra



6.4. ábra

Kérdések!

1. Soroljon föl legalább húsz ásványt (név, összetétel) és válassza ki közülük a fontosabb kőzetalkotókat!
2. Nevezze meg hazánk néhány tájegységét és próbálja földézni az őket felépítő legfontosabb kőzeteket!
3. Milyen gondolatmenettel (módszerekkel) próbálná összeállítani két vagy több fúrásszelvény (rétegoszlop) függőleges korrelációját?
4. Nevezzen meg néhány vezérvölgületet, megjelölve a hozzárendelhető földtani kort is!

Ajánlott irodalom

- A Föld és fejlődéstörténete. Gondolat Könyvkiadó, Budapest, 1975.
- Báldi Tamás: A történeti földtan alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest, 1979.
- Hédervári Péter: Születő óceánok – haldokló tengerek. (A földtudományok forradalma). Kossuth Könyvkiadó, 1974.
- Horst Rast: A Föld naplójából. Gondolat, Budapest, 1975.

- Juhász Árpád: Évmilliók emlékei (Magyarország földtörténete és ásványkincsei). Gondolat Könyv-kiadó, Budapest, 1983.
- A Föld enciklopédiája – Földünk élete, Bolygónk születése. Helikon Kiadó, 1991.
- Kovács Lajos: Magyarország regionális földtana. Tankönyvkiadó, 1967.
- Larousse – A természet enciklopédiája. Földünk, az élő bolygó. Glória Kiadó, 1993.
- Papp Zoltán: Geotechnika I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1992. J 19-611
- Környezetvédelmi lexikon I-II. Akadémiai Kiadó, Bp. 1993.
- Carla W. Montgomery: Environmental Geology, USA – Iowa, 1986.
- Fülöp József: Bevezetés Magyarország geológiájába. Akadémiai Kiadó, Bp. 1989.
- Szedimentológia I-II-III. Szerk. Balogh Kálmán. Akadémiai Kiadó, Bp. 1991.
- J.D. Collinson – D.B.Thompson: Sedimentary Structures. George Allen and Unwin (Publishers) Ltd. London, 1982.

Az előbbiekkal az általános földtani ismeretek tárgyalását befejeztük. A következő – a hétköznapi mérnöki tevékenységhez közelebb álló, alkalmazott földtani – fejezetek részben az elmondottakra épülnek.

VII. Vízföldtani (hidrogeológiai) alapismeretek

1. A földi vízkészlet eredete, megoszlása

A klasszikus vízkeletkezési elmélet szerint a víz alkotóelemei eredetileg is teljes mennyiségben Földünk tartozékai voltak.

Kizárólag cseppfolyós állapotban csak a hőmérsékletnek a víz kritikus értéke (374 °C) alá csökkenését követően fordulhatott elő, a kritikus nyomást (22 MPa) meghaladó nyomásviszonyok mellett. A gőzfázis csak a kritikus nyomásnál kisebb nyomáson - és 374 °C alatti hőmérsékleten - jelenhetett meg. A hőmérséklet további (kb. 0 °C alá történő) csökkenése vezet a szilárd fázis (jég) kialakulásához.

Más elképzelések a földi vízkészlet egy részét a Napból az ún. szoláris szél révén érkező hidrogénnek és a földi légkör oxigénjének egyesüléséből származtatják.

A földbelsőben feltételezett hőmérséklet- és nyomásviszonyok alapján a víz alkotóelemei csak a külső köpenytől (Repetti-féle törésfelület) kezdődően létezhetnek. Tényleges jelenlétét a kéregben és a külső geoszférákban vehetjük biztosnak.

Eredetét és helyzetét tekintve két víztípust szokás elkülöníteni: a juvenilis és a vadózus vizet.

Juvenilis víz (iuvenilis = ifjú, fiatalos), amely a víz általános körforgásában nem vesz részt. Korábban a magmában felszínre jutó vízzel azonosították, azonban egyre több bizonyíték szól a magmában levő víz legalábbis egy részének felszíni eredete mellett.

A **vadózus víz** (vado, vadere = lép, megy; vadosus = sekély, zátonyos) a hidrológiai körfolyamatban résztvevő víztípus (a Föld őskorában ez is "juvenilis" víz volt). A vadózus vizek fajtái:

- kondenzációs. A földkéregbe hatoló levegőből a hőmérséklet-változás hatására kicsapódó víz. A talajvíz-háztartásban esetenként jelentős lehet;
- infiltrációs víz. A felszíni víz körforgásából a földkéregbe szivárgó víz;
- fosszilis víz. A talaj (kőzet) keletkezésekor került a pórusokba és ott helyben maradt.

A mélybe süllyedő rétegek önsúlyából adódó terhelés által kiszorított változatát konszolidációs víznek, a pl. földrengés miatti hirtelen tömörődéssel kiszoruló vízfajtát pedig vibrációs víznek nevezik.

- izzadmányvíz a felszínen a kőzetek által **kémiaiilag megkötött** - hidrolizált - víz, amelyet azok a mélybe süllyedés során leadnak.

Nyilvánvaló, hogy a felsorolt víztípusok a létezésükhöz szükséges hőmérséklet- és nyomásviszonyok révén meghatározott geoszférákhoz (geofázisokhoz) kötődnek.

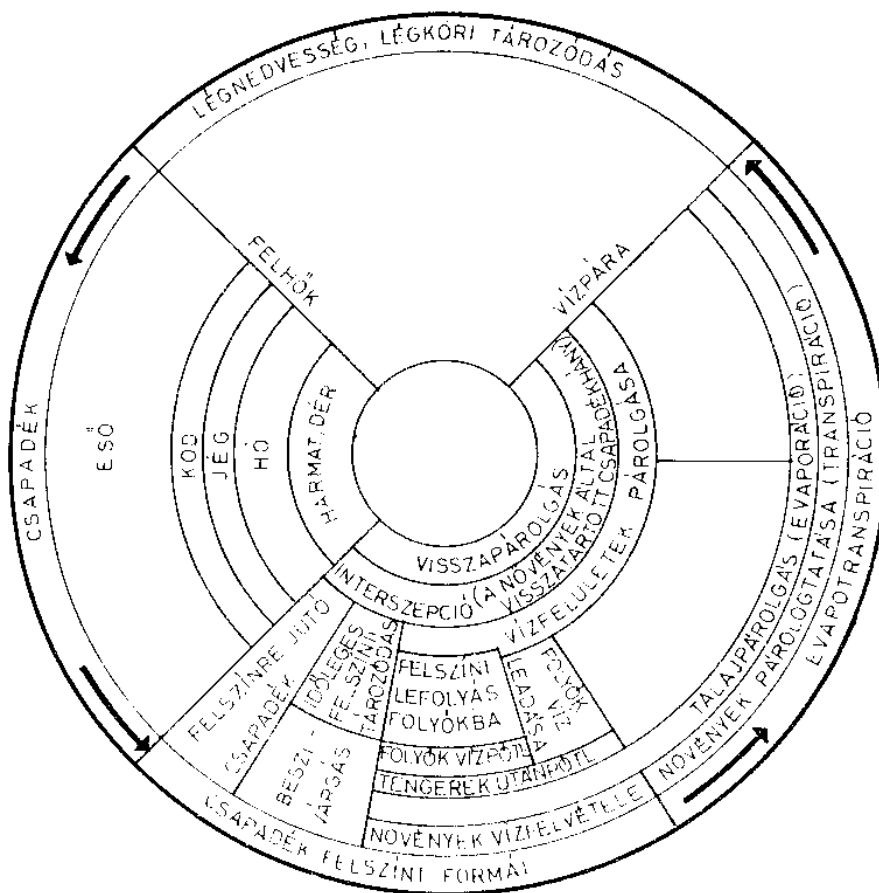
A juvenilis vizek, a vibrációs- és izzadmányvíz, valamint a konszolidációs víz elsősorban a nagyságrendekkel kisebb kéregbeli mozgássebességük miatt csak geológiai léptékben jelentősek. Következésképpen a felszín alatti vizek emberöltőnyi léptékben észlelhető utánpótlódása döntően a csapadék beszivárgó hányadából - az infiltrációs vízből - származik.

A Föld vízkészletének főbb megjelenési formái és megoszlása az alábbi táblázat szerinti:

	Víz mennyiség (1000 km ³)
Világóceán	1 320 104
Felszíni víz (folyó- és állóvizek, szárazföldi jég)	30 126
Felszín alatti víz (talaj-, réteg- és hasadékvíz)	8 467
Légkör vízkészlete	<u>13</u>
Vízkészlet összesen:	1 358 710

2. A víz körforgalma (hidrológiai ciklus)

Az óceánok, tengerek, a légkör és a szárazföld vizei állandó körforgásban vannak (7.1. ábra). A mozgást a Nap hőenergiája és a Föld nehézségi erőtere tartja fenn, illetőleg szabályozza.



7.1. ábra
A víz körforgalma

Az óceánok felületéről elpárolgott víz a légtérbe kerül, majd felhővé kondenzálódik, és csapadék formájában a hidroszférába és a szárazföldre hullik. A csapadék szárazföldre kerülő hányadának első része elpárolog, második része felszíni lefolyással, vízfolyások révén kerül a tengerbe, a harmadik rész pedig beszivárog a litoszférába. A beszivárgott víz sem esik ki a körforgásból, hanem a felszín alatt mozogva, hosszabb-rövidebb idő elteltével ismét a légkörbe jut.

Az eddigiekből már ismeretes, hogy a földfelszínen a légkör **állapotváltozásai** a döntőek. A légkör pillanatnyi fizikai állapota az "**idő**", ennek változása az időjárás. Egy adott földrajzi hely időjárási rendszere pedig az **éghajlat**, amelyet a légkör időben változó állapotjellemzőinek (időjárásának) statisztikai paraméterei határoznak meg.

Az időjárási vagy éghajlati elemek (napsugárzás, léghőmérséklet, légnyomás, légmozgás, légkör vízháztartása, jelenségei) fogalmát, közülük néhánynak a hatását - pl. a mállással kapcsolatosan - már megismertük. A későbbiekben a felszín alatti vizek révén részletesebben a léghőmérsékletről és a csapadékról lesz szó.

A hidrogeológiai jelenségek színtere a litoszféra. Elsősorban a vízkészlet-számítási, utánpótlódási (geohidrológiai) kérdések azok, amelyeknél a többi geoszférával való kapcsolat nem hagyható figyelmen kívül.

3. A felszín alatti vizek osztályozása

A víz a Föld belsejében elhelyezkedhet:

- a kőzet ásványi szemcséjében, illetőleg annak részeként;
- a kőzet (talaj) szemcséi közötti hézagokban (pórusok);
- a (szilárd) kőzet hézagocskáiban;
- a (szilárd) kőzet réseiben, hasadékaiban (litoklázisokban);
- barlang- és üregrendszerekben.

3.1. A kőzetanyaggal egy időben keletkezett, csak hőközléssel eltávolítható víz

Két típusa van. A **szerkezeti** víz a kristályrácsban fémes vagy nem fémes elemekhez kapcsolódó OH^- (hidroxil)-ion, amely hevítéskor - ha van oxigén - oxidálódik. A **kristályvíz** H_2O alakban vesz részt a kristályrács felépítésében, ezért hevítéskori eltávozása a kristályrács átalakulásával jár.

3.2. A szemcsék felületéhez kötött víz (a szemcséfelülettől való távolodás sorrendjében)

Adszorbeált, erősen kötött víz

A felületaktív (nem semleges) kőzetszemcsék adszorpciós erői által rögzített víz. Vékony felszíni hárttyát képez, vastagsága néhányszor tíz vízmolekula-átmérő. Sűrűsége közel áll a szilárd testekéhez, a belső molekulásor nyomása meghaladhatja a légkör nyomásának negyvenezeresét. Csak gőz halmazállapotban mozoghat.

Gyengén kötött víz (hárttyavíz + kapilláris víz)

A **hárttyavíz** vastagsága néhány száz vízmolekula-átmérőnél nem több. Jellemzője a vízmolekulák irányított helyzete, amelyet az adszorbeált kationok erőtere kelt.

A **kapilláris víz** kialakulásának fizikai feltételeit az olvasó már ismeri. Változatai: Az erősen kötött vízburkok és a meniszkuszok által határolt szemcséközi tartományok vize a **szegetvíz**, ezek összeolvadása a **finom kapilláris víz**. A **függő kapilláris víz** közel függőleges vízszál, vagy ezek összefüggő halmaza, amelyet **felülről és/vagy alulról meniszkuszok határolnak**. Ez utóbbi különleges esete a **szivárgó** (függő kapilláris) **víz**: ha a függő vízszál hossza

meghalad egy kritikus értéket, a gravitáció legyőzi a kapilláris erőket, megindul a **lefelé** szivárgás. A lefelé mozgó víztömeget **felül** meniszkuszok vagy gravitációs víztömeg határolja*. (A csillaggal jelzett esetre történő utalást lásd később!) Ha a függő kapilláris víz valahol megreked (pl. durva réteg felszínén), **támaszkodó kapilláris víz a neve**. A talajvíztükör feletti kapilláris tartomány vize **támaszkodó kapilláris víz**, és/vagy a kapilláris erők által **felfelé**, a párolgási felület irányában mozgatott **kapillárisan emelkedő víz** lehet. Ez utóbbi esetben az emelkedő víztömeget alulról szükségszerűen gravitációs víztömeg határolja (a csillaggal jelzett eset "tükörképe").

3.3. Szabad víz

A kőzetben a gravitációs erő hatására elmozduló víz az, amelyet a kőzetrészecskék erőtere már nem befolyásol.

A szilárd kőzetek hézagocskáiban, repedéseiben, üregrendszerében tárolt víznek a **fenti sorrendben** egyre kisebb része áll a kémiai, elektrokémiai, molekuláris és kapilláris erők hatása alatt, vagyis a gravitációsan kitermelhető vízmennyiség (szabad víz) és a tárolókőzetben lévő összes vízmennyiség aránya fokozottan közelít az egyhez.

A kőzetek víz (folyadék-)tároló képességének jellemzésére a gyakorlat két mérőszámot is használ:

- a hézagtérfogat (n) az egységnyi kőzettérfogatban lévő hézagok össztérfogata - hidrogeológiában a pórustér azon részét nevezik szabad hézagtérfogatnak (n_0), amelyből a víz gravitációsan kitermelhető;
- a hézagtelítettség (e) az adott kőzettérfogatban lévő hézagok és a szilárd halmazállapotú alkotók térfogataránya.

3.4. A szabad (gravitációs) víztípusok

A felszín alatti vizeknek a hazai gyakorlatban elfogadott osztályozását a táblázat ismerteti. A gyakorlatban döntő jelentőségű három vízfajta (talajvíz, rétegvíz, karsztvíz) pontosabb meghatározására később kerül sor.

Megjegyezzük, hogy a talajmechanikai gyakorlat talajvíznek nevez minden gravitációs víztömeget, függetlenül annak mélységétől, a tárolóréteg vastagságától, a nyomásviszonyoktól és a vízzáró réteg kiterjedésétől. A vízzáró rétegekkel elhatárolt víztartó szinteket felülről lefelé való számozással, "talajvízemeletként" különíti el. A talajmechanikai feladatok során előforduló vizek többsége azonban hidrogeológiai értelemben is valóban talajvíz.

4. A talajvíz

4.1. Fogalma

A felszínről a földbelső felé haladva az első nagykiterjedésű, hidrogeológiai értelemben vízzáró réteg fölött elhelyezkedő víztömeg. Felszínén általában a mindenkori természetes légnyomás mérhető, fiziko-kémiai tulajdonságainak, elhelyezkedésének, mozgásának változása pedig viszonylag rövid időn belül követi a körülmények (időjárás, mesterséges beavatkozás stb.) változásait.

A talajvíz és a későbbiekben definiált **rétegvíz** megkülönböztetésével kapcsolatos zavart (amit fokoz, hogy egységes szóhasználat még nem alakult ki) elkerülendő, hangsúlyozzuk, hogy a fenti meghatározás **nem zárja ki** a talajvíztartó réteg feletti vízzáró (fedő-)összlet **helyi** előfordulásait. A talajvíznek és a rétegvíznek az elhatárolása csupán a vízzáró fedőréteg jelenléte vagy hiánya alapján indokolatlan, hiszen nem biztos, hogy a helyileg közbetelepülő iszap- vagy agyaglencse **önmagában** lényegesen megváltoztatja a hidrológiai viszonyokat.

4.2. A felszín alatti vizek szintjének (a „talajvízszint”) fogalma

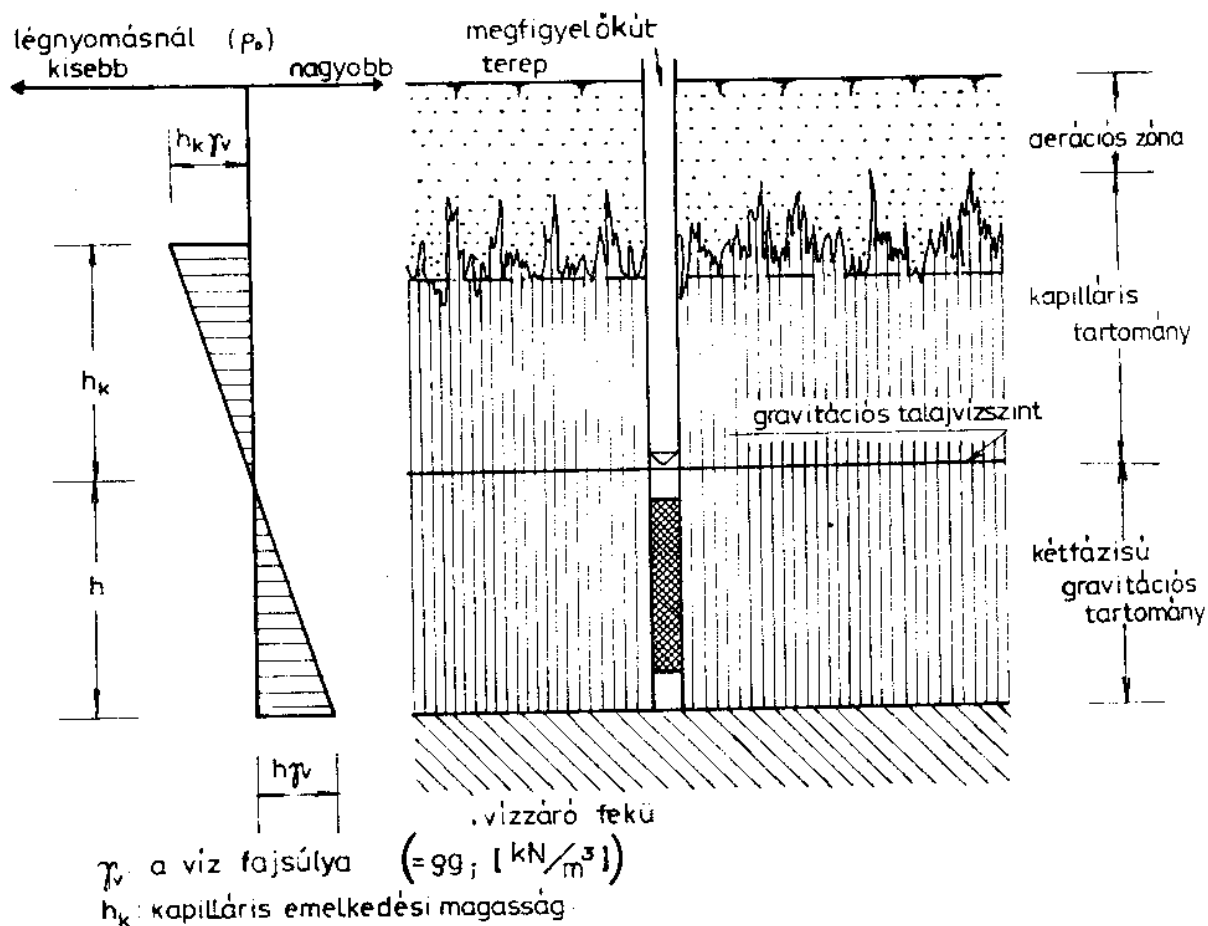
A talajvízszint az a szint (= geodéziailag meghatározható, általában a tengerszinthez viszonyított magasság), ahol az adott víztartóréteg mélységközében perforált falú, alul zárt, felül nyitott csőben (kútban) - legalább 6 órán át mozdulatlan - nyílt víztükör észlelhető.

Ha a víztartóréteg fedőjében vízzáró közet települ, a víztartót és a fedőt elválasztó határfelület **felett** beálló talajvízszint a **piezometrikus (nyomás-) szint**, vagyis az a **nyomómagasság**, ameddig a víztartóban tárolódó víz záróréteg hiányában emelkedne. Ebben az esetben a nyomásvonal **nem azonos** a víztest felső (geometriai) határfelületével. Nyilvánvaló, hogy a fordított eset - víztükör alatti nyomásvonal - nem fordulhat elő.

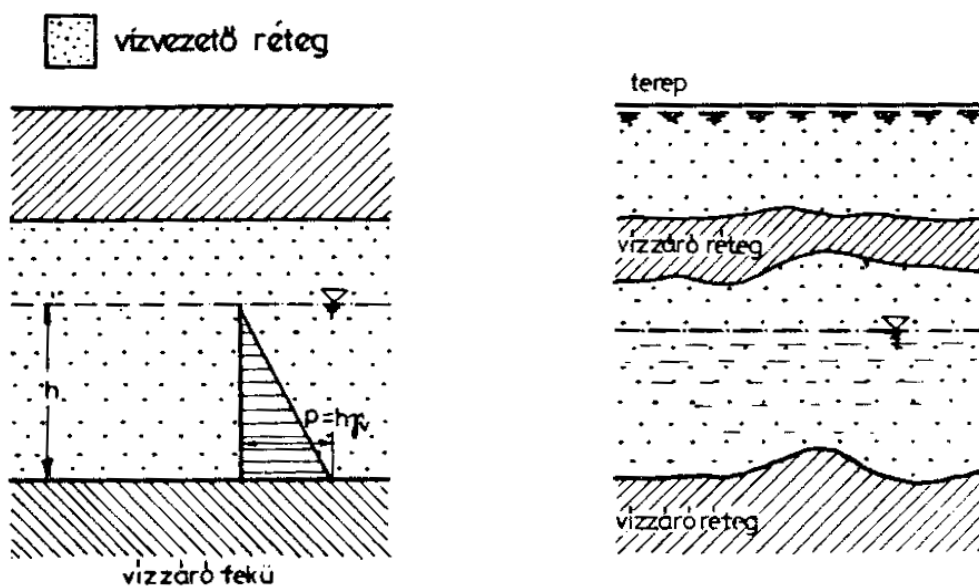
4.3. A víztükör nyomásviszonyai szerinti csoportosítás

Nyílt (szabad) tükrű

Amennyiben a talajvíztükör felett vízáteresztő közetek települnek, a talajvíz tükrén a mindenkori térszíni légnyomás uralkodik. A talajvíz tükre felett a kapilláris erők által felemelt vizet tartalmazó szegély - a kapilláris tartomány - alakul ki. Efelett a víz hártóvíz formájában van jelen - ez az aerációs zóna (természetesen az utánpótlódástól függően ez a zóna is telítődhet). A 7.2. ábrán látható fűrólyukban a "talajvízszint" a gravitációs víz felső síkja. Hasonló a helyzet akkor is, ha a vízvezető réteg felett vízzáróréteg van ugyan, de a talajvíz a vízvezető rétegnek csak az alsó részét tölti ki (7.3. ábra).



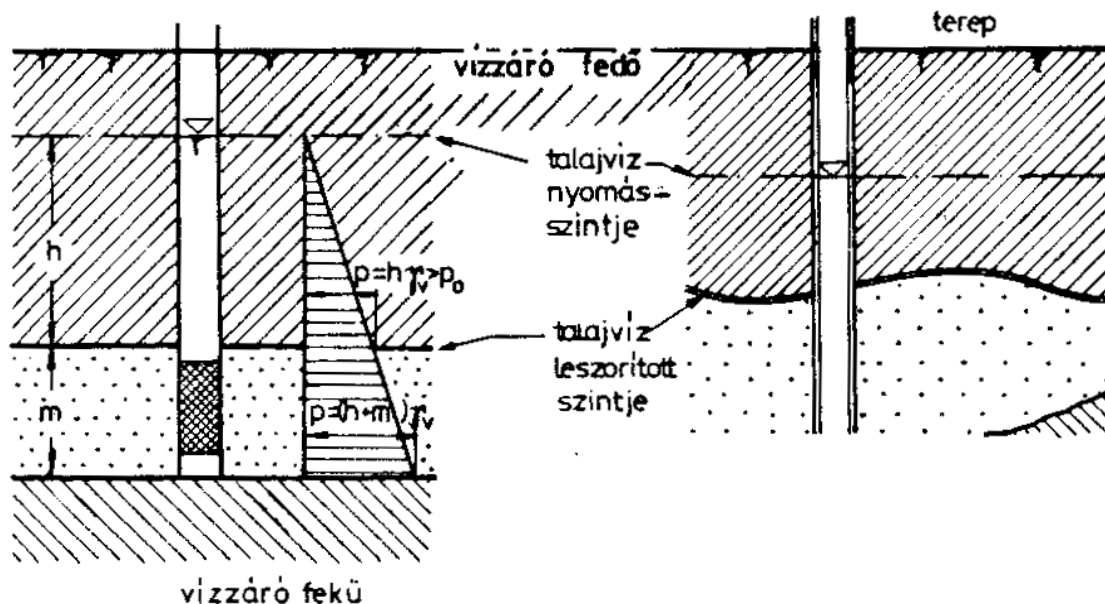
7.2. ábra
Nyílt (szabad) tükrű hidraulikai rendszer nyomásviszonyai



7.3. ábra
Nyílt tükrű hidraulikai rendszer vízzáró (fedő-) réteg esetében.
A víztest felső határvonala - vízszintje, egyben nyomásvonala - a vízzáró fedőréteg **alatt** helyezkedik el

Zárt tükrű (nyomás alatti)

Ha a talajvíz szintje a vízáteresztő réteg felső szintjénél magasabbra kívánna emelkedni, a vízzáró réteg leszorítja, nyomás alatt tartja azt. Ekkor a víztartó réteg fedőszintjén a légnyomásnál (p_0) nagyobb ("artézi") nyomás van (7.4. ábra).



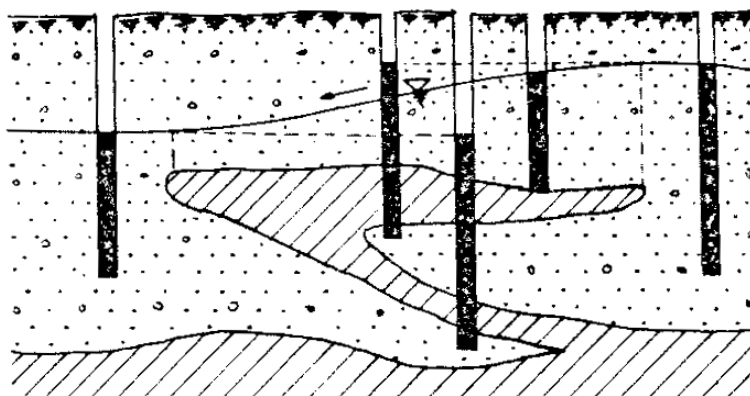
7.4. ábra

Zárt tükrű hidraulikai rendszer.

*A víztest felső - geometriai - határvonala és a nyomásvonal nem azonos, ez utóbbi a vízzáró fedőréteg alsó határvonala **feletti** - akár a terepszintet is meghaladóan*

A nyomás alatti vízbe mélyített megfigyelőkút nem a talajvízszint ingadozását, hanem a vízzáró réteg felső szintjén beálló nyomásváltozásokat méri.

Léteznek átmeneti esetek is. Ilyen látható a 7.5. ábrán, amely áramló talajvíz nyomásviszonyait mutatja nyílt tükrű és nyomás alatti szakaszon.

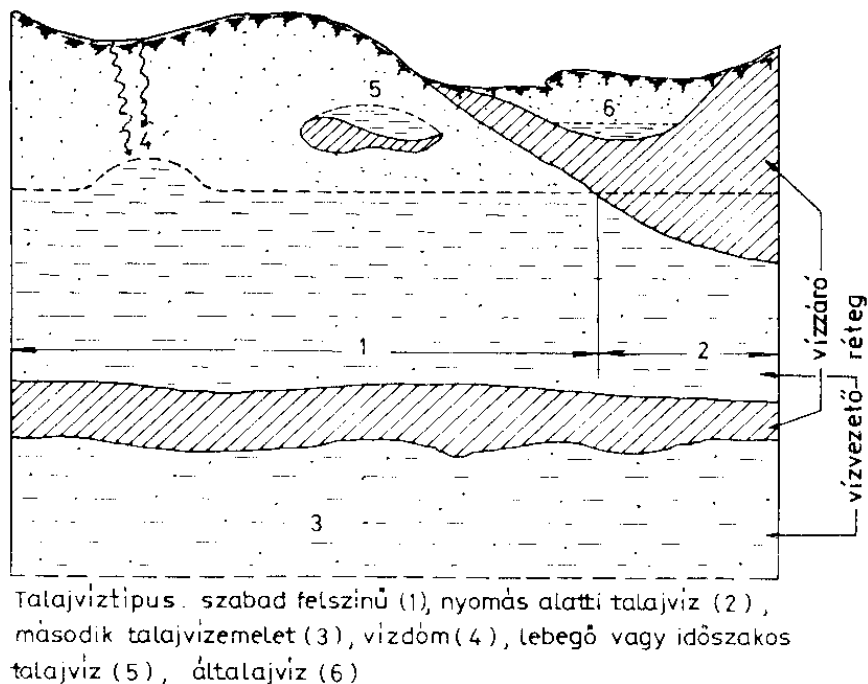


7.5. ábra

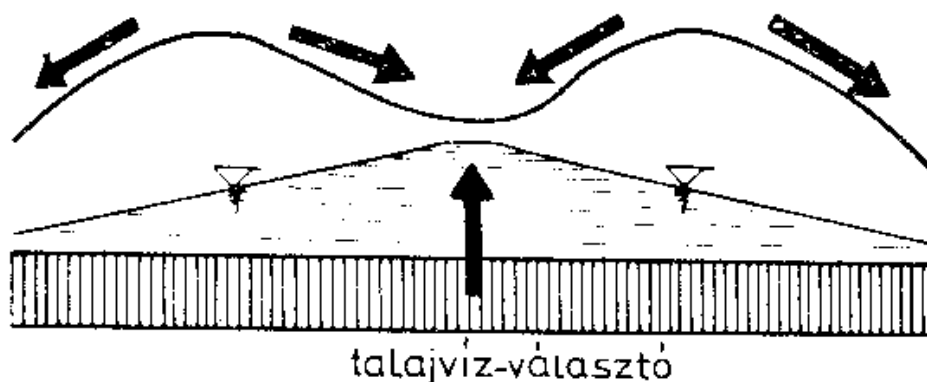
Áramló talajvíz nyomásviszonyai

4.4. A víztükör geometriai alakja, földtani helyzete szerinti csoportosítás

Nem egységes, az előző csoportosítás elemeit és az általánostól eltérő eseteket - anomáliákat - egyaránt magában foglaló rendszer. Néhány típust - összevontan - a 7.6. ábra ismerteti. A vízdóm (4) keletkezése lehetséges okainak egyikét részletesebben a 7.7. ábra mutatja. Vízdóm alakulhat ki még természetes vagy mesterséges vízfolyás (pl. csatorna), és/vagy a vízdóm feletti réteg helyi (lokális), a környezeténél kedvezőbb áteresztőképességre révén. Általában a talajvíz felszíne - kissé simítva - követi a domborzatot (7.8. ábra). Valamilyen szélsőséges lecsapoló hatás eredményei a korábban áramló talajvízből a fekü mélyedéseiben visszamaradó "talajvíz-tavak" (7.9. ábra).

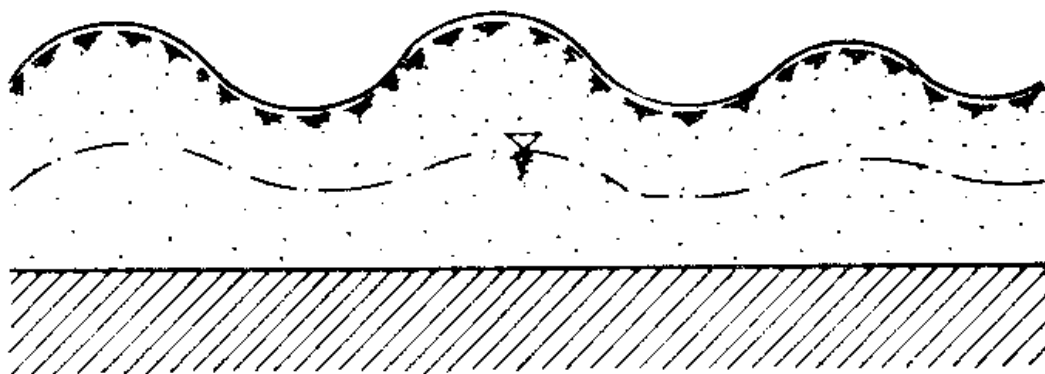


7.6. ábra

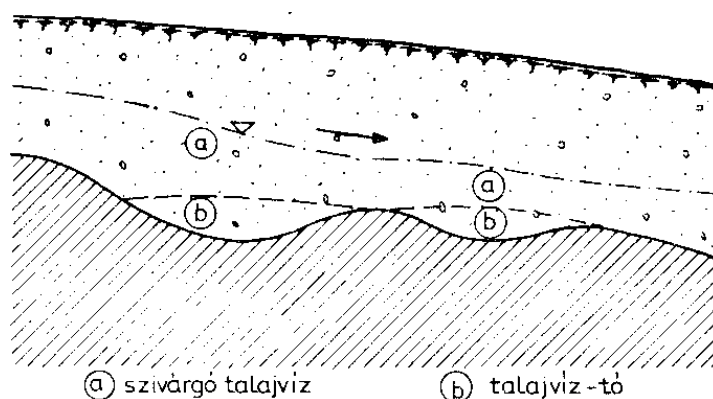


7.7. ábra

A felszíni lefolyásviszonyok ún. vízdómot hozhatnak létre



7.8. ábra
A talajvíztükör alakja - általában - többé-kevésbé követi a domborzatot

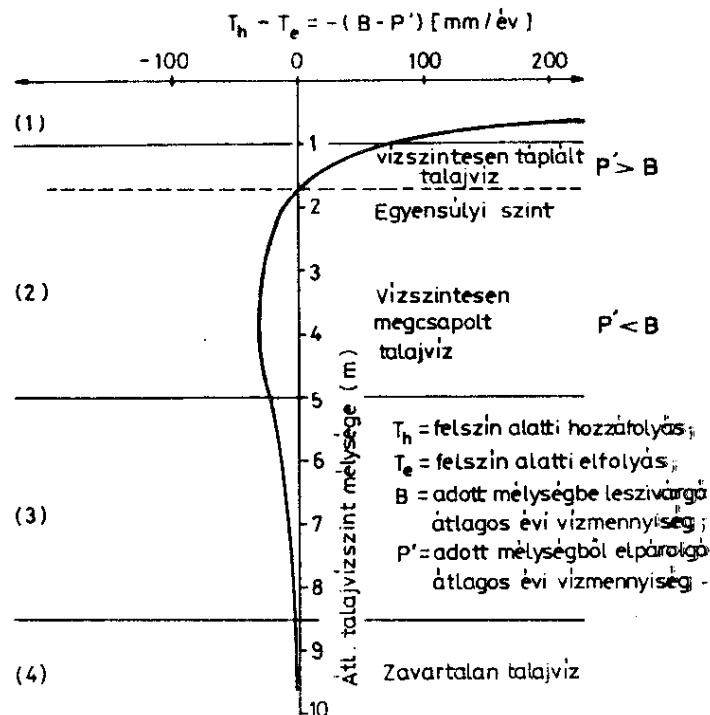


7.9. ábra
A vízzáró fekü mélyedéseiben talajvíz-tavak alakulhatnak ki

4.5. Csoportosítás a dinamikus egyensúlyi vízszint alapján

Ha a hidrológiai egyensúlyi rendszer állandó, akkor a talajvíz szintje sokévi átlagban szintén állandó. A **dinamikus egyensúlyi vízszint** a csapadék, a párolgás, valamint a felszín alatti el- és hozzáfolyások kiegyenlítődéseként adódik. A beszivárgás, párolgás és vízszintes áramlás kombinációiból adódó víztípusok:

- csapadékból közvetlenül táplálkozó talajvíz (a 7.10. ábrán (1)-el jelzett). Ez kb. a legfelső 1 m-es szakasz. Ide a nyári csapadék is lejuthat, így a jellegzetes talajvízjárás-görbe nem alakul ki;
- kb. 1-5 m között az egyensúlyt a párolgás, beszivárgás és a vízszintes áramlás együttesen befolyásolja (2);
- nagyjából 7-10 m alatt a beszivárgás is zérus körüli (4-zavartalan típus).



7.10. ábra

4.6. A talajvízjárás

Kialakulásának okai, feltételei

A talajvízállás többé-kevésbé szabályos - periodikus - menete mindig kialakul, ha a talajvíz egyensúlyi szintjét döntően a csapadék és a párolgás szabályozza, a talajvíz szintje nincs túl mélyen, és jelentős oldalirányú hozzáfolyás sincs. Mivel a párolgás a hőmérséklettel (is) szoros kapcsolatban van, a talajvíz **periodikus** szintváltozása a meteorológiai elemeknek (csapadék, hőmérséklet) az adott területen tapasztalható változásaiból következik. Hazánkban a növényzet párologtatása is jelentős tényező, amelyet - a tenyészidő révén is - döntően szintén a hőmérséklet szabályoz. Az előzőek miatt a talajvíz szintje napi és évi periódusidővel ingadozik.

A talajvízszint napi ingadozása

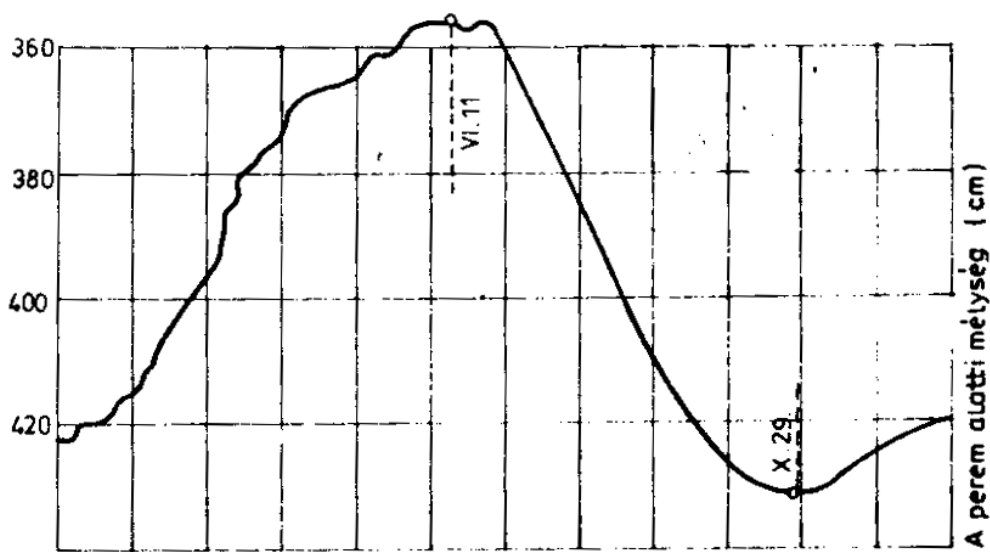
A napi ingadozást a legfelső rétegek hőmérsékletváltozása váltja ki. Süllyed a talajvízszint, ha a felszíni hőmérséklet (T_0) nagyobb, mint csekéllyel a felszín alatt lévő rétegé (T_1). Ha $T_0 < T_1$, emelkedés indul meg. A napi ingadozás nyáron és kora ősszel a legnagyobb (mértéke elérheti a 8-10 cm-t), tavasszal és ősszel jelentéktelen, télen zérus.

Geotechnikai szempontból a napi ingadozás elhanyagolható, speciális hidrológiai vizsgálatoknál azonban fontos tényező.

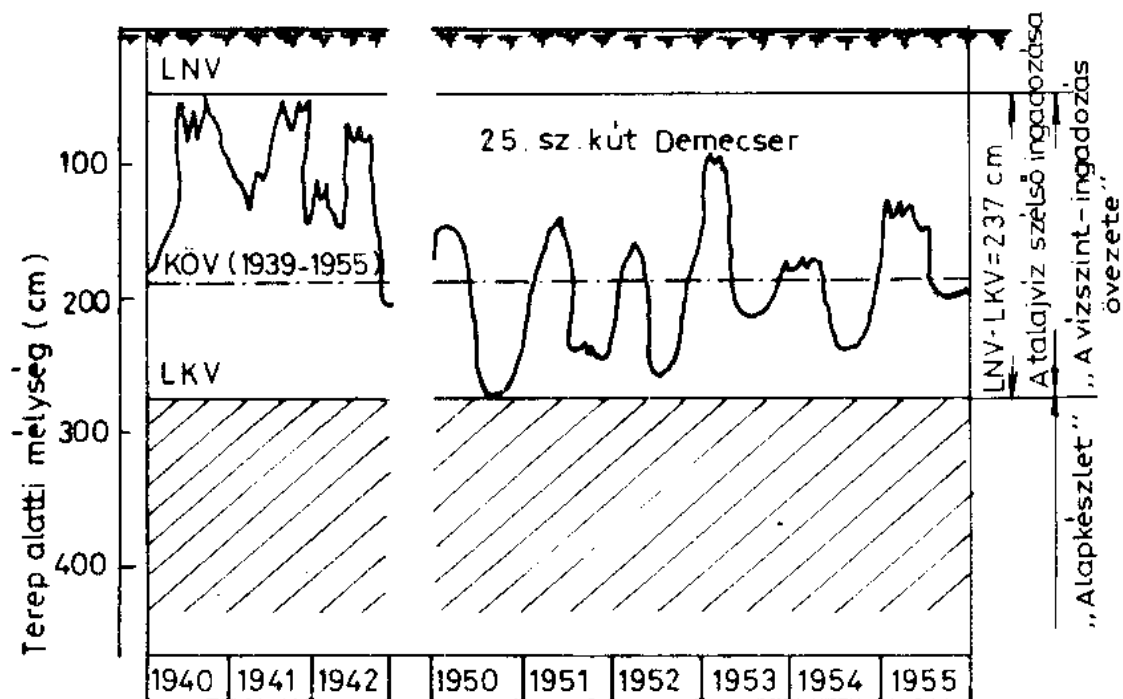
A talajvízszint évi ingadozása

A talajvízszint évi menetgörbéje a csapadék és a párolgás ritmusát követi, amelyet a vízjárást szabályozó - a későbbiekben említett - egyéb tényezők is befolyásolhatnak. Egy-egy év észlelési adataiból meglehetősen szabálytalan ábra adódik (7.11. ábra). Általában igaz, hogy a menetgörbe süllyedő szakasza szabályosabb, mint az emelkedő. Ennek oka, hogy nyáron és

ősszel a mélyebben mozgó talajvizet érő hatások nagyobb késleltetéssel, szabályosabban megoszolva működnek. A talajvízjárás jellegét és jellemző paramétereit szemlélteti a 7.12. ábra. Hosszabb (több éves) észlelési adatsor alapján nyerhető az **átlagos évi menetgörbe**.



7.11. ábra
A talajvíz évi járásának menetgörbéje



7.12. ábra
Több éves időszak talajvízjárása és jellemző paramétere

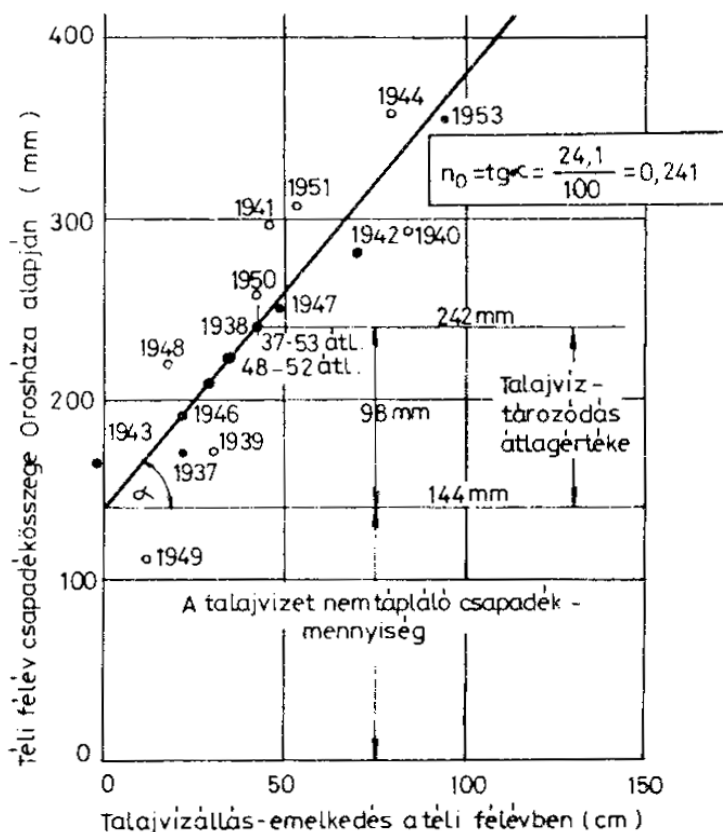
A talajvízállás március-májusban a legmagasabb, a minimum szeptember-novemberben szokott bekövetkezni. A magyar medencében az évi vízszintingadozás legnagyobb mértéke 200-230 cm, zömmel 70-90 cm. Az ingadozás mértéke **függ** a talajvíz mélységétől (mélyebben kisebb, esetleg elhanyagolható), a hézagok térfogatától (adott vízmennyiség tömörebb talajban

nagyobb ingadozást eredményez), és a talaj vízáteresztő képességétől. Ez utóbbitól két módon is: A kis áteresztőképességű talaj kevesebb vizet vesz fel (lásd a hézagterefogat hatását!), másrészt csökkenti a már bejutott víz következtében emelkedő vízszint mozgását. Az áteresztőképességnek döntő szerepe van az egyéb vízáramlási jelenségekben is.

A talajvízállás összefüggése a csapadékkal és a léghőmérséklettel

Csapadék-talajvízállás

Hazánkban a fő talajvíztápláló időszak a késő ősz, a tél és a kora tavasz, mivel ekkor kicsi a párolgás. Igaz, hogy a 600 mm átlagos évi csapadékból nyáron hullik le kb. 400 mm, ez azonban alig jut le nagyobb mélységbe. Következésképpen a téli félév csapadékösszege és a talajvízszint emelkedése között szorosabb a kapcsolat (7.13. ábra). Az ábrán látható korrelációs egyenes metszéke a téli félév emelkedést nem okozó csapadékösszeget, iránytangense pedig a vízszintingadozás (n_0) adja meg. Nem szabad elfelejtenünk, hogy a csapadék lehullása és a talajvízszintre gyakorolt hatásának kezdete között sok tényezőtől függő késés van. Az egymást követő száraz, illetőleg csapadékos évek hatása pedig halmozódik is. E kérdéseknek a talajvízállás előrejelzésében van döntő szerepük, ami többek között a csapadékviszonyok előrejelzését feltételezi.



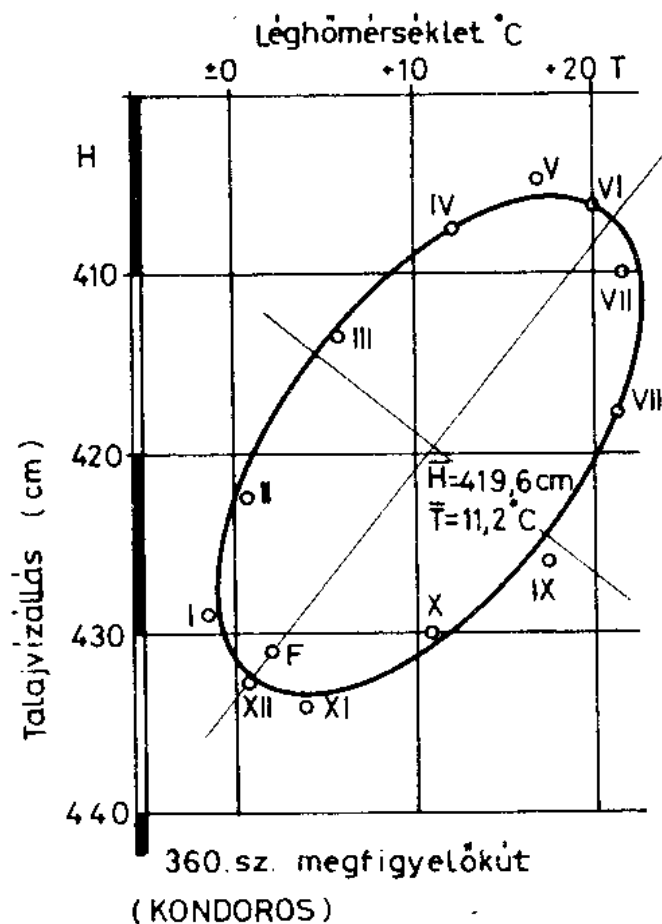
7.13. ábra

A téli félév csapadékösszege és a talajvízszint emelkedése közötti kapcsolat

Léghőmérséklet-talajvízállás

A sokévi havi közepes vízállások és léghőmérsékletek időbeli menete sinusgörbével közelíthető, amelynek periódusa 1 év. A vízállás és léghőmérséklet összefüggése pedig

elliptikus (7.14. ábra). Különleges esetekben egyenessé vagy körre fajulhat. Ha nincs fáziseltolódás, lineáris az összefüggés. Ha a fáziseltolódás 90° és a talajvízjáték, valamint a hőmérséklet szélső értékei aritmetikusan egyenlők, kört kapunk. A fáziskésés azt fejezi ki, hogy a léghőmérséklet maximumához viszonyítva mikor következik be a maximális talajvízállás. Az ellipszis ferdesége (a koordináta-rendszerhez viszonyított helyzete) a hőmérséklet-ingadozás és a talajvízjáték mértékének arányától, valamint a fáziseltolódástól függ.



7.14. ábra
A léghőmérséklet és a talajvízállás összefüggése

4.7. A talajvíz szintjét szabályozó egyéb tényezők

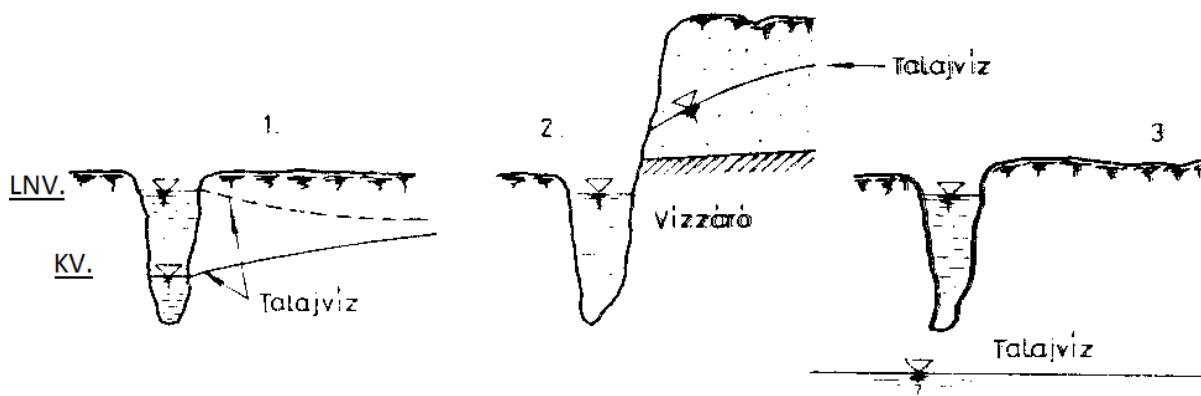
A már érintett természetes hatásokon (csapadék, párolgás) kívül még számos, részben mesterséges eredetű tényező befolyásolhatja a talajvíz szintjét. A mesterséges hatások - különösen a vízbányászat és a vízvédelem révén - fokozódó jelentőségűek. A talajvízszint emelkedését eredményezi pl.:

- hozzáfolyás felszíni vízből,
felszín alatti vízből
(öntözés, duzzasztás, tározók, tavak);
- vízellátás-szennyvízelvezetés túlzott különbsége stb.

Talajvízállás-csökkenést okoz:

- a talajvíz eláramlása (felszíni vagy felszín alatti víz leszívó hatása, belvízlevezetés, vízkitermelés, stb.);
- a növényzet által fokozott párolgás.

A felszíni vízfolyás és a talajvíz lehetséges kapcsolatát a 7.15. ábra mutatja. A duzzasztó vagy leszívó hatás sávjának geometriája (méretei) a vízjáték nagyságától, a víztartó réteg áteresztőképességétől, földtani adottságaitól és a hatás időtartamától függ. E sáv szélessége a Tisza mentén helyenként 1-2 km, a Duna szigetközi szakaszán elérheti az 5 km-t is, kisvízfolyások mellett néhányszor 10 m nagyságrendű. Ne felejtjük el, hogy az említett sávokban a talajvíz áramlási iránya egy éven belül is jelentősen változhat. Tipikus példa a folyók kavicsterasza. Ün. parti szűrészű vizének kiemelkedő szerepe van a vízellátásban. A vízfolyás és a parti sáv talajvizének hidraulikai kapcsolatát lényegesen csökkentheti a rétegek kolmatációja (természetes eltömődése) és a (mesterséges) partfal-rendszerek. A távolhatás (duzzasztás vagy leszívás sáv szélessége) mértékét megfigyelőutakkal, esetleg elméleti hidraulikai számítással határozzák meg.



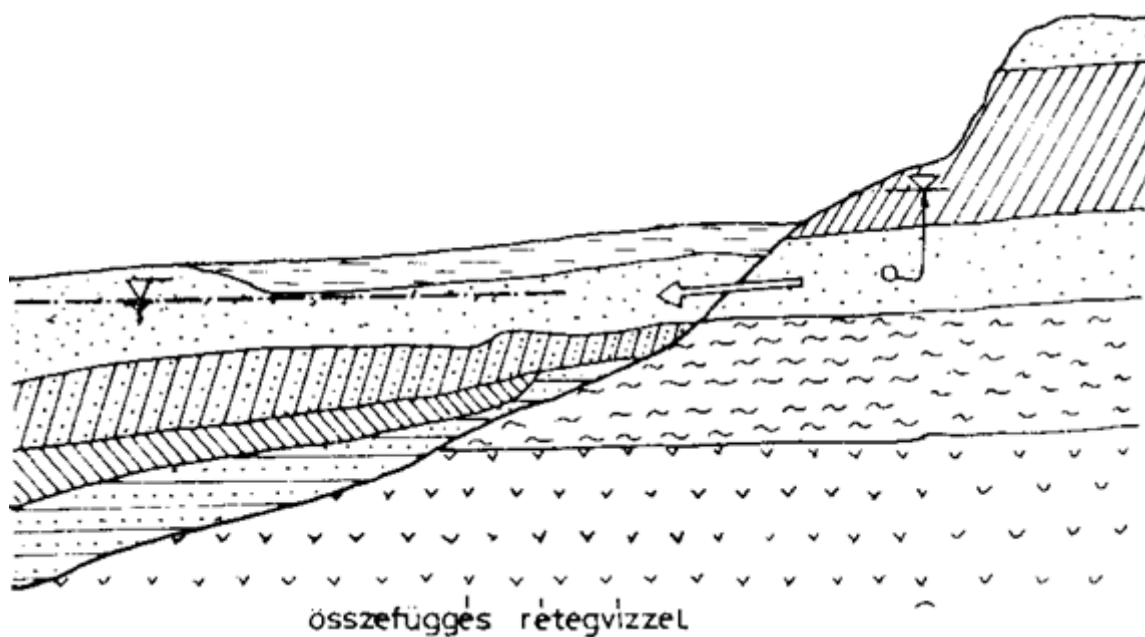
7.15. ábra

A felszíni vízfolyás és a talajvíz hidraulikai kapcsolatának néhány típusa

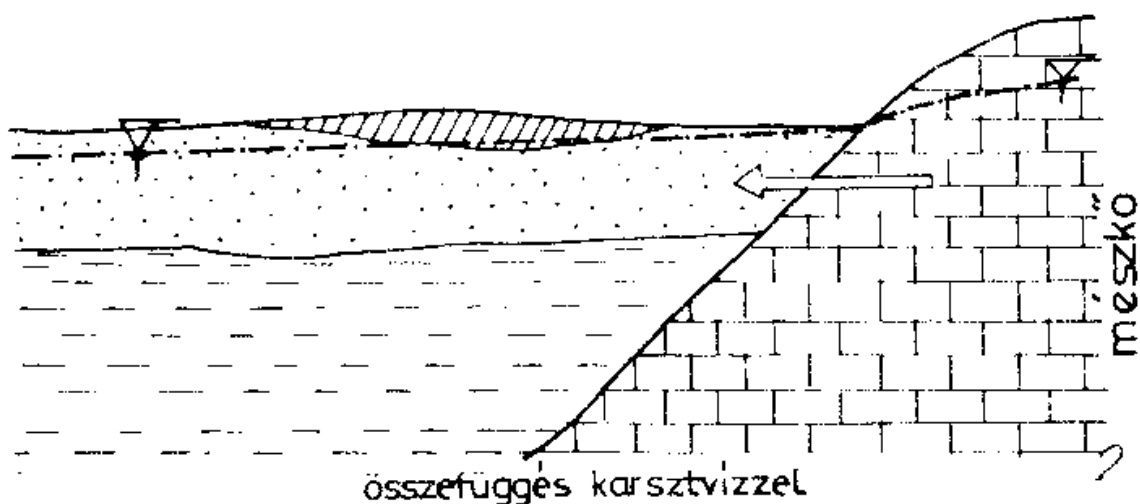
A vízfolyáson létesített állandó jellegű duzzasztás (pl. vízlépcső) a parti sáv talajvizében is duzzasztást okoz, és így új, dinamikus egyensúlyi vízszint alakul ki.

A talajvíz más felszín alatti vizekkel lehetséges kapcsolatára mutat példát a 7.16./a, b ábra. Az összefüggés a rétegek érintkezése és a tektonikai vonalak mentén lehetséges, ezért leggyakoribb a hegységperemeken és a keskeny völgyekben.

A talajvízszint csökkenése a gyakorlatban sokszor mesterséges állapot. Lehet cél (pl. munkagödör-víztelenítés, bányászati víztelenítés, pl. külfejtések esetében), de lehet sajátos következmény is. Pl. a Dunántúli-középhegységben a bauxitbányászat miatt fokozott karsztvízkitermelés számos területen rétegvíz- és talajvízszint-csökkenést eredményezett. A karsztvíz leszívási (depressziós) tölcserének határa helyenként 40 km-re is eltávolodott a vízkivétel helyétől. (Ez a helyzet már javul - a vízkiemelés mértékének drasztikus csökkentésével a természetes állapot várhatóan 15-20 év múlva visszaáll.)



7.16./a ábra



7.16./b ábra

4.8. A talajvíz áramlása

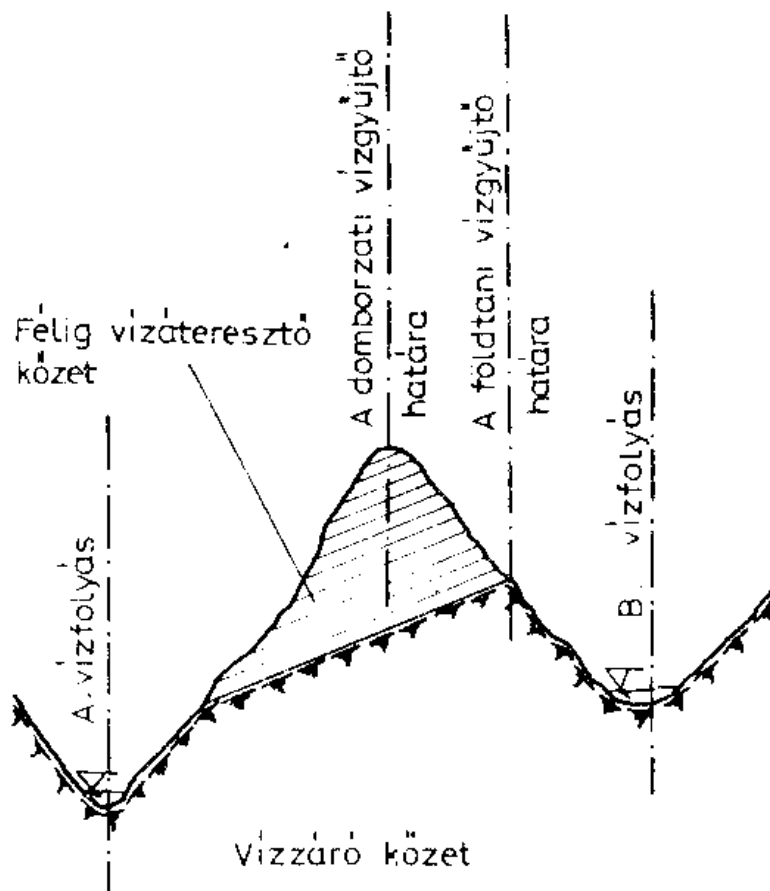
A talajvíz esését meghatározó topográfiai és földtani adottságok

A 7.8. ábra kapcsán más említettük, hogy a talajvíz esése nagyjából követheti a terep felszínét. Ennek oka, hogy a beszivárgás és a párolgás (amelyek a mélység függvényei) szabályozó hatását az ezekhez mérten kicsi áramlási sebesség alig befolyásolja. Az esetek többségében a vízzáró fekvése is azonos értelmű a felszínével.

A topográfia a földtani adottságokkal együtt alakítja a talajvízszintet. Ez utóbbi vonatkozásában az áteresztőképesség és a rétegek helyzete a döntő.

A fekvé lejtésének akkor van szerepe, ha a felszínhez közel van, mivel a talajvíz áramlási sebessége - adott szelvényben - a mélységgel csökken. A vízzáró fekvé mélysége önmagában is

meghatározhatja a talajvíz helyzetét, geometriája ritkán közelíthető vízszintes síkkal (mint az a műszaki gyakorlatban rutinszerű). Következésképpen a talajvizet tápláló területek mérete a fekvő felszín alatti morfológiájától (is) függ. Mint a 7.17. ábra szemlélteti, a **morfológiai** és **földtani** vízgyűjtő között **lényeges eltérések** lehetnek.



7.17. ábra

A felszíni és felszín alatti vízgyűjtő jelentősen eltérhet egymástól

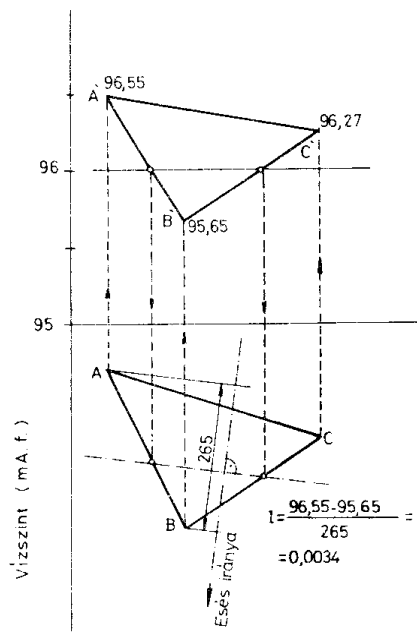
Az áramlás irányának és sebességének meghatározása

A módszer alapelve szerint geometriai, termikus és nyomjelző eljárások különíthetők el. A további csoportosítás alapja lehet a szükséges fúrólukak száma, hogy milyen anyagot juttatnak a furatba (festék, sóoldat, izotóp stb.) és a bejutott anyagot hogyan érzékelik (detektálják).

Ha az adott terület legalább három pontján ismerjük a talajvíz pillanatnyi állását, az esés nagyságát és irányát szerkesztéssel is megkaphatjuk. A szerkesztés lényegét a 7.18. ábra mutatja. Egyidejű vízállásokra szerkesztett izovonalas (hidroizohipsza-) térkép segítségével az áramlási irányok és az esés szintén szerkeszthető és számítható.

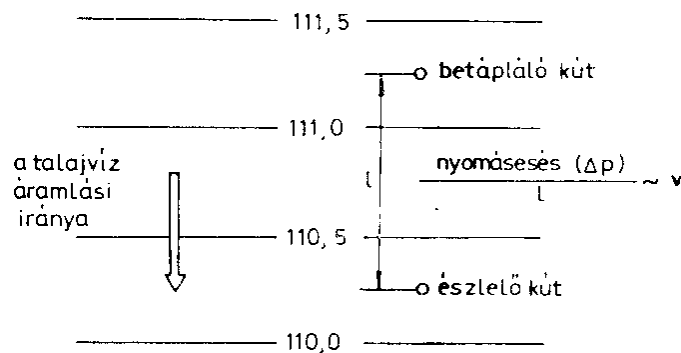
Ismert áramlási irány esetében két kút segítségével az áramlás sebessége egyszerűen meghatározható (7.19. ábra). Ha a betáplálókútba helyezett jelzőanyag (festék, só stb.) t idő múlva jelenik meg az észlelőkútban, a szivárgás sebessége:

$$v = \frac{l}{t}$$



7.18. ábra

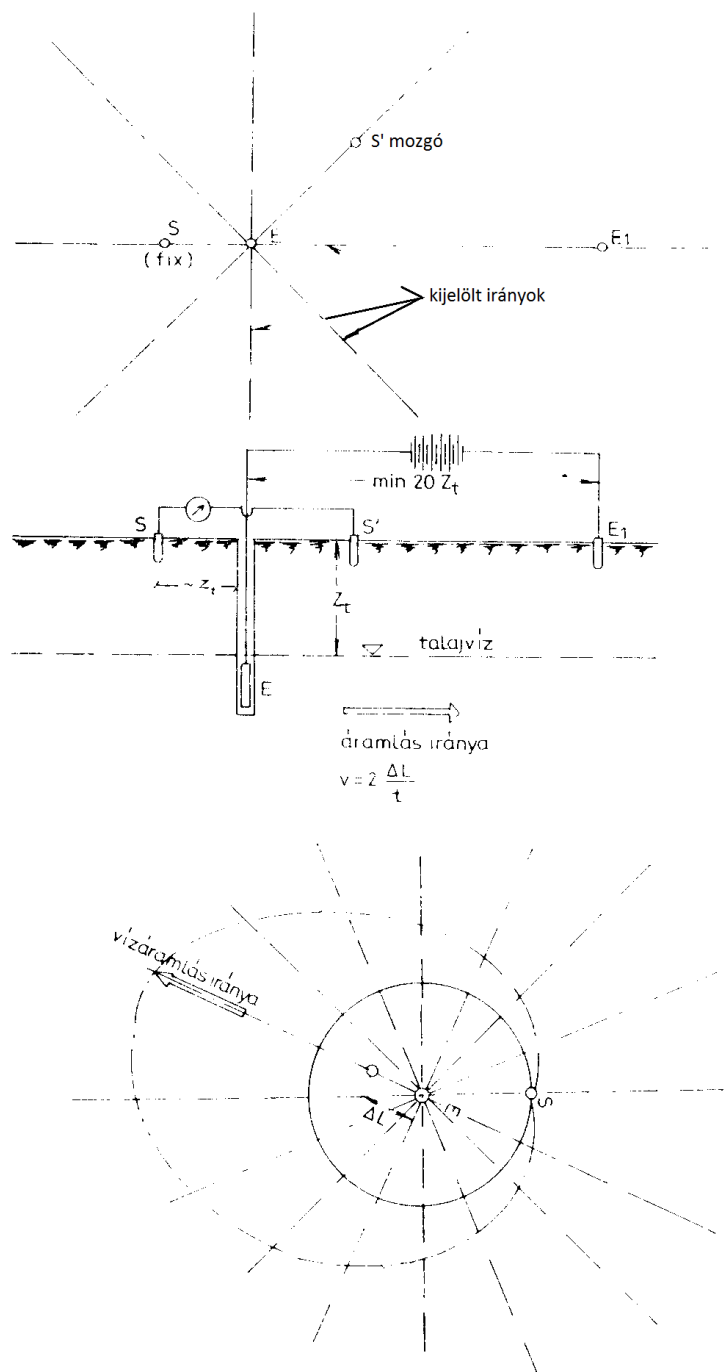
A talajvíz áramlási irányának szerkesztése három, különböző pontban mért talajvízszint-adatból



7.19. ábra

Az áramlási sebesség meghatározása ismert áramlási irány esetében

Gyakran használatos a geoelektromos eljárás is. Egy fúrólyuk környékén két tápelektroda (egyiket a furatban helyezik el) segítségével nagyjából félgömb alakú elektromos potenciáalteret létesítenek, majd két mérőelektrodával meghatározzák ennek a felszínnek alkotott metszésvonalát. Ez a nullpotenciálgörbe. Miután a furatba sót adagoltak, ezt a görbét néhány óra (t) elteltével újra bemérik - az áramlás iránya és sebessége az eredeti és az elmozdult súlypont helyzetéből adódik (7.20. ábra).



7.20. ábra

Az áramlási irány és sebesség meghatározása geoelektromos eljárással.

E-E₁: tápelektródák, S-S': mérőelektródák

4.9. Talajvízszint-adatok beszerzése

A talajvízszint pillanatnyi, illetőleg várható értékének, ingadozásának megbízható ismerete - mint későbbi tanulmányainkban látni fogjuk - a geotechnikai feladatok egyik fontos bázisadata.

Egy létesítmény építését megelőzően hosszabb távú - pl. furatban végzett - megfigyelésre általában nincs mód. Ritkák azok az esetek, amelyeknél a létesítmény kapcsán nagyszámú, az építmény

üzemeltetése során is rendszeresen észlelt vízszintfigyelő kutat telepítenek (vízlépcsők, völgyzárógátak, bányászati célú víztelenítés stb.).

Hosszabb idősort igénylő feladatok megoldására is alkalmasak az ország területén elszórtan telepített, közel kétezer talajvízszint megfigyelőkút adatai, amelyeket a Vízirajzi Évkönyv különböző kötetei tartalmaznak. E kiadványok rendszerint az adatok elsőfokú feldolgozásának eredményéről (átlagos vízszint, vízhátság stb.) is számot adnak.

Hasznos információt nyújtanak az ún. **szórványadatok**, amelyek pl. egy, az érintett területhez közeli építménnyel kapcsolatban összeállított talajmechanikai szakvéleményben, vagy az irattárból bukkannak elő (vízesedési vagy pinceelöntési ügyek révén). Döntő jelentőségű az elsősorban falvakban telepített, mintegy másfél millió ázott kút, amelyben a vízszint helyzetét, ingadozását a falusi ember az esetek többségében pontosan ismeri.

A legpontosabb adatot az érintett területen általában a talajmechanikai feltárás során mélyített furatokban történő mérés szolgáltatja, ha a vizsgálat hosszabb idősort nem igényel, és a mérés (értékelés) során alapvető hibát nem követünk el (pl. kivártuk, amíg a furatban a talajvíz nem mozog, hanem beáll - a szükséges várakozási idő részben az áteresztőképesség függvénye).

Nyilvánvaló, hogy hidraulikailag nyitott (nem kolmatált) medrű élővízfolyás parti sávjában a talajvízszint a meder vízállásával lehet (!) összefüggésben. A felkiáltójelet az előzőekben már indokoltuk.

4.10. Néhány, a talajvízzel kapcsolatos megjegyzés

A fejezetet a talajvíznek a geotechnikai-környezetmérnöki feladatokkal kapcsolatos, döntő jelentősége és megjelenésének, viselkedésének rendkívüli változatossága indokolja. Az alábbiakban néhány olyan gyakorlati "szabályt" és szemléletbeli tudnivalót említünk, amelyek a természeti adottságok pontosabb, megbízhatóbb megismerését és azok helyes értékelését segíthetik elő.

Napjaink specializálódó világában sem árt tudni a növényvilág és a talaj felépítésének, talajvíz-viszonyainak kapcsolatáról. A növényvilág tájékoztathat a műszaki beavatkozás **következményeiről** és segíthet a létesítmény megóvásában is.

Néhány példa:

Növény:	Információ:
Fedőnád	A föld alatt felszínközelben szivárgó vizek vannak. Lejtős területen veszélyre, bevágásban vízhozófolyásra kell számítanunk.
Mocsári gólyahír	Lefolyástalan helyek, pangó vizek
Ligeterdő (nyár, fűz, ligeti szőlő, nyári tözike)	Vízfolyások mentén oxigénben gazdag eleven víz
Széleslevelű gyékény	Feliszapolódott medencék, tavak. Korlátozott vízkészlet, rendszerint agresszív, betonkészítésre alkalmatlan víz
Széleslevelű gyapjúsás, óriászsurló	Völgytalpakon: szivárgó rétegforrás
A rézsűn leghamarabb kigyepesedő területek	Vizesedő foltok
Martilapu	Finomszemű üledék, nedves agyag jelenléte
Sás	Tőzegesedési folyamatok
Sziki mézpzásit	Só- és szódatartalmú talaj
Csalánfélék	Nitrogénben gazdag, erősen fagyveszélyes talaj

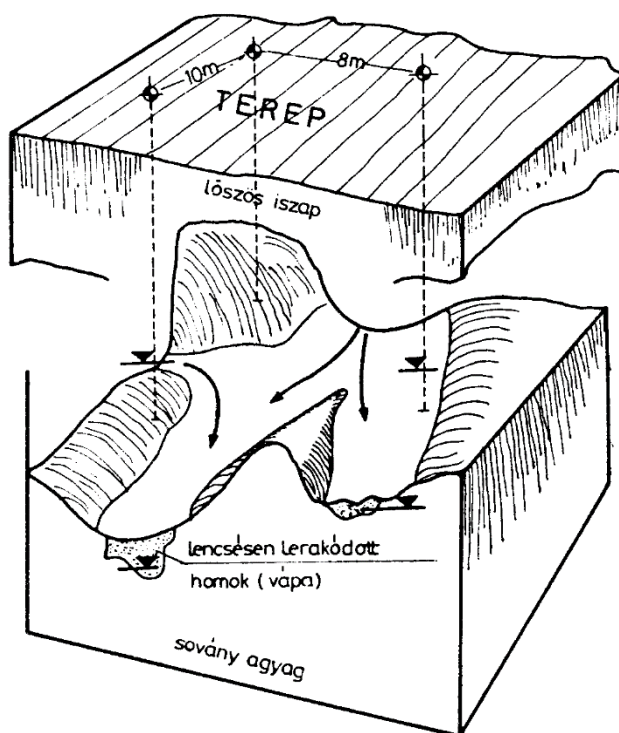
A **furatban** (nem megfigyelőkútban!) végzett észlelés főbb (lehetséges) hibaforrásai:

- nem várják ki a víz megjelenésekor észlelt ("megütött") és a végleges ("beállt") szint közötti különbség kiegyenlítéséhez szükséges időt, amely között talajban (pl. iszapos agyag) 4-5 óra, esetleg 1-2 nap is lehet. Nyilvánvaló, hogy az utolsóként készült fúrások jegyzőkönyvei kezelendők kritikus szemmel;
- a lassú vízleadást gyakran helytelenül nyomás alatti víznek minősítik;
- a tényleges vízszintet minden, a furatba került idegen anyag (kő, talajrög, másik víztartóréteg vize stb.) meghamisíthatja.

További támpontot adhat a talajvízszint helyzetéről az üledék színe. A tartósan víz alatt lévő rétegek inkább "hideg" színűek (szürke, kékesszürke, kék), a vízszintingadozás mélységközének és a felette települő üledékeknek a színe világosabb, "melegebb" (barna, vörösesbarna stb.), az oxidációs folyamatok következtében. A kék szín másodlagos redukációs folyamatok eredménye (és nem az üledék folyóvízi származásának bizonyítéka, mint régebben hitték).

A rétegváltások és a talajvízszint helyzetét a víztartalom függvény menti változásai is jelezheti. Minél finomabb szemcséjű egy talaj, annál nagyobb lehet (!) a víztartalma.

Nagyon fontos, hogy a **talajvízviszonyok megbízható értékelése csak a rétegtelepülési viszonyok ismeretében lehetséges!** A már bemutatott ábrákon felül nézzük a 7.21. rajzot, ami megtörtént esetet szemléltet. A vápát eltaláló fúrólukhoz a tározási és késleltetési viszonyoktól függően hol bő, hol apadó hozamú víz érkezett. Az alig pár méterre lévő másik fúrólukban pedig meg sem jelent a víz, vagy egészen más szinten volt észlelhető. A magyarázatot végül is a bevágás kinyitását követően találták meg, jelentős késedelemmel, a felszínről viszonylag sűrűn telepített fúrások ellenére. Az eset révén érdemes felidézni a köztudatban rögzült "vízér", "vizek" fogalmát, ahogy az egyszerű ember a felszín alatti vízfolyásokat nevezte és nevezi néha még ma is, - gondoljunk a varázssvesszős (víz)kutató kiterjedt irodalmára (radiesztézia).

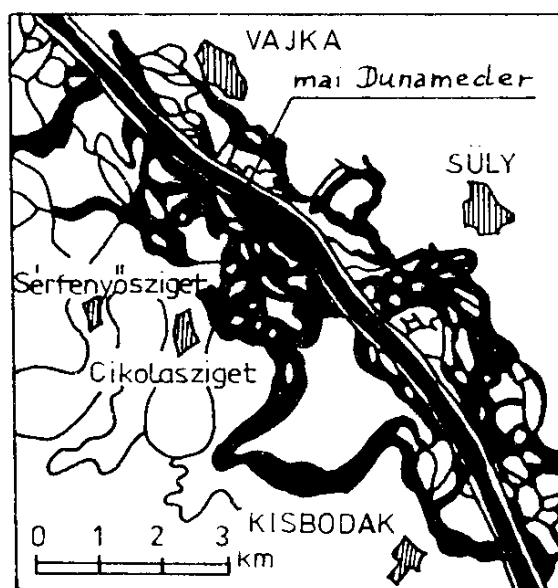


7.21. ábra

A talajvíz-test geometriája gyakran csaknem azonos a felszíni vízfolyásokéval, az áramlás jellege azonban alapvetően más

Különösen összetett helyzet állhat elő a folyóvízi lerakódások során, ahol síkkal határolható, párhuzamos üledéksor **nem alakulhat ki**. Folyóvízi rétegződés nincs lencsék, összefogazódás, keresztrétegződés nélkül. Emiatt a rétegszelvények szerkesztésekor alkalmazott "lineáris korreláció" durva hibákra vezethet. Megoldást a feltárás fokának (ésszerű, pl. gazdaságossági határig történő) növelése adhat. Az említett településviszonyok a folyóvíz oldalirányú vándorlása, kanyarulatai, "meanderezése" következtében nemcsak a mederben, hanem jóval szélesebb sávban jellemzők lehetnek -pl. a Duna által lerakott üledékeket a mélyben a Tisza mai vonalától K-re eső részen - a Tiszántúlon - is megtalálták.

Mesterséges tényezők is közrejátszhatnak. A Rába bizonyos szakaszát a századfordulón új, lényegében vízzárónak minősülő üledékekben kialakított mederbe terelték. E meder mentén hiába keresnénk a terasz kavicsot, és a vízállás által befolyásolt szélesebb talajvízszint-sávot. A régi mederben és környezetében települő üledékek azonban egy-egy létesítmény kapcsán feltárandók lehetnek, és ilyenkor hasznos segítséget nyújthat egy régi térkép (7.22. ábra).



7.22. ábra

Elhagyott - lefűződött és részben feltöltődött - mederszakaszok a Felső-Dunán

A **vízzáróság** vagy a **vízáteresztőképesség** relatív fogalmak! Egy finomszemcsés (pl. iszapos finomhomok) vízádóréteg áteresztőképessége vízbeszerzési szempontból (ahol az adott leszívásnál időegység alatt kitermelhető vízmennyiség, vagyis a vízhozam döntő lehet) **kedvezőtlen** (kicsi). Ugyanez a réteg egy völgyzárógát alatti kifejlődésben, 10 m-es vízszintkülönbség mellett "kedvezőtlenül vízáteresztő" (azaz áteresztőképessége túlságosan nagy). Víztelenítési feladatoknál a értékadó vízáteresztőképesség lehet **hidrosztatikai** (a nyomás kifejlődéséhez a víznek nem kell "sokat" mozognia), és lehet **hidrodinamikai**. Ebben a vonatkozásban (a szó szoros értelmében vett) **vízzáró** réteg nincs, hiszen a szivárgó víz által megtett út - ha a nyomáskülönbség zérustól eltérő - végső soron (csak) a rendelkezésre álló időtől függ. Például keszonnal agyagra alapozott hídpillérre biztosan hat az agyagban lévő víz felhajtóereje is, a felszíni vízfolyásból származó felhajtóerőn kívül. Másik példa: a rétegvíz tartó kőzetek vízutánpótlódása részben a vízzárórétegekre merőlegesen, a zárórétegeken át megy végbe, amint azt a hidrodinamikai kutatások igazolták.

A fogalmak (és a helyszín) pontosításának szükségessége mutat a következő példa: közhírt, hogy a szakirodalom a kiscelli agyagot és a mozaikos agyagot vízzáró képződményként emlegeti - ugyanakkor a réteglapok mentén helyenként vízcsurgás figyelhető meg.

5. A rétegvíz

5.1. Fogalom

A felszínről a földbelső felé haladva az első nagy kiterjedésű vízzáróréteg **alatt** elhelyezkedő porózus vagy hasadékos (kivétel: karbonátos kőzetek, lásd: karsztvíz) kőzetekben tárolt víz. Általában alulról is vízzáróréteggel határolt, rendszerint hidrosztatikus- és kőzetnyomás alatt áll. A rétegvíz kéregbeli előfordulásának alsó határát a termikus- és nyomásviszonyok határozzák meg - a víz kritikus hőmérséklete és nyomása feletti tartományban csak gázhalmazállapotban létezhet.

Szerepe a geotechnikai feladatokban a talajvízhez képest korlátozott, főként alagútépítési, bányászati (aknaépítés, bevágások, vágathajtás) tevékenységgel kapcsolatos, illetőleg a talajvízzel való hidraulikai összefüggés révén jelentkezhet.

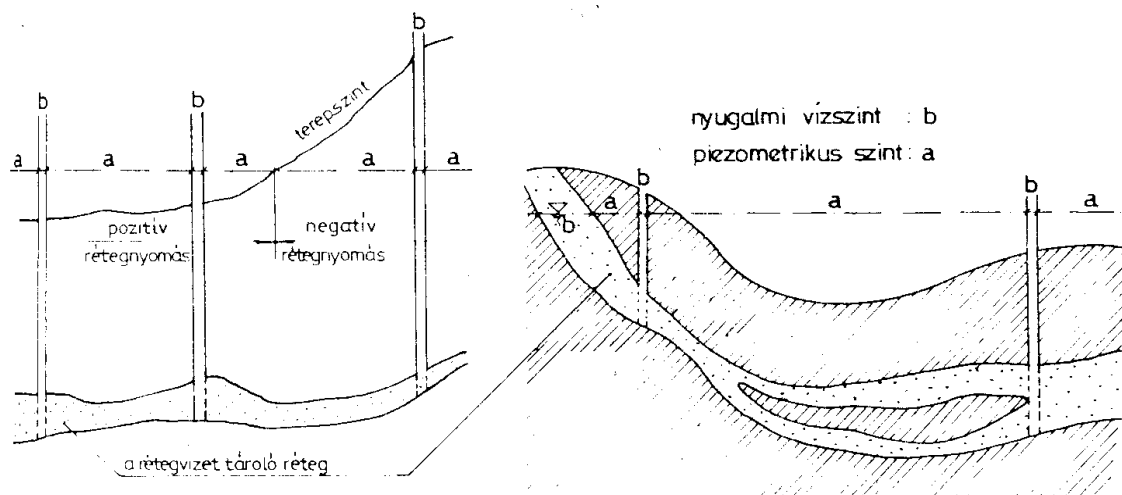
5.2. Rétegvíztipusok

A rétegvizeket is több szempont alapján osztályozzák.

Hőfok szerint: hideg és termális vizek (azaz hévizek). A kettő közötti határ 30°C körüli érték (néhol még a régebbi érték - 37°C szerepel). Ismert, hogy hazánk az átlagosnál vékonyabb kéreg miatt termális energiában gazdag, de a termálvizek komplex hasznosítása felé még csak a kezdeti lépéseket tettük meg.

Összetétel szerint: egyszerű víz, ásványvíz és gyógyvíz. Az ásványvíz 1000 mg/l -nél több szilárd alkotórészt vagy nagyobb mennyiségű biológiailag aktív elemeket (bróm, jód) tartalmaz. Gyógyvíz, amely vegyi összetétele és/vagy fizikai tulajdonságai következtében gyógyhatású.

Nyomásának a terepszinthez viszonyított helyzete alapján: ha a rétegvíz fekvésbeni nyomásával egyensúlyt tartó vízoszlop nyugalmi szintje (azaz piezometrikus nyomómagassága) a terepszint alatti: negatív, ellenkező esetben pozitív rétegvízről van szó (ez utóbbi az ún. "artézi" víz - lásd a 7.23. ábrát).



7.23. ábra
Pozitív és negatív nyomású rétegvíz

Az áramlási rendszer nyomásállapota szerint: a rétegvizek áramlásának módja általában a mikroszivárgás. Élénkebb áramlási viszonyok csak jó áteresztőképességű, felszínközeli rétegekben lehetségesek. A rétegvíz nyugalmi szintje időben változik. E változások egyre gyakrabban a mesterséges vízkivétel eredményei, mikor a kiemelt vízmennyiség meghaladja az utánpótlódás mértékét. Ha ugyanazon formációban a nyomás lefelé a hidrosztatikusnál (ami önmagában szintén egy lehetséges típus) nagyobb mértékben nő (a magasabb helyzetű rétegvíz szintje lejjebb van, mint a mélyebbé), a víz felfelé szivárog. Az ilyen nyomásállapotú régiók (pl. egységes artézi medencék) a megcsapolás övezetei. Ha a nyomás lefelé a hidrosztatikusnál kisebb mértékben nő, akkor utánpótlódási régióban vagyunk: a rétegvíz a felülről lefelé szivárgó vízzel (is) utánpótlódást kap.

5.3. Kapcsolata a felszínmozgásokkal

A felszínközeli (100-300 m) rétegvizek kitermelése jelentős felszínmozgásokat, süllyedéseket idézhet elő.

Jellemző példa Debrecen esete, ahol bizonyítható volt, hogy a kb. 10 km-es sugarú körzetben tapasztalt süllyedéseket a vízádóréteg semleges (tehát a víz által közvetített) feszültségének csökkenése váltotta ki. Ugyanis a vízkiemelés fokozása megnövelte a fedőrétegek önsúlyából adódó (hatékony) rétegnyomást, ami a vízvezető (tároló-) rétegben alakváltozást, süllyedést hozott létre.

Az ilyen típusú felszínmozgások "rekordját" Mexico City tartja, ahol a süllyedés mértéke helyenként eléri a 8 m-t.

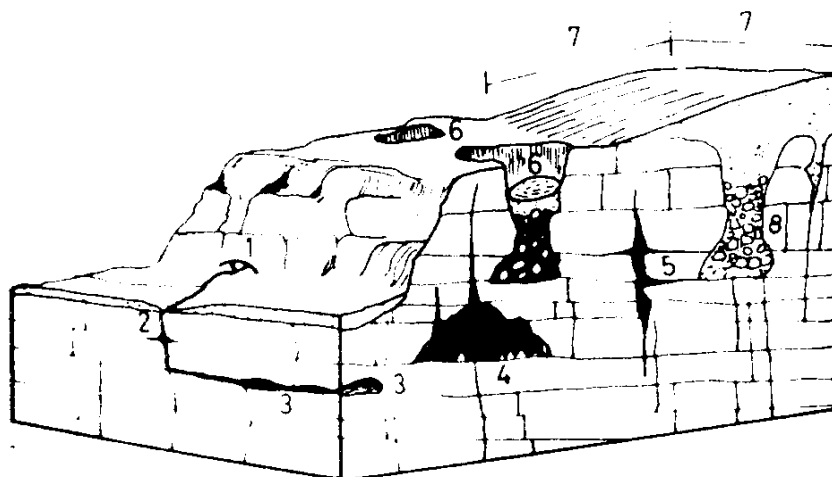
A károk a felesleges víz visszatáplálásával csökkenthetők.

A rétegvíz szerepe hazánk ipari- és ivóvízellátásában jelentős - túlnyomó része a felsőpannon helyenként 2 km-t is meghaladó vastagságú összletében tárolódik. A rétegvizek áramlásával, minőségével és kitermelésével kapcsolatos további ismeretek beszerzése, értékelése már a hidrogeológus szakemberek feladata.

6. A karsztvíz

6.1. Fogalma

A karsztosodó kőzetek (mészkő, dolomit, gipsz, kősó) hasadékaiban, üregrendszereiben található gravitációs víz. A karsztosodás lényegéről és a kapcsolódó fogalmakról az általános földtanban már volt szó (emlékeztetőül lásd a 7.24. ábrát).

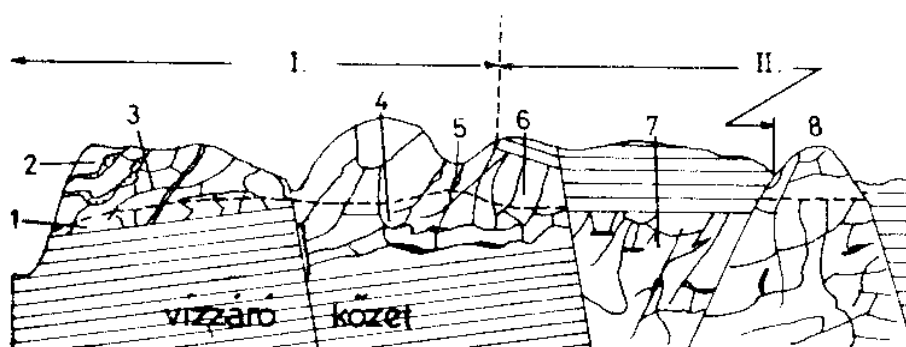


7.24. ábra
Karsztjelenségek

6.2. Karszt-típusok

A karszt - így a benne tárolt karsztvíz - típusait a kőzet földtani helyzete, településviszonyai alapján különböztetik meg.

Célszerű őket a 7.25. ábra alapján áttekinteni. A leszálló (2) karszt vize lefelé szivárog és általában szabad tükörű. A vízzáró kőzetet elérve, támaszkodó (1) övezetet hoz létre. A támaszkodó karsztban tárolt víztömeg közel vízszintes felülete a karsztvízszint. Ha a karsztvízszint a helyi erózióbázis (az a szint, amely alatt az erózió már nem működik) felett van, sekély (3), ha alatta, mélykarsztról (4) beszélünk. Ha a támaszkodó karsztvíz felett vízzáró réteg van, fedett (II), ha nincs, nyílt (I) karsztról van szó. A fedett karszt esetében szabadszintű (6) és leszorított (7) szintű karsztvíz különböztethető meg. Előfordul, hogy a leszálló karsztvíz helyileg megemeli a karsztvízszintet - ezt hívják megemelt karsztnak (5). Vízzáró kőzetek között kerül felszínre a kibukkanó karszt (8).



Támaszkodó (1), leszálló karsztvíz (2), sekély karszt (3), mélykarszt (4), megemelt karsztvíz (5), szabadszintű fedett karszt (6), leszorított szintű fedett karszt (7), kibukkanó karszt (8), I. - nyílt, II. - fedett karszt

7.25. ábra
Karszt-típusok

6.3. Néhány jellemzője, jelentősége

A karsztvíz mindig kemény víz, uralkodóak benne a karbonátok. Műszakilag kedvezőtlen a vízkőlerakódási hajlama. Hazánkban a Dunántúli-középhegységben kb. két évtizede nagyarányú karsztvíz-kitermelés folyt, mivel bauxitvagyonunk nagy része a természetes karsztvíznívó alatti. A vízszintnek a bauxitlencsék alá süllyesztése után viszont a bauxit "szárazon" lefejtethető. A vízkiemelés az érintett területeken megváltoztatta a természetes vízháztartás egyensúlyát - a depresszió már a Kisalföldi-medencét is elérte. Következményei - pl. a rétegvizek utánpótlódási-tározási paramétereinek befolyásolása a hidraulikai kapcsolat révén - sok vonatkozásban tisztázatlanok. A felszínnel való közvetlen kapcsolata miatt szennyeződésérzékeny, ezért a karsztvidékek környezetvédelme kiemelt társadalmi érdek.

7. A források

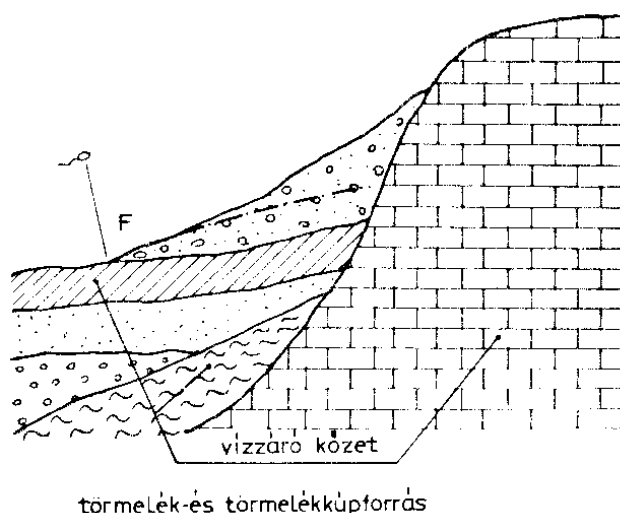
7.1. Fogalom, osztályozás

A felszín alatti vizek koncentrált természetes felszínre bukkanásai, amelyeknek három eleme - a vízgyűjtő terület, a vízszállító szakasz és a forráskilépés környezete - különíthető el. A vízgyűjtő legmélyebb pontján fakadó forrás esetében a szállító szakasz hiányzik.

Hidrogeológiai szempontból legcélszerűbb a szállítási útvonal és a tápterület egymáshoz viszonyított magassági helyzete alapján osztályozni őket. Eszerint leszálló-, átbukó- és felszálló források különböztethetők meg.

7.2. Néhány példa

Egy pillantást vetve a leszálló típusú források keletkezését szemléltető 7.26. ábrára, magától értetődő, hogy ez a forrástípus időszakos (is) lehet.



7.26. ábra

A csapadék és a források működése közötti kapcsolat világos, függvényszerű összefüggés általában nem adható meg.

Az átbukó források jellegzetessége, hogy a vízzáró fekvő a forráskilépés szintje alatti, de a forrás felé tartó víz szintje a forráskilépés szintjénél mindenütt magasabban helyezkedik el.

A felszálló források vizének felszínre jutását a hidrosztatikai nyomás vagy a vízben oldott gázok biztosítják. A hidrosztatikai nyomás következtében működő források réteg-, hasadék- és vetőforrások lehetnek.

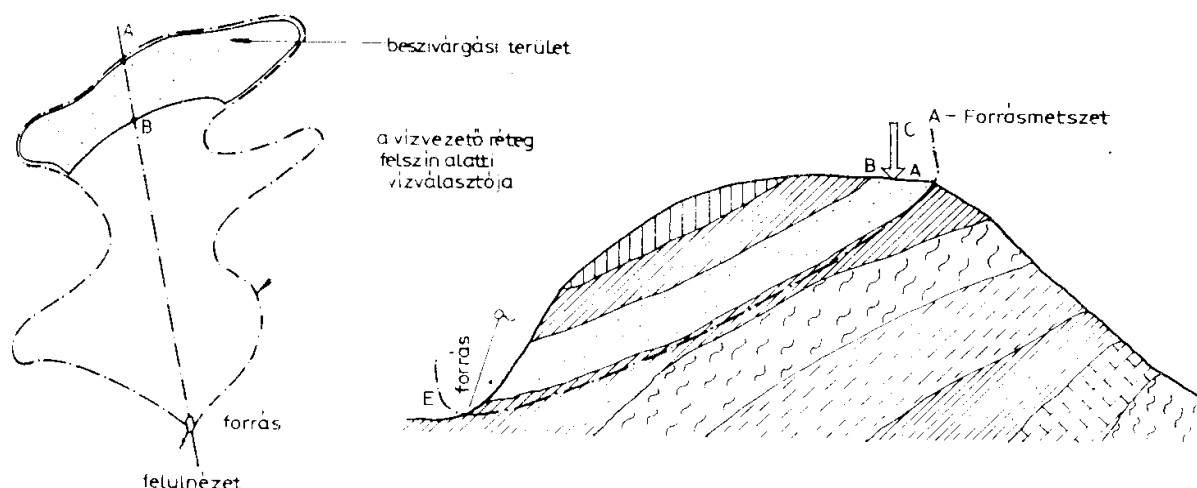
A források geotechnikai szempontból általában alárendelt jelentőségűek, esetenként hasznosan informálhatnak a várható rétegviszonyokról és a hidraulikai helyzetről.

8. Geohidrológia

Mint láttuk, a hidrogeológia a víz teleptana, a geohidrológia pedig a víztartókban zajló időbeli folyamatokat, lényegében a víz körforgalmát vizsgálja. E vizsgálatok jelentik az alapot - többek között - a kitermelhető dinamikus vízkészlet meghatározásához.

A felszín alatti vízkörforgalom különféle periódusai vizsgálhatók - van rövid idejű és évszakos, éves, több éves (évtizedes) és hosszabb periódusú vízforgalom. Pl. az éves vízforgalom jellegzetes példája a téli csapadék-talajvíz-evapotranspiráció folyamatsora, amelyben a felszínről beszivárgó víz kb. egy év alatt kerül ismét a felszínre.

Az ilyen típusú vizsgálatok első lépése a vízháztartási idom kiválasztása. A kiválasztást lehetőleg úgy kell végezni, hogy az idomon jelentkező (figyelembe veendő) "terhelések" (beszivárgás, elfolyás, párolgás stb.) könnyen számíthatók legyenek. Ilyen célszerűen választott idomot mutat a 7.27. ábra, ahol a vízforgalom a csapadék beszivárgó részével (C) és a forrással felszínre jutó vízmennyiséggel (E) jellemezhető.



7.27. ábra

Vízháztartási idom (pont-vonallal lehatárolva) célszerű kiválasztása döntően a beszivárgó csapadékból (C) és a forrással felszínre jutó (E) vízmennyiségből álló vízforgalom esetében

A választott idom vízmérlegét a vízháztartási egyenlet fejezi ki, amely az összes figyelembe vehető "bejutó" és "eltávozó" vízmennyiséget - a vízháztartás elemeit - tartalmazza, és azok között egyensúlyt tételez fel. Pl. zárt vízgyűjtőkre, több éves időszakra az alábbi összefüggés fogadható el:

$$fCs = FE + P, \text{ ahol}$$

f_{Cs} : a több éves csapadékátlag,
 FE : a több éves lefolyás értéke,
 P : a több éves párolgás értéke.

A geohidrológiai vizsgálat elemeinek meghatározására általános szabály nem adható. Bár matematikailag egy ismeretlen az összefüggés alapján is számítható a többi tag ismeretében, az egyenletet csak kontroll érdekében szokás használni, a többi tag esetenként nagyfokú pontatlansága miatt.

Az egyes elemek meghatározása jelen tanulmányainkban nem célunk - a részletek a szakkönyvekben hozzáférhetők.

A vízzel kapcsolatos (és szükséges) ismeretek e fejezettel nem zárultak le. A többi tudnivalót - amelyek túlnyomórészen az építési, környezetvédelmi feladatokhoz, gondokhoz és megoldásokhoz kötődnek - a további szaktárgyak ismertetik.

* * *

Kérdések

1. Milyen módszerekkel határozná meg adott területen (pl. egy leendő hulladéklerakó helyén) a talajvíz áramlási irányát és sebességét? Képzelje el, hogy a közelben egy (élő) folyómeder is van.
2. Hasonlítsa össze a talaj-, réteg- és karsztvíz főbb hidraulikai jellemzőit, a különbségek pontos megfogalmazására törekedve!

Ajánlott irodalom

- Juhász József: Hidrogeológia. Akadémiai Kiadó, 1976.
- Vízminőségi kárelhárítás kézikönyve. Bp. (VÍZDOK) 1984.
- M. Erdélyi - J. Gálfi: Surface and Subsurface Mapping in Hydrogeology. Akadémiai Kiadó, 1988.

* * *

VIII. Műszaki földtani ismeretek - betekintés -

1. A mérnökgeológiai szemlélet kettőssége

Az előző fejezetekben - elenyésző kivétellel - a földkéreg anyagjellemzői és dinamikája, azok tér- és időbeli rendje az emberi létesítményektől független, kizárólag természeti tényezőként jelentek meg.

Mint azt a műszaki földtan-mérnökgeológia-geotechnika fogalmak önmagukban is jelzik, a továbbiak szemléletét a létesítmény és a természeti környezet kettőssége jellemzi. Ebben az értelemben a két fogalom viszonya mellérendelt - nem vetődhet fel mérnökgeológiai feladat a létesítmény vagy a természeti környezet nélkül.

A létesítmény egyben beavatkozás a természet rendjébe. A mérnökgeológia kérdései és megoldásai e beavatkozás, beilleszkedés természeti körülményeire irányulnak, alapot nyújtva a létesítménnyel kapcsolatos, a természeti környezettől (is) függő munkák elvégzéséhez.

2. Létesítmény

Létesítmény minden építmény (szerkezet, épület, műtárgy) mesterségesen kialakított tömeghiány (bevágás, üreg), tömegtöbblet (töltés, depó), vagy ezek csoportja, kombinációja (település, lakó-, ipartelep stb.), amely a földkéreggel helyhez kötött kapcsolatban van, beleértve a létesítmények kialakításához felhasználható, ásványi nyersanyagnak nem minősülő anyagnyerőhelyeket is.

A létesítmény fogalma időbeliséget is jelent, amelynek fázisai sorrendben: a létesítés (hely kiválasztás, tervezés, kivitelezés), használat (művelés, fenntartás), esetenkénti szerkezeti és/vagy használati átalakítás, és a létesítmény megszüntetése vagy magára hagyása. A létesítményre és annak környezetére vonatkozó üzem közbeni megfigyelések is ide sorolhatók. Mindegyik fázis önállóan is újabb és/vagy ismétlődő (kölcson)hatásokra vezethet. Pl. egy völgyzárógáttal felduzzasztott víztározó **hirtelen** leürítése vagy feltöltése a "normál" üzemeltetés közben nem működő folyamatokat indíthat el (partomlás, rézsűcsúszás, a terhelt közettömeg törése stb.).

3. A természeti környezet

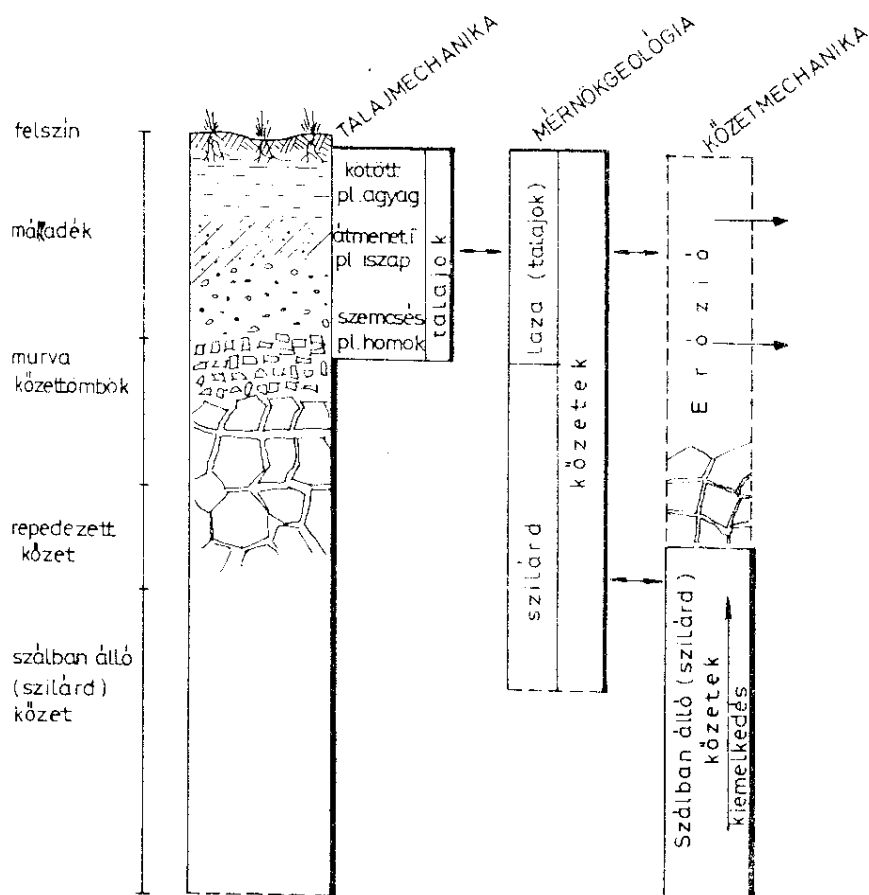
E kategóriához több, egymással átfedésben lévő, ugyanakkor gyakran következtetlenül használt fogalom is kapcsolódik. Legáltalánosabb a már definiált földkéreg. Ennek téridő dimenziói a létesítményekéhez képest nagyságrendekkel nagyobbak, bár a létesítmények "öve" (nooszféra) horizontális és vertikális értelemben egyre tágul. Az alábbiakban részletezett fogalmak közös jellemzője viszont az, hogy mérnökgeológiai-geotechnikai értelemben a földkéreg viszonylag szűk (nagyjából a létesítmények dimenziójával azonos nagyságrendű) tartományára vonatkoznak.

3.1. A talaj

A hétköznapi szóhasználatban a földkéreg legfelső, növényi gyökerekkel átszőtt, humusztartalmú zónája. Hasonló a jelentése mezőgazdasági értelemben is. Földtani

megfogalmazásban a földkéreg felszínén kialakuló, a mállás-elszállítódás-lerakódás különféle fázisaiban lévő kőzetanyag (üledék).

A mérnökgeológia a kőzeteket az összetartó erők nagysága szerint két csoportra osztja: **laza** (ezek a talajok) és **szilárd** (összeálló) kőzetekre. Némely felosztás átmeneti csoportot is megkülönböztet. A zavar abból fakad, hogy a műszaki nyelv a "talaj" fogalmát általában a létesítmény környezetében lévő kőzetanyag megnevezésére alkalmazza, függetlenül a részecskéket összetartó kötőerők jellegétől és mértékétől. Földtani értelemben a talaj kizárólag a földkéreg felszínén alakulhat ki (talajöv-pedoszféra), az emberi létesítmények viszont a talajtakaró nélküli területen vagy a mállási öv alatt - a földkéreg kristályosan szilárd tartományában - is megtalálhatók. Az elmondottakat a 8.1. ábra foglalja össze. A (laza) talajokhoz szokás sorolni a mesterséges feltöltést is.



8.1. ábra

A talajmechanikai, mérnökgeológiai és kőzetmechanikai feladatok színtere a földkéregben

A geotechnikában a "talaj" vagy "kőzet" a létesítmények teherviselő és/vagy terhelő közegként, építőanyagként, valamint környezetként jelenik meg. Mérnöki szemlélettel általánosítva a talaj heterogén, többkomponensű, diszperz, nyitott anyagi rendszer, amelynek tulajdonságai a környezettel (beleértve a létesítményt is) való kölcsönhatás függvényében térben és időben változnak. Mivel a változás földtani, fizikai és kémiai feltételei a laza és szilárd (szálban álló) kőzetek esetében élesen eltérők, azok sebessége és intenzitása főként a laza kéreganyagok esetében okozhat gondokat.

3.2. A mérnöki munkák környezetmodelljének elemei

A mérnökgeológiai közetmodell olyan "elemekből" áll, amelyek egységesen kezelhetők, tulajdonságaik meghatározhatók és értelmezhetők. Bármelyik modellelem tulajdonságai következnek az alacsonyabb szintű (kisebb) elemekéből.

A "**földtani formáció**" az a legnagyobb, földtani alapon különválasztható egység, amelynek keletkezési feltételei lényegében azonosak voltak. A földtani folyamatok jellegének megfelelően fokozatosan (fokozatos változás a keletkezés körülményeiben) vagy éles határral (dinamikus változás és/vagy utólagos földtani hatások) kapcsolódnak. Nevüket általában a képződés földtani koráról vagy helyéről kapják (kiscelli agyag, miocén vulkáni formáció stb.).

A **kőzettömeg** a földtani formációk azon téreleme, amelynek határai a feladat jellegétől is függenek. Ez a határ lehet földtani-kőzettani, lehet a szilárd kéreg felszínével azonos, és lehet szubjektíve kijelölt határ is.

A **kőzettest** a kőzettömegben belüli, a viselkedés szempontjából egységesnek tekintett és így körülhatárolt, kőzettanilag azonos térelem. Olyan, általában tagolt térelem, amely azonos kőzettani minősítésű, tagolatlan elemekből, **kőzettömbökből (talajtömbökből)** áll, függetlenül a kőzet laza (talaj) vagy összeálló jellegétől. A kőzet(talaj-) tömb a legkisebb térbeli alapegység. A tagolt kőzettest tulajdonságai a kőzettömb tulajdonságaiból és a **tagoltság** jellemzőiből következnek. A tagoltság a **tagolófelületek** térbeli rendszere, a tagolófelületek pedig a földtani formációkat, kőzettesteket és kőzettömböket választják el és felületi tulajdonságaik vannak.

Laza üledékekben tagolófelület tartósan nem szokott kialakulni, ezért a kőzettest és a kőzettömb a talajokban általában nem szétválasztható.

Érintett földkéreg a földkéreg azon része, amelyre a létesítmény - akár összetett - hatással lehet. **Kölcsönható kőzettömegnek** nevezhetjük a kőzettömegnek azt a részét, amelyben a létesítmény valamelyik hatásának lényeges mértékével számolunk.

3.3. A fontosabb természeti adottságok

A **domborzat** befolyásolja a létesítmény és a kölcsönható kőzettömeg állékonyságát, a műtárgyak helyét, a földmunkák nagyságát stb., és összefüggésben van az erózió-akkumuláció mértékével, intenzitásával.

A **kőzettani-, települési és szerkezeti** viszonyoknak döntő hatásuk van a kölcsönható kőzettömeg állékonyságára. Kihatnak a földmunkák jellegére, mennyiségére, költségeire stb.

A **hidrogeológiai viszonyok** főként az állékonysági és víztelenítési kérdésekben meghatározók. Az építőanyagok felhasználhatósága is részben azok függvénye: pl. a víz alatt települő kavics kitermelése bonyolultabb technológiát igényel, ezért a mérlegelendő gazdaságossági határok is eltérők a "szárazon" leművelhető kavicsstelepekhez képest.

A **dinamikai-földtani** folyamatok (geodinamikai helyzet). Meghatározzák a létesítmény elhelyezését, üzembiztonságát. Felderítésük, működésük intenzitása, sebessége és azok előrejelzése nehezebb, bizonytalanabb.

4. A mérnökgeológiai kőzetmodell

4.1 A modellalkotás

A mérnökgeológiai (geotechnikai) modellalkotás a létesítmény (vagy környezete) viselkedését befolyásoló köztömeg idealizált tulajdonságokkal való felruházása. Ez azt jelenti, hogy az anyagi tulajdonságaira, ezek térbeli alakulására, esetleg időbeli változékonyságára teszünk egyszerűsítő feltevéseket azért, hogy a műszaki-gazdaságossági számításokat (egyáltalán) elvégezhessük.

A modell az esetek egy részében a "végtelen féltér". Ez a talajmechanikában általában célra vezet, az eredmények azonban csak közelítően (vagy egyáltalán nem) lehetnek érvényesek a heterogén esetekre. Ez tehát általános modellként nem alkalmas a mérnökgeológiai feladathoz.

*A földtani felépítés (beleértve a tényleges heterogenitást) ismerete sem mindig elegendő, hiszen **a kőzet neve nem tájékoztat** a kőzet települési viszonyairól, mállottságáról, vagy tagoltságáról.*

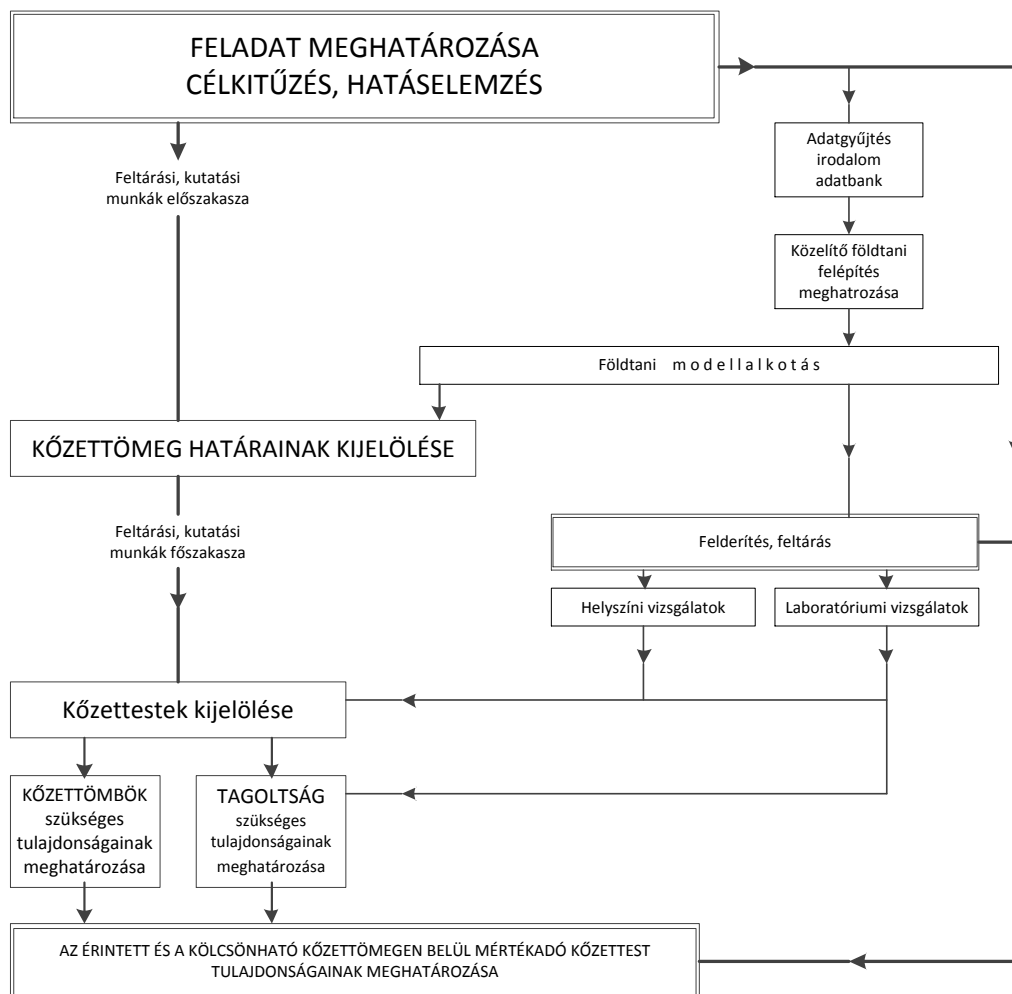
Olyan modellre van tehát szükség, amelynek térbeli rendszere a földtani felépítés függvénye, és meghatározott geometriájú (térbeli vagy síkként kezelhető), valamint meghatározott térfogatú elemeihez ismert tulajdonságok (vagy tulajdonságváltozások) rendelhetők. A modell megfigyeléseken, feltárásokon és vizsgálatokon alapul, szem előtt tartva a földtani környezet anyagi és geodinamikai sajátosságait és a műszaki célokat. A modell (szükséges) részletessége függ a földtani felépítés bonyolultságától és az adott létesítménytől (méreteitől, jellegétől stb.).

4.2. Homogenitás, izotrópia és folytonosság

A kőzet csak akkor tekinthető homogénnek és izotrópnak, ha az egyébként mindig meglévő zavaró tényezők a feladat nagyságrendjében elhanyagolhatók. A kőzetek a teret folyamatosan töltik ki. "Szakadásnak" tekinthető a vizsgált tulajdonság hirtelen változása. Ilyen változást "hordoz" a vízvezetőképesség vagy teherbírás szempontjából minden tagolófelület.

4.3. A kőzetmodell kialakításának folyamata, a mérnökgeológia tevékenység fázisai

A modellalkotás a 8.2. (folyamat)ábrával szemléltethető. A modellalkotásnak a kőzetmodell elemeiből "összerakott" elvi folyamatát az ábra bal oldali, a mérnökgeológiai (praktikus) tevékenység kapcsolódó fázisait pedig az ábra jobb oldali része tünteti fel. A térbeli szerkesztéshez szükséges adatok földtani kutatási módszerekkel, a mértékadó tulajdonságok laboratóriumi és/vagy helyszíni vizsgálatokkal adhatók meg.



8.2. ábra

Az elvi (bal oldal) és a gyakorlati (jobb oldal) tevékenység kapcsolódása a modellalkotás folyamatában

5. Kőzetfizikai alapismeretek

5.1. A természeti jellemzők csoportjai

- a, Geometriai (települési) jellemzők (rétegződés jellege, oldalirányú végződés típusa stb.);
- b, Tagoltsági (geometriai + minőségi) jellemzők;
- c, Kőzettani (ásványtani) jellemzők (kémiai összetétel, szerkezet-struktúra, szövet-textúra stb.);
- d, Állapotjellemzők (víztartalom, tömörség, halmazsűrűség stb.);
- e, Mechanikai (szilárdsági, alakváltozási stb.) jellemzők;
- f, Hidraulikai-geohidrológiai jellemzők (áteresztőképesség, kapillaritás stb.);
- g, Időállósági és korróziós (kémiai + elektromos, mállási, fagyállósági stb.) jellemzők.

A létesítmények viselkedését és élettartamát elsősorban az állapotjellemzők, az időállósági és a korróziós tulajdonságok befolyásolják, sőt - áttételesen - szinte az összes többire hatással lehetnek.

A leírt tulajdonságok mindegyikének maradéktalan tárgyalására (értelmezés, mérési-számítási mód, értékelés) jegyzetünkben több okból nem kerül sor. A tudnivalók részben már ismertek, egyéb, a gyakorlat szempontjából különösen fontos jellemzőket pedig másutt érintünk.

5.2. A (laza, törmelékes) „talaj” és a szilárd (szálban álló) kőzetek megkülönböztetése

A legfontosabb okokat a 8.3. táblázat foglalja össze.

A laza és a szilárd kőzetek összehasonlítása			
Jellemző		K Ö Z E T	
		laza (talaj)	szilárd
	kötési szilárdság	kicsi vagy közel nulla	nagyságrendekkel nagyobb
	tagoltság	jelentéktelen, vagy nem alakul ki	jelentős lehet, a tulajdonságokban lokális szakadást okoz
	fázisok (szilárd, folyékony, légnemű) szerinti változatok	szilárd – légnemű szilárd – folyékony szilárd – folyékony – légnemű	szilárd szilárd – légnemű szilárd – folyékony szilárd – folyékony – légnemű
	húzószilárdság	jelentéktelen vagy nulla	jelentős lehet
	tönkrementel (törés)	szilárdságtanilag jól definiálható helyzetű csúszólap mentén indul meg, jellegváltozással nem jár	szabatosan meg nem határozható helyen következhet be, a törésfelület mentén a kőzet tönkremegy
	környezetmodell elemeinek viszonya (közetttest – közettömb)	nem választható szét (tagoltság nem értelmezhető)	szétválasztható, a közetttest viselkedését a közettömb tulajdonságai és a tagoltság együttesen határozza meg

8.3. táblázat

5.3. A szilárd kőzetek fizikai jellemzőinek eredete

Az ionos kötés

A kőzetfizikai jellemzők többsége az ásványok felépítését meghatározó kémiai kötésre vezethető vissza. A kötéstípusok (kovalens, fémes stb.) közül az ionos kötés a legfontosabb.

Az ionpárok közötti vonzó- és taszítóerők eredője az iontávolság függvénye. Egyensúlyi helyzetben az eredő zérus. Távolítva őket, az ionpár szétválasztásához jól meghatározható erő szükséges. Ez az erő a húzószilárdság.

Az ionok közelítése csak növekvő erővel lehetséges (az ionok "érintkezéséhez" elvileg "végtelen" nagyságú erőre volna szükség), miközben az egyik ion az ionpárt összekötő (egyensúlyi) egyenesből oldalirányban elmozdul. Az oldalirányú (merőleges) kimozdulás (Δx) és a hozzá tartozó, az iontávolság "sugárirányú" változásának (Δr) kapcsolata a Poisson-effektus. A kettő aránya a Poisson-tényező $\left[\frac{\Delta x}{\Delta r} \right]$, fontos anyagjellemző. Az egyensúlyi helyzet környezetében az elmozdulások és a szükséges erő között lineáris a kapcsolat. Ez a Hooke-törvény fizikai alapja.

Egyensúlyi helyzetben az ionpár által meghatározott térfogat állandó, a sűrűség - mint az atomsúlyok és a térfogat hányadosa - szintén.

A fentiek alapján az ionpárok által befolyásolt közetfizikai jellemzők:

a húzószilárdság (F_t)
a rugalmassági modulus (E)
a Poisson-tényező (n)
és a sűrűség (ρ).

5.4. A közetalkotó ásványok; kristályok és alkattanlan közegek

Az egyszerűbb kristályrácsok fizikai tulajdonságai az ionpárokból elméletileg levezethetők - eltéréseket a rácshibák (a kristályrácsok tökéletlenségei) okoznak.

Már tárgyalt közetfizikai jellemzők a **sűrűség**, a **keményiség** és a **hasadás**.

A vizsgálat egyszerűsége következtében a **nyomószilárdság** szintén a leggyakrabban mért közetjellemzők egyike.

Az alakváltozások és a feszültségek között általában lineáris az összefüggés, de a jellemző számok a kristálytani irányok szerint különbözhetnek (anizotropia). A (feszültségi) irányok szerint fizikailag lehetséges felső határa a "szilárdság". A feszültség = szilárdság bekövetkezését a "törési" állapot jelzi: az alakváltozások az igénybevétel növelése nélkül (vagy akár csökkenése ellenére) is "a végtelenhez tartanak".

További anyagjellemzők a **rugalmassági** (Young-) **modulus** és a **Poisson-tényező**. Az előbbi értéke a gyakoribb ásványoknál $(6.....24) \times 10^7$ kN/m² közötti, míg a Poisson-tényező 0,2.....0,24 között mozog.

Kivétel a kvarc Poisson-tényezője, amely a jelzett értéknek kb. tizede. A kvarc saját - kivételesen nagy - szilárdsága mellett ez is szerepet játszik abban, hogy a nagyobb kvarctartalmú közetek általában nagyobb szilárdságúak.

A **nem kristályos** (alkattanlan) közegek - ilyenek például a már említett kötőanyagok (tufák stb.) - összetételük és fizikai tulajdonságaik szempontjából **heterogének**. Kivétel az egyeneműnek minősülő kőzetüveg (pl. obszidián).

A közetalkotó ásványok közötti kötés vagy kötőanyag közvetítésével (pl. homokkő, vagy gyakran anélkül jön létre. A kötési felületek a közet gyengített felületei. Pl. a hőtágulás eltérése miatt az ismételt hőmérséklet-változás a kötések gyengüléséhez vagy megszűnéséhez vezet (lásd: fizikai mállás).

5.5. A kőzetszövet és a szilárdság (törés) kapcsolata

Kőzetszövetnek nevezik a közetalkotó elemek (ásványok, közegek, kötések) térbeli elhelyezkedésének és tulajdonságai eloszlásának jellemzőit. Nyilvánvaló, hogy egy "i" számú, különböző közetalkotó elemből álló közet "eredő" tulajdonságai (T) az ásványok (T_a) és a kötések (T_k) fizikai jellemzőitől és azok K_a , K_k gyakoriságától függenek.

$$T = (T_a, K_a; T_k, K_k)$$

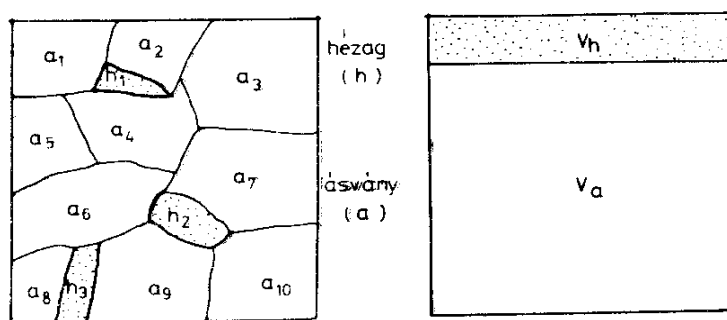
Egy ilyen összefüggésből az eredő szilárdság még nem határozható meg, a kötési tulajdonságok hiányos megismerhetősége miatt. Azonos külső terhelés mellett az egymáshoz szilárdan kapcsolódó ásványokban **azonos alakváltozás**, de a rugalmassági modulusok eltérése miatt **különböző feszültségek**

lépnek fel. A feszültségeloszlás a kőzetben belül tehát egyenlőtlen, a merevebb ásványok mintegy magukhoz vonzzák a feszültségeket. Ahol az adott ásvány vagy kötés szilárdságát az ébredő feszültség eléri, ott megindul a törés. Tartsuk szem előtt, hogy a kőzetek szilárdsága, rugalmassági modulusa - hasonlóan a hővezetőképességhez és a vízáteresztőképességhez - anizotróp tulajdonságok.

5.6. A kőzetek tömegeloszlása

A "tömegeloszlás" a kőzetek ásványainak, a közegnek (kötőanyagnak) és a hézagoknak az eloszlását jelenti. A (szilárd) kőzetdarab térfogata csak jelentéktelenül változhat, ezért a tárgyalandó jellemzők egy részét a teljes kőzetdarab (és nem csak a szilárd váz) térfogatához viszonyítjuk.

A tömegeloszlás alapelemei (8.4. ábra).



8.4. ábra

A kőzetek tömegeloszlásának alapelemei és jelölésük

a kőzetalkotó ásványok + közegek (*a*); és
a hézagok (*h*), amelyeket víz (*w*) vagy levegő (*l*) tölt ki.

A kőzet térfogata (*V*):

$$V = \sum_{i=1}^n V_{ai} + \sum_{i=1}^n V_{hi} = V_a + V_h$$

Tömege (*m*):

$$m = \sum_{i=1}^n m_{ai} + \sum_{i=1}^n m_{hi} = m_a + m_h = m_a + m_w.$$

A kőzetanyag sűrűsége:

$$\rho_s = \frac{m_a}{V} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

Testsűrűsége ("térfogatsúly"):

$$\rho_n = \frac{m_a + m_w}{V_a + V_h} \left[\frac{g}{cm^3} \right] \quad \text{ahol } m_w \text{ a víz tömege.}$$

Kiszáritott állapotban (105° C-on szárítás után):

$$\rho_d = \frac{m_a}{V_a + V_h} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

A hézagtérfogatot (*e*) és a hézagtérfogatot (*n*) már definiáltuk.

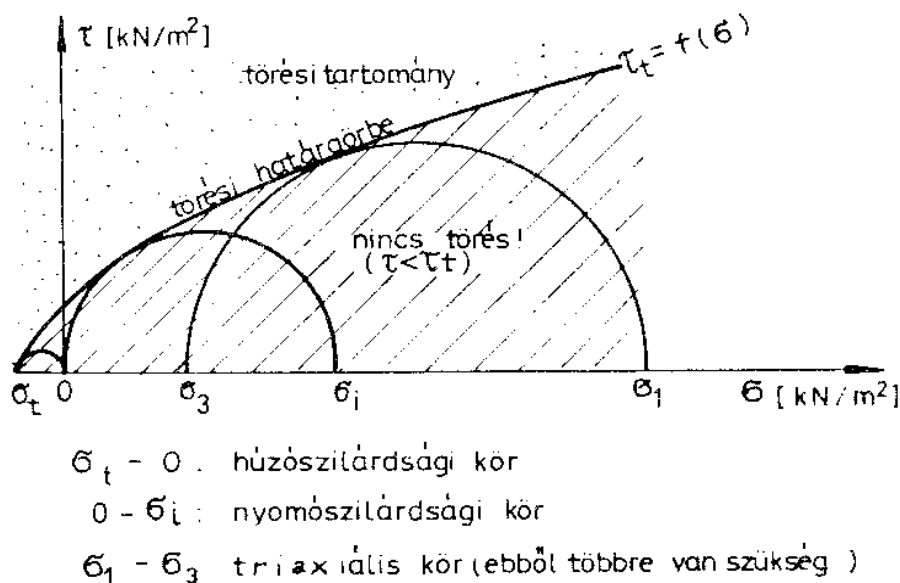
A víztartalom változása a természetben reverzibilis. Kiszáritáskor azonban egyes kicsapódott sók megváltoztatják a szilárdságot, mivel a kiválás után többé már nem vízdoldhatók. Ezért a száritott kőzetminta szilárdsági vizsgálatokra nem alkalmas.

5.7. A törés elmélete

Említettük, hogy szilárd kőzetekben az ásványok közötti gyengébb kötés, az ásványok belsejében felnyíló hasadási sík, vagy a kőzetüregben lévő mikrorepedések - az ún. hibahelyek - egyaránt a törés kiindulópontjai vagy folytatásai lehetnek, ezért a törés helye előre nem adható meg. Talajoknál igen (kivéve, ha pl. tagolt agyagról van szó), mivel a tönkremenetel mindig a szemcsék egymáshoz viszonyított elmozdulásával jár, a kritikus felület (csúszólap) helye pedig analitikusan meghatározható.

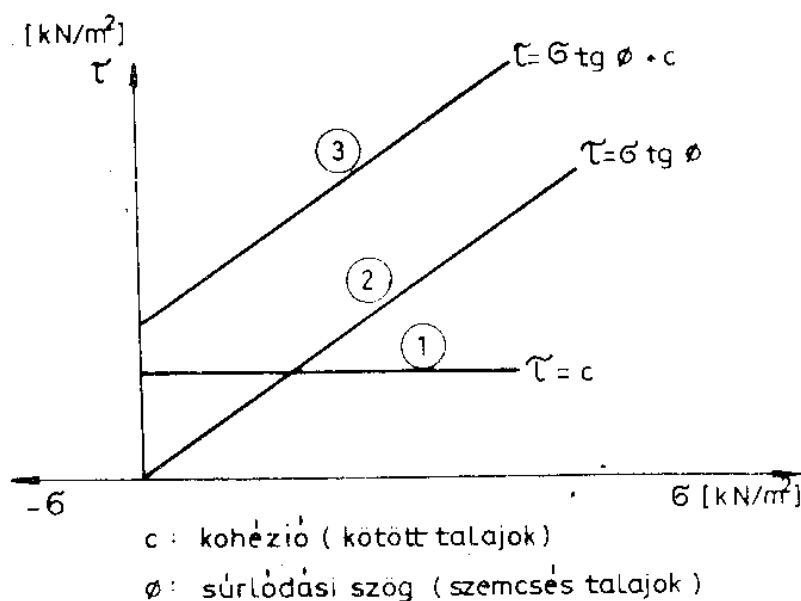
Mint a talajmechanikában látni fogjuk, a talajok esetében jól alkalmazható a Mohr-féle töréselmélet. A törési feltételt a $s - t$ koordináta-rendszerben szokás ábrázolni, ahol s a normálfeszültséget, t a nyírófeszültséget jelenti.

A koordináta-rendszer minden egyes pontjához $s_i - t_i$ értékpár tartozik. Adott talajra vagy (szilárd) kőzetre a törés kialakulásához szükséges összes $s_i - t_i$ értékpár meghatározásával adódik az ún. **törési határgörbe**. Ha az adott terhelés feszültségállapotát ábrázoló pontok e törési határgörbe alatt vannak, akkor a törés nem alakulhat ki. Az előzőekből nyilvánvaló, hogy a feszültségállapotot leíró Mohr-köröknek a törési határgörbével **legfeljebb egy közös (érintő) pontjuk lehet**. Ha van közös pont, az adott feszültségállapottal igénybevett felületelemen bekövetkezik a törés. E felületelemek összessége talajoknál a **csúszólap**.



8.5. ábra
(Szilárd) kőzetek törési határgörbéje

A talajok és a kőzetek törési határgörbéje között két különbség van (8.5.-8.6. ábrák): a kőzeteknél a törési határgörbe **másodrendű** (valóban "görbe"), valamint metszéke van a **húzás** (negatív s) tartományában is, mivel a kőzeteknek húzószilárdságuk is van. A talajok törési határgörbéje a mérnöki szerkezeteknél előforduló terhelések tartományában **egyenes**, amelynek a talajtípustól (szemcsés-kötött) függően három alaphelyzete lehetséges.



8.6. ábra
Talajok ("laza" kőzetek) törési határgörbői

Nyilvánvaló, hogy kőzeteknél az egy-egy feszültségállapotot leíró Mohr-körökből lényegesen többre van szükség a törési határgörbének (azaz a Mohr-körök közös burkolójának) a megrajzolásához, mint a talajok egyenes burkolója esetében.

A kőzetek szilárdsági vizsgálatát próbatesteken végzik.

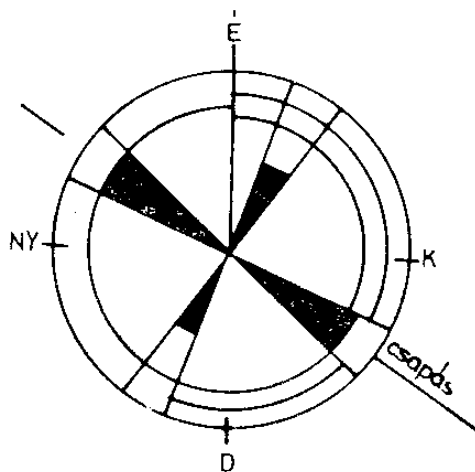
5.8. A tagoltság

Magától értetődő, hogy a próbatesten meghatározott kőzetfizikai jellemzők csak tagoltságmentes tartományban extrapolálhatók a **mérethatás** (adott tulajdonságnak - pl. a szilárdságnak - a változása a vizsgált térfogat függvényében) figyelembevételével. A tagolt kőzettest szilárdsága nem azonos pl. a konglomerátum szemcséiben lévő (egyébként kedvező teherbírású) ásványok szilárdságával.

Szilárdsági értelemben a tagoltság olyan felületrendszer, amely mentén a szilárdságnak minimuma van. Ahol a nyírószilárdság eleve csekély (talajok), nem értelmezhető a "tagoltság".

A tagolófelületek kialakulása lehet egyidejű a kőzetkeletkezéssel (elválás a magmás, rétegződés az üledékes, palásság a metamorf kőzeteknél), és lehet azt követő (tektonikai repedések, közetrések, vetődések). E felületeknek a térszínnel alkotott "metszékei" a terepen észlelhető nyomvonalak, amelyek csapásirányát az ún. **csapásrózsával** (8.7. ábra) szokás megadni. A tagoltság egyik (lehetséges) mérőszáma az adott kőzettérfogatban (V) levő tagolófelületek (A_t) összege:

$$t_m = \frac{A_t}{V} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} \right]$$



8.7. ábra

A tagoltság csapásirányának ábrázolása. A "fő" csapásirány a legnagyobb gyakoriságú irányként rajzolódik ki

Ennek meghatározásához ép, henger alakú kőzetmintát (magmintát) szolgáló fúrástechnika (magfúrás) vagy más módon kialakított szabályos geometria szükséges. Eltérően a talajoktól, a víz - amennyiben az ásványok tulajdonságait nem változtatja meg - a tagoltságmenti és szilárdsági jellemzőket számottevően nem befolyásolja.

Mivel a tagoltság részben szerkezeti mozgásokkal kapcsolatos, várhatóan a földtanilag idősebb kőzetek tagoltabbak (lévén több idejük a mozgásra), de általános összefüggés - a már ismert okok miatt - nem állítható fel.

5.9 Laza kőzetek (üledékek vagy talajok)

5.9.1. Megnevezésük

5.9.1.1. A szemcsék mérete, a szemeloszlás

A talajokat alkotó szemcsék mérete tág határok (~ 200-0,0001 mm) között változhat.

A szemcse méretét - mivel az alakja sokféle és szabálytalan geometriájú lehet - csak több adattal lehetne pontosan leírni. A gyakorlat számára azonban elegendőnek bizonyult a méretet egyetlen adattal, az ún. **névleges átmérővel** jellemezni. A nagyobb szemcsék átmérőjeként annak a szitának (vagy rostának) a lyukbőségét tekintjük, amelyen a szemcse még éppen átesik. A kisebb szemcsék átmérőjét pedig azon (a talajszemcsével megegyező anyagú) gömb átmérőjével azonosítjuk, amely valamely folyadékban a szemcsével azonos sebességgel süllyed.

A szemcseméret változékonysága miatt célszerű bizonyos **szemcsefrakciók** elhatárolása és megnevezése. A magyar talajmechanikai gyakorlat által használt megnevezéseket az olvasó már ismeri.

A természetben előforduló talajok általában e frakciók keverékéből állnak, és ezért a szemcsemérethez tartozó tulajdonságok is keverten, összegződve jelentkeznek. Ezért fontos tudnunk, hogy a különböző frakciók - illetve általában a különböző átmérőjű szemcsék - milyen arányban fordulnak elő egy adott talajban. Ezt a szemcsék tömegének arányaival fejezzük ki és **szemeloszlásnak** nevezzük.

Meghatározására kétféle módszert alkalmazunk, illetve szükség esetén egymás után mindkettőt használjuk. A $d > 0,1$ mm átmérőjű szemcsékből álló frakciók szemeloszlását **szitálással** határozzuk meg. Meghatározott lyukbőségű sziták következnek úgy, hogy a lyukbőség általában megkétszereződik. E szitasorozaton azután ismert (m_d) száraz tömegű talajt vibrálunk vagy mosunk át. Ezután folyamatos összegzéssel megmérjük az egyes szitákon **áthullott** szemcsék száraz tömegét (m_{di}). Így megadható, hogy valamely d_i átmérőnél kisebb átmérőjű szemcsék mekkora S_i tömegszázalékot képviselnek. Képlettel:

$$S_i \% = \frac{m_{di}}{m_d} \times 100$$

A finomabb szemcséjű talajok szemeloszlását a folyadéksűrűségmérés elvén alapuló **hidrometrálással** határozzuk meg. Ennek elve az, hogy a folyadékban a szemcsék d_i átmérőjüktől függő, állandónak vehető v_i sebességgel ülepednek le. Stokes törvénye szerint:

$$v_i = \frac{g(\rho_s - \rho_f)}{18\eta_f} \times d_i^2$$

ahol

g a nehézségi gyorsulás
 ρ_s a szemcsék sűrűsége
 ρ_f a folyadék sűrűsége
 η_f a folyadék viszkozitása
 d_i a szemcseátmérő.

Az ülepedési sebesség közvetlenül nem mérhető, helyette a talaj-folyadék keverék, a szuszpenzió változó sűrűségét mérjük. Ez természetesen a szemcsék ülepedésével csökken. A sűrűség időbeli csökkenése és a szemcsék ülepedési sebességének összefüggéséből számíthatók ki a szemeloszlás jellemző adatai.

A 80-as években kifejlesztett **foto-szedimentográf** a zagy **átvilágíthatóságának** és a (zagy)sűrűség időbeli változásának összefüggésén alapul - a sűrűségváltozás és a szemcseátmérők kapcsolata azonos a hidrometrálás ismertetésekor leírtakkal.

A műszer pótolhatatlan előnyei a mérés **gyorsasága** (nem kell az esetenként több napig tartó ülepedést kivárni), automatizálhatósága (az eredmény egy **berajzolt** szemelgörbe a hidrometrálás tartományában), **pontossága** (az úszó fajsúlymérő - hidrométer - zagyba történő mérésenkénti be- és kihelyezése kisebb-nagyobb mértékben) különösen az első, rövidebb időközönként szükséges méréssorozatnál óhatatlanul megzavarja az ülepedést), valamint az, hogy **nem igényel** állandó felügyeletet.

A szemeloszlás leggyakoribb ábrázolási módja az ún. **szemeloszlási görbe**. A szemeloszlási görbe bármely pontja azt mutatja, hogy a ponthoz tartozó átmérőnél kisebb szemcsék hány tömegszázalékot képviselnek a vizsgált halmazban. (Mivel a szemcseátmérők nagyságrendileg különböznek, a vízszintes tengelyen az átmérő logaritmus szerepel.)

A következő számszerű jellemzők önmagukban nem írják le a szemeloszlást, de bizonyos szempontokból sokatmondóak lehetnek.

Az **egyenlőtlenségi mutató** a szemeloszlási görbe "meredekségét" fejezi ki. Képlete:

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

ahol d_{60} az $S = 60$, d_{10} az $S = 10$ tömegszázalékhoz tartozó átmérő. Egyenlő átmérőjű szemcsékből álló halmaz esetén $U = 1$. Minél "laposabb" a szemeloszlási görbe, annál nagyobb az U értéke.

Azt a szemcseátmérőt, amelyből a legtöbb van a talajban, **mértékadó szemcseátmérőnek** nevezzük, jele: d_m . Mivel a szemeloszlási görbe tulajdonképpen integrálgörbe, a d_m -t a görbe inflexió pontjánál lehet leolvasni.

Fontos szemeloszlási jellemző még a **hatékony szemcseátmérő** (d_h), amely a szemcsék fajlagos felületével függ össze.

5.9.1.2. A talajok konzisztenciája - a talajosztályozás a plasztikus index alapján

A homokliszt-, iszap- és agyagszemcsékből felépülő talajok tulajdonságait a víz döntően befolyásolja. Ha a finomszemcsés talajok víztartalma kicsi, a talaj kemény, merev, szilárd anyagként viselkedik. Növelve víztartalmát, képlékeny, gyúrható lesz. Átmenetet mutat egy igen nagy viszkozitással rendelkező, sűrű folyadék és a szilárd anyagokra jellemző viselkedés között. Víz hozzáadva folyóssá válik, egyre közelít a víz viselkedéséhez.

A víztartalom változásával változik tehát a talaj konzisztenciája, az anyagi összetartás mértéke.

A képlékeny és a folyós állapot határáként értelmezzük a **folyási határt**, jele w_L . A képlékeny és a kemény állapot elválasztására pedig a w_p -vel jelölt **sodrési határt** vezették be.

A konzisztencia határok pontos meghatározása azokon az egyértelműen definiált vizsgálatokon alapul, melyekkel ezeket az állapotokat állítjuk elő.

A folyási határt hazánkban az ún. **Casagrande-féle vizsgálattal** határozzák meg. Ennek során a vizsgálandó talajból különböző (a becsült folyási határ körüli) víztartalmú pépeket készítünk, ezeket a Casagrande-készülékbe "bekenjük". Ezután az árkoló késsel a pépbe egy árkot húzunk. Ezt követően egy forgatókar segítségével a készülék csészéjét ejtegetjük, míg az alul 2 mm széles árok alja 1 cm hosszban össze nem folyik. Közben számláljuk az ehhez szükséges ütések (n) számát. Utána meghatározzuk a pép víztartalmát. Ezt még háromszor megismételve, négy összetartozó $w - n$ adatként kapunk. Ezeket $w - \lg n$ koordináta-rendszerben ábrázolva, a tapasztalat szerint a pontokat egyenessel lehet összekötni. Erről leolvasható a 25 ütéshez tartozó víztartalom, és definíciószerűen ez a talaj **folyási határa**.

A sodrési határ meghatározására a vizsgálandó talajból a becsült sodrési határnál kissé nagyobb víztartalmú "gombócokat" készítünk. Ezekből üveglapon tenyérrel szálacskákat sodrunk. A sodrást addig ismételjük, amíg a szálacskák éppen 3 mm vastagság mellett kezdenek repedezni, eltöredezni. Az ilyen szálacskákból ~ 10 gr-nyit összegyűjtve meghatározzuk azok víztartalmát, és ez a talaj "sodrési határa".

Jellemző a talajra az a víztartalom különbség, amely a sodrási határon levő talajt a folyási határ állapotába juttatja. Ezt - vagyis a képlékeny (plasztikus) konzisztenciájú állapot "terjedelmét" - I_p -vel jelöljük, és **plasztikus indexnek** nevezzük:

$$I_p = w_L - w_P$$

A mai (talajmechanikai) gyakorlat világszerte a plasztikus index alapján osztályozza a talajokat, illetve w_L -t és I_p -t együtt értékeli. A hazai talajosztályozás rendje:

A kötött talajok megnevezése

$I_p\%$	Gyűjtőnév	Név
5	gyengén kötött	homokliszt
5-10-ig		iszapos homokliszt
10-15-ig	közepesen kötött	iszap
15-20-ig		sovány agyag
20-30-ig	erősen kötött	közepes agyag
30 fölött		kövér agyag

5.9.2. A talajalkotók arányai

a, A három leginkább használatos jellemző az alkotórészek mennyiségének **egymáshoz viszonyított arányát** fejezi ki.

A **víztartalom** (w) a talajban levő víz tömegének (m_v) a szemcsék tömegéhez (m_s) viszonyított, százalékban (vagy tizedes törtben) kifejezett aránya:

$$w\% = \frac{m_v}{m_s} \times 100$$

A **hézagtényező** (e) a talajban levő hézagok térfogatát (V_h) a szemcsék térfogatának (V_s) arányában kifejező viszonyszám:

$$e = \frac{V_h}{V_s}$$

A **telítettségi fok** (S_r) a víz térfogatát (V_v) a hézagok térfogatához (V_h) viszonyító arányszám:

$$S_r = \frac{V_v}{V_h}$$

b, Az állapotjellemzők egy másik csoportja az alkotórészek térfogatának a talaj teljes térfogatához viszonyított arányát adja meg.

A szemcsetérfogat a szemcsék térfogatának (V_s) viszonya a teljes térfogathoz (V)

$$s = \frac{V_s}{V}$$

A **hézagtérfogat** a hézagok térfogatának (V_h) mennyiségét jellemzi:

$$n = \frac{V_h}{V}$$

A **víztérfogat** a víz térfogatának (V_v) és a teljes térfogatnak a hányadosa:

$$v = \frac{V_v}{V}$$

A **levegőtérfogat** ezekhez hasonlóan a levegő térfogatának arányát fejezi ki:

$$l = \frac{V_l}{V}$$

A definíciókból következik, hogy:

$$s = 1 - n$$

$$s + v + l = 1$$

$$n = v + l$$

c, Az állapotjellemzők közé sorolhatjuk a **különböző térfogatsűrűségeket is**. Ezeket a talaj tömegének (= az egyes alkotók tömegének összege) és térfogatának (= az alkotók térfogatának összege) hányadosaként kapjuk.

A geotechnikai gyakorlatban a telítettségi állapot szerint négyféle térfogatsűrűség fordulhat elő.

A **száraz térfogatsűrűség** a $S_r = 0$ esetben jellemző, jele r_d .

A **természetes térfogatsűrűség** a $0 < S_r < 1$ állapotra vonatkozik, jele r_n .

A **telített térfogatsűrűséget** r_t -vel jelöljük, értelemszerűen az $S_r = 1$ állapothoz tartozik.

A **vízalatti térfogatsűrűség** a víz alatt levő telített talajnak a felhajtóerő által csökkentett térfogatsűrűségét jelenti és r' -vel szokás jelölni. A definícióból következően:

$$\rho' = \rho_t - \rho_v$$

A térfogatsűrűségeket vagy g/cm^3 , vagy t/m^3 dimenzióban számítjuk. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy ezek a **többfázisú** talaj jellemzői és nem szabad összetéveszteni őket az ásványi szemcsék r_s sűrűségével.

A fentiek konkrét meghatározásához (zavartalan) magminta szükséges, a víztartalom kivételével.

6. A mérnökgeológiai tevékenység elemei

6.1. Adatgyűjtés (archív adatok, dokumentációk összegyűjtése, értékelése)

Az előzetes adatgyűjtés több okból kiemelt jelentőségű. A meglévő ismeretanyag - jellegétől, részletességétől függően - meghatározhatja a további kutatások és vizsgálatok irányát, várható költségeit. Az alapkérdések (a létesítmény alkalmas helyének kiválasztása, vagy az egyéb szempontok alapján megadott hely elbírálása, az anyagnyerőhelyek előfordulása, esetleg minősítése stb.) sokszor már ebben a fázisban megválaszolhatók.

Hazánkban nincs olyan terület, amelyről ne rendelkeznenk valamilyen átfogó jellegű (regionális) földtani, mérnökgeológiai adattal. Bár ezek felbontása néhányszor 10 méteres, km-es vagy nagyobb nagyságrendű, biztosan eldönthető pl. a várható kőzetek jellege, földtani kora, térbeli kiterjedése és morfológiai viszonyai. Ezen átfogó jellegű adatok nagy mélységű (szerkezetkutató, hévíz - szénhidrogén - vagy érckutató stb.) fúrások, kisebb (néhányszor 10 m-es) térképező fúrások, légi fotók, geofizikai (gravitációs, mágneses, geoelektromos, szeizmikus) mérések, terepi felvételezések stb. komplex értékeléseként születtek meg. Elsősorban a Magyar Geológia Szolgálat kiadványaiban (térképek, évkönyvek, adattárak, tanulmányok) állnak rendelkezésre. A kiadványok közül a "Magyarázó Magyarország 200 000-es földtani térképsorozathoz", a "Magyarország hévízkútjainak katasztere", a "Magyarország mélyfúrású kútjainak katasztere" című sorozatokat említjük meg. Az újabb adatok beépítésével folyamatosan bővítik a katasztereket, amelyek ma már a földmozgásokra, építőanyag-lelőhelyekre, hulladékelhelyezésre alkalmas területek kijelölésére stb. is kiterjednek. Hidrológiai adatokat közölnek a Vízrajzi Évkönyv kötetei. Számos vízzel kapcsolatos adat szerezhető meg az országban működő tizenkét Vízügyi Igazgatóság nyilvántartásaiból is.

Értékes adatok nyerhetők minden olyan vállalatától, intézménytől, amelyek tevékenysége ásványkincshez, vízhez, felszín alatti építéshez vagy építmények fenntartásához kapcsolódik.

A gyarapodó adatok számával egyre több területről áll rendelkezésre a minden szempontból teljesnek mondható **mérnökgeológiai atlasz**, amelynek tematikus térképváltozatai (földtani, geomorfológiai, talajtani, alapozási stb. térképek) szinte minden igényt kielégítenek. A tematikus térkép egy-egy természeti adottságnak a felhasználás céljából fontos, speciális adatait összegezi. Már most vessük azonban emlékezetünkbe, hogy a helyszíni bejárást semmiféle térkép nem pótolja, hiszen a térképek csak egy **adott időpontig érvényes állapotot** rögzítenek.

Az eddigiek közös jellemzője az adatok valamilyen fokú vagy jellegű feldolgozottsága. Esetenként döntő jelentőségű lehet **minden egyéb - izolált - információ** (szórványadatok). Ilyenek: pincevizek, létesítménykárosodások, lejtőmozgások stb.).

6.2. Terepi munka

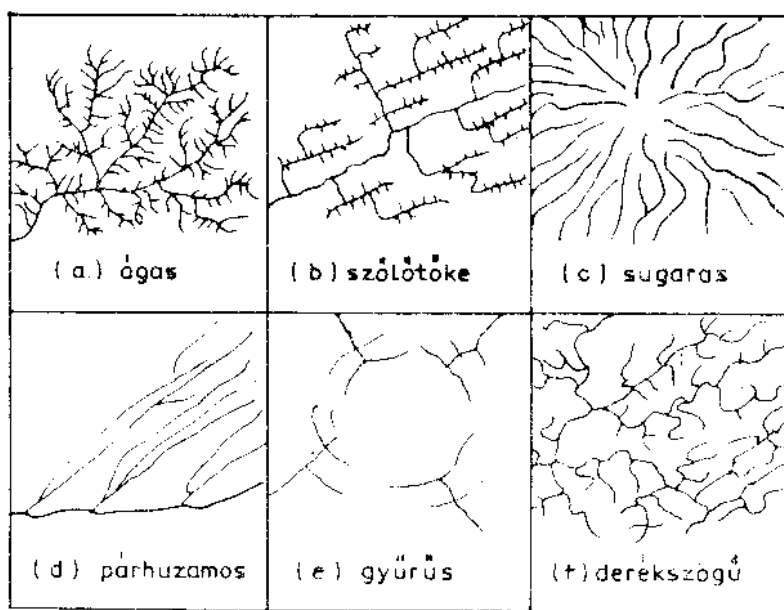
6.2.1. Megfigyelések

*A már ismert okokból az érintett terület **gyalogos bejárását és szemrevételezését semmi nem pótolhatja**. A földtani képződmények megfigyelésre alkalmas helyei a földtani feltárások. Ezek lehetnek természetes eredetűek, mint pl. a szakadék, a vízmosás, a magaslat, vagy mesterségesek: anyagnyerőhelyek, bevágások, alapgyödrök stb.*

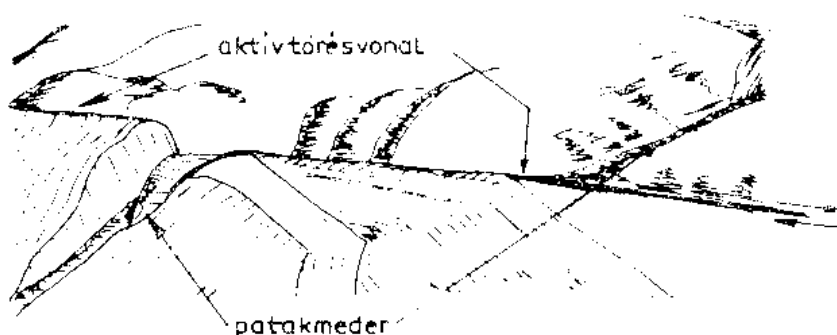
*Nyilvánvaló, hogy a **természetes** földtani feltárások főként a hegy- és dombvidékekre koncentrálódnak, sík területen szűkebbek a megfigyelés lehetőségei.*

Általános "recept" nem adható, hiszen minden helyes megfigyelésnek van értéke. Csak emlékeztetőül néhány példa:

Csupán morfológiai alapon is nyilvánvaló a folyók szakaszjellegének, dinamikájának és a várható rétegviszonyoknak az összefüggése. Részletesebb adatokra következtethetünk a vízgyűjtő hálózat jellegéből (8.8. ábra). Az **ágas** jelleg horizontálisan egyenmő kőzetkifejlődésre jellemző - jóval egyszerűbb rajzolatú pl. grániton, mint mészkövön vagy agyagpalán. A **szőlőtőke** jelleg gyűrt vagy megbillent rétegekre utal, és jelzi a törésvonalak lefutását is. A sugaras szerkezet medencét vagy kiemelkedést (pl. lepusztult vulkáni kúpot) mutat stb. Mivel a szűk völgyek, szurdokok általában törésvonal mentén jönnek létre, a patakok, kisebb folyók medre töréses, vetődéses zónán futhat (tektonikailag preformált). Esetenként a törés menti elmozdulás mértéke és kora is jól becsülhető (8.9. ábra).



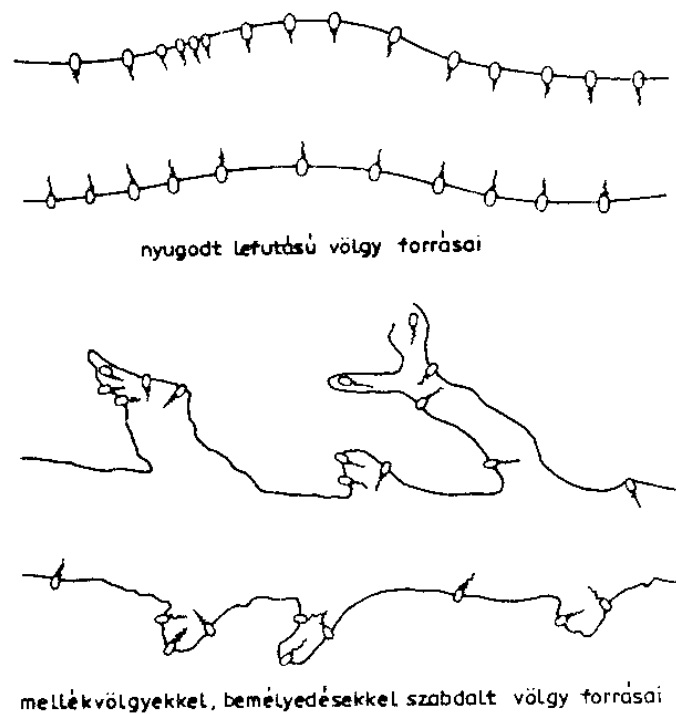
8.8. ábra



8.9. ábra

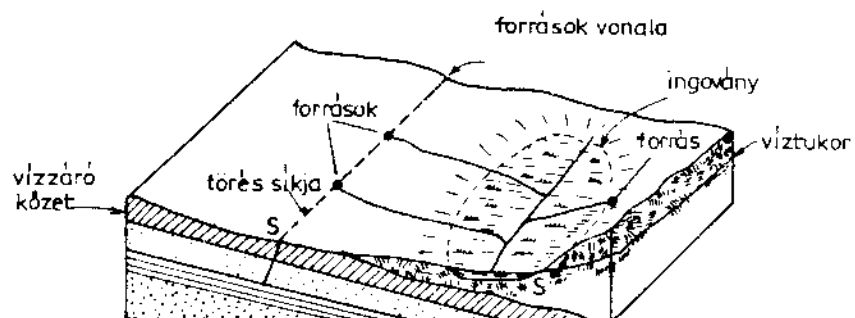
A földrengés során a törésvonal mentén bekövetkezett mozgások "elmetszették" a patakmedret, majd a két rész egymáshoz képest fokozatosan eltolódott

Rétegváltást, vagy törésvonalat és vízzáró kőzetet jelezhetnek a források (8.10.-8.11. ábrák). A rétegződés sokszor szabad szemmel is látható (8.12. ábra).



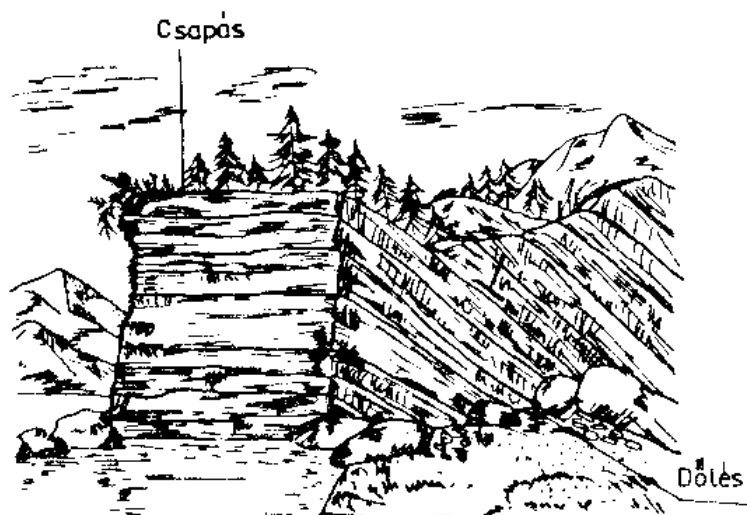
8.10. ábra

A források elhelyezkedése, kilépési helye a felszín alatti viszonyokról tájékoztat



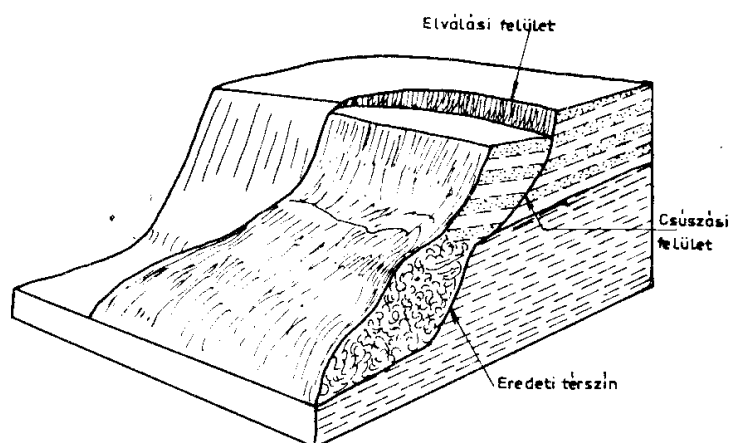
8.11. ábra

Példa a hidrológiai viszonyok és szerkezeti-földtan felépítés kapcsolatára. Az ábra jobb oldalán lévő "S" betű a réteg-kiékelődés vonalát jelzi



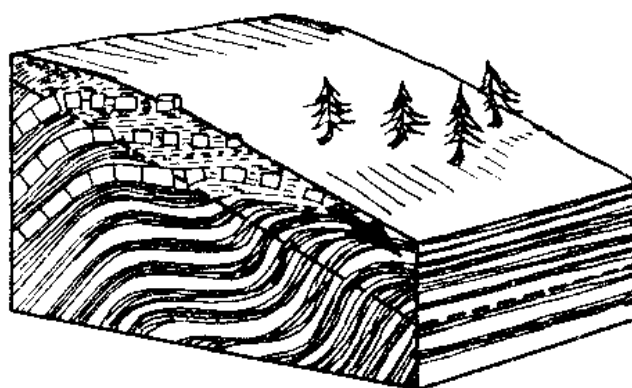
8.12. ábra

Jól látható nyomot hagynak a néhai (8.13. ábra) és a működő lejtőmozgások (8.14. ábra).



8.13. ábra

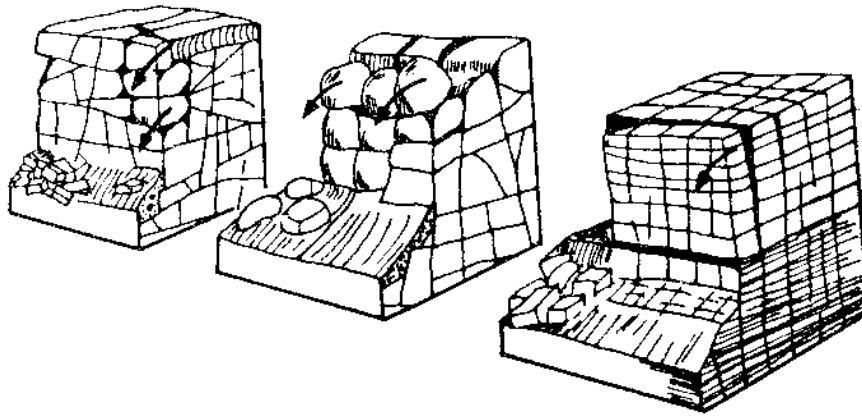
A lejtőcsúszás és néhány jellegzetessége



8.14. ábra

Talajfolyás (szoliflukció). A talaj felső zónájának a váltakozó fagyás és felengedés hatására bekövetkező kúszó mozgása, amelyet a fák törzsének elhajlása is jelezhet

Az erózió által intenzíven pusztított szálban álló kőzetekben a tagoltság is értékelhető (8.15. ábra).



8.15. ábra

A szálban álló kőzeteket az erózió elsősorban a tagolófelületek mentén támadja meg

A morfológiából a dinamikai - földtani előélet, a lepusztulás jellege, mértéke, iránya és a rétegtani jelleg sokszor ránézésből megállapítható.

Kizárólag a felszíni jegyek értékelésén alapul a légifotó értelmezés, amely az űrtechnika fejlődésével egyre több információt nyújt, bár adatai még főként regionális jellegűek.

Döntően a domborzat határozza meg a lepusztulás és az elszállítódás (lerakódás) területét, annak intenzitását. A pusztuló (a térszínből kimagasló) térségben a felszíni málladéktakaró vékony vagy hiányzik, földtanilag egyre idősebb képződmények kerülnek felszínre, magukon viselve a tehermentesülésből adódó közetfizikai változásokat, és az eredeti feltételek mellett kialakult tulajdonságok egy részét. A lerakódás területén az üledékek lazák, számottevő előterhelésük nincs, jellegük elsősorban az áthalmozás-felhalmozódás körülményeitől függ.

Értékes adatokat nyújthat a területen lévő épületek szemrevételezése is (repedések, vizesedési nyomok stb.).

6.2.2. Információk a felszín alól

A vizsgálati módszerek egy része kőzet-(talaj-)mintát ad a kezünkbe, amelyen további, laboratóriumi vizsgálatok végezhetők. Ilyen - gyakran alkalmazott - módszer a **fúrás**.

A fúrás a szerkezetbe is bepillantást nyújt. Szilárd kőzet fúrásakor földtani mozgások következtében összetöredezett zónára, vetősíkra, törésfelületre utalhat a fúró megszorulása vagy a hirtelen megnövekedett öblítőfolyadék-veszteség. Az eredeti helyzettel azonos orientációban kiemelt (szilárd) magmintán látható törési felület - vagyis a vetősík - dőlése és csapása is meghatározható. A másik - felderítési - csoportba sorolható vizsgálatok valamilyen közetfizikai jellemző felszíni vagy fúrólukban végzett méréssel következtetnek a felszín alatti képződmények kifejlődésére, geometriájára. Ilyen jellemzők pl. a kőzetek sűrűsége, mágneses és elektromos tulajdonságai, ill. fajlagos elektromos ellenállása, rugalmassági jellemzői.

Speciális csoport a **helyben végzett** - in situ - **vizsgálatoké**, amelyek egy részéhez szükség van furatra (szivárgási tényező, kohézió, összenyomódás stb. vizsgálata), mások anélkül végezhetők. Ez utóbbiak a szondázások, a földradar stb. A fejlődés következtében a

"klasszikus", eredetileg regionális kutatásra alkalmazott geofizikai módszerek (gravitációs, mágneses, elektromos, szeizmikus) közül az utóbbi kettő a geotechnikai, pl. földműépítési feladatok megoldására is alkalmas felbontóképességet ért el. Olcsóságuk és gyorsaságuk révén jelentőségük fokozódik.

A feltárás, felderítés szükséges részletessége, valamint a szükséges vizsgálatok száma, jellege a **meglévő adatoktól** (azok száma, jellege, keletkezésük időpontja stb.), a **földtani helyzettől** (anyagjellemzők + dinamika), valamint a **létesítménytől** (méret, szerkezet, terhelés, várható környezeti hatások stb.) függenek.

6.3. Laboratóriumi vizsgálatok

Tárgyuk a feltárásokból kapott zavart vagy zavartalan kőzet- vagy talajminta. Az általában henger alakú zavartalan minta őrzi az eredeti szerkezetet is, így a kőzet (talaj) létesítményekkel szembeni viselkedését lényegesen befolyásoló, ún. **állapotjelzők** - pl. a tömörség, a víztartalom, a képlékenység -, és a **nyírószilárdsági mutatók** (súrlódási szög, kohézió, törőszilárdság) meghatározásához kevés kivétellel zavartalan minta szükséges. Ne felejtjük, hogy a minta tulajdonságai a minta **valóságos** környezetére csak óvatosan vonatkoztathatók!

6.4. Az adatok komplex értékelése

6.4.1. Térképváltozatok

A sok ezer adatnak egységes képpé - modellé - kell összeállnia. Az eredmény: a földtani környezet (anyagi + szerkezeti) jellemzőinek háromdimenziós tere. A negyedik (idő-)dimenzió az egyes anyagjellemzők **értékének** és/vagy **geometriájának** (térbeli eloszlásának) változása.

Magától értetődő, hogy az eredményt legcélszerűbb térképen (szelvényben, tömbszelvényben) ábrázolni. Jellegük szerint az észlelési, földtani, geomorfológiai, vízföldtani, építésföldtani-alapozási, gazdaságföldtani, földrengés-veszélyeztetettségi és szintetizáló térképek a leggyakoribbak.

Néhány megjegyzés:

- az észlelési térkép **minden** észlelt adat helyét ábrázolja, köztük olyanokat, mint az épületek elváltozásai, épületkárok, barlangok, üregek, feltöltések, műemlékek, útkárok stb.;
- a dinamikai helyzetet (erózió, felszínmozgások stb.) általában a morfológiai térkép tükrözi, de nem kizárólag (gondoljunk pl. a talajvízjárás-térképre);
- az építésföldtani szintetizáló térképek különítik el az építés szempontjából **kedvező, nem javasolható** (vagy tilalom alatt álló), és az építésre **különösen veszélyes** vagy alkalmatlan területeket;
- a térképek, szelvények méretaránya általában 1:1000-1: 10 000 közötti, de ezektől eltérő is lehet.

6.4.2. Az extrapolálás megbízhatóságáról

A mérnökgeológiai tevékenység első három eleme nyomán rendelkezésre álló adatok egyediek és elkülönültek (diszkrét, izoláltak). Az értékelés egyik legkritikusabb feladata a bizonyos tulajdonságaikat illetően homogén rétegek azonosítása, tehát a szelvény- vagy tömbszelvény-szerkesztés, vagyis a már említett rétegtani korreláció. Különösen nagy

körültekintést igényel az ismétlődő - oszcillációs - rétegsorok értékelése. Az eddigiekből nyilvánvaló, hogy a "két pont egy egyenest határoz meg, három pedig egy síkot" - elv kizárólagos alkalmazása nem engedhető meg. Sokszor éppen a furatok rétegsorainak összeköthetlenségéből valószínűsíthető pl. egy vetősík jelenléte. Bizonyos üledékképződési-tektonikai viszonyok között két feltárási pontot nem köthet össze **egyenes**, és három pontot **sík** (lásd: pl. keresztarétegződés, vetődéses-gyűrődéses szerkezetek).

A korreláció biztonsága az adatok (pl. fúrásszelvények) számától, a szóban forgó rétegek földtanilag meghatározott geometriájától, a geometriát a keletkezés pillanatától formáló földtani folyamatok jellegétől, intenzitásától és azok időtartamától egyidejűleg függ. Megbízhatóan vetíthetők pl. az állandó vastagságú, gyűrődés és vetődés nélküli üledékes rétegek, regionális vetők. Csak fenntartással extrapolálhatók a kiékelődő és lencsés üledékes összletek, vagy a felszínen nem észlelhető vetők, elválási felületek. Nem megbízhatók az elméleti feltevések alapján végrehajtott vetítések. Megoldás: az adatok - beleértve az egyéb módszerekkel kapott, valamint a területre vonatkozó fejlődéstörténeti - ösföldrajzi adatokat - számának növelése, lehetősége szerinti kontrollja, és mindezek együttes felhasználása, értékelése.

6.4.3. A geodinamikai helyzet

a, A létesítménytől független földtani folyamatok

A létesítmény és a természeti környezet **kölcsönhatása** komplex - zömében a felszín alatt, eltakartan játszódó -, ezért nehezebben megfigyelhető, értékelhető és követhető jelenség. A létesítmények **nem befolyásolják** a földkérget formáló átfogó jellegű folyamatokat - a kéregblokkok függőleges és oldalirányú mozgásait, a hegységképződést, lepusztulást, a geoszinklinálisok feltöltődését stb. -, mert a méretek, az energiák, valamint az időtartamok annyira különböznek. Fordítva is igaz, - e folyamatok annyira lassúak, hogy a változás egy létesítmény "életében" általában nem számottevő, kivéve a mozgásokat kísérő katasztrófa-jelenségeket, mint a földrengések, vulkánkitörések, szökőárak stb., és az aktív törésvonalakat, amelyek mentén jelenleg is van mozgás. Ezekhez képest kisebb területre terjednek ki, de gyorsabban játszódnak le - és ezáltal közvetlenül veszélyeztethetik az építményeinket:

- a lejtőmozgások,
- a mélyebben lévő természetes vagy mesterséges üregek (pl. karsztüregek, alábányászás vágatai) beszakadása,
- a felszíni és felszín alatti erózió ki-, el- és lemosó, pusztító munkája,
- az erózió által elmozdított anyagok felhalmozódása, leülepedése,
- a fagyási és duzzadási alakváltozások,
- a talaj összenyomódása (tömörödése), különösen pedig a lösztalajok ún. roskadása.

b, A létesítményekhez kötődő földtani folyamatok - általában

A létesítmény maga is megindíthatja a veszélyeztető folyamatok (elvileg) bármelyikét, illetőleg gyorsíthatja, növelheti azokat. Így tehát **mesterségesen keltett** (felerősített) folyamatok is működésbe lépnek, amelyek többnyire a létesítmény **közvetlen** környezetére korlátozódnak. Figyelmen kívül hagyásuk veszélyes következményekkel járhat. Szélsőséges - megtörtént - példaként az egyik völgyzárógát által "mesterségesen" keltett és a gátat leromboló földrengés említhető.

A létesítmény a súlyával (terhelésével), a víz mozgásának megváltoztatásával, hő- és vegyi hatásokkal befolyásolhatja a környezetét. Vessük össze ezeket a földtani egyensúlyi állapotok típusaival! Mindegyik hatás ismétlődhet, azaz **dinamikus** jellegű is lehet.

A létesítmény **tömege** (súlya) a teherviselő talaj (kőzet) számára többletterhet (pl. épület), vagy tehermentesülést (pl. bevágás, munkagödör, földalatti üreg) jelent. Az első eset az összenyomódásból eredő süllyedésre, süllyedéskülönbségekre vezet, lejtős terepen pedig tömegátrendeződések, morfológiai változások, lejtőmozgások (csúszás, törés) alakulhatnak ki. Ez utóbbiakat a tömeghiány is kiválthatja. Tömegátrendeződést, tehát összenyomódást, süllyedést okozhat a víz túlzott kitermelése is.

A létesítmény a felszínen és/vagy a felszín alatt **mozgó** víz útjában jelenthet **akadályt** (ellenállást) vagy **kedvezőbb** (kisebb ellenállású) utat. Az első esetben (pl. völgyzárógát) az akadály miatt lelassuló áramlási terekben lerakódás következik be. A felszín alatti áramlási viszonyok leromlanak, a víz által szállított hordalék egy része lerakódik, ezért a hézagok eltömődnek (**kolmatáció**). Az áramlási viszonyok átrendeződése vízszintváltozással is járhat. Megváltozhat azon kémiai reakcióknak a jellege, sebessége is, amelyekhez maga a víz, vagy az általa szállított anyagok valamelyike szükséges.

A másik esetben - bevágás, szivárgók, víztelenítő létesítmények stb. - a gyorsuló áramlás tartományaiban esetleg fokozott erózió alakul ki, amely kimosódáshoz, lemosódáshoz, aláüregelődéshez, fokozott oldási-kilúgozódási folyamatokhoz, vízszintváltozásokhoz vezet. A finom szemcsék felszín alatti elmosódása a **suffózió**.

A létesítmények **termikus** jellege pl. akkor lényeges, ha a létesítmény és a környezet hővezetési tulajdonságai különbözőek. Pl. a töltésen épített utak hőmérséklet-változásai befolyásolják a töltés víztartalmát (termoozmózis), s ez útromlásokat, burkolatrepedéseket okozhat. A szélsőséges hőhatású létesítmények - gyárkémények, kohók, hűtőházak - hatása közvetlen környezetükre még erőteljesebb.

Az előzőekben a laza talajokhoz sorolt feltöltések szintén "létesítmények" abban az értelemben, hogy mesterségesen kerültek pl. üzemből, bányából vagy építkezésről a helyükre. A "vegyi jelleg" elsősorban e hulladékok révén lehet fontos, mivel az agresszív hulladékok - salak, vörösiszap, galvániszap stb. - súlyosan fertőzhetik a környezetet.

Megfelelő földtani helyzetben és nagyobb terheléseknél a létesítmény a **tagoltságot** is megváltoztathatja. A kőzet a többletterhelés miatt repedezhet, törhet. A réseket, repedéseket, törési felületeket a (fokozott) oldódási folyamatok is növelhetik. Csak a megfordítás kedvéért: a tagoltság csökkentésére irányuló spontán földtani folyamatként a különféle ásványok (kalcit, aragonit, érc) kicsapódása, mesterséges folyamatként az injektálás említhető.

* * *

*A létesítmények jellegüktől függően a **légköri**, áttételes a mikroklimatikus viszonyokat is befolyásolhatják. Egy völgyzárógát, viadukt vagy híd - megváltoztatva a széláramlás irányát és/vagy sebességét - kedvezőtlenül alakíthatja a völgy mikroklimatikus adottságait, pl. fagyzugokat hoz létre.*

Mint a példából látható, az egyes összetevők összefügghetnek egymással. Ritka eset, ha a természet rendjébe való "beavatkozás" következményei csak a felsoroltak egyikének megindulására, változására korlátozódnak.

Az előbbieket összefoglalva, a mérnökgeológiai szakvéleménynek - általában - ki kell terjednie:

- a **geológiai** tényezőkre: felépítés, szerkezet, morfológia, geodinamikai helyzet, kőzetleírás - minőség - felhasználhatóság;
- a **hidrológiai** körülményekre: vízfolyások és felszín alatti vizek ingadozása, szintje, áramlása, lefolyási viszonyok, víznyerési lehetőségek, források;
- a **talajviszonyokra**: összetétel, felhasználható anyagok helye, mennyisége, minősége, növényzet stb.;
- a **meteorológiai** tényezőkre: csapadékmennyiség és -eloszlás, mikroklíma, fagyveszély, hófúvásveszély stb.

Ezek - összefüggéseik miatt - nem mindig választhatók el élesen. Egy-egy tényező ismeret a céltól, a körülményektől és a rendelkezésre álló adatoktól függően kiemelten fontos, máskor esetleg szükségtelen is lehet.

c, Az emberi tevékenységgel kiváltott másodlagos folyamatok

Ezek lényegét már említettük. Emlékeztetőül lásd a domborzatot (tehát "csak" egyetlen természeti tényezőt) megváltoztató emberi tevékenység következményeit (8.16. táblázat). Az emberi létesítmények számának, méreteinek növekedésével a természetes folyamatokba való beavatkozás fokozódásával kell számolnunk. Néhány konkrét példa arra utal, hogy az ilyen hatások következményei csak részben tisztázottak, azaz nem várt esemény- és jelenségláncolatokra vezethetnek, mint pl. a savas esők, az őserdők kipusztítása, az állat- és növényfajok kihalása, az atmoszféra és a hidroszféra elszennyezése stb.

A „DOMBORZATRA” GYARKOROLT HATÁSOK ÉS KÖVETKEZMÉNYEIK		
hatás	közvetlen emberi tevékenység (antropogén hatás)	kiváltott másodlagos folyamat
fejtés	árkolás, csatornázás, tereprendezés külffejtés, eláüregelés	felszínmozgások megélénkülése a lefolyás és a vele kapcsolatos folyamatok változása felszínmozgás, épületkár, vízviszonyok megzavarása
állékonyosság veszélyeztetése	a növényzet kiirtása talajművelés a felszín statikus és/vagy dinamikus terhelése talajkiszáritás, talajvízszint süllyesztés víztározás, a talaj víztartalmának megváltoztatása	talajpusztulás, lemosódás, a völgytalp feliszapolódása, fokozódó talajfagy a felszín süllyedése, földmélyutak keletkezése, tömörödés, omlás fokozott szélerózió, talajpusztulás, felszínmozgás elmocsarasodás, szikesedés, talajmozgások
feltöltés vagy feltöltődés	töltések, utak, gátak építése városi vagy mezőgazdasági hulladékok lerakása bányák létesítése feliszapolódás – tó, patak, árok	természetes lefolyás romlása, töltéskárosodás, átnedvesedés roskadás, fokozódó beszivárgás, alapozási nehézségek bányaomlás, lefolyás gátolása, hasznosítható területek bővülése, roszadások fellépése
beépítés	lejtővédelmi berendezések felszíni burkolatok	felszín-stabilizálódás, a felszíni rombolódás mérséklése felszíni lefolyás gyorsulása, csökkenő párolgás, burkolat alatti felfagyás

8.16. táblázat

A **természetvédelem** és a **környezetvédelem** megnövekedett jelentőségét nem kell bizonyítani. Az előbbi a természet élettelen és élő tárgyainak megóvását, fenntartását - esetleg bemutatását - jelenti. Ilyenek - védendő értékek - lehetnek: egyes területek kedvező természeti tulajdonságai, az ősrégészeti lelőhelyek, a történelmi és kultúrtörténeti emlékhelyek és műemlékek, a pusztulóban lévő életformák és gazdálkodási módok, valamint a génkészletek.

A környezetvédelem az ember és az emberi léttér (bioszféra) aktív védelme az ember által előidézett technikai folyamatoknak és a romboló természeti erőknek a káros hatásától azért, hogy az ember és a természetes, valamint a mesterségesen alakított (művi) környezet fennmaradjon. Az emberi tevékenység számos terhet: szennyeződést, zajt, sugárzást, hőártalmakat, szemét- és hulladékfelhalmozódást ró a természetre. Ám a környezeti tényezők, a víz, a talaj, a levegő és az összes élőlény, valamint a Nap energiája bonyolult összefüggésrendszert alkotnak, ez az ún. ökoszisztéma. Ebben a rendszerben **minden kapcsolódik valamihez, függ valamitől**, az összetevők egyensúlyi állapot kialakítására törekednek. Rugalmassága folytán a "szabályozó válasz" arányos a "kitérés" mértékével. Ha a kitérés (pl. az emberi beavatkozás mértéke - amelynek egyik mérőszáma a beavatkozás **időtartama** is lehet) meghalad egy ma még általában ismeretlen kritikus értéket, akkor az egyensúly véglegesen kilendülhet eredeti állapotából.

Ökológiai szabály, hogy **a természet nem ismer hulladékot**. Az emberi tevékenység termékei - legalábbis részben - mégis **idegenek** az ökoszféra számára, tehát **megmaradnak**. Ilyenek a nehézfémek, a műanyagtermékek, bizonyos vegyszerek stb., amelyek azután visszajuthatnak - akár áttételesen - az ember **közvetlen** környezetébe.

Minden, a természetes állapotba való beavatkozás az ökoszféra eredeti állapota egy részének torzításával, esetleg **elpusztításával** jár. Itt is érvényes a termodinamika II. főtétele, hogy t.i. minden "rendezett állapot" csak **folyamatos energiabefektetéssel** tartható fenn - gondoljunk a folyam- vagy tározókotrásra, vagy akár a rézsű- és partvédelem témakörére.

A fenti, sokszor napjainkban sem kellő gonddal kezelt törvények igazságára a legtöbb bizonyítékot valószínűleg az olvasó mérnöki gyakorlata fogja szolgáltatni. Közismertek a magyarországi példák: a Balaton szennyeződése és az annak megfékezésére tett erőfeszítések, a vulkáni kúpok "lebányászása" és egyéb tájvédelmi gondok, a fél Dunántúl vízháztartását befolyásoló karsztvízszint-süllyesztés és a kiemelt karsztvíz minőségromlása, a folyók szennyezettsége, a folyók mentén a víz természetes szűrését biztosító kavicssteraszok kikotrása, leművelése építőipari célokra stb. Jelentős hazai eredmény viszont, hogy a nagyobb létesítmények tervrajzai mellé egyre gyakrabban csatolják a várható környezeti hatásokat elemző, természet- és környezetvédelmi vonatkozású tanulmányokat is.

* * *

Kérdések

1. Képzeld el egy terepbejárást. Sorolja föl, mire figyelne, vonjon le következtetéseket és indokolja azokat!

2. Idézzé föl a talaj fázisarányait számszerűsítő talajfizikai jellemzőket, és próbálja kidolgozni azok összefüggéseit egymással - pl. $e = f(n)$; $r_n = f(r_s, w, e)$ stb.

Ajánlott irodalom

- Mosonyi-Papp: Műszaki földtan (mérnökgeológia). Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1959.
- Csák-Hunyadi-Erdélyi: Földrengések hatása az építményekre. Műszaki Könyvkiadó. Bp. 1981.
- F. G. Bell: Fundamentals of Engineering Geology. Butterworths, 1983.

A gyakoribb szakkifejezések

abrázió (lat. abrasio "levakarás"). A hullámverés pusztító hatása a partokon. Tengeri letarolásnak is nevezik.

adszorpciós víz: kolloidokhoz kötött, tapadó víz.

agglomerátum (lat. agglomerare "szorosan egymáshoz nyom"). Durva, sarkos törmelékből álló alaktalan, gyakran meg sem szilárdult üledék. Szorosabb értelemben: vulkáni szórástermék felhalmozódása.

akkumuláció (lat. accumulare "felhalmozni"). Mechanikai felhalmozódás; nehézfémek vagy/és folyékony fázisok felhalmozódása a magmában.

aktualizmus (lat. actualitas "időszerűség"): A földtan egyik fontos kutatási elve (Lyell után), mely szerint jelenleg is ugyanazon hatások idézik elő a földtörténeti folyamatokat, mint a múltban.

alluvium (lat. "hordalék"). A negyedidőszak legfiatalabb szakasza, mai elnevezése: holocén.

amorf (gör. "alaktalan"). Olyan anyag, amelynek részecskéi a szilárd állapot ellenére nem mutatnak szabályos elrendeződést.

antiklinális (gör. anti "ellen, klinein "hajolni"). Nyereg alakú kőzetredő felfelé irányuló része (* szinklinális)

artézi kút (forrás), (a franciaországi Artois-táj után). A mélybeli víz természetes túlnyomás hatására lép felszínre.

asztenoszféra (gör. "gyöngye öv"). A földkéreg alatt elhelyezkedő kb. 750-800 km-es mélységig terjedő zóna.

barkán (türkmén) *dűne.

batolit vagy **batholit** (gör. bathosz "mélység", lithosz "kő"). Intrúzióval keletkezett, nagy kiterjedésű kőzettest.

Belemniták (gör. belemnion "villám"). A lábasfejűek egyik csoportja. Régebben úgy vélték, hogy a villám hozza őket létre.

bioszféra (gör. biosz "élet", szphaira "golyó"). A földkéreg azon övezete, amely felöleli az élő szervezetek összességét.

biosztratigráfia (gör. biosz "élet", lat. stratum "réteg", gör. graphein "írni"). Rétegtan.

breccsa (olasz). Törmelékes üledékes kőzet. Cementálódott, szögletes kőzet- vagy ásványtöredékekből áll.

Cephalopodák (gör. kephalé "fej", podesz "lábak"). Lábásfejűek.

denudáció (lat. denudare "lemeztenít"). Lepusztulás.

depresszió (lat. depressus "alacsony" "mélyen fekvő"). Morfológiai elem = süllyedék. Hidraulikában a leszívást (az eredeti vízszint vagy nyomásvonal süllyedését) jelenti.

diagenézis (gör. dia "után" genezisz "születés, származás, keletkezés"). Gyűjtőfogalom a közettéválás folyamatára.

differenciáció (lat. differentia "különbség"). Elkülönülés, pl. a magmaanyag fajsúly szerinti elkülönülése.

diszkordancia (lat. discordia: "egyenetlenség, viszály"). A kőzetek egyenlőtlen települése, azaz a rétegzettség szabálytalansága. *konkordancia.

drift (angol "sodródás").

dűne (holland). Szél által felhalmozott, domszerű szárazföldi képződmény. *barkán.

effúzió (lat. effusio "kiömlés"). Láva kiömlése a vulkánból.

endogén (gör. endon "belül", genezisz "keletkezés"). A Föld belsejében működő erőkkel kapcsolatos folyamatok, jelenségek jelzője.

eolikus (gör. Aiólosz a szél istene). Szél által formált, lerakott (üledékek jelzője).

epicentrum (gör. epi "fölött", lat. centrum "középpont"). A földfelszín azon pontja, amely (a Föld sugarának irányában) egy földrengés fészke fölött helyezkedik el.

epirogenezis (gör. épeirosz "szárazföld", genezisz "keletkezés"). Nagyobb kéregrészek hosszú ideig tartó emelkedése vagy süllyedése.

éra (lat. aera "kor, időpont").

erózió (lat. erosio "kimosás, kimarás"). A folyóvíz, szél vagy jég pusztító tevékenysége.

erupció (lat. erumpare "kivet, kihány"). A magma kitörése a Föld belsejéből.

evaporizáció (lat. ex "ki", vapor "gőz"). Elpárolgás. Oldatok bepárlódása vagy elpárolgása útján keletkező anyagkiválás (pl. kősó keletkezése).

evolúció (lat. evolutio "fejlődés").

exhaláció (lat. exhalatio "kigőzölgés, kilehelés"). Gáz kitódulása vulkánokból, utóvulkáni működés.

exogén (erők) (gör. exon "kívül", genezisz "keletkezés"). A Föld felszínére ható erők.

expanzió (lat. expandere "kiterjedni"). Földtágulási elmélethez vagy térfogatkiterjedéshez kapcsolódó fogalom.

fácies (lat. "külső, alak, arc"). Az üledék jellemző közettani, őslénytani sajátosságainak összessége, amelyet a lehordási és felhalmozódási terület fizikai, földrajzi és geológiai viszonyai határoznak meg.

fluviális, fluviatilis (lat. fluvius "folyó"). Folyóvíz, folyóvíz hatására végbemenő, keletkező üledékfelhalmozódás, torlat jelzője.

Foraminiferák (lat. foramen "lyuk", ferre "hordozni"). Likacsosházúak. Az egysejtűek egyik rendje - nagyon gyakori az üledékes kőzetekben (kövületek).

formáció (lat. formatio "képződmény"). A földtörténet egy bizonyos szakaszában keletkezett rétegsor, amely határozottan eltér az alatta és felette települő rétegektől.

fosszília (lat. fossilis "kiásott"). Ősmaradvány, a földtörténeti múltban elpusztult és megkövesült állat vagy növény.

fumarolák (lat. fumus "füst, gőz"). Hasadékokon, repedéseken át kitóduló vulkanikus gázok, gőzök összefoglaló neve.

geoid (gör. gé "föld"). Földalak, geometriai test, a Földnek a domborzat figyelembevételével nélkül kiszámított alakja.

geoszinklinális (gör. gé "föld", szyn "együtt", klinein "hajolni"). Hatalmas tektonikus a földkéregben (felszíni morfológiai fogalom).

glaciális (lat. glacies "jég"). A jégkorszakok lerakódásainak, képződményeinek jelzője.

gleccser (lat. glacies "jég"). Jégár: a magas hegységekben jéggé összefagyott hónak a völgyekben lassan lefelé csúszó tömege.

Gondwana vagy **Gondvana** (az egyik elő-indiai néptörzs neve után). Az őskontinens (Pangea) azon része, amely a déli félgömb szárazulatait ölelte fel, nagyjából a földtörténeti középkorig.

hidratáció (gör. hydor "víz"). Bizonyos ásványoknak - pl. agyagásványok - az a tulajdonsága, hogy vizet képesek felvenni vagy felületükön megkötni.

hidrogeológia - a felszín alatti vizek teleptana, az alkalmazott földtan egyik ága.

hidrológia (gör. hydor "víz", logosz "tan"). A vízzel foglalkozó tudomány: feladata, hogy vizsgálja a víz megjelenési formáit, természetes összefüggéseit, a kölcsönhatásait a környezettel, a Föld felszíne alatt, fölött és a felszínen egyaránt.

hidroszféra (gör. hydor "víz", szphaira "gömb"). A Föld vízburka, elsősorban a tengerek.

hipocentrum (gör. hypo "alsó"). A földrengés fészke.

horzsakő (habkő, tajtékkő). Habos szerkezetű, üveges alapanyagú vulkáni kőzet. Olyan könnyű, hogy úszik a vízben.

infiltráció (lat. "beszivárgás"). Oldott anyagok benyomulása vagy beszűrődése a kőzetek pórusaiba és üregeibe.

ingresszió (lat. ingressio "bejárás, bemenet, benyomulás"). A tenger lassú előrehatolása az olyan szárazföld területére, amely a süllyedés állapotában van. Nagyjából azonos a *transzgresszió jelentésével.

injekció (lat. iniectio "befecskendezés"). 1. folyékony magmatikus eredetű vagy magmatikus anyag benyomulása egy kőzetbe; 2. sóközetek benyomulása a felettük elhelyezkedő üledékekbe; 3. vegyi anyagok talajba juttatása az altalaj stabilizálására és tömörítésére.

inklináció (lat. inclinare "elhajolni"). 1. egy lejtő dőlésének mértéke; 2. földmágneses tér irányának a vízszintessel bezárt szöge.

inszoláció (lat. insolare szószerint: "benapozódni"). A Nap besugárzása a Föld felszínére (mechanikai aprózódás - mállás).

interglaciális (lat. inter "között", glacialis "jeges, jéghideg"). Két glaciális (jeges szakasz) közötti melegebb éghajlatú időszak.

izosztázia (gör. izosz "azonos", sztatisz "állás"). A földkéreg hidrosztatikus egyensúlyi állapotára vonatkozó elmélet (úszáselmélet).

konglomerátum (lat. conglomerare "összegyűr, összeteker"). Durvaszemű törmelékes üledékes kőzet, a legömbölyödött szemcséket meszes, homokos, vasas vagy kovás kötőanyag szilárdítja (cementálja).

konkordancia (lat. concordans "egyetértő, összhangban lévő"). A kőzetrétegek megegyező dőlésű és csapású egymásra települése. Ellentéte: diszkordancia (*).

konzolidáció (latin consolidare "megszilárdul"). A "laza" üledékek közzé válásának (diagenézis) egyik fázisa.

kontakt metamorfózis (érintkezéssel átalakulás). A benyomuló magma által leadott hő alakítja át az eredetileg "hideg" mellékkőzeteket.

kontrakció (lat. contractio "összehúzódás"). Zsugorodás pl. talajoknál vagy magmás kőzeteknél, hasadások, rések kialakulásával jár.

korrázió (lat. corradere "összekaparni, összekarcolni"). Szélmarás, homoksúrlódás. A szél által szállított homokszemcsék súroló, csiszoló hatása.

kozmogónia (gör. kozmosz "világ", goneia "létrehozás"). A világmindenség, szűkebb értelemben a bolygórendszerek fejlődésével foglalkozó tudomány.

kraton (gör. kratynein "megszilárdulni"). A földkéreg stabil, megszilárdult, konszolidálódott része, ellentétben a mozgékony (mobil) övezetekkel.

lapilli vagy **rapilli** (lat. lapillus "kövecske"). Mozaik elemi darabja; dió vagy mogyoró nagyságú vulkáni szórástermék.

laterit (lat, later "tégla"). Talajfajta. Lateritbauxit: trópusi klíma esetén képződő bauxitváltozat.

litorális (lat. litoralis "parti"). A tenger parti övezetében működő erők, folyamatok jelzője.

litoszféra (gör. lithosz "kő", szphaira "gömb"). A Föld legkülső övezete, amely a földkérget és az azzal mechanikai egységet képező felső-földköpeny foglalja magában.

magma (gör. "átgyúrt tészta"). Természetes kőzetolvadék, amely magasabb hőmérsékleten teljesen folyékony.

magnitúdó (lat. "nagyság"). A földrengés erősségének mértéke, amelyet a szeizmogramból állapítanak meg. A talajmozgás-amplitúdó logartimusból számítják ki, az epicentrumtól való távolságtól függően, egy olyan mozgás logaritmusára csökkentve, amelynek önkényesen nulla értéket adtak.

meander (meanderezés) (gör. Maiandrosz, ma Menderes, kanyargós folyó Kis-Ázsia nyugati partján). Erőteljes folyókanyarulat, elsősorban az oldalazó *erózió következtében.

metamorfózis (gör. "átalakulás"). Kőzetek ásványi állományának átalakulása a földkéregben, a nyomás és hőmérséklet változásai következtében.

metaszomatózis (gör. meta "át-", szóma "test"). Ásványok (kőzetek) kémiai úton történő átalakulása, egyes elemek kicserélődésével. Elsősorban magas hőmérséklet szükséges hozzá.

Nummulinák (lat. nummulus "kis érme"). A Foraminiferák (egysejtűek) egyik csoportja, házuk meszes, lapos korong alakú. Szent László pénzének is mondják.

Opak (ásványok) (francia-német: "fényelnyelő"). Átlátszatlan sötét ásványok, amelyek vékony lemezei is tökéletesen elnyelik a fény látható spektrumának nagy részét.

opál (szanszkritul: upala "kő"). SiO₂-gél, víztartalma magas.

orogenezis (gör. orosz = "hegység", genezisz "keletkezés"). Hegységképződés.

paleo (gör. palaiosz "rég, öreg"). Paleobotanika, paleoklimatológia stb.

Pangea (gör. pasz "egész", gé "föld"). Nagy, egységes őskontinens, amely a földtörténeti középkor során darabolódott szét.

pleokroizmus (gör. "többszínűség"). Egyes ásványok azon fénytani sajátossága, hogy ha rajtuk fehér fény halad át, az iránytól függően más-más színt mutatnak.

recens (lat. "új, fiatal, friss, zsenge"). A jelenkor élőlényeinek, képződményeinek megkülönböztető jelzője. A jelenkori folyamatok jelzőjeként is használatos.

regionális (lat. regio "vidék, terület"). Nagy területre kiterjedő, pl. törésrendszer.

regresszió (lat. "visszalépés"). A tenger visszavonulása. *transzregresszió.

self (angol). Kontinentális párkány, a kontinenseknek a tenger tükre alatt fekvő pereme, amely a parttól az erősen meredek és a mélytenger felé húzódó *kontinentális lejtő* (mintegy 200 m-es mélységtől) kezdetéig terjed. Növekvő szerepe van a világ kőolaj- és földgázellátásában.

stressz (angol: "feszültség"). A tektonikában azt a feszültségi állapotot jelenti, amely egy testben annak igénybevételekor létrejön. Irányított nyomásnak is szokták nevezni.

struktúra (lat. structura "szerkezet, összeállítás").

szeizmológia (gör. szeizmosz "földrengés", logosz "tudomány").

szinklinális (gör. szyn "együtt", klinein "hajolni"). Teknő, vályú. Morfológiailag süllyedék, benne üledékfelhalmozódás folyik. *antiklinális.

szoliflukció (lat. solum "talaj, föld" fluere "folyni"). Talajfolyás.

sztratigráfia (lat. stratum "réteg", gör. graphein "írni"). Rétegtan.

szubdukció (lat. subducere "alávezetni"). Alátolódási folyamat, amelynek során az egyik kőzetlemez (litoszféra-tábla) a másik alá tolódik, az ún. szubdukciós övezetek mentén.

tektonika (gör. tektonikosz "az építészethez tartozó"). Földkéreg-szerkezetan, hegység-szerkezetan.

terasz (francia, terrasse "lépcsőzetes terület", amelyet az aljzat kőzetébe vagy a saját maga által lerakott hordalékba bevágódó folyóvíz hoz létre).

terra rossa (olasz, "vörös föld"). Téglavörös, iszapanyagban gazdag talaj, amely vízszegény vasvegyületeket tartalmaz; nedves, meleg éghajlati körülmények között jön létre, elsősorban kevésbé agyagos mészkőzeteken.

terresztrikus (lat. terra "föld"). Szárazföldi, pl. terresztrikus üledék; szárazföldön keletkezett üledék.

testúra (lat. textura "szövet"). Kőzetek szövete és annak jellemzői.

transzgresszió (lat. transgressio "átlépés"). A tenger előrenyomulása a szárazföld felé. *ingresszió

vulkanit. Kiömlési kőzet. Effuzívumoknak is nevezik őket.

zavargás, diszlokáció (lat. "vetődés, elmozdulás, eltolódás"). Tektonikus (szerkezeti) vagy atektonikus (tehát nem szerkezeti) folyamat, amely az elsődleges, vagyis a kőzetek keletkezésekor kialakult térbeli helyzetet (települést) megváltoztatja.