

160
ÉVES az Országos Erdészei Egyesület – 1866–2026

TALAJ AZ ERDŐ ALATT



OEE Szaktudás Füzetek

6

Talaj az erdő alatt
OEE Szaktudás Füzetek 6.
a 164 éves Erdészeti Lapok tematikus különszáma

Szerkesztette:

Illés Gábor (SOE ERTI, Ökológiai és Erdőművelési Osztály)

Sorozatszerkesztő:

Csóka György (SOE ERTI, Erdővédelmi Osztály)

Szerzők:

Bakacsi Zsófia (HUN-REN ATK, Talajtani Intézet)

Barta Károly (SZTE Természet- és Környezetföldrajz Tanszék)

Bereczki Katalin (SOE ERTI, Ökológiai és Erdőművelési Osztály)

Bidló András (SOE EMK, Környezet és Természetvédelmi Intézet)

Czigány Szabolcs (PTE TTK, Természet- és Környezet Földrajzi Tanszék)

Florián Norbert (HUN-REN ATK, Talajtani Intézet)

Geml József (Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Lendület Környezeti Mikrobiom Kutatócsoport)

Gergál-Gombási Mónika (Bakonyerdő Zrt.)

Illés Gábor (SOE ERTI, Ökológiai és Erdőművelési Osztály)

Laborczy Annamária (HUN-REN ATK, Talajtani Intézet)

Makó András (HUN-REN ATK, Talajtani Intézet)

Neumann Péter (Baranya Vármegyei Kormányhivatal, Agrárügyi Főosztály, Erdészeti és Földművelésügyi Osztály)

Novák Tibor József (DE MÉK, Agrokémiai és Talajtani Intézet)

Pásztor László (HUN-REN ATK, Talajtani Intézet)

Szatmári Gábor (HUN-REN ATK, Talajtani Intézet)

Takács Tünde (HUN-REN ATK, Talajtani Intézet)

Szakmailag véleményezték:

Kovács Gábor (SOE EMK), **Heil Bálint** (SOE EMK)

Nyelvi korrektor:

Czöndör-Meditz Júlia

Grafika és tördelés:

EFFIX-Marketing Kft. (www.effix.hu)

A képek szerzői:

E különszám szerzői. Ettől eltérő esetekben a forrást a képeknél megjelöltük.
A borító montázképhez Illés Gábor és Gergál-Gombási Mónika képeit használtuk.

Kiadó: Országos Erdészeti Egyesület, 1021 Budapest, Budakeszi út 91.

Felelős kiadó: **Kiss László** elnök

Nyomdai munkák: Virtuóz Nyomdaipari Kft., Budapest

Felelős vezető: **Tolonics Gergely**

Példányszám: 5000

ISSN 2939-5682 ISBN 978-963-8251-91-6

A füzet pdf formátumban, díjmentesen letölthető az Országos Erdészeti Egyesület honlapjáról (www.oee.hu).

Budapest, 2026

Tisztelt Olvasó!

A Földet az teszi egyedi és talán megismételhetetlen égitestté, hogy minden zugát átszövi az élet. Ez minden négyzet-centiméterre igaz, ahol a víz folyékony és maximum hőmérséklete nem haladja meg a 80 fokot. Ha engedünk ennek a gondolatkörnek és az erdőt úgy tekintjük, mint egy szuperorganizmust, akkor a talaj szerepe ebben az „élőlényben” kettős: egyszerre anyaméh és emésztőrendszer is, amely a belé hullott magból csemetét, majd faóriást nevel, illetve az elhalt szervesanyagot feltárva visszaadja az erdőnek tápanyagait, az alatta lévő élettelen kőzetet pedig, a benne és a rajta élő organizmusok révén bevonja az élet körforgásába. A talaj az ökoszisztéma motorja, ahol a tápelem-forgalom megvalósul, ahonnan az éltető víz belép a növényzetbe és ahol ez a víz eltárolható.

Azért is helyes elgondolás a talajt az erdő részének tekinteni, mert együtt fejlődnek. Igaz az, hogy nincsen erdő talaj nélkül, de talaj sincs növény – jelen esetben erdő – nélkül. A talaj nem más, mint az életre kelt föld. Az erdőtalajok telis-tele vannak élettel, ami lehetővé teszi, hogy a fák rajtuk és bennük éljenek. Erdeink fenntarthatósága elképzelhetetlen az erdőtalajok fenntarthatósága nélkül. Ez az egyik alap, a jövő sikeres erdőgazdálkodásához.

Ha a fák és a cserjék nem megfelelő „alapba” vernek gyökeret, nem, vagy csak csökkentett mértékben fogják nyújtani azokat a szolgáltatásokat, amiket elvárunk tőlük. A talaj – azon túl, hogy a fák gyökereit tartja – tápanyagokat és vizet biztosít a fás- és lágyszárú vegetációnak, a növényeken keresztül közvetve pedig azok fogyasztóinak, de még azok fogyasztóinak is. Azaz az erdei életközösségek létére, működésére, diverzitására nézve a talajoknak meghatározó szerepük van. Ugyancsak jelentős szerepük van a szerves szén tárolásában is. Az erdőtalaj legalább annyi (esetenként több) szenet raktároz, mint egy idős erdő teljes dendromasszája.

A tölgymakkból kikelt magonc egészen addig, amíg terebélyes matuzsálemmé válik, a talaj tápanyag- és vízszolgáltató képességére van utalva. Különösen fontos ez a klímaváltozás okozta kedvezőtlen változások tükrében, melyek talajainkra is hatnak, főleg akkor, ha kitesszük őket degradációs folyamatoknak. A talajvédelem szerepe felértékelődik, mivel az egészséges, jó szerkezetű és állapotú talajok jelentős mértékben képesek pufferelni a kedvezőtlen változásokat. Döntő mértékben hatnak arra, hogy a jövőben hol, milyen erdők fennmaradására van remény. A klímaváltozás hatására persze hosszabb távon óhatatlanul a talajaink is megváltoznak, mégpedig a talajban és a talajon élő és megváltozó élőlényközösségek, valamint a talajképző folyamatok eltolódásának hatására. Ezért a termőhely értékelés és -monitoring nagyobb hangsúlyt kell kapjon a jövőben az erdőtervezési munkák során.

A talajtan régóta az erdészettudományok egyik meghatározó diszciplínája, amit – teljesség igénye nélkül – olyan kiváló elődök, mint Botvay Károly, Fehér Dániel, Vági István, vagy éppen Járó Zoltán is műveltek. Az ő tudásukra alapozva a tágabban értelmezett talajtani tudományok jelentős fejlődésen mentek és mennek keresztül napjainkban is. A felhalmozott tudás (ahogyan az lenni is szokott) azonban további megválaszolandó kérdések hadát hozza felszínre. Bőven van még mit tanulni, kutatni a talajok szénmegkötésével, a talajfaunával, de még sok-sok más résztemával kapcsolatban is. A talajtan tipikusan interdiszciplináris tudomány. A geológia, a kémia, a fizika, a hidrológia, a mikológia, a botanika, a talajzoológia egyaránt helyet követel benne, hogy csak néhányat említsünk. A Szaktudás füzetek 6. száma ezt igen jól bizonyítja is. A füzet népes szerzőgárdája a kapcsolódó szakterületek elismert művelőiből áll össze. Együttműködésük – ami esetünkben ebben a füzetben ölt testet – példaértékű. Bizonyítja, hogy egy rendkívül komplex rendszer működésének megértése, csak több, „hagyományosan” elkülönült, de egymással mégis összefüggésben álló részterület szintézise révén lehetséges. Ahogyan igaz ez a talajtanra, úgy az erdészettudományok egészére is.

Sárvár/Mátrafüred, 2026. június

Illés Gábor szerkesztő és

Csóka György sorozatszerkesztő

1.1. A talaj fogalma

A talaj a Föld legkülső, laza, termékeny rétege, feltételeesen megújuló, megújítható természeti erőforrása, amely képes tápanyagokat és vizet biztosítani a növények számára, és lehetővé teszi a földi élet fenntartását. Szilárd alkotóelemei az ásványi anyagok (kőzettörmelék, mállott anyag) és a szerves anyagok (a már kialakult humuszanyagok és a még lebontásra váró növényi és állati maradványok). A szilárd alkotóelemek közötti hézagokat (pórusteret) víz, levegő, valamint a talajban élő élőlények (mikroorganizmusok, különböző méretű talajlakók) töltik ki. Egységnyi talajtér fogatban a szilárd ásványi anyag aránya jellemzően 45–50%, a humusztartalom 0,5–7% közötti, míg a fennmaradó térfogat a pórustér.

1.2. Talajfejlődés térben és időben – a talajképző tényezők

A talajok térben igen változatosak, néhány méter eltéréssel is más felépítésű talajszelvényeket, talajszinteket találhatunk. Diverzitásuk elsődleges oka, hogy az adott helyen a talaj kialakulását és tulajdonságait befolyásoló ún. talajképző tényezők térben szintén nagyon változatosak. A talajok kialakulásának és fejlődésének folyamata a pedogenezis. Vaszilij Dokucsajev (1846–1903) fogalmazta meg először azt az öt talajképző tényezőt, amelyek az éghajlat, az alapkőzet, a domborzat, az élővilág és az idő. Az egyre növekvő népesség és az emberi hatás következtében még egy további tényezőt is hozzáadunk ehhez az öthöz: az antropogén hatást.

Éghajlat

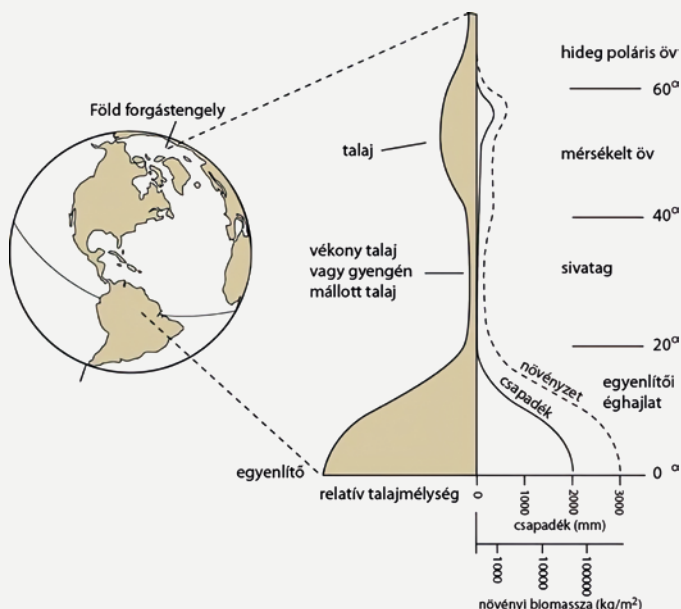
Általában az éghajlat tekinthető a legmeghatározóbb talajképző tényezőnek. Azok a talajok, amelyek fő tulajdonságait és talajképző folyamatait az éghajlat (és a hozzá kapcsolódó növényzet) határozza meg, az ún. zonális talajok. Sok esetben megfeleltethetünk egy-egy talajtípust egy jellemző éghajlatnak. A nedves kontinentális éghajlatú területeken a barna erdőtalajok a legjellemzőbbek, míg a száraz kontinentális éghajlatú füves pusztaságai alatt jellemzően csernozjom (mezősségi) talajokat találhatunk. A szubboreális, szubarktikus és tajga éghajlatra a látványos podzoltalajok a legjellemzőbbek (1.2.1. táblázat).

ÉGHAJLAT	ZONÁLIS TALAJTÍPUS
Nedves kontinentális	Barna erdőtalaj
Száraz kontinentális	Csernozjom
Óceáni	Erősen kilúgozott szürkésbarna erdőtalajok
Mediterrán	Terra rossa és Terra fusca talajok
Szubboreális/tajga	Podzol
Mérsékelt övi és szubtrópusi monszun	Erősen mállott vörös- és sárgaföldek
Nedves trópusok és szavanna	Laterit

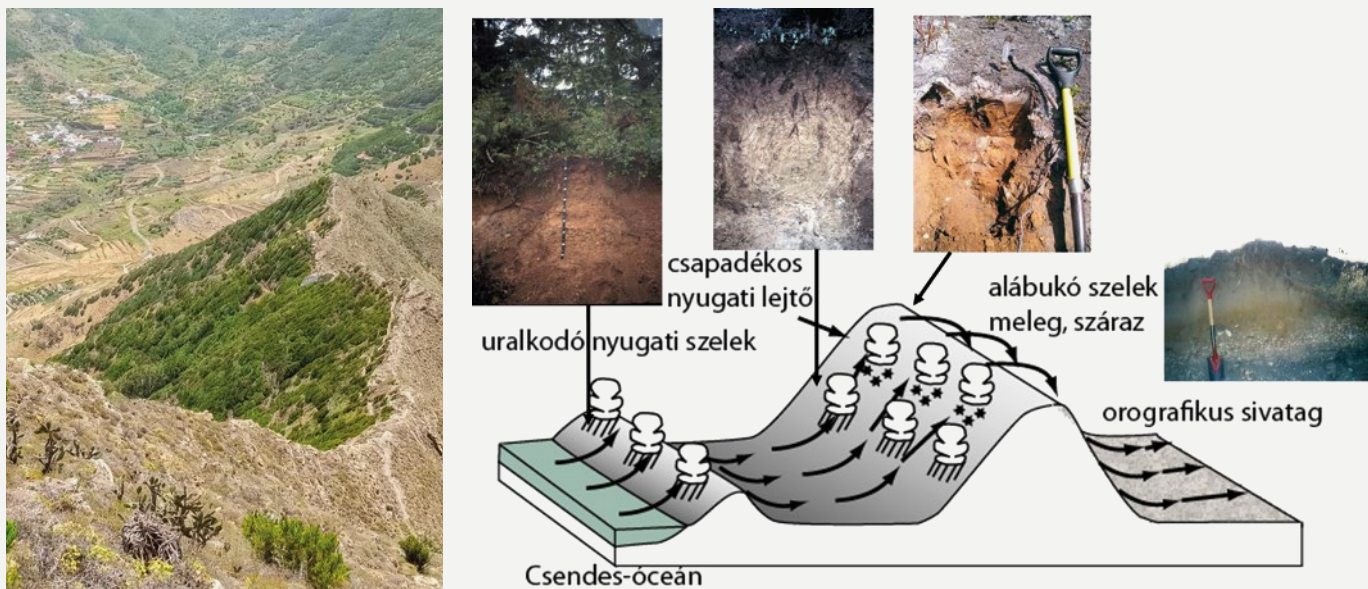
1.2.1. táblázat: Néhány klasszikus genetikai talajtípus példa zonális talajokra

Az éghajlat a hőmérsékleten és a csapadékmennyiségen, illetve a vízmérlegen keresztül fejt ki hatását. Az éves átlaghőmérséklet, vagy a sokévi átlagos csapadékösszeg mellett fontos az évi hőingás, a tenyészidőszak vagy a fagymentes időszak hossza, a párolgás havi vagy évszakos összegei, illetve a csapadék intenzitása és éves eloszlása. Ezek a folyamatok meghatározzák a szerves anyag lebontásának, a kémiai reakcióknak és a mikrobiális lebontásnak a sebességét, valamint befolyásolják a mállás intenzitását és az erózió mértékét is. Általánosságban a meleg, csapadékos, gazdag növényzetű területeken fokozottabb a mállás és vastagabb talajtakaró alakul ki, míg a hűvös és/vagy száraz területeken élő gyér növényzet alatt a mállás intenzitása kisebb, és a talajborítás is vékonyabb (1.2.1. ábra). A hosszú távú (klimatikus, tehát legalább 30 éves időtartamú) vízmérleg nagyon eltérő lehet az egyenlítőtől a sarkok felé, de akár a kontinensek belseje felé haladva is.

Vannak olyan talajok, amelyek kialakulásánál nem az éghajlat, hanem valamilyen helyi tényező (pl. alapkőzet, vízhatás, sófelhalmozódás, erózió), illetve a talajképződésre rendelkezésre álló rövid idő a döntő, ezért nem követik a földrajzi övezetességet.



1.2.1. ábra: A biomassa mennyiségének, a pedogenezis mértékének és a talajképző folyamatoknak a változása a földrajzi szélesség függvényében



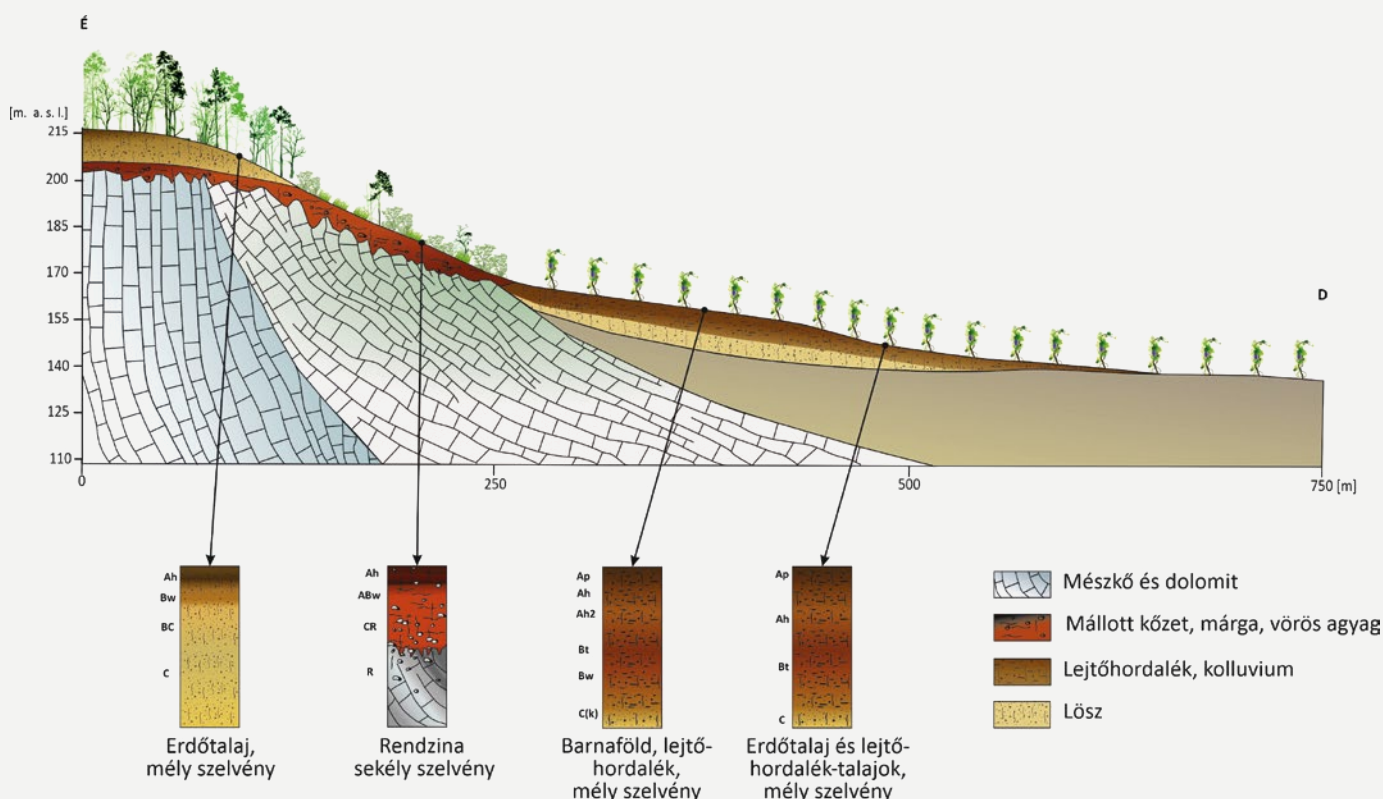
1.2.2. ábra: Példa szélárnyék kialakulására Tenerife szigetén (Kanári-szigetek, Spanyolország), illetve eltérő vízmérlegre és talajtípusokra az Egyesült Államok nyugati felén a Cascade-hegységen keresztül egy nyugat–keleti szelvény mentén, Washington államban.

Domborzat

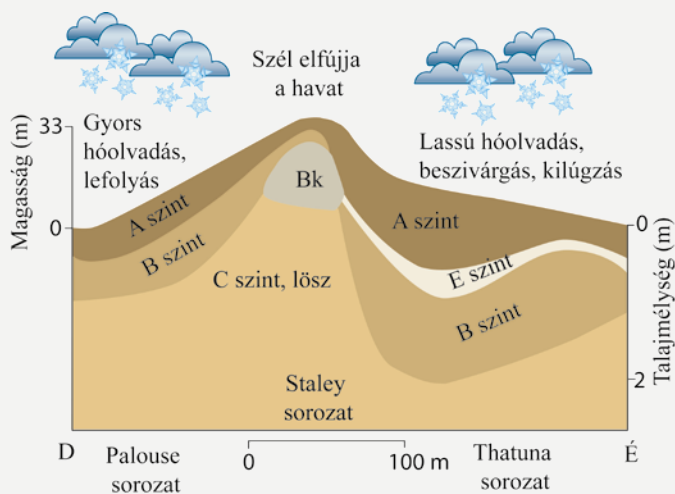
A domborzat (elsősorban a kitettség és a lejtőpozíció) sokféleképpen hat a talajfejlődésre. A szélárnyékos oldalon, például a nyugati szelek övében, a keleti lejtők sokkal szárazabbak, mint a szél felőli oldalon fekvők (erre példa az Egyesült Államok nyugati részén található Cascade-hegység, 1.2.2. ábra). Az északi féltekén a déli kitettségű lejtők jellemzően szárazabbak, mint az északra nézők.

A lejtőpozíció összetett hatást gyakorol a talajfejlődésre. A lejtővállon és a meredek lejtőkön vékonyabb talajtakaró található, amely jellemzően jóval szárazabb, mint a lejtőlábon található vastagabb és nedvesebb

akkumulációs lejtőhordalék-talajok. Azok a domborzati formák, amelyek növekvő meredekségűek és/vagy a felszíni vizek szétartó, gyorsuló lefolyását eredményezik, az eróziót erősítik, míg a csökkenő meredekségű, összetartó és lassuló lefolyást eredményező formák a depozíciót erősítik. Ezek a különbségek a talajtextúrában is tükröződnek, a lejtőlábon gyakrabban találkozhatunk finom textúrájú talajokkal. A meredekebb lejtőkön jelentősebb az erózió is, ezért előbukkanhat a talajképző kőzet (C-szint), és a lejtőkön jellemzőek a váztalajok és a közethatású talajok, illetve a művelt területeken a földes kopárok. Az erózió okozta talajpusztulás jól követhető kora tavasszal, a meredek lejtők inflexió pontjain, ahol a fakósárga altalaj (pl. lősz) foltokban előbukkan a barnább feltalaj alól (1.2.3. ábra).



1.2.3. ábra: A domborzatpozíció és az eróziós-depozíciós folyamatok hatása a talajképződésre



1.2.4. ábra: Az égtáji kitettség hatása a hó mennyiségre és az olvadás sebességére a Palouse (Washington állam délkeleti része, Egyesült Államok) löszdombjainak talajfejlődésére (a sorozatok a Soil Taxonomy, az amerikai talajosztályozás legkisebb rendszertani egységei)

Az égtáji kitettségtől függő besugárzás és a szélesebbesség befolyásolja a hóolvadás sebességét és a hóvastagságot, valamint az olvadákvíz talajba történő beszivárgásának sebességét és a felszíni lefolyás arányát. Az olvadó hó mennyisége és az égtáji kitettség kis távolságon belül is eltérő talajtípusokat hozhat létre (1.2.4. ábra).

Alapkőzet

A talajképző kőzet kémiai és fizikai tulajdonságai részben átöröklődnek a rajta képződött talajra is, ezért a képződő talaj ásványi és kémiai összetétele az alapkőzet függvénye. Talajfejlődés szempontjából meghatározó a kőzet mállással szembeni ellenállása, valamint a mállástermékek típusa és összetétele. A kiindulási kőzet a talajszerkezetre is hatást gyakorol a szemcsék nagyságának köszönhetően. A makrokristályos grániton durvább textúrájú, míg a mikrokristályos bazalt finomabb, agyagosabb textúrájú talajok alakulnak ki. A textúra befolyásolja a beszivárgást, a talaj víz- és levegőháztartását, ezen keresztül pedig annak kémiai és biológiai tulajdonságait is.

Élővilág

Az élővilág és a talajok folytonos, kétirányú kölcsönhatásban állnak egymással. A növényi maradványok befolyásolják a talaj kémiai és fizikai tulajdonságait, a gyökerek elősegítik a fizikai aprózódást, a gyökérváladékok révén pedig hozzájárulnak a kémiai mállás fokozásához. A biológiai mállás segítségével a zuzmók is létrehozhatják a csupasz kőzeteken az első, néhány milliméternyi talajszerű málladéktakarót. Hazai viszonyok között a növényállomány összetétele meghatározó szerepet játszik a talajképződésben. Míg a lágyszárú növényzet gyökere sekélyebb, és az elbomlott növényi anyag semleges, gyengén lúgos kémhatású, addig az erdőállományok gyökérzete lényegesen mélyebbre terjed le, avartakarójuk pedig savanyúbb kémhatású, amely elősegíti a gombás bontási folyamatok megjelenését. Még a fák között is jelentős különbség lehet fajtánként (pl. az erdeifenyő vagy a tölgy avartakarójának összetételében).

A fenyők – például a lehullott tűlevelek bomlása révén – a számukra kedvező, savanyú kémhatású termőtalaj kialakulását segítik elő. Elsősorban a növényi és mikrobiális biotermék mennyisége befolyásolja

a szervesanyag-utánpótlást, de ahol sok az eső és jelentős a kilúgzás (mint például a trópusi esőerdőkben), ott ez a szerves anyag gyorsan el is tűnik. A növényzet magassága és a gyökérzóna mélysége meghatározza a talaj nedvesséviszonyait is.

A baktériumok és a gombák fontos szerepet töltenek be a tápelemek körforgásában és a szerves maradványok lebontásában. Egyesek a légköri nitrogén megkötésében játszanak szerepet (pl. *Rhizobium* vagy *Frankia*), míg mások például a nitrifikáció folyamatát irányítják (pl. *Nitrosomonas* és *Nitrobacter*). Az edafon (talajlakó élőlények összessége) egyes tagjai (pl. gyűrűsféreg) pedig átkeverik és emésztőnedveikkel átalakítják a talajt. A talajlakó állatok krotovinákat, sötét színű feltalajjal kitöltött járatokat hozhatnak létre, amelyek nagyon látványosak a talajfeltárásokban. Emiatt nagyon fontos az edafon fajgazdagsága: a monokultúras mezőgazdaság lecsökkentheti a biodiverzitást, ami komplex és kedvezőtlen hatást gyakorol a helyi ökoszisztémára (lásd: 6. fejezet).

Idő, emberi tevékenység

A talajok eltérő sebességgel „öregednek”; hasonlóan az emberekhez, van, amelyek idősebbnek, van, amelyek fiatalabbnak néz ki a koránál. A talajok esetében az idő előrehaladtával a kilúgozás hatására a könnyen oldódó anyagok eltávoznak, míg a kevésbé oldódó komponensek feldúsulnak, ezért gyakran megfigyelhető a bázisok (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) jelentős mértékű elvesztése, ami a talaj pH-jának csökkenéséhez, vagyis elsavanyodáshoz vezet. Ennek üteme elsősorban az éghajlathoz függ, de összességében a talajképző tényezők együttes hatásának eredménye. A legidősebb talajok stabil felszíneken vagy magasabb teraszokon alakulnak ki.

Az emberi tevékenység ma már a talajképződés egyik fontos tényezője, amely sokszor gyorsabb és erőteljesebb változásokat idéz elő, mint a természetes folyamatok. A mezőgazdasági tevékenységek, például a szántás, öntözés és trágyázás megváltoztatják a talaj szerkezetét, vízgazdálkodását és tápanyagtartalmát. Az ipari és városi tevékenységek során a talajt gyakran eltávolítják, áthelyezik vagy lefedik (pl. aszfaltburkolattal), ami megszünteti természetes funkcióit. A szennyező anyagok (nehézfémek, vegyszerek) felhalmozódása pedig károsítja a talaj élővilágát és csökkenti a termőképességet.

Az emberi hatás következtében új, úgynevezett mesterséges vagy antropogén talajok is kialakulhatnak, amelyek tulajdonságai jelentősen eltérnek a természetes talajokétól.

1.3. A talaj alapvető funkciói, társadalmi jelentősége

A talaj egy összetett rendszer, amelynek számos ökológiai, gazdasági és társadalmi szerepe (funkciója) van. Ezek a következők: (1) élelmszer- és biotermék-termelés színtere; (2) vízraktározó és vízellátás szabályozója; (3) fenntartja a tápanyagok körforgását; (4) élőhely és a genetikai sokféleség fenntartója; (5) szűrő- és pufferközeg; (6) létesítmények (épületek, utak) alapja; (7) nyersanyagforrás; (8) kulturális és régészeti emlékek őrzője.

A talaj biztosítja a növények számára a tápanyagokat, a vizet, a gyökereknek a megfelelő életteret, jelentős szénraktár, és kulcsszerepe van a klímavédelemben: a szén-dioxid megkötésével, a vízháztartás szabályozásával, a talajélet és a növényzet fenntartásával.

A talajnak alapvető szerepe van a víz körforgásában, mivel képes a csapadékvizet elnyelni, pórusterében hosszabb-rövidebb ideig tárolni, majd továbbadni, ezzel hozzájárulva a növények vízellátásához, az árvízvédelemhez és a vízhiány mérsékléséhez. A talaj a víz mellett képes különböző anyagokat is elraktározni (pl. tápanyagok), megszűrni a szennyeződések, valamint kémiai és biológiai folyamatok révén átalakítani az anyagokat (pl. lebontani a szerves maradványokat).

A talajnak azt a képességét, hogy a belekerülő anyagok – pl. savas eső, mérgező anyagok – hatását mérsékelni tudja, pufferkapacitásnak nevezzük. Ennek két fontos eleme a (1) sav-bázis pufferképesség és (2) a tápelem- és toxikus elem- megkötő képesség. A sav-bázis pufferképesség azt mutatja meg, mennyire tudja a talaj megakadályozni a kémhatás hirtelen eltolódását, vagyis mennyire képes tompítani, ha savas vagy lúgos anyag kerül bele. Ezt a szerepet főleg a mésztartalom, a nagyon apró talajrészecskék (kolloidok), valamint a talajban található természetes szerves vegyületek látják el.

A tápelem- és toxikus elem- megkötő képesség arra utal, hogy a talaj mennyire tudja a növények számára fontos tápanyagokat raktározni, illetve a toxikus fémeket és egyéb szennyezőanyagokat megkötni, hogy azok ne hassanak károsan a növényekre. Ebben elsősorban a humusz (a szervesanyag-tartalom) és az agyagásványok játszanak kulcsszerepet.

A talaj szűrőfunkciójának kulcsszereplői a talajkolloidok: az agyagásványok, a vas- és mangán-oxidok, illetve hidroxidok, valamint a humuszanyagok. Ezek hatalmas fajlagos felületük és töltéviszonyaik miatt képesek ionokat megkötni, cserélni, illetve szerves molekulákat is adszorbeálni. A szűrés és megkötés mértéke azonban nem korlátlan: a talaj tárolóképesége szabja meg, mennyi anyagot képes a rendszer tartósabban „elraktározni”. Ha a szűrő- és tárolókapacitás telítődik, a talaj már nem tudja visszatartani a további terhelést, sőt bizonyos körülmények között a korábban megkötött anyagok egy része újra mobilizálódhat: a szennyezőanyagok a talajvízbe juthatnak, vagy a növények felvehetik őket, így bekerülhetnek a táplálékláncba.

A szűrő- és tárolófunkció nagysága nem „minden talajban ugyanannyi”: erősen függ a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságaitól, valamint a hidrológiai viszonyoktól (pl. a beszívargás és átszívargás sebessége, a folyadékfázis visszatartása) és függ a beszívargó folyadék tulajdonságaitól is. Meghatározó a talaj textúrája (különösen az agyagtartalom), a kavics- és kőzettartalom, az ásványi összetétel (milyen agyagásványok és oxidok vannak jelen), a szervesanyag-tartalom és a pH. A vízzáró vagy vízáteresztést gátló felszínek – például tömörödött talajrétegek vagy beépített felszínek (pl. utak) – csökkentik a beszívargást, és ezzel együtt módosítják azt is, hogyan érvényesül a talaj szűrőszerepe.

A talaj szűrő és tároló funkciója a vízkészletek és a tápláléklánc egyik legfontosabb „láthatatlan védelmi vonala”. Amíg a talaj képes megkötni, pufferni és átalakítani a terhelést, addig a talajvíz és a felszíni vizek védettebbek. Azonban ez a kapacitás véges, és talajonként, szennyezőnként, valamint környezeti helyzetenként erősen eltér. Éppen ezért a talaj állapotának ismerete és megőrzése – különösen a pórusrendszer, a kolloidok és a szervesanyag-készlet tekintetében – nemcsak talajtani kérdés, hanem a vízminőség-védelem és a hosszú távú fenntarthatóság szempontjából is fontos.

A talaj sokféle élőlénynek jelent menedéket vagy állandó élőhelyet (pl. talajlakó állatok, gombák, baktériumok). A benne élő milliárdnyi mikroorganizmus nélkülözhetetlen az anyagok körforgásában és a talaj termékenysége fenntartásában.

Egyes talajok anyaga hagyományos építőanyagként is szolgál (pl. vályogtégla, agyag), mindemellett a kulturális emlékeink „őrei” is, hiszen gyakori, hogy régészeti leletek kerülnek elő a mélyéből.

1.4. A talajokat veszélyeztető degradációs folyamatok

A nem megfelelő talajhasználat okozta talajdegradációs folyamatok következtében a talaj fizikailag, kémiaileg vagy biológiailag alkalmatlanná válik a korábbi talajfunkciók ellátására. Jellemző talajdegradációs folyamatok: (1) víz- és szélérózió, (2) tömörödés és szerkezetromlás, (3) szervesanyag-tartalom csökkenése, (4) tápanyagtartalom kimerülése, (5) kémiai összetétel szélsőségesse válása (elsavanyodás vagy szikesedés, sófelhalmozódás folyamata), illetve (6) elszennyeződés. A talajdegradációs folyamatok eredményeként hosszú távon sérül a talajfunkciók működése (pl. csökken a humusztartalom és ezáltal romlik a termőképeség, csökken a vízvisszatartás, elvékonyodik vagy teljesen lemosódik a termékeny feltalaj).

A talajdegradáció egyik, jelentős területeket érintő formája a (7) talajok lefedése (beépítése), amely a korábbi talajhasználatról és a talaj tulajdonságaitól függetlenül következhet be, és az adott területen a talaj ökoszisztéma-fenntartó funkcióinak teljes elvesztésével jár.

A vízerózió során a csapadék és a folyóvizek hatására a talaj felső, termékeny rétege lemosódik, ami elsősorban dombos térszíneken, meredek lejtőkön jelentős, és a talaj termékenysége gyors csökkenését eredményezi. A vízerózió ellen védekezhetünk talajtakarással (növényzettel), amely csökkenti az esőcseppek romboló hatását és a lefolyást; a lefolyási utak rövidítésével (teraszos műveléssel vagy sávok gazdálkodással), amely lassítja a víz mozgását; valamint a lefolyásra merőleges füves sávok alkalmazásával, amelyek megfogják a hordalékot és lassítják a vízmozgást. A szélérózió a szél hatására történő talajpusztulás (defláció), amely különösen a száraz, laza, takaratlan homokos felszíneken vagy elporosodott (leromlott szerkezetű) talajfelszínen jelent súlyos problémát. A defláció a kífújási területen a talajréteg elvékonyodásához vezet, míg a lerakódási területen hasonlóan problémás, hogy beborítja a növényzetet. Mind a víz-, mind a szélérózió ellen az egyik

legjobb védekezési mód a megfelelő, többszintes erdők fenntartása, illetve létesítése. Az alföldi erdőtelepítések egyik kiemelt célja volt a homok „megfogása”.

A talajszerkezet nem más, mint a talaj „belső építészete”: a kisebb, elemi szemcsékből összeálló aggregátumok („talajmorzsák”) mérete, alakja és térbeli elrendeződése. Az aggregátumok között és belsejében alakul ki a talaj pórushálózata: a nagyobb pórusok gyorsan vezetik a vizet és a levegőt, a közepes méretűek tárolják a növények számára jól hozzáférhető nedvességet, a nagyon kicsik pedig erősen kötik a vizet. Ha a szerkezet sérül, a pórusrendszer aránya és „geometriája” borul fel: vagy túl sok lesz a nagy pórus (gyors kiszáradás), vagy éppen eltűnnek a folytonos vezető pórusok (pangó víz, rossz levegőzés), vagy a pórusok összeköttetése szakad meg (a víz „nem oda megy”, ahova számítanánk).

A talajszerkezet egyik legfontosabb jellemzője az aggregátumok stabilitása, vagyis, hogy ezek a talajmorzsák mennyire képesek egyben maradni és ellenállni a szétesést kiváltó hatásoknak (például esőcseppek becsapódásának, gyors beázásnak, művelésnek, tömörödésnek, illetve a nedvesedési-száradási ciklusoknak). Az aggregátum-stabilitás nem állandó tulajdonság: a talaj fizikai (textúra), kémiai (pH-ja, só- és kationösszetétele, különösen a Na^+ aránya, mésztartalma, szerves anyagok mennyisége és minősége, vasoxidok jelenléte stb.), ásványtani (agyagásványok típusa, duzzadó ásványok jelenléte) és biológiai (gyökér- és gombafonal-hatás, mikrobiális „ragasztóanyagok”) jellemzőinek összetett függvénye, és a külső befolyásoló tényezőkre érzékenyen reagál. A szerkezetromlás során a talaj morzsalékos szerkezete megszűnik (elporosodás), a jellemző pórusátmérő csökken, ami gátolja a vízmozgást és kedvezőtlen a gyökérnövekedés számára. Az emberi hatások közül a leggyakoribb szerkezetromboló tényező a tömörödés. A tömörödés leggyakrabban mechanikai terhelés, például nehéz gépek használata következtében alakul ki, és ennek következtében jelentősen romlik a talaj levegő- és vízgazdálkodása, a tömörödött talajréteg meggátolja, hogy a csapadékvíz a mélyebb talajrétegekbe is lejusson, a visszatartott (pangó) víz oxigénhiányos állapotot hozhat létre a feltalajban.

Kémiai oldalról a szikesedés (sótartalom és/vagy nátriumtelítettség növekedése) különösen veszélyes folyamat: a nátrium-ionok túlsúlya kedvez a talajmorzsák szétesésének (diszpergálódásának), ez eltömti a pórusokat, rontja az aggregátum-stabilitást, ezzel együtt drasztikusan romolhat a vízvezető képesség és a beszívargás mértéke. A talaj savanyodása vagy túlzott lúgosodása (ami gyakran együtt jár a szikesedéssel) is rombolhatja a szerkezetet. A helytelen öntözési gyakorlat, illetve a sós talajvíz felszínközeli megjelenése másodlagos szikesedéshez vezethet. Ennek során a talajvízben oldott sók a talajszelvényben felhalmozódnak, és (elsősorban a nátriumsók hatására) a talaj lúgos kémhatásúvá válik. A talajszerkezet leromlását okozhatja még az öntözésnél használt gyengébb minőségű víz (például rosszul tisztított, magas oldottanyag-tartalmú szennyvíz) is. A talaj kémiai összetételének szélsőséges mértékű elsavanyodása is jelentős problémát okozhat. A talaj elsavanyodása során a bázikus ionok (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) mennyisége

drasztikusan lecsökken, a pH-érték szintén csökken, a talaj erőteljesen kilúgozódik. Ezek a folyamatok rontják a növények tápanyagfelvételét és a termékenységet.

A szerkezetromlás következményei láncszerűen jelentkeznek. Ha romlik a szerkezet, romlik a vízvezető képesség: telített állapotban lassul az átszivárgás, nő a felszíni lefolyás és a vízborítás esélye; telítetlen állapotban egyenetlenebbé válik a nedvességeloszlás. A vízvisszatartás is megváltozik: vagy túl gyorsan leürül a víz (aszályérzékenység), vagy „bent ragad” és levegőtlen környezetet teremt (gyökérstressz, tápanyagfelvételi zavarok).

A talajok tápanyagkészletének kimerülése során a növények által felvett, illetve a kimosódás során elvesztett makro- és mikroelemek mennyisége csökken, ami hosszú távon a termékenység csökkenéséhez vezet. Ezzel összefüggésben a szervesanyag-tartalom csökkenése is megfigyelhető: a talajban található humusz mennyisége csökken, ami csökkenti a talaj víz- és tápanyag-megtartó képességét, valamint a talajszerkezet stabilitását.

A talajszennyeződés különböző fizikai, kémiai vagy biológiai szennyezők felhalmozódását jelenti, például nehézfémek, peszticidek vagy szerves szennyezők formájában. A szennyeződés csökkenti a talaj termékenységét, károsítja a mikroorganizmusok működését, és hosszú távon mérgező hatást gyakorol a növényekre és az ökoszisztémára.

Érdemes megemlíteni az erdőtüzek kedvezőtlen hatását is. A tűz egyrészt visszavetheti a talajéletet, másrészt a felszíni szerves anyagok átalakulása miatt a talaj víztaszítóbbá (hidrofóbbá) válhat. Ennek következménye, hogy csökken a beszívargás, nő a felszíni lefolyás, és a csapadék könnyebben indít el eróziót – vagyis a szerkezetromlás mellett a talaj vízgazdálkodása is gyorsan kedvezőtlen irányba tolódhat.

A talajdegradáció okai sokfélék és gyakran egymást erősítik. Hatásukra a talaj végül nem lesz képes ellátni korábbi funkcióit vagy azok egy részét. A természetes tényezők közül a talajképző kőzet, a textúra és a klíma ad egy alaphelyzetet, de a klímaváltozás is egyre látványosabban beleszól a degradációs folyamatokba.



Erózióknak kitett sekély talajfelszín tömör alapkőzeten

2. Az erdőtalajokról általában

2.1. Az erdőtalajok kialakulásának alapvető feltételei

Az erdőtalajok fejlődése egy folyamatos és összetett folyamat, amelynek során az éghajlat, a növényzet, az alapkőzet és a fejlődő talaj kölcsönösen befolyásolják egymást. Évezredekben mérhető idő szükséges, mire az erdőtalaj teljesen kifejlődik, de a folyamatosan változó környezeti és éghajlati viszonyok miatt ez a folyamat jó eséllyel soha nem ér véget, mivel a talajfejlődés iránya és sebessége is változó, amit földfelszíni események is időről időre visszavetnek, legyen szó akár erózióról, akár depozícióról. A fejlődő talaj feletti erdőtakaró időbeli folytonossága általában a talajszelvény jól meghatározható rétegződését eredményezi. A talajszintek rétegződése tükrözi az alapkőzet fizikai és kémiai jellemzőit, az uralkodó növényzetet és a talajfejlődés kezdete óta eltelt időt. Természetesen léteznek olyan, hosszú ideje fennálló, mondhatni abszolút klímazállapotba került ökoszisztémák is, amelyek alapján az egyes stációk azonosíthatók.

Az időn kívül alapesetben megfelelő hőmérsékletre és kellően csapadékos klímára van szükség, ami elegendő feltételeket teremt az erdőtakaró kialakulásához. A boreális erdők jelölik ki azt az alsó hőmérsékleti határt, ami mellett az erdőborítás kialakul. Ez legalább 4 hónap hosszú vegetációs időszakot jelent – 0 °C feletti havi átlaghőmérséklettel – és 10–12 °C-nál nem hidegebb átlaghőmérséklettel a legmelegebb hónapban. A lombhullató erdők és a boreális fenyőerdők határát a legalább 7 hónap hosszú vegetációs (fagymentes) idő és a 17–18 °C átlaghőmérsékletű legmelegebb hónap jelöli ki. Az átmeneteket a melegebb klímazónák felé a csapadék mennyisége és az abszolút minimumhőmérsékletek mutatják meg leginkább.

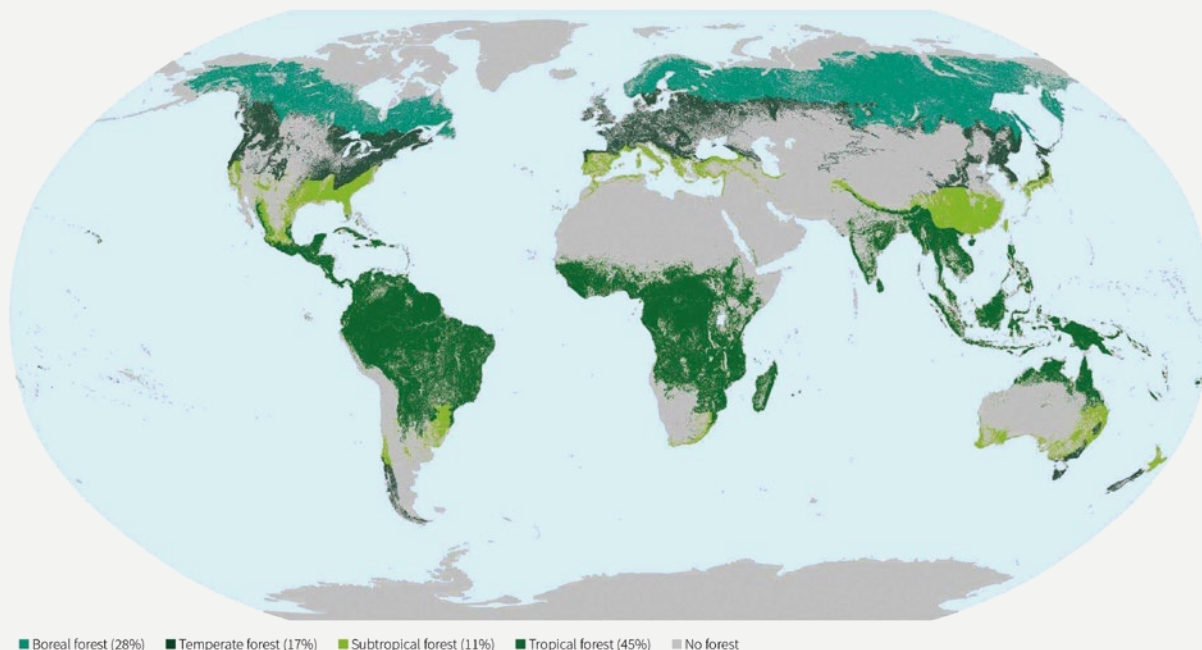
A talajképződés során az erdőtalajra jellemző differenciált talajszintek sorozata alakul ki. A felszínre lerakódott növényi és állati alom egy avartakarót alkot, amely kizárólag szerves anyagból áll, és amely egyre előrehaladottabb bomlási szakaszban van a mélység növekedésével

párhuzamosan. A szerves anyag és az ásványi frakció keveredése, a humuszanyagok ásványi szemcsékhez kötődése hozza létre az A-szintet, amely jellemzően sötét vagy fekete színű, magas tápanyagtartalmú talajréteg. Az A-szintet sok esetben a kilúgzási szint követi, amely egy tápanyagokban, agyagásványokban szegény, poros, fakó, kvarcban gazdagabb réteg. Ez olyan talajokban alakul ki, ahol az elegendően sok csapadék és a zavar-talan, lefelé irányuló vízmozgás elősegíti a vízben oldható tápanyagok és az agyagszemcsék kimosódását, valamint a vízdoldható inorganikus kémiai vegyületek kioldódását. A tápanyagoknak, a vízdoldható sóknak és az agyagszemcséknek a lefelé tartó vándorlása révén a mélyebb talajrétegekben egy (akár önmagában is differenciált) felhalmozódási szint (B) jön létre, amelyben a felsőbb talajrétegekből származó mállási és feltáródási folyamatok eredménytermékei feldúsulnak. A fizikai, kémiai, illetve biológiai talajképző folyamatok által érintett talajszintek alatt vagy a talajképződés kiindulásául szolgáló alapkőzetet (C) találjuk, vagy azt az ágyazatul szolgáló kőzetet (D), amelyre a szél, a víz vagy a gravitáció által szállított és deponált alapkőzet került.

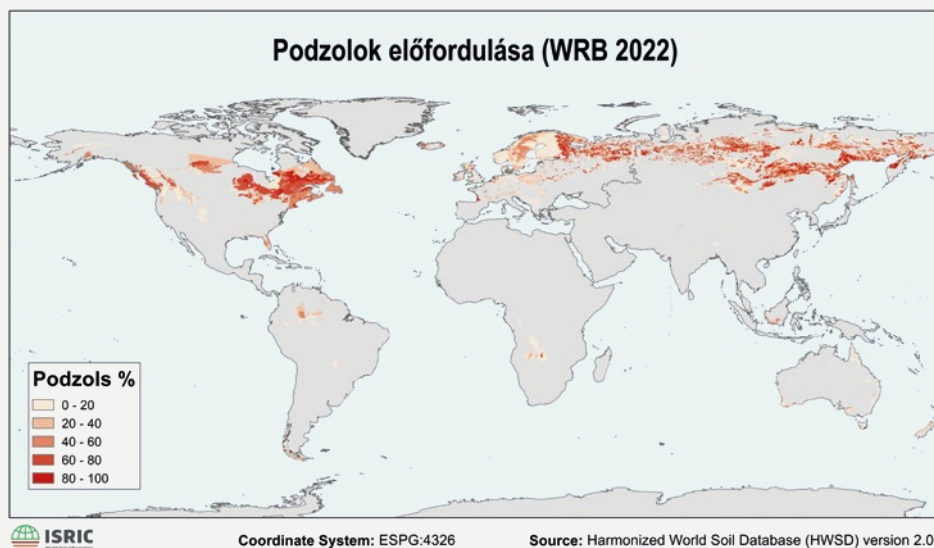
2.2. A Föld erdőöveinek jellemző erdőtalajai

A Föld erdősegeinek éghajlati övek szerinti bontását a 2.2.1. ábra szemlélteti.

Látható a 2.2.1. ábrán, hogy az erdősegek jellegükben nagyon szorosan kötődnek az egyes éghajlati övekhez. Az északi félteke leghidegebb területein találjuk a boreális erdők övét, melynek részaránya a teljes erdőterületből körülbelül 28%. Dél felé haladva a következő nagyobb erdőöv a mérsékelt övi erdők régiója, melynek részaránya 17%. Még délebbre haladva következik a szubtrópusi erdőöv, amely relatíve kis területet foglal el a maga 11%-os részarányával. Végül az Egyenlítő menti sávban találjuk a trópusi erdők övét, amely a legnagyobb, mintegy 44%-ot tesz ki. A teljes erdőterület a Földön jelenleg 4,14 milliárd ha.



2.2.1. ábra: A Föld erdőterületei éghajlati övek szerint. forrás: *Mapping global forest cover of the year 2020 to support the EU regulation on deforestation-free supply chains*, Publications Office of the European Union, 2024, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/262532>



2.2.2. ábra: A podzolok (*Podzols*) elterjedtsége és jellemző talajszelvény képe (Forrás: ISRIC; <https://wrb.isric.org/reference-soil-groups/>)

Mivel talaj ott alakul ki, ahol a bioszféra a litoszférával találkozik, ezért az erdők talajának tulajdonságait is nagyban meghatározza, hogy milyen erdőformációk találhatók rajtuk. A talajképző kőzet, a vegetáció a társult életközösségekkel, valamint a klíma, illetve a rendelkezésre álló idő kulcsfontosságú tényezők az erdőtalajok kialakulásában. A változatosságot ezen belül növeli és gazdagítja a geomorfológiai helyzet, az eróziós és depozíciós hatásoknak való kitettség, az időszakos vagy állandó vízfolyások jelenléte, közelsége, azok dinamikája, illetőleg a felszín alatti vizek hatása. A következőkben az erdőtalajok felsorolása, bemutatása a nemzetközi talajosztályozás (WRB – *World Reference Base for Soil Resources*) szerint történik.

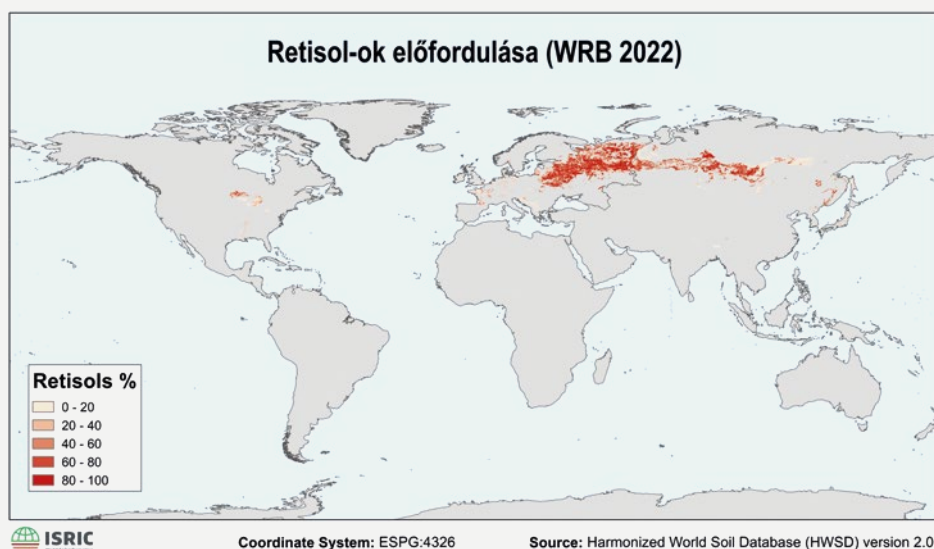
A boreális öv jellemző erdőtalajai

A boreális övben a növényzetnek a hosszú és nagyon hideg telekhez és a rövid hűvös nyarakhoz kellett alkalmazkodniuk. Uralkodó fafajok a fenyőfélék (*Picea*, *Pinus*, *Larix* nemzetségek), valamint a pionír lombhullatók (*Betula*, *Populus*, *Alnus* nemzetségek). Az erdők talaját a fagy és az olvadás változatossága, a korlátozott lebontási és mineralizációs folyamatok következtében jelentkező szerves anyag felhalmozódás, a gyenge tápanyag szolgáltató képesség és a savanyú kémhatás jellemzi.

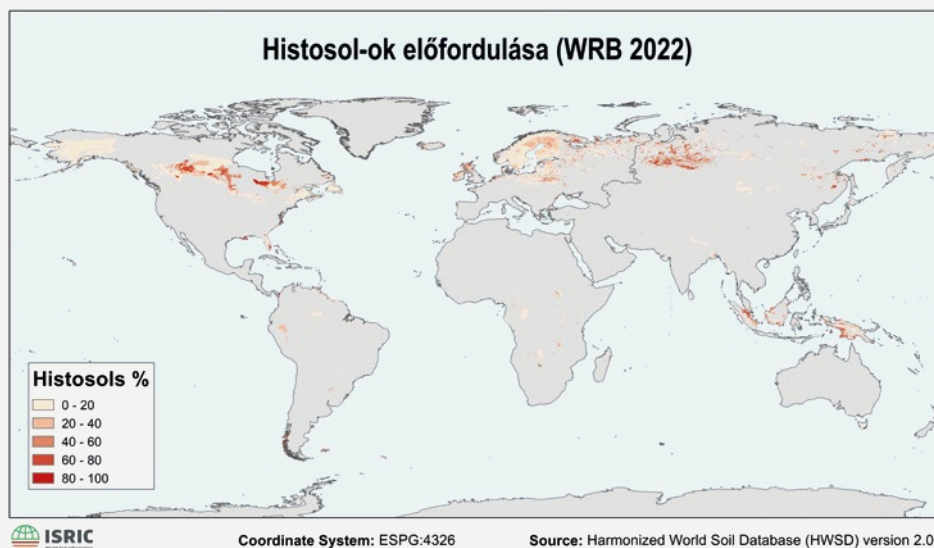
A talajfejlődés lassú, mivel a biológiai oldal erősen korlátozott az éghajlati adottságok miatt. Ezen okok miatt az ökoszisztéma széntárolásában az elhalt szerves anyag és a talaj kiemelt szerepet játszanak.

Főbb típusaik között meg kell említeni a podzoltalajokat (*Podzols*), melyek laza, kvarcban gazdag homokos alapkőzeten alakulnak ki. Jellemzőjük az erős kilúgzás, ami a savanyú kémhatással és a jó vízvezető képességgel párosulva a vasat, az alumíniumot és a humuszanyagokat a mélyebb rétegekbe mossa, kialakítva egy felhalmozódási szintet. E fölött pedig egy kilúgzott, hamuszürke, poros réteg marad. Erősen savanyú, gyenge tápanyagszolgáltató képességű talajok, melyekben az ásványi talaj felett vastag avarréteg halmozódhat fel. Területi kiterjedésük Európában körülbelül 14%-ot tesz ki. Ez a típus a boreális öv legjellemzőbb talajtípusa. A podzolok elterjedtségét és jellemző profilképét a 2.2.2. ábra mutatja.

Az Észak-Európában gyakori másik jellemző talajtípus az eolikus üledéken fejlődő, szabálytalan, hálózatos agyagbemosódási mintázatot mutató talajok csoportja (*Retisols*, illetve korábban *Albeluvisols*).



2.2.3. ábra: A *Retisols* talajok elterjedtsége és jellemző talajszelvény képe (Forrás: ISRIC; <https://wrb.isric.org/reference-soil-groups/>)



2.2.4. ábra: A szerves talajok (*Histosols*) elterjedtsége és jellemző talajszelvény képe (Forrás: ISRIC; <https://wrb.isric.org/reference-soil-groups/>)

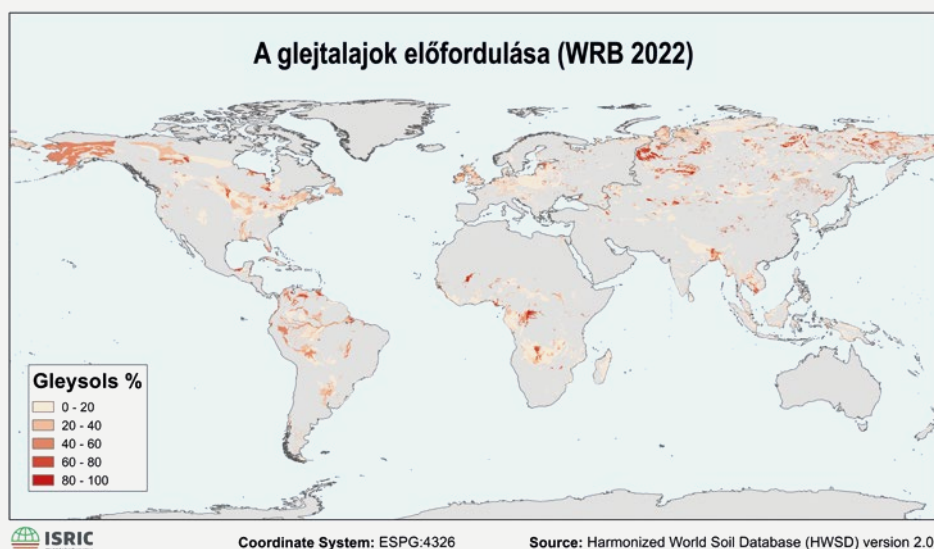
Ezekre a savanyú talajokra jellemző az altalajban megfigyelhető agyag-felhalmozódás, azonban a felhalmozódási szintet a kilúgzott feltalajból származó anyaggal töltött bemosódási sávok szabdalják mind horizontális, mind vertikális irányokban. Ezeknek a talajoknak általában kedvező szöveti tulajdonságaik vannak, ami kedvező tápanyag- és vízgazdálkodást eredményez. A kevésbé zord klímájú boreális erdők jellemző talajai, területi kiterjedésük Európában körülbelül 15%. A talajcsoport földi elterjedtségét és jellemző profilképét a 2.2.3. ábra mutatja.

A zömmel növényi maradványokból álló szerves talajok (*Histosols*), meghatározó tulajdonsága az elhalt, bomlatlan növényi szerves anyagok nagyarányú jelenléte, amelyek levegőtlen, vagy tartósan hideg körülmények között halmozódnak fel. Levegőtleniséget okozhat vízborítás, és/vagy a túl alacsony hőmérséklet, amelyek gátolják a lebontási folyamatokat. Ez a két hatás együtt is fennállhat, aminek következtében az elhalt növényi anyag hosszú ideig fennmarad. Gyenge tápanyag-szolgáltató képességű talajok ezek, amelyek gyorsan kiszáradnak és igen sérülékenyek, mivel a fagy vagy a levegőtlenység megszűnésével felgyorsulnak a lebontási folyamatok és a „talaj” eltűnik, amelyet az alacsony térfogattömeg miatt

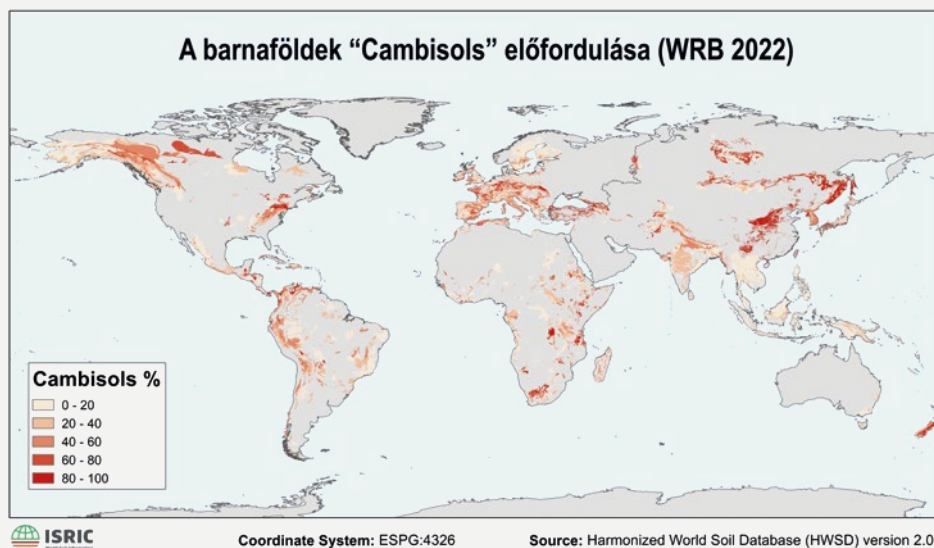
a defláció is gyorsíthat. Területi kiterjedésük Európában körülbelül 5%, nemcsak a boreális övre jellemzőek, de a boreális övön kívüli fennmaradásuk a vízborításhoz kötött. A talajcsoport elterjedtségét és jellemző profilképét a 2.2.4. ábra mutatja.

A boreális permafroszt régióban ugyancsak gyakoriak az altalajukban tartósan fagyott talajok (*Cryosols* – „krio-szolo”), amelyek egész éven át fagy hatása alatt állnak, bennük fagyott állapotban van jelen a víz, ami gátolja a talaj biológiai aktivitását. A feltalaj olvadás-fagyás ciklusa jellegzetes ún. jég-turbációs mintázatokat hoz létre a profilban. Ezek a talajok inkább a tundrára jellemzőek, mint a tajgára. Területi kiterjedésük Európában körülbelül 2%.

A boreális övben ugyancsak gyakoriak a glejtalajok (*Gleysols*), amelyekre jellemző a felszín közeli, igen magas talajvízszint, ami az ásványi talajt az év nagy részében teljesen telített állapotban tartja. E talajcsoportot nálunk részben a réti talajok képviselik. Ezek igen levegőtlen talajok, csak a feltalaj levegőzött néha. Jellegzetes a szürkés-kékes színű víztelített altalaj és a szürke alapon rozsdafoltos, időnként levegős feltalaj, ahol a rozsdafoltosság az oxidált vas jelenlétére utal. Területi kiterjedésük Európában körülbelül



2.2.5. ábra: A glejtalajok (*Gleysols*) elterjedtsége és jellemző talajszelvény képe (Forrás: ISRIC; <https://wrb.isric.org/reference-soil-groups/>)



2.2.6. ábra: A barnaföldek (*Cambisols*) elterjedtsége és jellemző talajszelvénye (Forrás: ISRIC; <https://wrb.isric.org/reference-soil-groups/>)

5%-ot tesz ki, ám ezen talajok elterjedése sem korlátozódik csupán a boreális övre. A glejtalajok elterjedtségét és jellemző profilképét a 2.2.5. ábra mutatja.

A mérsékelt öv jellemző erdőtalajai

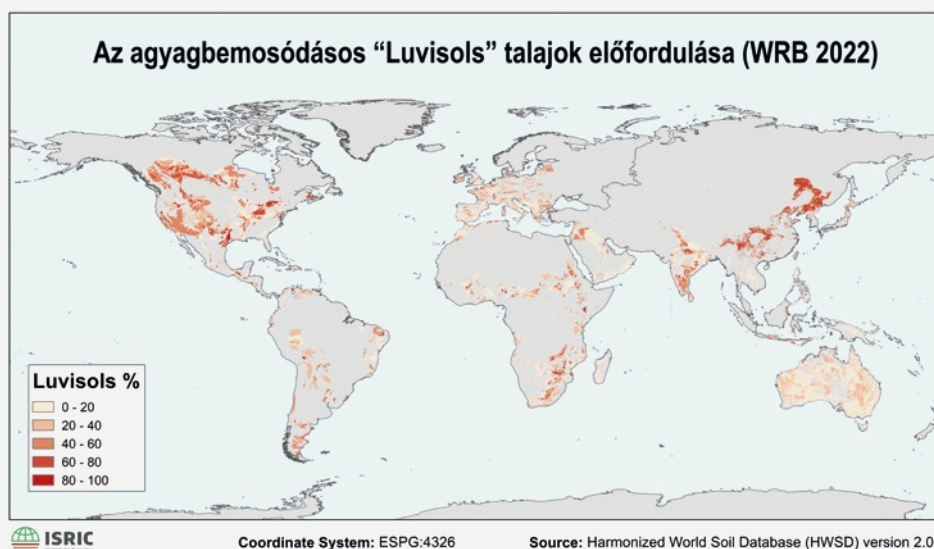
A mérsékelt övben az éghajlati adottságok sokkal kedvezőbbek, mint a boreális övben. A négy évszaktól három kedvez a vegetációs aktivitásnak, a nyugalmi időszak a télre korlátozódik. Jobb kompetitív tulajdonságaik miatt a legkedvezőbb adottságú területeken az erdőket a lombhullató zárterdei fajok (*Fagus*, *Quercus*) dominálják, a részben pionír jellegeket mutató, szintén lombos elegyfajokkal együtt (*Tilia*, *Acer*, *Carpinus*, *Fraxinus*, *Ulmus* nemzetségek). A tűlevelű fajok itt a szélsőségesebb termőhelyekre szorulnak vissza. A magas fajgazdagságú, komplex erdei ökoszisztémák alatt változatos talajok alakultak ki, amelyeknek élővilága ugyancsak gazdag a mikroszkopikusztól a makroszkopikus szintig.

A mérsékelt öv erdeinek legjellemzőbb talajai a barnaföldek, melyek leginkább a *Cambisols* talajcsoportba sorolhatók. Ezek viszonylag fiatal talajképződmények, melyekben a talajfejlődés folyamata nem tudott teljesen lezajlani. Azonban a talajfejlődési jegyeket magukon viselik, jól meghatározható

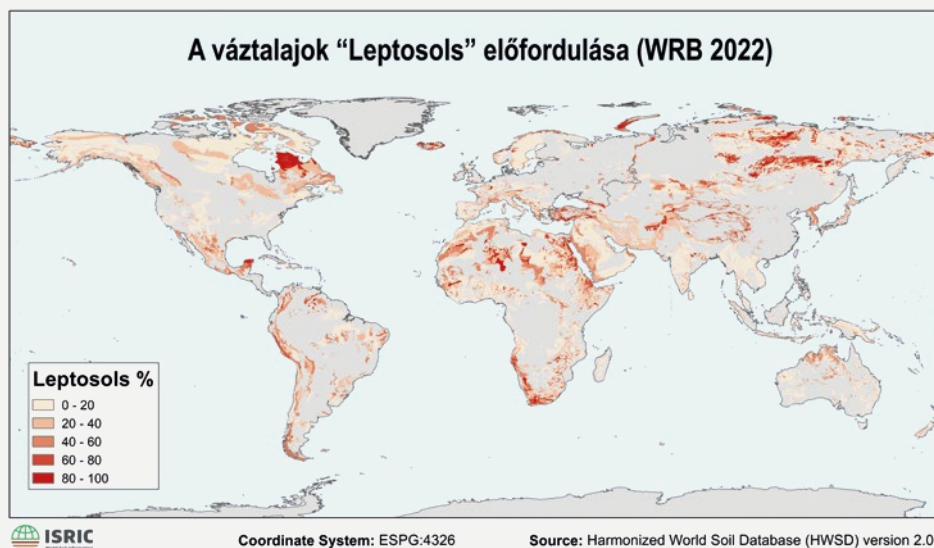
genetikai szintjeik vannak, amelyek a humuszosodás, a kilúgzottóság, illetve a szerkezetesség tekintetében elkülönülnek az alapkőzettől. Általában kedvező tápanyag- és vízgazdálkodásúak. Legtermékenyebb változataik löszön alakulnak ki. Területi kiterjedésük Európában körülbelül 12%. A *Cambisols* talajcsoport elterjedtségét és jellemző szelvényképét a 2.2.6. ábra szemlélteti.

Ugyancsak jelentős az erdők alatt az agyagbemosódásos talajok aránya, amelyekre a nagyfokú texturális differenciálódás, a kilúgzás jellemző egy határozott agyagfelhalmozódási szinttel az altalajban. Ezek a talajok a *Luvissols* talajcsoportba tartoznak és jellemző rájuk, hogy igen termékenyek, mivel jó a víz- és a tápanyag-gazdálkodásuk, levegőzöttek. Hazánkban ezt a csoportot az agyagbemosódásos barna erdőtalajok és altípusai képviselik. Területi kiterjedésük Európában körülbelül 6%-ot tesz ki. A *Luvissols* talajcsoport elterjedtségét és jellemző szelvényképét a 2.2.7. ábra szemlélteti.

Nem kevésbé jelentős a kőzethatású-, illetve a vázталajok aránya az erdőterületeken. Ezekre a talajokra az igen sekély termőréteg és a felszíni sziklakibívások, az eróziós kitérttség és az alacsony szerkezetesség a legjellemzőbbek. A nemzetközi talajosztályozási módszertan szerint az ide sorolt talajaink



2.2.7. ábra: Az agyagbemosódásos talajok (*Luvissols*) elterjedtsége és jellemző talajszelvény képe (Forrás: ISRIC; <https://wrb.isric.org/reference-soil-groups/>)



2.2.8. ábra: A váztalajok (*Leptosols*) elterjedtsége és jellemző talajszelvény képe (Forrás: ISRIC; <https://wrb.isric.org/reference-soil-groups/>)

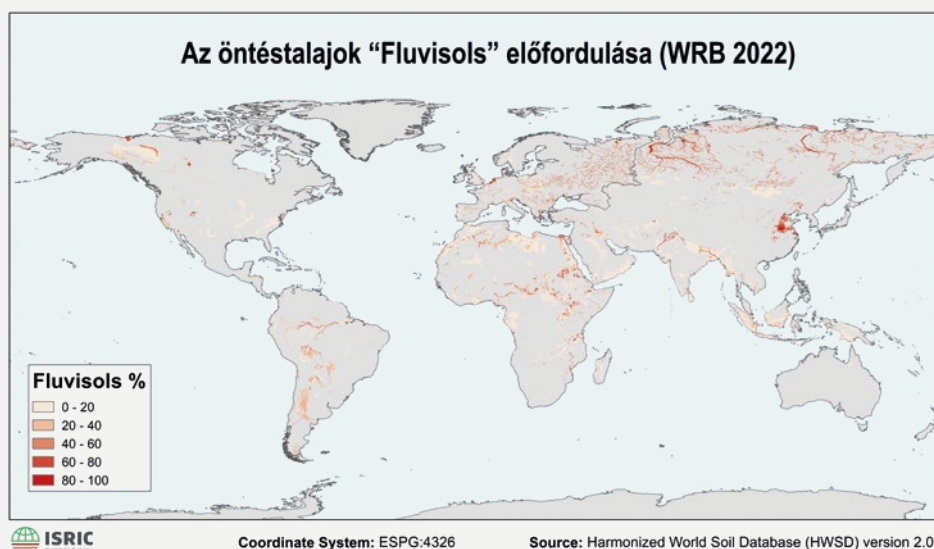
(a tipikus váz-, illetve a humuszkarbonát, rendzina, ranker, illetve erubáz talajok) több talajcsoportba is sorolhatók (*Leptosols*, *Regosols*, *Calcisols*...). Területi kiterjedésük Európában körülbelül 9%. A váztalajok (*Leptosols*) elterjedtségét és jellemző szelvényét a 2.2.8. ábra szemlélteti.

A lejtőhordalék talajok (*Regosols*), amelyek összességében kevés jól felismerhető talajfejlődési jellegzetességet mutatnak, a csekély mértékben fejlődött, mozgásban lévő felszínek talajait jelentik. Nálunk jellemző társulásaik például a törmeléklető erdők. Területi kiterjedésüket Európában – némileg alábecsülve – körülbelül 2%-ra teszik. A mérsékelt öv párás, hűvös régióiban, savanyú alapkőzetben fejlődnek azok a szerves anyagban gazdag savanyú barna erdőtalajok (*Umbrisols*), amelyeknek az A-szintjük mellett vagy nincs, vagy csak kevésbé kifejezett B-szintjük van. Kialakulásukban fontos szerepe van az evapotranspirációt meghaladó csapadékösszegnek. Hazánkban a savanyú, nem podzolos, barna erdőtalajok sorolhatók ehhez a talajcsoportokhoz. Területi kiterjedésük Európában körülbelül 3%. A mérsékelt övben is fontos talajtípus az öntéstalajok csoportja (*Fluvisols*). Jellemzően folyók árterein jelennek meg és tulajdonságaikat az elöntések gyakorisága, a hordalék minősége, mennyisége és vastagsága határozza meg. Általában magas produktívású lágy- és kemény

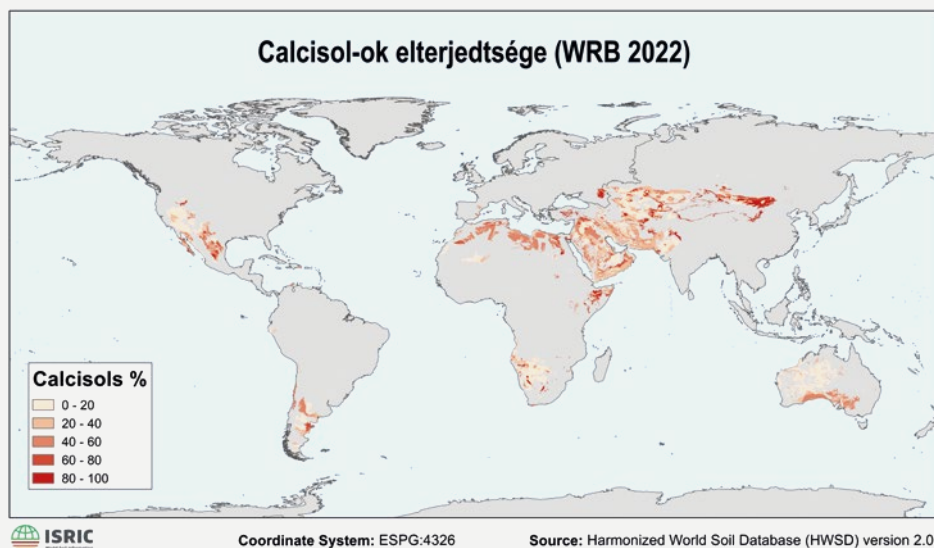
lombos galéria- és ligeterdők borítják őket, amíg az elöntések gyakorisága, rendje fel nem borul. A többlet víz eltűnésével, akár természetes, akár mesterséges okokból következik ez be, nagyon mozaikos termékenységű talajok maradnak vissza. Területi kiterjedésük Európában körülbelül 5%. A *Fluvisols* elterjedtségét és jellemző szelvényét a 2.2.9. ábra szemlélteti.

A szubtrópusi öv jellemző erdőtalajai

A szubtrópusi, mediterrán területek jellemző erdőformációját a keménylombú, mérsékelt hidegtűrő, örökzöld erdők alkotják. A legfontosabb klímajellemző itt a meleg, száraz nyár és az enyhe de csapadékos tél. A domborzatuk változatos, sok hegyvidéki tájjal, amelyek zömmel mészkőből, dolomitből vagy erősen meszes alapkőzetből épülnek fel. Természetesen vannak itt vulkanikus tevékenységből származó, eruptív, illetve metamorf palás kőzeteken fejlődő talajok is. A klíma kedvez a mállási és a kilúgzási folyamatoknak, valamint a szaharai por ülepedésének, ami ma is zajló talajképző folyamat. Az öv talajai nagyon változatosak, de az egyik legjellemzőbb csoportját az itteni talajoknak az agyagbemosódásos jegyeket mutató talajok alkotják határozott kilúgzással és agyagelmozdulással a B-szint irányába. Vöröses színüket – amiről a nevüket („*terra rossa*”) is kapták – az



2.2.9. ábra: Az öntéstalajok (*Fluvisols*) elterjedtsége és jellemző talajszelvény képe (Forrás: ISRIC; <https://wrb.isric.org/reference-soil-groups/>)



2.2.10. ábra: A másodlagos mészfelhalmozódás jellegét mutató, *Calcisol* talajok elterjedtsége a Földön és jellemző talajszelvény képe (Forrás: ISRIC; <https://wrb.isric.org/reference-soil-groups/>)

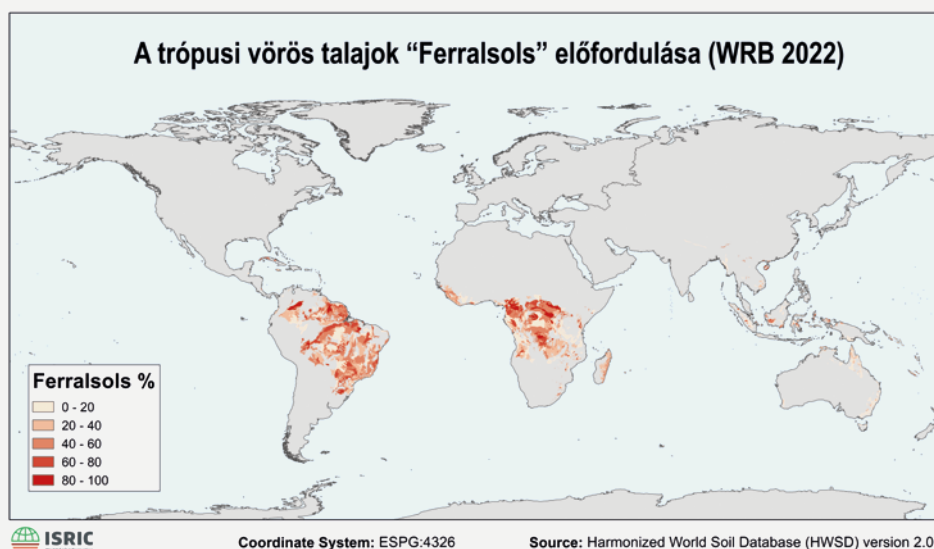
aggyagvörösödés adja, a nyári szárazság nyomán megjelenő vas-oxidok (–hidroxidok) által. Ezeket a talajokat a nemzetközi talajosztályozás a *Luvisolok* csoportjába sorolja, ezek a talajok a térség talajainak körülbelül 10%-át adják.

A karbonátos alapkőzeteken fejlődő talajok esetében is fontos talajképző hatás a kilúgzás. A talajok nyári kiszáradása miatt azonban a talajoldatba vitt kalcium újra kicsapódik, egy másodlagos mészfelhalmozódási réteget is kialakítva a talajban, nemritkán mészkőpad formájában. Ezek a talajok az erősen karbonátos jellegeket mutató *Calcisolok* csoportjába tartoznak, részarányuk körülbelül 20%. A *Calcisolok* elterjedtségét és jellemző szelvényét a 2.2.10. ábra szemlélteti.

A domborzati jellegek miatt a mediterrán régióban is meghatározóak a sekély, sziklás, köves váztalajok (*Leptosols*), melyek legnagyobb veszélye az erózióval szembeni fokozott kitettség. A váztalajok részaránya ugyancsak 20% körül alakul. A lankásabb, dombvidéki területeken a barnaföldekhez hasonló, fiatalabb talajokat is bőven találhatunk, melyeket a *Cambisolok* csoportjába sorolnak. Ezek részaránya körülbelül 25%-ot tesz ki.

A trópusi öv jellemző erdőtalajai

A trópusi esőerdő övének klímája kétségtelenül a legkedvezőbb a fás vegetáció számára. Ezekre a területekre jellemzőek az általában vörös színű, vasban és alumíniumban gazdag *Ferralsolok*, illetve laterittalajok. Habár nagyon buja vegetációt hordoznak, ugyanakkor ezek a talajok önmagukban teljesen terméketlenek. A hosszú ideje tartó intenzív kilúgzási és mállási folyamatok minden tápanyagot és agyagásványt a mélybe mostak a talajból, illetve az oldalirányú áramlásoknak hála a folyók vizébe kerültek. Amik maradnak, azok a vas és alumínium oxidok, amelyek az erősen savas környezetben még gátolják is a tápanyagfelvételt. A lebontási és mineralizációs folyamatok nagy sebessége miatt szinte minden tápanyag az avarrétegben és az élő biomasszában van. A sekélyen gyökerező fák gyorsan felveszik a lebontásból származó tápanyagokat, így azok nem raktározódnak a talajban. Ez az állapot a maximális biomassza termelést jelenti. A hosszú ideje tartó és zavartalan mállási folyamatok, illetve az intenzív kimosódás miatt a trópusi klímazonális erdőtalajok meglehetősen homogén képet mutatnak. A *Ferralsolok* elterjedtségét és egy jellemző szelvényét a 2.2.11. ábra szemlélteti.



2.2.11. ábra: A trópusi esőerdők legjellegzetesebb talajtípusának, a *Ferralsol* talajoknak az elterjedtsége a Földön és egy jellemző talajszelvény képe (Forrás: ISRIC; <https://wrb.isric.org/reference-soil-groups/>)

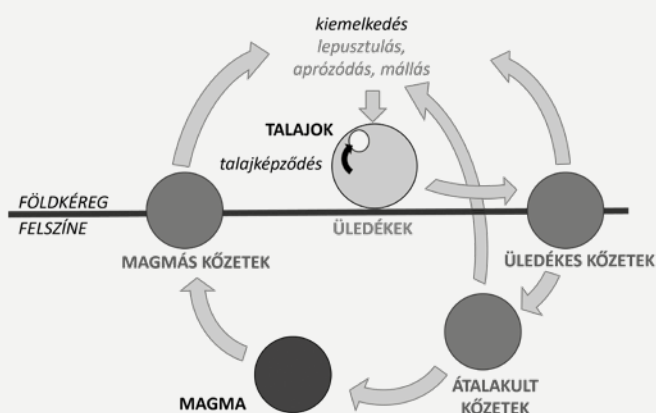
3. Az erdőtalajok fejlődésének meghatározó folyamatai és az általuk kialakított tulajdonságok

3.1. Talajok helye a földtani ciklusban

Geológiai értelemben a talajok az üledékek olyan speciális csoportját képezik, amelyeket a földfelszínen néhány deciméteres vastagságú, többé-kevésbé összefüggő rétegében a biológiai és biokémiai folyamatok lényegesen átalakítottak (3.1.1. ábra). Képződésük alapfeltétele az aprózódás és a mállás, amelyek még nem talajképződési, csupán inkább fizikai, illetve geokémiai folyamatok, amelyek a talajjal nem rendelkező kőzetbolygók felszínén is megfigyelhetők. Csekély vastagságuk és rendkívüli sérülékenyséjük miatt a talajok földtanilag nagyon rövid életűek, lepusztulásuk, áthalmozásuk vagy eltemetődésük esetén a biológiai aktivitásuk megszűnik, és pár ezer év alatt elveszítik sajátos jellemzőiket és a befoglaló üledékekhez hasonlóvá válnak.

A talajképződés helyről helyre eltérő tényezői határozzák meg a talajban érvényesülő, és a bevezetőben tárgyalt talajképződési folyamatokat, amelyeket ellentétes eredményű párokba is rendezhetünk (3.2.1. ábra). Ilyenek például a szerves anyag felhalmozódása és lebomlása. Az agyagosodás hatására képződő agyagásványok mennyisége csökkenhet, ha annak mértékét meghaladja az agyagásványok szétesése, például podzolosodási folyamatok részeként. A talaj szerkezeti elemeinek képződése szintén egyszerre zajlik más szerkezeti elemek szétesésével, így a folyamat végeredményét, a talaj szerkezetességét végül ezek egymáshoz való viszonya határozza meg.

A fent említett és más folyamatok, folyamatpárok együttes hatásai eredményezik a talajok mérhető, látható, észlelhető, diagnosztikus bélyegeit és tulajdonságait, amelyek térbeli (vízszintes és függőleges) változatossága képezi az eltérő talajfoltok és talajszintek elkülönítésének, a talajok tanulmányozásának alapját.



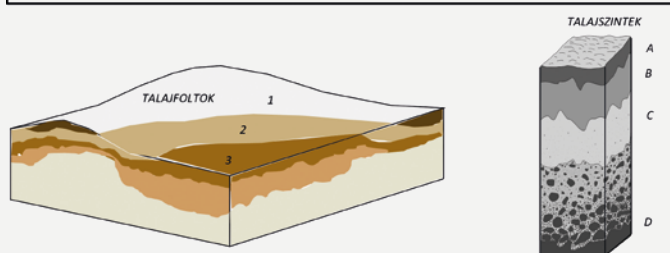
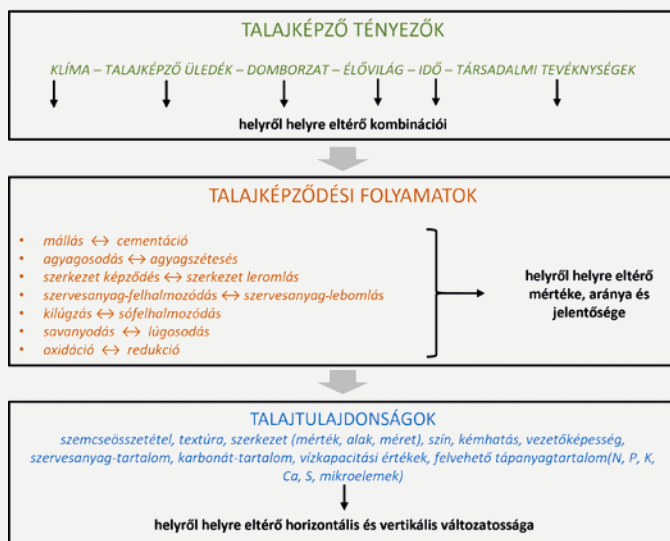
3.1.1. ábra: A talajok helye a geológiai ciklusban. A talajok az üledékek olyan sajátos típusának tekinthetők, amelyeket nagymértékű biológiai aktivitásuk különböztet meg a többi üledéktől

3.2. Talajképződési folyamatok, folyamatpárok

Mállás – cementáció

A legtöbb kőzet esetében a kőzetté válás (diagenézis) a felszíni viszonyoktól eltérő hőmérséklet-, nyomás- és redox-körülmények között megy végbe, magas nyomáson, nagy mélységben, oxigéntől elzártnak, magas hőmérsékleten. Emiatt a kőzetképződés során kialakuló ásványok kémiai és kristályszerkezete a felszín közeli nagy oxigénkoncentráció, alacsonyabb hőmérséklet, kis nyomás és víz jelenléte mellett sem fizikailag, sem kémiai nem stabil. A felszínre került kőzetek ásványaiban a képződési körülményekhez képest alacsony nyomáson és hőmérsékleten, oxigénnel és vízzel érintkezve azonnal megindul a kőzetalkotó ásványok fizikai és kémiai átalakulása, többnyire hidratáció, oxidáció és oldódás formájában. A kőzetképződés körülményei mellett létrejött eredeti szerkezetet és összetételt ezért egy idő után csak kőzetdarabok külső, mállási kérge alatt rejlő üde része őrzi meg, 3.2.2. ábra.

A mállás révén a kőzetek számos makro- és mikrotápanyag elemforrásként vesznek részt a talajtulajdonságok kialakításában. A biogén elemek közül a P, K, S és a legtöbb fémes elem (Ca, Mg, Na, Zn, Mn, Cu, Fe) elsődleges forrása a kőzetek mállása, vagyis főként a kőzetek mállásakor mobilizálódó vegyületeik, ionjaik révén kerülnek be a talajba. A mállással ellentétes folyamat a cementáció, amely a mállás során keletkezett oldható ionokból a talaj pH-ja és redoxviszonyai mellett képződő másodlagos (szekunder) ásványok révén jön létre. A cementáció a talajt a mállással ellentétben koherenssé, a gyökerek és az élővilág számára



3.2.1. ábra: A talajképző tényezők, talajképződési folyamatok és az általuk eredményezett talajtulajdonságok térbeli heterogenitása képezi a talajtakarékos térbeli tagolását (talajfoltok, talajszintek) alapját

átjárhatatlanná teszi, cementálja és akár összefüggő, szilárd réteg létrejöttéhez is vezethet. A cementáció végbemehet szilikácionok által, amely az erősen mállott trópusi talajok sajátsága. Mérsékelt klímán gyakran a kalcium-karbonát cementál, az altalajban előforduló mészkőfok, vagy réti mészkőréteg jól példázza ezt a folyamatot. Azonban előfordulnak mocsárércnek, gypvasércnek nevezett, kemény, vasoxidos, vas-hidroxidos, limonitos cementált rétegek is. Hazai erdők talajában a folyamat inkább a mállás irányába tolódik el, mivel a fejlett gyökérzet, a jellemzően enyhén savas kémhatás és a lefelé irányuló vízmozgás következtében a cementáló ágensként szóba jöhető vegyületek a talajból folyamatosan kilúgzódnak.

Agyagosodás – agyagszétésés

A talajban lévő szilikátásványok oxidatív körülmények között, víz jelenlétében lassú hidrolízisen mennek keresztül, amely bizonyos esetekben (pl. csillámok) közvetlenül vezet agyagásványok képződéséhez. A földpátok vagy egyéb szilikátok mállásakor keletkező szilikát- és fémionok pedig közvetve, újrakristályosodási folyamat során képezhetnek rétegszilikátokat, agyagásványokat, illetve vas-, alumínium-oxidokat, valamint egyéb fém-oxidokat, hidroxidokat. Ez a folyamat a talaj agyagtartalmának növekedéséhez vezet, amely rozsdavörös, vörösesbarna színárnyalat megjelenésével jár a vasoxidok mennyiségének növekedése miatt. Ha azonban erősen savas, vagy lúgos talajoldat hatására az agyagásványok építőelemeikre bomlanak, akkor az agyagtartalom csökkenni kezd, és erősen kifakul például a podzoltalajok kilúgzási szintjében.

Szerkezetképződés – szerkezetromlás

A talajban lévő szerves és szervetlen koloidok, a karbonátok, vas-oxidok hatékonyan kapcsolják össze a talaj ásványi szemcséit egymással vagy szerves anyagokkal. Ezáltal aggregátumok, szerkezeti elemek jönnek létre, amelyek létrejöttében a gombafonalak, gyökerek által termelt szerves vegyületek is hatékonyan közreműködnek. Az aggregátumok ugyanakkor mechanikai hatások, bioturbáció, vagy áthalmozás következtében sérülhetnek, feltöredezhetnek, majd újra szerveződhetnek.

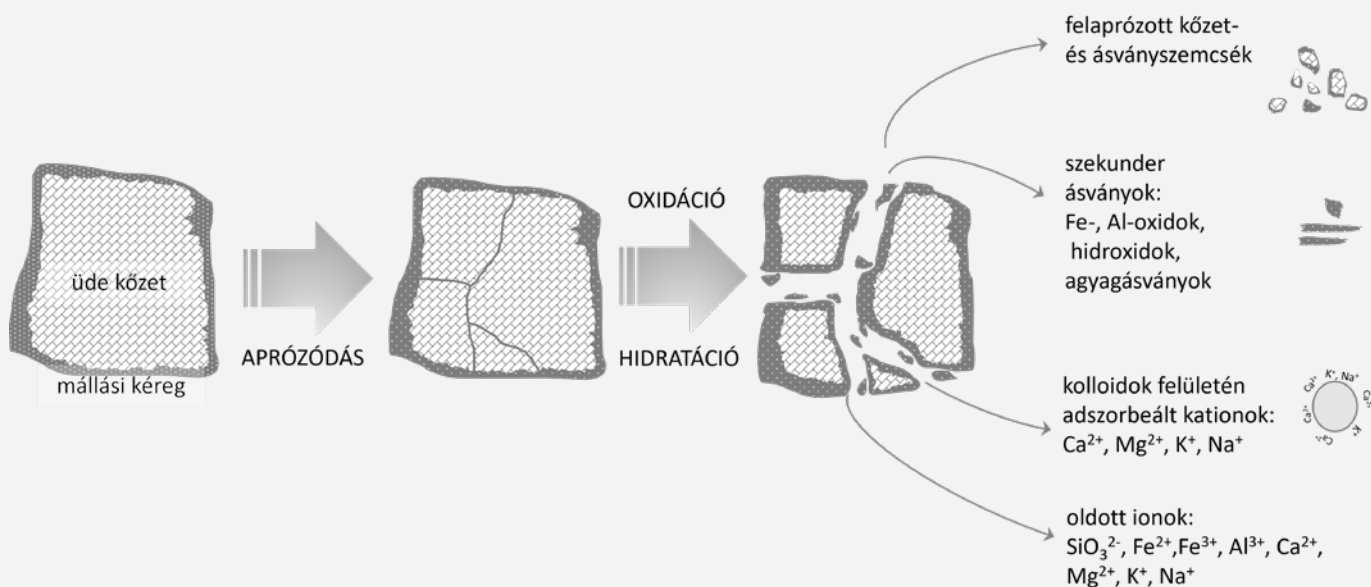
A két ellentétes folyamat eredményeként aktuálisan meg tapasztalható szerkezetesség a talajállapot fontos jellemzője.

Szerves anyag felhalmozódása – lebontása

A talajba kerülő elpusztult biomassza lebontási folyamatai időigényesek, illetve a lebontást számos tényező (hideg, vízhiány, a mikrobák működéséhez szükséges tápanyagok hiánya) gátolhatja. Emiatt a lebontás és az utánpótlás üteme együttesen alakítja ki a talajra jellemző szervesanyag-tartalmat. A lebontás fokozódása, vagy a visszapótlás csökkenése a szervesanyag-készlet csökkenéséhez, míg a gátolt lebontás, vagy megnövekvő utánpótlás annak növekedéséhez vezet. A szerves anyagok kolloidokhoz való kapcsolódása a szerves anyagok felhalmozódását segíti. Hasonló hatása van a több vegyértékű fémionokkal (Ca^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mg^{2+}) képzett komplexek általi stabilizációnak, amely részben a mikrobiális bontást is gátolja, illetve megkönnyíti a szervetlen kolloidokkal való kapcsolódást, és ezáltal stabilizációt. A bázisszegény, savanyú talajok esetében a szerves anyagok könnyebben bomlanak vízzeloldható alkotórészekre, amelyeket részben a mikrobák fogyasztanak el, részben pedig a beszívargó nedvességgel kimosódnak.

Kilúgzás – sófelhalmozódás

Kilúgzás alatt a szénsavas mésznél vízben könnyebben vagy azzal azonos mértékben oldódó anyagok talajból történő kimosódását értjük. Feltétele, hogy a talajban gyakran legyen jelen döntően lefelé szivargó víz. Az enyhén savas kémhatású csapadékvíz a szénsavas meszet oldja, ezért azt, és minden annál jobban oldódó anyagot magával visz. A kilúgzás hatására a talaj vízzeloldható tápanyagokban is elszegényedik, és savanyú kémhatásúvá válik. A kilúgzással ellentétes folyamat a sók felhalmozódása, amelynek feltétele a felfelé áramló és a talajból elpárolgó nedvesség. Szezonálisan a két folyamat váltogathatja egymást, jellemző lehet például a szénsavas mész szezonális bemosódása vagy kicsapódása a kevésbé csapadékos területeken. Hazánk csapadékosabb, így az erdőknek kedvezőbb éghajlatú területein döntően inkább kilúgzással számolhatunk.



3.2.2. ábra: A kőzetek mállási folyamata és az annak során keletkező termékek

Agyagkimosódás – agyagfelhalmozódás

A bőséges nedvesség, illetve az aggregátumok szétesése következtében a vízben egyébként nem oldódó agyagásványok a talajoldatban finom eloszlásba kerülve a beszivárgó nedvességgel lefelé mozdulnak el. Ahol a nedvességtartalom csökken, vagy az agyagszemcsék szétoszlata miatt felelős kémhatás megváltozik, ott az agyagszemcsék kiülepednek és agyagfelhalmozódást eredményeznek.

Oxidáció – redukció (pangóvizesség és glejesség)

Az időszakosan víztelített talajokban oxigénhiány léphet fel, amikor a talajoldat vegyületei redukált állapotba kerülnek, majd kiszáradás során újra oxidálódnak. A felülről érkező nedvesség elsőként a biopórusokat (gyökér- és gilisztajáratokat), repedéseket telíti, ahol oxigénhiányhoz, és redukcióhoz vezet, miközben a szerkezeti elemek belsejében továbbra is oxidatív viszonyok maradhatnak a bezárt levegő miatt. Az oxidáció-redukció váltakozását színváltozással jelző vasvegyületek (oxidált: rozsdavörös, redukált: kékesszürke) jó indikátorai az időszaki vízhatásnak. A fentről beszivárgó víz megkezdése által okozott mintázatot pangóvizességnek (pszeudoglej), a talajvíz ingadozása által okozott mintázatot glejességnek nevezzük, mindkettő a térben változatos folyamat, a talaj pórusterében is rendkívül finom mintázat szerint változhat.

3.3. Alapvető talajtulajdonságok

Textúra, szemcseösszetétel

A talaj földes részének szerkezetét homok, kőzetliszt és agyag méretű szemcsék keveréke alkotja. A talaj textúrája alatt a különböző méretű szemcsék arányát értjük, amely döntően meghatározza a talaj pórus-térfogató és vízkapacitási tulajdonságait.

Szerkezetesség

Az elemi talajszemcsékből és szerves anyagokból szerveződő talaj-aggregátumok alakját, méretét, stabilitását jellemző paraméterek összességét értjük alatta, valamint annak értékét, hogy milyen arányban találunk a talaj teljes térfogatában aggregátumokat és elkülönült, elemi szemcséket.

Szervesanyag-tartalom

A talajban a legkülönbözőbb formában megőrzött szerves anyagok összességét értjük alatta, a le nem bomlott növényi maradványoktól (lignin, cellulóz), az egyszerű, vízoldható szerves vegyületeken át (cukrok, aminosavak) egészen a talajspecifikus, bonyolult szerves vegyületekig (fulvosavak, huminsavak), amelyek ásványi kolloidokhoz kapcsolt formában rendkívül ellenállóak lehetnek a mikrobák általi lebontással szemben.

Karbonáttartalom

A talaj földes részében finom eloszlásban lévő CaCO_3 és az ahhoz hasonló oldhatósággal rendelkező szervetlen karbonátok (Fe, Mg, Na, K- CO_3) mennyiségét jelenti.

Kémhatás

A pH a talajszemcsék felületi töltéseiről vizes, vagy KCl-os oldatban felszabaduló H^+ -ionok koncentrációjának tízes alapú negatív logaritmus.

Redoxpotenciál

A redoxpotenciál a talajoldatban lévő anyagok elektronátadási hajlandóságának, illetve oxidáló- vagy redukálóképességének mértéke. A tápanyagok mobilitását a talaj pH-ja és redoxpotenciálja együttesen határozza meg.

Vezetőképesség

A talaj és víz meghatározott (leggyakrabban 1:2,5 arányú) szuszpenziójának elektromos vezetőképessége, amelynek mértéke a talajban lévő oldható só-tartalommal és egyéb oldható anyagok mennyiségével és minőségével arányos.

Ionszerekapacitás

A talaj kolloidális alkotórészeinek (szerves kolloidok, agyagásványok) felületi töltéseinek megköthető bázikus kationok (Na, K, Mg, Ca) maximális lehetséges mennyiségét értjük alatta.

Bázistelítettség

A kolloidok felületén ténylegesen adszorbeált kationok mennyiségének és az elméletileg megköthető (ionszerekapacitás) mennyiségnek az arányát fejezi ki. Alacsony értéke esetén a szabad kötőhelyeket a vizes oldatból H^+ -ionok foglalják el, ami a talaj savanyú kémhatásával jár együtt.

Talajszintek

A talajok általában szabad szemmel is jól elkülönülő és felismerhető színezetiséget mutatnak. Ez a színezetesség önmagában is rendkívül változatos lehet, és összhangban van a talaj kialakulását meghatározó folyamatokkal. Az, ahogyan ezeket a szinteket leírjuk és azonosítjuk, nem független attól, hogy milyen talajosztályozási, illetve értékelési rendszert használunk. A hazai talajosztályozás és a belőle származó erdészeti értékelés a genetikai osztályozási elvet követi, ami azt jelenti, hogy azonosítjuk a talajfejlődést uraló talajképző folyamatokat, és azok előrehaladottsága, illetve jelenléte alapján értékelünk. Ez az értékelési mód a talajban látható szintek között, a talajképző folyamatok által generált kapcsolatot tartja meghatározónak, és ezek jelenlétére fókuszálva az egyes szintekben jellemző talajtulajdonságok tekintetében megengedőbb. Ebben a rendszerben a szakértői interpretációjának is nagy szerepe van abban, hogy miként tudja a folyamatokat azonosítani és felismerni. A genetikai osztályozás esetében azoknál a talajoknál, amelyekben a színezetiséget nem a makroklima, a zonális vegetáció és a talajban lejátszódó spontán folyamatok alakítják, hanem például a szedimentáció – mint a folyóvízi vagy a lejtőüledék –, ott rétegzetiségről beszélünk.

A nemzetközi osztályozások – mint amilyen például a *World Reference Base for Soil Resources* – nem a genetikai osztályozási elvet követik, hanem a diagnosztikus, azaz talajtulajdonságalapú besorolást. Ez

esetben a besorolásnak pontos, tulajdonságalapú kritériumrendszere van, egy határozó kulcs alapján, ami nagyobb összehasonlíthatóságot és következetes besorolást tesz lehetővé.

A genetikus osztályozás főbb talajszintjei:

- **A₀₀**: bomlatlan avarszint az ásványi talaj fölött
- **A₀**: bomlott avarszint az ásványi talaj fölött
- **A**: a humuszos, ásványi feltalaj, ha nem tagolódik elkülöníthető szintekre
- **A₁**: humuszos feltalaj a kilúgzási szint felett
- **A₂**: kilúgzási és agyagásvány szétesési szint humuszfelhalmozódás nélkül (kovasavas)
- **A₃**: agyagásvány szétesés nélküli kilúgzási szint
- **B**: helyi mállás eredményeként kialakuló, vályogosodott szint
- **C**: változatlan alapkőzet, amin a talajosodás elindult
- **D**: ágyazati kőzet, amire a talajképző kőzet települt

A diagnosztikus osztályozás főbb talajrétegei:

A diagnosztikus osztályozások (pl.: WRB) egzaktul megfigyelhető és mérhető tulajdonságokra alapozva sorolják be a talajokat, a lehető legminimálisabba szorítva a szubjektív értékelési szempontokat.

A WRB diagnosztikus osztályozás 40 jellemző szintet különít el, ami 17 diagnosztikus tulajdonság és 19 talajfejlődést befolyásoló anyag jelenlétét vizsgálja.

Talajfoltok

Egyazon tulajdonsághalmazzal rendelkező, homogén profilképző talajtestet jelöl, amelyen belül a hozzá tartozó szelvényhez képest nem találunk kiugró, vagy eltérő tulajdonságokat.

3.4. Mechanikai összetétel

Az elemi részecskék mérete

A talaj szilárd fázisa nem egy homogén anyag, hanem különböző méretű és alakú szerkezeti elemekből, vagyis aggregátumokból („talajmorzsákból”) épül fel. Ezeket az aggregátumokat még kisebb építőkövek, az elemi ásványszemcsék alkotják. Egy részük a talajképző kőzetből „öröklődik”, más részük a talajképződés során helyben keletkezik. Az elemi szemcséket az aggregátumokban található élő és elhalt szerves anyagok, valamint kolloid méretű (1 nm–2 µm) „ragasztóanyagok” tartják össze.

Az elemi részecskék mérete azért nagyon fontos, mert meghatározza a talaj fajlagos felületét: minél kisebbek a szemcsék, annál nagyobb a talaj felülete egységnyi tömegre vetítve. Ez pedig közvetlenül kihat a határfelületeken zajló folyamatokra – például a kapillaritásra, illetve az ionok és molekulák megkötésére (adszorpciójára). Nem véletlen, hogy egy agyagos talaj „kémiaileg aktívabb”, míg egy homoktalaj sokszor gyorsabban reagál a vízmozgásokra, de kevesebb vizet, vagy a víz által szállított anyagot köt meg.

Az elemi részecskék méret szerinti százalékos megoszlását nevezzük a talaj mechanikai összetételének. A gyakorlatban a részecskéket mérettartományokba soroljuk; az egyik legelterjedtebb felosztás az Atterberg-féle (nemzetközileg is használt) csoportosítás (agyagfrakció: < 0,002 mm; por vagy iszap frakció: 0,002–0,02 mm; finom homok: 0,02–0,2 mm; durva homok: 0,2–2 mm; kavics / durva vázrész: > 2 mm). Nemzetközileg többféle mérethatár is elfogadott.

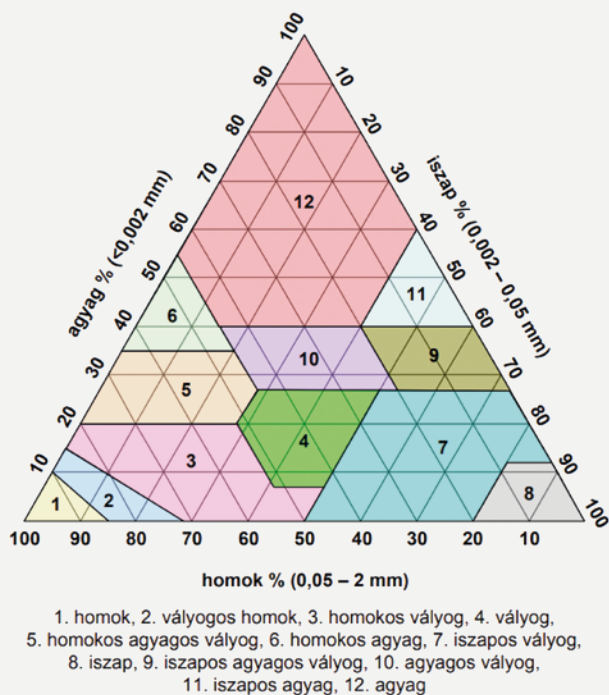
A mechanikai összetétel adatok „közérthető kifejezője” a talaj fizikai félesége, más néven szövete vagy textúrája. Agyag fizikai féleségű talajban az agyagfrakció, vályogtalajban inkább a porfrakció a meghatározó, míg homoktalajban a homokfrakció dominál. Ezek a kategóriák azért hasznosak, mert első közelítésben már sokat elárulnak arról, hogy egy talaj hogyan tartja és vezeti a vizet, illetve mennyire képes különféle anyagokat megkötni.

Mechanikai összetétel vizsgálatok

A mechanikai összetétel vizsgálatának célja egyszerűen megfogalmazható: a talajaggregátumokból valamilyen előkészítéssel „felszabadítjuk” az elemi szemcséket, majd méret szerint szétválasztjuk őket, és megadjuk, hogy az egyes frakciók a talaj tömegének vagy térfogatának hány százalékát adják. A méret szerinti szétválogatás hagyományosan szitálással vagy ülepítéssel történik.

A talajok mechanikai összetételének meghatározására ma már egyre többen használják a lézerdiffrakciós módszert. Ennek az a lényege, hogy egy megfelelően elkevert talajszuszpenziót lézerrénnyel „átvilágítanak”, és a készülék azt méri, hogyan szórják a fényt a különböző méretű részecskék. A szórt fény mintázatából egy számítási modell segítségével a műszer visszaszámolja, milyen részecskeméret-eloszlás jellemzi a mintát. Az eredményt általában térfogati eloszlásként adják meg, ami sok esetben jól közelíti a tömegarányos eloszlást is. A módszer legnagyobb előnye, hogy gyors (jellemzően pár perc/minta), és az eredményt nem néhány „dobozba” sorolva adja meg, hanem szinte folytonos görbeként, ezért könnyebb összehasonlítani más módszerekkel és más szemcseosztályozási rendszerekkel. A modern műszerek ráadásul nagyon széles tartományban tudnak mérni: a mikron alatti részecskéktől egészen a milliméteres szemcsékig. Ugyanakkor vannak korlátai ennek a módszernek. Egyrészt az alkalmazott műszerek drágábbak, másrészt a talajvizsgálatokban még nem mindenhol egységes, „kőbe vésott” a szabványos eljárás, ezért a hagyományos módszerekkel (pipettás, hidrométeres) kapott eredményekkel való összevethetőség nem mindig egyértelmű. Praktikus kérdés az is, hogy a méréshez gyakran nagyon kevés minta (kb. 0,3–0,5 g) is elég. Ez előny, ha kevés anyag áll rendelkezésre, de hátrány is lehet: ilyen kis mennyiségnél könnyebben előfordul, hogy a rész minta nem teljesen reprezentatív, és emiatt ugyanabból a talajból különböző részminták alapján akár a textúra-besorolás is eltérhet.

A mechanikai összetétel vizsgálatok eredményeit többféleképpen lehet „lefordítani” gyakorlati következtetésekre. Például egy háromszögdiagram segítségével (3.4.1. ábra) meghatározható a talaj fizikai félesége



3.4.1. ábra. A fizikai talajféleség megállapítására szolgáló háromszögdiagram
(Forrás: Környezetmérnöki Tudástár 3., 2011)

(textúrája). A kumulált frakcióarányokból szerkesztett szemeloszlási görbék pedig arra is utalhatnak, mennyire „jól osztályozott” a talaj, és milyen talajmechanikai viselkedés várható tőle.

Gyors, közelítő vizsgálatok a talajtextúra meghatározására

A talajok fizikai féleségének (textúrájának) meghatározásához nem mindig van szükség részletes, idő- és költségigényes mechanikai összetétel vizsgálatra. Sok gyakorlati feladatnál elég, ha gyors, közelítő képet kapunk arról, hogy inkább homokos, vályogos vagy agyagos talajról van-e szó. Ilyenkor jól használhatók a helyszíni próbák és néhány egyszerű laboratóriumi módszer (3.4.1. táblázat).

Helyszíni vizsgálatok: sodrás- és gyúráspróba

A terepi talajfelvételezés során az első gyors információt a sodrás- vagy gyúráspróba adja. Egy gyakorlott talajtani szakember a benedvesített talaj képlékenysége, „formázhatósága” alapján meglepően pontosan meg tudja becsülni a genetikai szintek fizikai féleségét (a homok „szétomlik”, a vályog már formálható, az agyag pedig jól sodorható és tartja az alakját).

Arany-féle kötöttségi szám (K_A)

A hazai gyakorlatban a legelterjedtebb gyors laboratóriumi módszer az Arany-féle kötöttségi szám meghatározása. A logika egyszerű: minél több a finom részecske (főleg az agyag), annál nagyobb a talaj fajlagos felülete, és annál több vizet képes felvenni a felületén, mire eléri a képlékenységi felső határát. A vizsgálatban azt mérjük, mennyi víz kell 100 g talajhoz, hogy ezt az állapotot elérje. A K_A így gyorsan jelzi, mennyire „kötött” a talaj.

Higroszkóposág (hy_r)

Egy másik közelítő jellemző a higroszkóposág, vagyis a talaj vízgőz-megkötő képessége. Minél nagyobb a fajlagos felület (minél agyagosabb a talaj), annál több vízgőzt tud megkötni adott páratartalmú levegőből. A mérésnél kis mennyiségű légszáraz talajt zárt, jól beállított páratartalmú légtérbe helyezünk, majd meghatározott idő után lemérjük. Ezután 105 °C-on kiszárítva ismét mérünk; a különbségből számítható a megkötött vízgőz aránya. Magyarországon elterjedt a 32,2% relatív páratartalmú légtérben mért higroszkóposág (hy_r , Sík-féle higroszkóposág).

Leiszapolható rész (LI)

A fizikai féleség gyors becslésére használható a leiszapolható rész meghatározása is. Ez egy leegyszerűsített mechanikai összetétel vizsgálat: egyetlen ülepítési időpont és egy pipettázás alapján becsüljük meg a talaj agyag + por frakciójának együttes arányát. Minél nagyobb ez az érték, annál finomabb (és általában kötöttebb) a talaj.

5 órás kapilláris vízelelés

Végül gyakorlati, szemléletes próba az 5 órás kapilláris vízelelés mérése: egy talajoszlop alsó végét vízbe állítjuk, és megnézzük, 5 óra alatt milyen magasra „kúszik fel” benne a víz (a talajoszlop 5 órás – rövid idejű – kapilláris vízelése annál kisebb, minél agyagosabb a talaj).

Az előbbi gyors vizsgálatok mind ugyanarra a kérdésre adnak választ: milyen a talaj fizikai félesége (textúrája), vagyis mennyi benne a durvább és mennyi a finomabb szemcse. Ez az egyik leggyakrabban használt talajfizikai paraméter, mert viszonylag stabil (emberi időléptékkel mérve lassan változik), és jó „alapadatként” sok más tulajdonság értelmezéséhez támpontot ad. A textúra alapvetően meghatározza a talaj

FIZIKAI TALAJFÉLESÉG	KÖTÖTTSÉGI SZÁM, K_A	HIGROSZKÓPOSSÁG, hy_r	LEISZAPOLHATÓ RÉSZ, LI%	5 ÓRÁS KAPILLÁRIS VÍZELÉLÉS
Durva homok, futóhomok	< 25	< 0,5	0–10	300 <
Homok	25–30	0,6–1,0	11–25	
Homokos vályog (könnyű vályog)	30–37	1,1–2,0	26–30	250–300
Vályog	37–42	2,1–3,5	31–60	150–250
Agyagos vályog (nehéz vályog)	42–50	3,6–5,0	61–70	75–150
Agyag	50–60	5,1–6,0	71–80	40–75
Nehéz agyag (vagy szikes agyag)	60 <	6,1 <	81–90	< 40

3.4.1. táblázat. A fizikai talajféleség gyors, közelítő meghatározására szolgáló mérések értékelése (Stefanovits P. (1975) *Talajtan*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.)

vízgazdálkodását, és szorosan összefügg a levegő- és hőháztartással, valamint a tápanyagok megkötésével is. Emellett a talaj mechanikai viselkedését is befolyásolja: a képlékenységet, a tömöríthetőséget és a művelhetőséget nagyrészt a szemcseösszetétel és az ebből következő pórusszerkezet szabja meg.

3.5. A talajszerkezet kialakulása

A talajszerkezet azt fejezi ki, hogyan „épül fel” a talaj: a talajt alkotó apró, elsődleges elemi részecskék (homok-, por- és agyagszemcsék) összetapadnak, és kisebb-nagyobb, többé-kevésbé ellenálló aggregátumokká (talajmorzsákká) szerveződnek. Ezek az aggregátumok lehetnek szubmikro-, mikro- vagy makroaggregátumok – vagyis a talajban különböző léptékű „építőelemek” jönnek létre. Az aggregátumképződést több tényező együtt alakítja. Az alapot a szemcsék közötti felületi (elektrosztatikus) kölcsönhatások adják, de a szerkezet tartósságát nagyrészt azok az „összetartó erők” biztosítják, amelyeket a talajban élő szervezetek és a talaj kolloidjai hoznak létre. Ilyenek például a baktériumok, sugárgombák, gombafonalak és a növényi gyökök, valamint ezek váladékai, maradványai és bomlástermékei. Ugyanígy fontos szerepe van a humuszanyagoknak és bizonyos szerves kolloidoknak is, különösen a vas- és alumínium-oxidoknak, illetve -hidroxidoknak, amelyek „hidakat” képezhetnek a szemcsék között. Ahogy az aggregátumok kialakulnak és átrendezik a talajt, vele együtt alakul a talaj pórusrendszere is. Ezért a talajszerkezet közvetlenül befolyásolja a talaj víz-, levegő- és hőgazdálkodását, a mechanikai tulajdonságait (például a művelhetőséget, tömörödére való hajlamot), sőt az erózió-érzékenységet is. Fontos különbség, hogy míg a fizikai talajféleség (textúra) általában lassan változik, a talajszerkezet – különösen az

aggregátumok stabilitásától függően – jóval alakíthatóbb és érzékenyebb tulajdonság: romolhat kedvezőtlen hatásokra, de megfelelő körülmények között javulhat is.

A talajszerkezetet több szempontból is vizsgálhatjuk: (1) a szerkezeti elemek kifejezettsége és alakja alapján (*morfológiai talajszerkezet*), (2) a szerkezeti elemek mérete alapján (*agronómiai talajszerkezet*), valamint (3) a szerkezeti elemek stabilitása alapján (*makro- és mikroaggregátum-stabilitás*). Az agronómiai talajszerkezetéről itt csak annyit jegyzünk meg, hogy a szitasorozattal meghatározott aggregátum-eloszlás fontos információ elsősorban a talajművelés szempontjából.

A szerkezeti elemek morfológiája

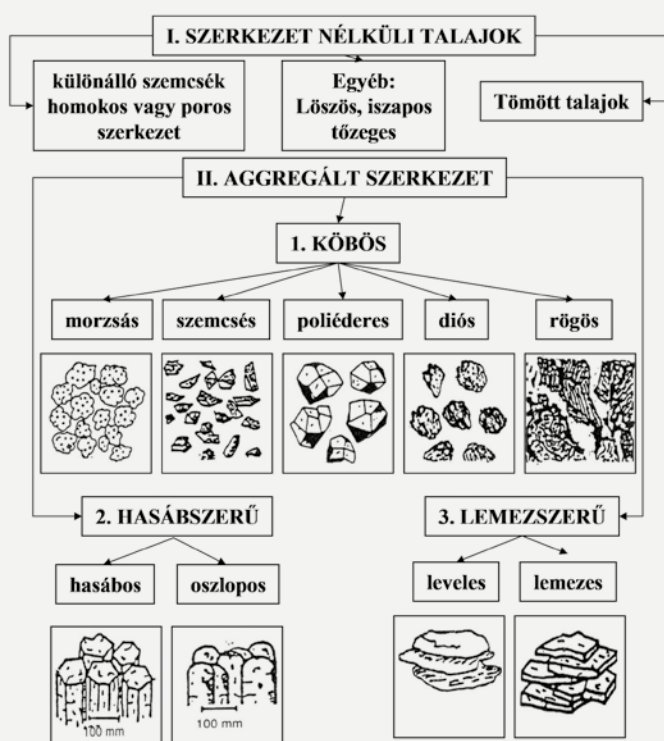
Ha a talaj elemi részecskéi nem rendeződnek tartós aggregátumokba, akkor egyedi szerkezetű talajról beszélünk. Ilyen például a jobbára kvarc- és agyagszemcséből álló, laza futóhomok, ahol a szemcsék többnyire „külön életet élnek”, és nincs valódi szerkezet. Hasonló a helyzet bizonyos tömörödött homoktalajoknál, illetve egyes flokkulálódott agyagot tartalmazó szoloncsák talajoknál: itt előfordulhat ugyan szemcsék közti összetapadás, de ez gyakran csak átmeneti, főleg nedves állapotban. Az ilyen talajokat gyakran törési szerkezet jellemzi: nem szépen elkülönülő aggregátumokra „esnek szét”, hanem inkább repedések mentén törnek.

A valódi szerkezeti elemeket, vagyis aggregátumokat tartalmazó talajoknál aggregát szerkezetéről beszélünk, és ezeket gyakran a szerkezeti elemek alakja alapján különítjük el. Vannak olyan formák, amelyek a tér három irányában nagyjából egyformán fejlettek: ide tartoznak a lekerekített szerkezeti elemek, például a kisebb morzsák és a nagyobb rögök, illetve a síklapokkal határolt, szögletes formák, mint a finomabb szemcsés elemek vagy a nagyobb poliédres, diós szerkezeti elemek. Más esetekben a szerkezeti elemek inkább egy irányban megnyújtottak: ezek a hasábos formák (szögletes, „prizmaszerű” elemek), illetve az oszlopos szerkezet, amely lényegében hasábos, csak a teteje jellegzetesen legömbölyített. Előfordul az is, hogy a szerkezeti elemek egy irányban inkább lapítottak, lemezekhez hasonlítanak; ilyenkor lemezes szerkezetéről beszélünk, ahol a talaj vékony, egymásra rendeződő „lapokba” tagolódik.

A szerkezeti elemek morfológiája (alakja és fejlettsége, 3.5.1. ábra) fontos határozóbélyeg a talajosztályozásban is. Például a csernozjom talajokat gyakran jellegzetes morzsás szerkezet jellemzi, míg több réti talaj és számos erdőtalaj esetében a szemcsés, poliédres vagy diós szerkezet a tipikus. A nagyobb agyagtartalmú réti vagy erdőtalajok felhalmozódási szintjeiben gyakran megjelenik a hasábos szerkezet, míg az oszlopos szerkezeti elemek szinte „névjegykártyái” a réti szolonyec talajok B-szintjének. A lemezes szerkezet többnyire intő jel: gyakran leromlott, kedvezőtlen szerkezetállapotot jelez, és sokszor együtt jár gyengébb víz- és levegőgazdálkodással.

A szerkezeti elemek stabilitása

A szerkezeti elemek stabilitása alatt azt értjük, hogy az aggregátumok mennyire tudnak egyben maradni mechanikai hatások (ütés, nyírás, taposás) és a víz szétiszapoló hatása mellett. A stabilitás nagyrészt attól



3.5.1. ábra. A talaj szerkezeti elemeinek morfológiája (Kovács G. (2016) *Termőhelyismerettan*, Herman Ottó Intézet, Budapest)



Talajnedvesség és -hőmérséklet érzékelő szondák telepítése az ERTI monitoring területén (fotó: Bolla, B.)

függ, mennyi és milyen „ragasztóanyag” tartja össze a szemcséket: ide tartoznak a szerves kolloidok (elsősorban a humuszanyagok), valamint a szervesetlen kolloidok és „hidak” (például a kolloidális mészes, illetve a vas- és alumínium-oxi-hidroxidok). Ugyanilyen fontos, hogy a szemcsék felületén milyen kationok találhatók: nem mindegy, hogy a rendszer inkább flokkuláló, „összetartó” irányba tolódik, vagy épp szétesésre hajlamos (diszpergálódik).

Általános tapasztalat, hogy az aggregátumstabilitás nő, ha több a humusz, valamint sokszor az agyagtartalom, a kolloidális mészes, valamint a vas- és alumínium-oxi-hidroxidok mennyisége is növeli a szerkezet tartósságát. Ezzel szemben a kicserélhető nátrium (Na^+) arányának növekedése tipikusan rontja a stabilitást: a nátrium diszpergáló hatása, kedvez a szemcsék szétesésének, és ezzel együtt eltömítheti a pórusokat, rontva a vízvezetést és a beszívargást is.

Természetes körülmények között a talajszerkezet „próbája” gyakran egy heves zápor. Az esőcseppek becsapódása mechanikailag roncsolhatja az aggregátumok felszínét, de legalább ilyen fontos a gyors benedvesedés hatása is: a száraz morzsák pórusaiban rekedt levegő hirtelen kiszorul, és ez a „minirobbanás” szétfeszítheti az aggregátumot. Tartós vízborítás, elöntés vagy belvízserű állapot szintén kedvezhet a szétiszapolódásnak, különösen akkor, ha a szerkezet amúgy is gyenge.

Az emberi hatások sokszor még gyorsabban és látványosabban módosítják a szerkezeti állapotot. A gépi terhelés, a túl nedves talajon végzett munka és az állatok taposása tömörödéshöz vezethet. A talajművelés kettős természetű: egyrészt „szétdarabolja” a talajt a kívánt méretű rögök és morzsák irányába, másrészt a frissen bolygatott felszínt védtelenné teszi az esőcseppek romboló hatásával szemben, és a nyíróhatás, valamint a rendszeres terhelés művelőtalpszerű tömör rétegeket is

kialakíthat. Ráadásul a gyakori művelés gyorsíthatja a szerves anyagok ásványosodását, így hosszabb távon csökkenhet a humusztartalom, ami önmagában is az aggregátumstabilitás romlásához vezet.

Szerencsénkre a szerkezet nemcsak romolhat, hanem javítható is – csak idő és következetesség kell hozzá. A művelési mód váltásával (például szántó gyepesítése, tartós takarónövény-használat, vagy erdőtelepítés) a finom gyökérszövet, a talajélet és a szervesanyag-utánpótlás hatására a talajszerkezet akár évtizedes skálán érezhetően stabilabbá válhat. A mulcsozás több szempontból is kedvező: fizikailag védi a talajt az esőcseppek ütésétől, csökkenti a párolgást, és úgy lassítja a benedvesedést, hogy közben „időt ad” az aggregátumoknak a kíméletes átmedvesedésre. A komposzt, istállótrágya vagy zöldtrágya ugyancsak a szervesanyag-készletet építi, ezen keresztül stabilizálja a szerkezetet. Az öntözésnél pedig nemcsak az a kérdés, mennyit adunk, hanem az is, hogy hogyan: a túl nagy adagok növelhetik a szétiszapolódás veszélyét, míg a jól megválasztott intenzitás kíméletesebb a talajszerkezethez.

Bizonyos talajhibák esetén kémiai beavatkozások is segíthetnek. Szódás szikes talajokon a gipszezés csökkentheti a nátrium kedvezőtlen hatását, savanyú talajokon pedig a meszezés javíthatja a szerkezeti állapotot. Léteznek talajkondicionáló anyagok is, például szintetikus szerves polimerek, amelyek a természetes poliszacharidokhoz hasonlóan „hidakat” képezhetnek a részecskék között; ugyanakkor mezőgazdasági használatuk nálunk kevésbé elterjedt.

Végül soron a szerkezetstabilitás a talaj „működőképességének” egyik legjobb indikátora: ha a talajmorzsák egyben maradnak, a víz és a levegő mozgása optimális, és a talaj a gyökerek, mikroorganizmusok és a többi talajlakó számára is kedvezőbb életkörülményeket nyújt.

4. Erdeink jellemző talajtípusai

4.1. Váztalajok

A legtöbb váztalaj a talajfejlődés kezdeti stádiumában van, kialakulásukhoz nem szükséges erdő, azonban sokszor erdők állnak rajtuk. Mivel képződésük erdők nélkül is lehetséges, ezeket nem soroljuk az erdőtalajok csoportjába. A váztalajok közül a természetközeli erdők területén leggyakrabban a sziklás-köves, illetve a kavicsos váztalajokkal találkozhatunk. A kultúrerdők területén a legjellemzőbb váztalajtípus a humuszos homoktalaj. A területi korlátok és a humuszos homoktalajok jelentős területi kiterjedése miatt csak ez utóbbival foglalkozunk ebben a fejezetben.

Humuszos homoktalajok

A homokterületek nyugodt felszínén megtelepedő növényzet nyomán a szelvény felső, maximum 40 cm-ében egy 0,5–2% közötti humusztartalommal bíró A-szint jön létre, amely fokozatosan megy át a C-szintbe. Az alacsony agyag és szervesanyag-tartalom miatt a talajszemcsék aggregációja nem megy végbe, ezért szerkezetnélküliség, vagy gyenge szerkezetesség jellemzi őket. A karbonátmentes, savanyú homoktalajok valamivel jobb vízgazdálkodásúak, mint a karbonátos homoktalajok. A talajvíz elérhetősége kulcsfontosságú az erdőborítás fenntartása szempontjából ezeken a talajokon. Területi elhelyezkedésüket a 4.1.1. ábra mutatja.

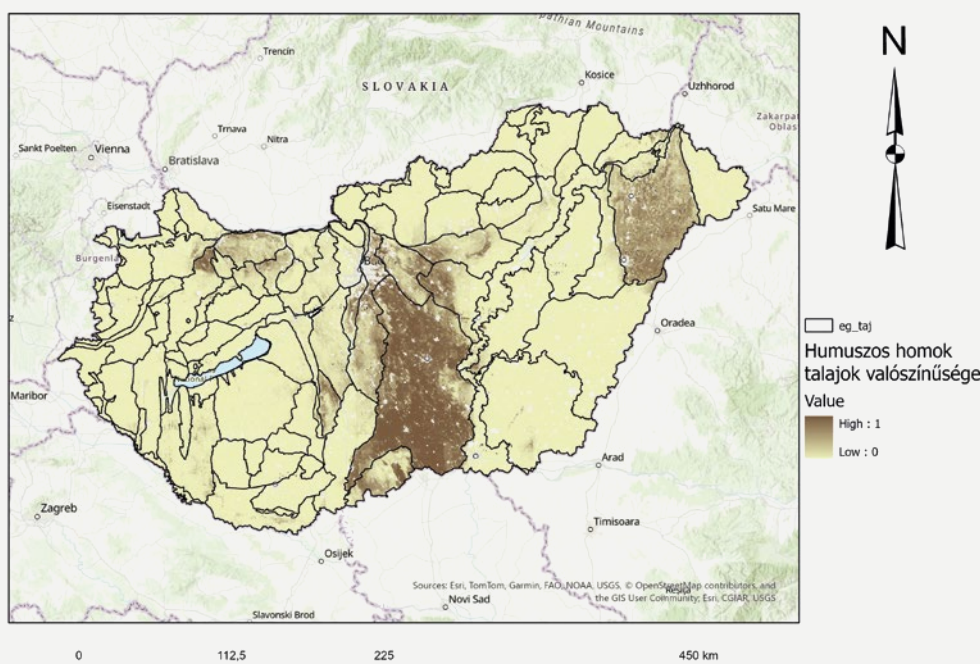
4.2. Közethatású talajok

A közethatású talajok – korábbi nevükön sötét színű erdőtalajok – elsősorban erdők alatt alakulnak ki. Ezen talajokra az erőteljes humuszképződés, valamint a talajképző kőzet tulajdonságaitól jelentős mértékben függő szerves-ásványi kolloidok kialakulása jellemző. Tipikusan

AC-szintes talajok. A kilúgzás általában kis mértékű. A humuszosodás és a kilúgzás mellett egyes típusaikra jellemző talajképző folyamat még a humuszkötés kalcium, illetve agyagásványok által. Vízgazdálkodásuk a sekély termőréteg miatt szélsőséges. A jó szerkezet és a sok szerves kolloid hatására víztároló és vízvezető képességük jó, a vékony termőréteg pedig kedvező tápanyagszolgáltató-képességet mutat. E jó tulajdonságok érvényesülését sokszor a nyári, hosszú, száraz időszakok, illetve a sekély termőréteg akadályozzák. Az egyes típusok tulajdonságait igen nagy mértékben a talajképző kőzet tulajdonságai szabják meg, ezért ennek megfelelően különítjük el őket.

Humuszkarbonát talajok

A humuszkarbonát talajok laza, szénsavas meszet tartalmazó üledéken (löss, márga, vagy egyéb laza meszes üledék) jönnek létre, ahol a humuszos A-szint vastagsága 10–50 cm és benne a szerves anyag mennyisége 2–5%. E talajtípusban a kilúgzási folyamatok csak gyengén érvényesülnek, legfeljebb a feltalaj szénsavas mésztartalmának a talajképző köze-téhez viszonyított kismértékű csökkenésében mutathatók ki. Az A-szint feketésbarna színű, humuszból gazdag, jól fejlett morzsás szerkezetű, gyökerekkel sűrűn behálózott, vályogos szövetű. A szelvény végig tartalmaz szénsavas meszet, ennek megfelelően a talaj kémhatása végig gyengén lúgos, lúgos. Az átmenet az alapkőzetbe határozott. A talajok vízgazdálkodása az A-szint vastagságának függvénye. Az A-szint víztartó képessége jó, tápanyag-ellátottságuk főként a nitrogén vonatkozásában kedvező. Leginkább a szárazabb térségeink lösszel fedett területein fordulnak elő, elsősorban a Dunántúlon. Mozaikos előfordulásban a földes váztalajokkal, csernozjomokkal, lejtőhordalék-talajokkal társulnak. Természetes erdők megtelepülésére alkalmasak, száraz termőhelyük miatt azonban főként virágos kőrises, mezei juharos, molyhos tölgyesek, illetve cseresek alkotnak állományokat.



4.1.1. ábra: A humuszos homoktalajok előfordulási valószínűsége (Térkép: Illés G., Fotó: EVH-397)

Rendzinatalajok

A kőzethasú talajok leggyakoribb képviselői, amelyek tömör, szénsavas meszet tartalmazó kőzeten (pl. mészkő, dolomit) alakulnak ki, ahol a kőzet málladéka viszonylag kevés szilikátos anyagot tartalmaz. Közös jellemzőjük az erőteljes humuszosodás és a gyenge kilúgzás. A legtöbb rendzina sekély termőrétegű és köves. A termőréteg- vastagság általában 10–60 cm közötti, a humusztartalom rendszerint 2% fölötti, de lehet akár 5–8% is. A vastag humuszos szint kialakulásának feltétele a kettős biológiai gátlás (a téli hideg és a nyári száraz időjárás), amely következtében a felhalmozódott szerves anyagnak csak egy része képes mineralizálódni, nagyobb része humifikálódik. Ez akadályozza a tápanyagok feltáródását is, habár a tápanyag-szolgáltató képességük jó. A rendzinterületek talajtakarója igen változatos. A sekély és mélyebb szelvények, valamint a köves-sziklás váztalajok, sziklakibúvások és a barna erdőtalajok felé alkotott átmenetek gyakran változtatják egymást (4.2.1. ábra). Altipusai:

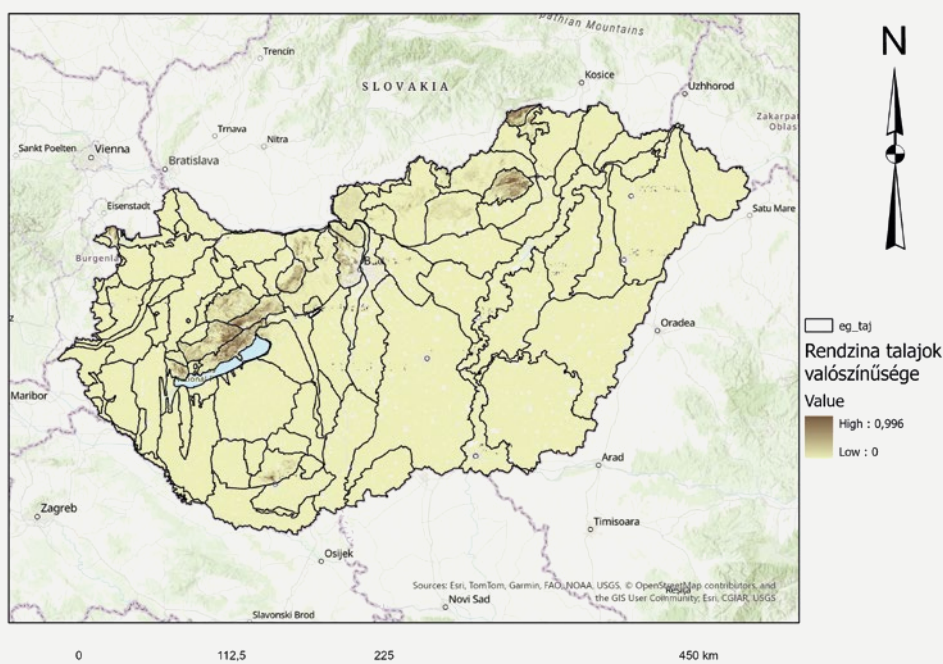
- A **fekete rendzina**, amely tömör, karbonátos alapközeten jön létre, kevés agyagos részt és kísérőanyagot tartalmaz. Málláskor az apró kőzettörmelék-darabok tapadnak össze a mész által kicsapott humuszanyagok hatására. Az A-szint víztartó képessége nagy, azonban a magas szervesanyag-tartalom miatt nagy a holtvíztartalma is. A fekete szín fokozza a talajfelszín felmelegedését, gyors a kiszáradás, különösen sekély termőréteg esetén. Tápanyag-ellátottsága jó, különös tekintettel a nitrogén- és káliumellátottságra. Természetes erdőtípusai a karszt-bokorerdők, molyhos- és cserestölgyesek.
- A **barna rendzinák** nagyobb mennyiségű agyagos málladékat képező karbonátos kőzeteken, vagy üledékből, ráhordásból megnövelt agyagtartalmú, meszes málladékon képződő rendzinatalajok. Sötétbarna színű, morzsás szerkezetű és vályogos szövetű talajok, általában semleges kémhatással. Vízgazdálkodásuk

a mélységüktől és a szöveti tulajdonságaiktól erősen függenek, de általában kedvezőbbek, mint a fekete rendzináké.

- A **vörösagyagos rendzinák** reliktum képződmények, melyek trópusi és szubtrópusi körülmények között képződtek és átöröklődtek. A mészkő málláskor visszamaradt agyagos, erősen mállott szilikátos anyagok felhalmozódása révén alakultak ki. Az A-szint a barna rendzinákhoz hasonló, az alatta található vörös vagy vörösesbarna, jól fejlett szerkezetű vörösagyag hordozza magán a már említett reliktum bélyegeket. Kémhatása gyengén savanyú vagy semleges. Vízgazdálkodása közepes. Víztartó képessége igen jó, azonban nagy a holtvíz tartalma is. Vízvezető képesség gyenge, e talajok nehezen nedvesednek át. A tápanyag-feltáródás a kis biológiai aktivitás miatt lassú, ennek megfelelően a tápanyag-ellátottság is közepes. Az alacsonyabb tengerszint feletti magasságokban molyhos- és cserestölgyesekkel találkozunk rajtuk, humidabb körülmények között gyertyános-tölgyesek, illetve bükkösök lehetnek. A faállományok növekedése leggyakrabban közepes.

Erubáz talajok

Az erubáz, vagy feketenyirok-talajok tömör, nem karbonátos, eruptív kőzetek málladékán (andeziten, bazalton, rioliton és ezek tufáin) képződnek. Jellemzőjük az erős humuszosodás, gyenge kilúgzás, a közel semleges kémhatás, a morzsás, illetve szemcsés talajszerkezet. A fekete nyirok elnevezés utal a talajok agyagtartalmára, az agyag minőségére és az erőteljes humuszosodásra. Az A-szint viszonylag vékony, fekete, feketésbarna színű, andeziten lilás árnyalatú, humuszban gazdag, gyökerekkel jól átszőtt, mészmentes, kevés kőzettörmelék-tartalmazó vályog vagy agyag. Az átmenet az alapközetbe határolt. A kőzettörmelék mennyisége a mélységgel lefelé haladva egyre több. Általában sekély termőrétegű. Ennek köszönhetően a talajok viszonylag gyorsan kiszáradnak, kicsi a hasznosítható víz mennyisége. A tápanyag-ellátottság jó, csak a tápanyagok felvehetősége ütközik



4.2.1. ábra: A rendzina talajok előfordulási valószínűsége (Térkép: Illés G., Fotó: EVH-508)

akadályba az erősen kiszáradt talaj következtében. Az erubázokon a szárazabb déli oldalakon, gerinceken elsősorban molyhos tölgyesek, cserések alkotnak ligetes társulásokat, északi oldalakon, szurdokokban pedig a bükk, gyertyán, kocsánytalan tölgy, nagylevelű hárs stb. alkot társulást.

Ranker talajok

Ranker talajok tömör, nem karbonátos, szilikátos kőzetek alakulnak ki. AC-szintes talajok, de kialakulhat egy kezdetleges B-szintjük, amely már átmenetet jelent a barna erdőtalajok felé. Az A-szint sötét feketésbarna, humuszban gazdag, morzsás szerkezetű, mészmentes, sok gyökeret tartalmazó vályog. A B-szint – ha van – barna színű, gyengén vöröses árnyalatú, gyengén humuszos, közepesen tömött vagy tömött, diós vagy poliéderez szerkezetű vályog, sok fagyökérrel. A mélységgel növekszik a kőzettörmelék mennyisége. Átlagos mélysége 40–60 cm-t, ezért lényegesen jobb víz- és tápanyag-ellátottsággal rendelkeznek, mint az erubáz talajok. Vízgazdálkodása elsősorban a termőréteg vastagságától függ, mivel a létrejött szintek kedvező szervesanyag-tartalma és szerkezete jó víztartó képességet jelent. A tápanyag-ellátottság jó, a tápanyag-feltáródás humidabb körülmények között ugyancsak jó (4.2.2. ábra). A rankereken a sekélyebb, melegebb, déli oldalakon cserések az uralkodók, mélyebb termőréteg mellett pedig egyszintes kocsánytalan tölgyeseket találunk. Kedvező adottságok mellett a bükk is jól növekszik. Az állományok növekedése jó–közepes.

Cseri talajok

A cseri talajokat hazánkban csak az erdészeti termőhely-osztályozás különíti el önálló típusként. Agyagos, kavicsos folyóhordalékon alakulnak ki. Az A-szint sekély, igen sekély, savanyú, erősen savanyú kémhatású kisebb váztartalmú szint. Alatta vas-hidroxidok által cementált kavicsréteg húzódik, amely megakadályozza, hogy a termőréteg

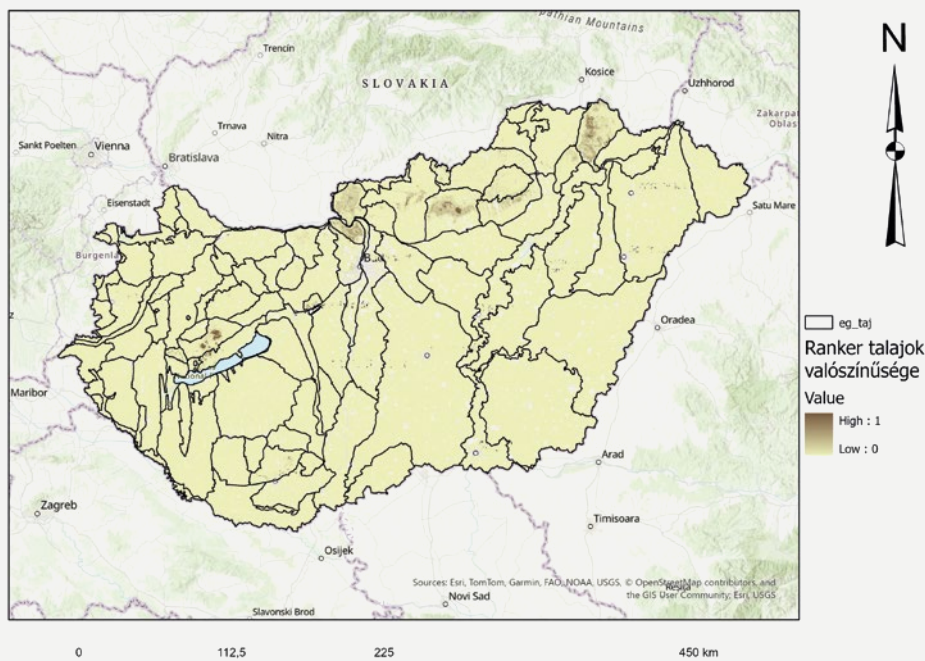
mélyebb lehessen, valamint a talaj víz- és levegőgazdálkodását is hátrányosan befolyásolja. Ez a cementálódott réteg egyben gyökérszűrő réteggént is hat, mivel a gyökerek nem képesek áttörni rajta. A talaj savanyúsága megnehezíti a tápanyag-feltáródást, valamint jelentős szerepet játszik a kavicsréteg cementálódását okozó vas- és alumínium-hidroxidok szabadba válásában. A sekély termőréteg azzal is jár, hogy a talaj nem képes a növények megfelelő vízellátását biztosítani a nyári időszakban, illetve az aszályos években. A talaj szélsőséges víz-háztartású, így kora tavasszal gyakran áll rajta a víz, majd nyár közepére teljesen kiszárad. E talajtípus előfordulása elsősorban a nyugat-magyarországi folyók hordalékához kötődik. A rossz termőképességű talajon elsősorban cserésekkel, esetleg telepített erdeifenyvesekkel találkozhatunk.

4.3. Közép-európai barna erdőtalajok

Barna erdőtalajok létrejötte erdők, illetve fás növények nélkül elképzelhetetlen. Képződésükben az erdei ökoszisztéma által teremtett mikroklíma és talajklíma, az évenként talajra jutó szerves anyag, valamint az azt elbontó, főként gombás mikroflóra játszik kiemelt szerepet. Az edafon által megindított biológiai, kémiai és fizikai folyamatok a talajok kilúgzását, elsavanyodását és szintekre tagozódását váltják ki. Típusaikat ezen folyamatok erőssége alapján tudjuk elkülöníteni. Az alábbiakban az erdészeti talajosztályozás sorrendjében mutatjuk be az egyes típusokat, megjegyezve, hogy az osztályozás nem követi a talajképződés evolúciós stádiumait.

Savanyú, nem podzolos barna erdőtalaj

Ebben a típusban található hazánk legsavanyúbb taljai. Kialakulásukat az intenzív savanyodás határozza meg, amely a mull jellegű humuszosodással, a kilúgzással és az agyagosodás folyamataival együtt zajlik. Leggyakrabban agyagpalán, filliten, porfiriten,

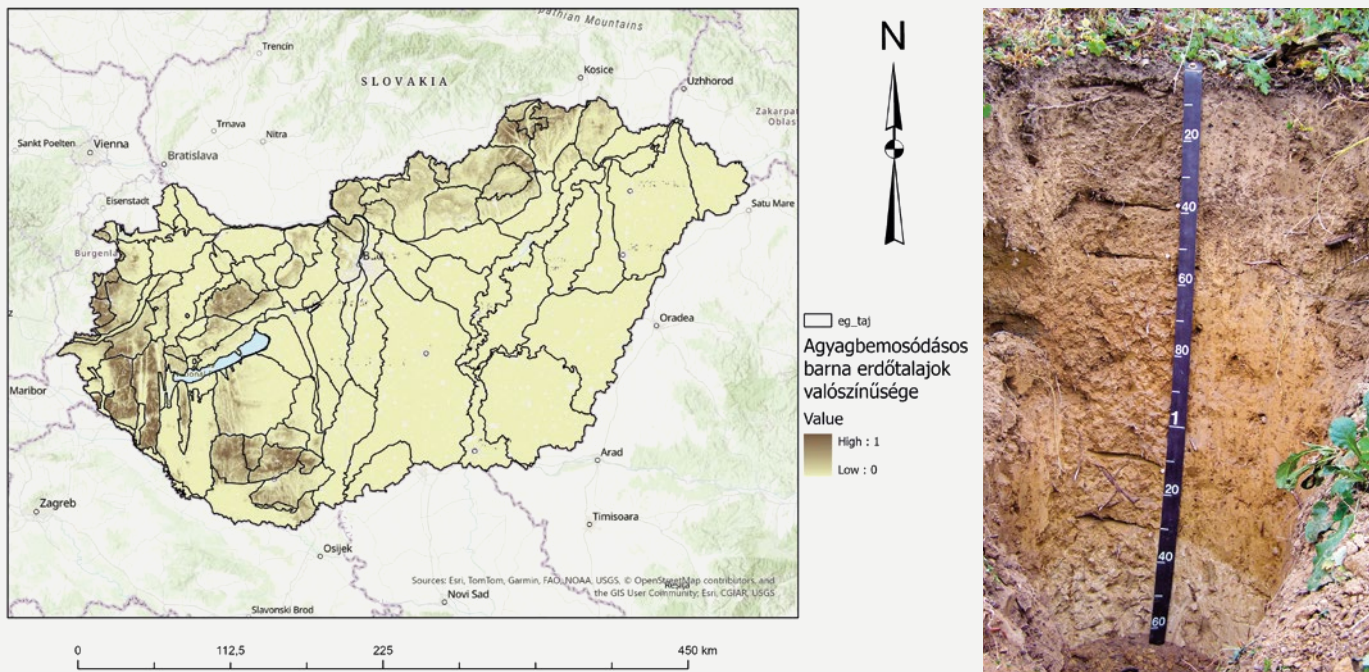


4.2.2. ábra: A rankertalajok előfordulási valószínűsége (Térkép: Illés G., Fotó: EVH-332)

homokkövön, gneiszen, kvarcos konglomeráton, valamint tömör andeziten és rioliton alakulnak ki. Ezek a talajok többnyire öröklött, illetve újraképződés megindulása előtt keletkezett agyagásványokat tartalmaznak. Az ásványok kolloid tulajdonságai jelentős részét elveszítették, és a jelenlegi talajképző folyamatok csak részben képesek azokat újraaktiválni. Az A-szint általában vékony, körülbelül 10 cm vastag, sötét feketésbarna színű, erősen savanyú, humuszos, poros szerkezetű, mészmentes, közettörmelékkel kevert, gyökerekkel sűrűn átszőtt vályog. Az alatta fekvő szinttől határozottan elkülönül. Kémhatása erősen savanyú, a pH-értéke 3,5–4,5 közötti, a savanyúság mértéke igen nagy, megközelítőleg 100. A bázisellátottság mintegy 20%, és minden esetben 40% alatt marad. Az adszorpciós komplexekben nagy mennyiségben található alumínium, vas és hidrogén. Az A-szint alatt elhelyezkedő A₃ kilúgzási szint világos szürkésbarna színű, gyengén humuszos, szerkezet nélküli, mészmentes, sok közettörmelékkel tartalmazó homokos vályog. Az átmeneti zónában gyakran figyelhetők meg rozsdás foltok. Ennek a szintnek a kémhatása néhány tizeddel magasabb, mint a felső A-szinté. A szelvényen belül nem jellemző sem a jelentős textúradifferenciálódás, sem az éles pH-változás; a talaj végig egységesen erősen savanyú. A felszíni növényzet is jól jelzi ezeket a körülményeket: gyakoriak a savanyú talajokat kedvelő fajok, mint a csarab, az áfonya vagy a fehér perjeszittyó. Az erőteljes savanyódással együtt járó kilúgzás, a kedvezőtlen talajszerkezet és a hátrányos humuszforma miatt a vízgazdálkodás rossz. A talaj hajlamos a pepitációra, gyakran levegőtlen, ami tovább rontja a termékenységet. A tápanyag-ellátottság is gyenge, különösen a foszfor utánpótlása elégtelen. Ezeken a savanyú talajokon elsősorban acidofil tölgyesek fordulnak elő, gyakran elegyetlen kocsánytalan tölgy állományokkal. Humid területeken a bükk is képes megtelepedni. Emellett az erdeifenyő, a lucfenyő, valamint pionír fajok – például a nyír – is jól alkalmazkodnak ezekhez a termőhelyi viszonyokhoz.

Podzolos barna erdőtalaj

A podzolos barna erdőtalajoknál a humuszosodás, a kilúgzás, az agyagosodás, valamint az agyagvándorlás alapvető folyamatai mellett a podzolosodás, azaz az agyagos rész szétesése társul. A podzolosodás egyik előfeltétele a jelentős kilúgzás. Alapkőzetük hazánkban savanyú homokkő, gneisz, fillit, agyagpala, andezittufa és kvarcos homok. Ezen talajok esetén a kilúgzási és a felhalmozódási szint agyagtartalma közötti különbség meghaladja a 1,5-öt, azonban nem csak az agyagmennyiségben, hanem a két szint ásványos összetételében is jelentős különbség van, mivel a kilúgzási szintben megindul az agyagásványok szétesése. Ez a folyamat a kilúgzási szint kifehéredése, gyakran gyengén ibolyás árnyalattal történő kifakulásában (podzolosodásában), valamint a felhalmozódási szintben fellépő rozsdaszínű szabad vas-oxid-hidrátok megjelenésében jelentkezik. Az A₁-szint sötét szürkésbarna színű, moder humuszos, laza, porosan morzsás, gyökerekkel jól átszőtt vályog, homokos vályog. Az alatta levő A₂-szint szárazon egészen világos, fakó, szürke színű, poros, leveles szerkezetű, erősen savanyú. A vizes kémhatása 5,5–6,2 körüli, a savanyúsági értékek 10–15 körüliek. A telítettség 40–60%, de lehet alacsonyabb is. A B-szint vörösesbarna színű, az előzőekhez képest jóval tömöttebb, diós, hasábos szerkezetű. A szerkezeti elemek felülete lehet vöröses rozsdabarna, feketés erekkel tarkított, vasas hártákkal bevont. Az átmenet lehet zegzugos lefutású. A talajok vízgazdálkodása az A- és B-szintek közötti különbséggel jellemezhető. Az A-szint tavaszi nedves állapota és nyári nedvességtartalma között nagy a különbség, a B-szintben pedig nem. A vízfelvételt tekintve a növények elsősorban a B-szint víztartalékaira vannak utalva, mivel az A-szintben a kolloidok egy része szétesik, elveszti adszorpciós képességét. A tápanyagok kilúgzódnak vagy megkötődnek, ezért tápanyagban szegény a talaj. Szárazabb területeken savanyú kocsánytalan tölgyesek, humidabb körülmények között bükkösök élnek rajtuk, ugyanakkor sok savanyúságot jelző növény (pl. fekete áfonya, csarab, fehér perjeszittyó) is megjelenik rajtuk. Gyakran találkozhatunk ezen talajokon fenyvesekkel is.



4.3.1. ábra: Az agyagbemosódásos barna erdőtalajok előfordulási valószínűsége (Térkép: Illés G., Fotó: EVH-189)

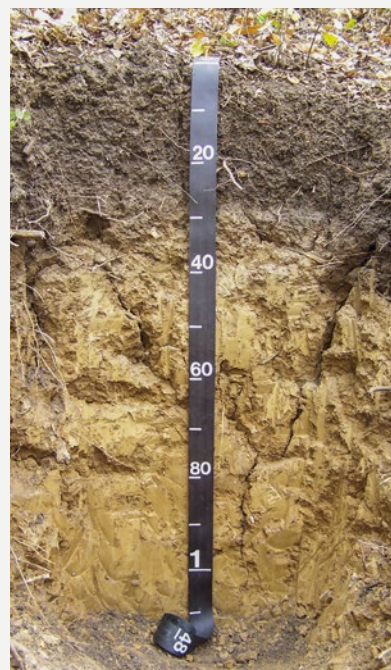
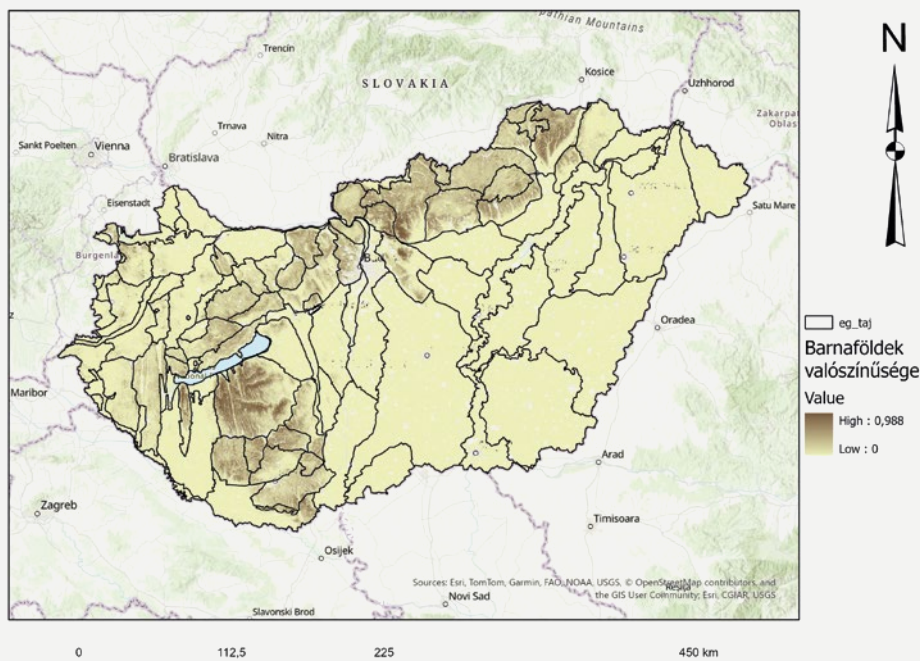
Agyagbemosódásos barna erdőtalajok

Ezen talajoknál a humuszosodás, a kilúgzás, az agyagosodás folyamatait az agyagos rész vándorlása és a közepes mértékű savanyodás kíséri. Jól felismerhető a szintekre tagozódás, a kilúgzási szint fakó színe és a vörösebb, agyaghártyás felhalmozódási szint között. Általában bázisokban gazdag üledéken, löszön, márgán, löszszerű vályogon alakulnak ki. A kilúgzási és a felhalmozódási szint agyagtartalma között, a textúrdifferenciáltság az 1,2 értéket mindenkor meghaladja, de legtöbb esetben 1,5-nél nagyobb. Ugyanakkor két szint agyagásvány összetétele között nincs lényeges különbség. Tipikus háromszintes talajok. Az A-szint vastagsága általában 10–20 cm, sötétbarna színű, erősen humuszos, laza, morzsás szerkezetű, mészmentes vályog. A humuszforma mull. A kilúgzási szint ásványi része fakó, sárgásszürke színű, rendszerint kevés humuszt tartalmazó, erősen poros vagy leveles szerkezetű vályog. Igen nagy a különbség a talajok nedves és száraz színe között. A kémhatása gyengén savanyú, a savanyúsági értékek jelentősek, bázisítelítettség 40–60% között van. Az átmenet a – többnyire vörösbarna színű, közepesen tömött, jól fejlett diós vagy hasábos szerkezetű vályog, agyagos vályog szövetű – B-szintbe fokozatos. A szerkezeti elemek felületén, a gyökérjáratokban és a törési felületeken jól látható, a szerkezeti elemek színétől sötétebb vörösesbarna agyaghártya. A B-szint gyakran vastagabb, mint 50 cm, ilyenkor a B-szint differenciálódik egy jól fejlett felső B₁-re és egy kevésbé kialakult, világosabb színű B₂-re. A kémhatás gyengén savanyú, a pH-értékek magasabbak, mint az A-szintben (6,2–6,5 pH). Vízgazdálkodásuk kitűnő. A talajok vízáteresztő képessége közepes, víztartó képessége jó. A B-szint gyenge víz visszatartó hatása, ami tovább növeli a tárolható víz mennyiségét. A termőrétegre számítható hasznosítható víz mennyisége elérheti a 250 mm-t. Tápanyag-ellátottságuk a magas szervesanyag-produkció következtében kiváló. A tápanyagok mineralizációja gyors, sok a rendelkezésre álló, felvehető tápelem. A kémhatás gyakorlatilag valamennyi tápelem felvehetőségét tekintve kiváló. Az erdők számára az ökológiai

optimumot képviseli, a legtermékenyebb talajtípus (4.3.1. ábra). A klímadottságoktól függően a fajajösszetétel változó, de a növekedésük minden esetben jó. A melegebb déli oldalakon cseres kocsánytalan tölgyesek, humidabb klímában pedig a gyertyános tölgyesek és a bükkösök állnak ezeken a talajokon.

Pszudoglejes barna erdőtalaj (pangó vizes barna erdőtalaj)

E talajtípusok kialakulására a humuszosodás, kilúgzás, agyagosodás, agyagvándorlás és agyagszétesés folyamatai mellett a redukció jelensége is jellemző, amely erőteljes savanyodással párosul. A redukció a talaj egyes rétegeinek tartós vagy időszakos vízzel telítődése miatt alakul ki, amikor az oxigénhiányos körülmények következtében kémiai átalakulások mennek végbe. Ez leggyakrabban a felhalmozódási szint szürke, márványozott megjelenésében figyelhető meg. A talajszelvényben rendszerint eredetileg jelen lévő vagy a talajfejlődés során kialakuló, vízáteresztést gátló agyagos réteg található, amely időszakos reduktív viszonyokat idéz elő. Az alapkőzet változatos lehet, de gyakran nagy agyagtartalmú üledék. A talaj kialakulásának alapfeltétele a humid éghajlat, valamint egy vízduzzasztó réteg megléte. Az A-szint barna színű, humuszból gazdag, morzsás szerkezetű, mészmentes, gyökerekkel sűrűn átszőtt vályog. Bizonyos esetekben már ebben a szintben is megjelennek a víz hatásának nyomai, például vasszeplők formájában. A kilúgzási szint erősen kifakult, általában 30–40 cm vastag, poros szerkezetű, gyengén humuszos, rozsdafoltos, vasszeplőkkel tarkított vályog vagy agyagos vályog. A felhalmozódási B-szint sárgásbarna alapszínét fakószürke márványozottság, rozsdás foltok és vasszeplők kísérik, valamint itt jelennek meg a vasborsók is. A felhalmozódási szint és az alapkőzet közötti átmenet gyakran nehezen különíthető el. Az egész talajszelvényre jelentős savanyúság jellemző: a pH-értékek többnyire 6 alattiak, a hidrolitos és a kicserélődési aciditás egyaránt számottevő. A bázisítelítettség általában 20–40% közötti. A magas



4.3.2. ábra: A barnaföldek előfordulási valószínűsége (Térkép: Illés G., Fotó: EVH-1111)

savanyúságot intenzív agyagvándorlás és agyagásvány-szétesés kíséri. Jellemző a váltakozó kiszáradás és túlnedvesedés. Szárazabb éghajlaton a pszeudoglejes jelleg kedvező víztöbbletet biztosít, míg humidabb környezetben a tartós levegőtlenység kedvezőtlen hatású. Ezek a talajok nagy mennyiségű vizet képesek visszatartani, ugyanakkor holtvíztartalmuk is jelentős. A tápanyag-feltáródás elsősorban a jól levegőzött A-szintben számottevő. A nitrogén-felhalmozódás csekély, a foszfortartalom alacsony, és jelentős foszformegkötéssel kell számolni. A káliumtartalom sem mindig kielégítő, mivel könnyen kimosódhat. Magyarországon főként a nyugati, csapadékosabb területeken – elsősorban az Őrségben, Göcsejben, a Vasi-hegyháton és a Kerka-vidéken – fordulnak elő nagyobb kiterjedésben, de minden domb- és hegyvidéki területen kialakulhatnak, ahol felszíni vagy szivárgó víz hatására a vízzáró réteg miatt változó vízgazdálkodás alakul ki. Termőképességüket elsősorban a levegős talajréteg vastagsága határozza meg. Természetes növénytakarásaik közé kocsányos és kocsánytalan tölgyesek, cseresek, részben bükkösök, valamint erdeifenyvesek tartoznak.

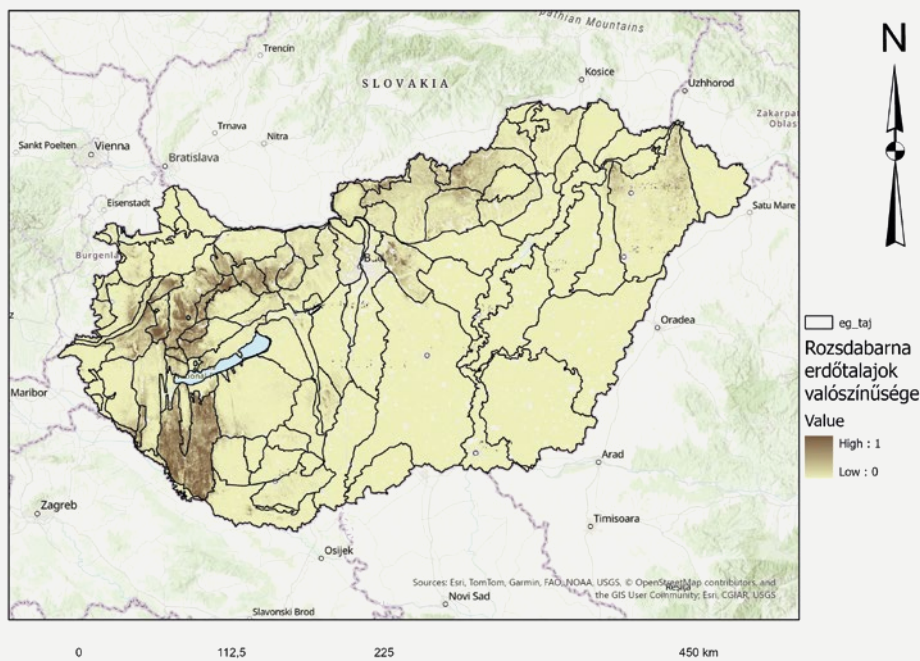
Barnaföld (Ramann-féle barna erdőtalaj)

Barnaföldeknél a humuszosodás és a kilúgzás folyamatához csak az erőteljes agyagosodás és a gyenge savanyodás járul. A kilúgzási és a felhalmozódási szint agyagtartalmának hányadosa nem haladja meg az 1,2-t. Általában löszön, márgán vagy pannon üledéken alakulnak ki. Az A-szintjük általában 20–30 cm vastag, barnás színű, morzsás vagy szemcsés szerkezetű, erősen humuszos, gyengén savanyú kémhatású vályog. Az átmenet határozott a felhalmozódási szintbe. A B-szint barnászöröses színű, közepesen tömött, jól fejlett szemcsés vagy diós szerkezetű vályog. A kémhatása gyengén savanyú vagy semleges, bázistelítettsége 60%-nál nagyobb. A mészmentes B-szint éles határral válik el a szénsavas meszet tartalmazó alapkőzettől. A barnaföldek vízgazdálkodása kedvező. Vízáteresztő képességük közepes,

víztartó képességük jó. Ugyancsak kedvező a tápanyag-ellátottsága is, nem erodált szelvényekben mind a nitrogén-, mind pedig a foszfor- és káliumellátottság jó. Termőrétegük 60–80 cm-nél nem nagyobb. Elsősorban dombvidékeink közepes humiditású területein fordulnak elő. Leggyakrabban az agyagbemosódásos barna erdőtalajokkal, a csernozjom barna erdőtalajokkal, valamint a karbonátmaradványos barna erdőtalajokkal mozaikosan találhatjuk meg őket (4.3.2. ábra). A szárazabb klímájú tájakon elsősorban cseresek, kedvezőbb kitettségben gyertyános tölgyesek, sőt bükkösök is tenyészhetnek rajtuk.

Típusos rozsdabarna erdőtalaj

Ezen talajtípus a hazai erdészeti talajosztályozásban jelenik meg önálló típusként. A mezőgazdasági osztályozásban a barnaföldek változataként kezelik. Jellemzőjük – a barnaföldekhez hasonlóan – a humuszosodás, a kilúgzás, az agyagosodás és a gyenge savanyodás. Ugyanakkor közös tulajdonságuk, hogy homokon alakulnak ki, amely vagy már eredetileg mészmentes, vagy a talajképződés során kilúgozódott. Homokon a talajfejlődés viszonylag gyors, így humid klímában, durva homok fizikai féleség esetén már a podzosodás is megjelenhet e talajoknál. Az A-szint 20–40 cm vastag, humuszos, gyengén morzsás lehet. A rozsdabarna színű, szerkezet nélküli B-szintbe az átmenet vastag. Amennyiben az alapkőzet karbonátos, akkor éles a C-szintbe az átmenet, különben nincs határozott átmenet. A rozsdabarna erdőtalajok gyenge víztartó képességűek, levegősek, a szervesanyag-lebomlás viszonylag gyors. Az agyagbemosódásos al típus esetén kedvezőbb a víz- és tápanyag-gazdálkodásuk (4.3.3. ábra). A rajtuk található erdőállomány összetétele elsősorban a klimatikus viszonyoktól, illetve a talajvíz elérhetőségétől függ. Legtöbb esetben (pl. Nyírség, Tengelici-homokvidék, Gödöllői-dombság) ma már akácok találhatók rajtuk, de előfordulnak cseresek és kocsánytalan tölgyesek is. Fenyőfőn – részben rozsdabarna erdőtalajon – található a túlnyomórészt erdeifenyőből álló „ősfenyves”.



4.3.3. ábra: A rozsdabarna erdőtalajok előfordulási valószínűsége (Térkép: Illés G., fotó: EVH-446.)

Kovárványos barna erdőtalajok

Savanyú homoktalajokon, a barna erdőtalajok képződésének feltételei között figyelhető meg a kovárványképződés. Ez együtt járhat a humuszosodás, a kilúgzás, az agyagosodás, az agyagvándorlás, a savanyodás, esetleg a podzolosodás folyamataival. Az 5% alatti agyagtartalom vagy a 10% alatti leiszapolható rész mennyisége és a gyenge kilúgzás hatására a kolloidok a mélyebb rétegekben vándorolhatnak, és a szelvényben a vas ritmikus kicsapódásának az eredményeként agyagban „gazdagabb” (ez a gyakorlatban néhány százalékos agyagtartalom-növekedést jelent) csíkok jelennek meg. Az, hogy milyen vastagok a kovárványcsíkok és milyen messze helyezkednek el egymástól, a diffúzió sebessége, valamint a szivárgó oldatok töménysége szabja meg. Minél gyorsabb a diffúzió és minél hígabb a talajoldat, annál messzebb képződnek egymástól a kovárványcsíkok és annál vékonyabbak. A kovárvány lehet típusos, előrerajzolt, másodlagos és mélyben kovárványos. Ezen talajok kilúgzási szintje igen változatos vastagságú, elérheti a 80 cm-t is. Az A-szint általában 30–50 cm vastag, amelynek a felső 10–20 cm-e világosbarna, gyengén humuszos, laza, mészsímentes homok, sok gyökérrel. Humusztartalma csupán 1–2%. A B-szint a kovárványcsíkok alakjában jelentkezik, színük barnászöröses leggyakrabban. Az egyes csíkok vastagsága a néhány millimétertől több centiméterig terjedhet. A köztük levő távolság 5–20 cm között változik. A kovárványcsíkokban az agyagtartalom mintegy kétszerese a homokénak: 10–15% körüli, ezért azok jelentős mértékben képesek a vizet és tápanyagot megkötni. A gyökérfeltárások egyértelműen igazolják, hogy a homokos részeket a gyökerek gyorsan, oldalelágazás nélkül átnövik, majd a kovárványos rétegben terülnek ismét szét, ahol jelentős mennyiségű víz és tápanyag felvehető a növények számára. Általában a savanyú homokvidékeinken, így a Nyírségben és Somogyban fordulnak elő. A kis humusztartalom és homokos fizikai féleség ellenére jó a talajok vízgazdálkodása, mivel a kovárványos B-szint vízvisszatartó képessége jó és kondenzáló hatásukra a közbezárt homok víztartó képessége is kedvező. Tápanyag-ellátottságuk gyenge, mivel kevés a keletkezett szerves anyag mennyisége. A klímától függően száraz cseres-tölgyesek vagy gyertyános tölgyesek állnak rajtuk, de fő fafajuk a kocsányos tölgy.

Csernozjom barna erdőtalaj

A csernozjom barna erdőtalajok átmenetet képeznek a barna erdőtalajok és a csernozjom talajok között, így két talajképző folyamat nyomai fedezhetők fel, nevezetesen a kilúgzás, ami a talajt a barna erdőtalajokhoz kapcsolja, aminek következménye a vasas agyagosodás, a másik pedig az erőteljes humuszosodás, ami már a csernozjomokra jellemző. Képződésük során általában a barna erdőtalajok valamely típusa kerül az erőteljes humuszképződés alá. Ennek oka a megváltozott makro-, illetve mezoklíma, ami együtt jár a vegetáció megváltozásával is (erdő → mező). A szelvény felépítésére jellemző az erőteljes humuszos szint, amely gyakran a barna erdőtalaj felhalmozódási szintjébe is belenyúlik, elfedve annak színét és eredeti tulajdonságait. A-szintjük 40 cm-nél vastagabb, erősen humuszos, barnásfekete színű, morzsás vagy morzsásan szemcsés szerkezetű, gyökerekkel jól átszőtt, leginkább gyengén

savanyú kémhatású vályog. Az agyagtartalomban nincs különbség a kilúgzási és felhalmozódási szint között. A humusz eloszlása a szelvényen belül megfelel a csernozjom talajok humuszgörbéjének, melyekben a felső szintek egyenletes humusztartalma a talajképző közet irányában fokozatosan csökken. A B-szint az erdőtalajokra jellemzően barna színű, kevés humuszt tartalmazó, főként diós szerkezetű vályog. A szárazabb klímadottságok miatt kevés a talajokban tárolható víz mennyisége annak ellenére, hogy a talajok jó víztartó képességgel rendelkeznek. Végig humuszos, vályogos, jó szerkezetű talajok, mégsem tudnak elegendő nedvességet tárolni. A tápanyag-ellátottság megfelelő, elsősorban a nitrogén- és a foszfor-ellátottság jó. Leggyakrabban az alföldekkel határos löszdombvidékeken alakulnak ki, átmenetet képezve zonálisan a síkvidéki csernozjomok és a domb-hegyvidéki barna erdőtalajok között. Ezek legnagyobb részét ma már mezőgazdasági művelésbe vonták, a lösztölgyesek maradványait találhatjuk rajtuk. Molyhos tölgyesek, cseresek sok virágos kőrissel, cserjékkel az eredeti erdőtípusai.

Karbonátmaradványos barna erdőtalaj

Ezen talajok esetén a kilúgzási folyamatok gyengék, így a sok karbonátot tartalmazó talajképző közet szénsavas mésztartalmát nem képesek teljességgel kioldani. A talajok savanyodása csak kismértékű, ugyanakkor a humuszosodás erőteljesebb, mint a barna erdőtalajoknál általában. Gyenge a szintekre tagozódás is, így a kilúgzási és felhalmozódási szint között nincs jelentős agyagtartalom-különbség. A kilúgzás azonban elegendő ahhoz, hogy mind az A-, mind a B-szintben egyenletes agyagosodás legyen. A szelvény felső szintje semleges, esetleg gyengén savanyú, 20–30 cm vastag, barna színű, humuszos, morzsás szerkezetű, gyökerekkel jól átszőtt vályog. A B-szint szintén gyengén fejlett, helyenként szénsavas meszet tartalmazó, barna színű, szemcsés szerkezetű vályog. Az alapkőzetbe való átmenet fokozatos. Képződésük a szárazabb klimatikus körülményekhez kötődik, ahol a kilúgzás nem erőteljes, így elsősorban az alföldeken, illetve ezek peremvidékén fordulnak elő. A viszonylag sekély termőréteg és a kevés csapadék az oka, hogy a hasznosítható víz mennyisége kevés. A tápanyag-ellátottság tavasszal és ősszel jó, nyáron azonban a nagy szárazság miatt elégtelen, így a vegetációs időszak egy részében tápanyaghiány léphet föl. Általában a barna-földek vagy a csernozjom barna erdőtalajok elterjedési területén belül találhatók, többé-kevésbé lejtős, erodált vagy erősen tagolt térszinteken. Rendszerint fokozatos az átmenetük a környezetükben előforduló, nagyobb területre jellemző talajtípusba. A klíma és a meszes talaj nem kedvez a fás vegetációnak, így kiritkult, ligetes molyhos tölgyesek, illetve cseresek alakulnak ki rajtuk.

4.4. Mocsári és ártéri erdőtalajok

A mocsári erdőtalajok kialakulásában az állandó vízbőség, továbbá az erdők talajalakító hatásáé a fő szerep. A nedvességbőség azonban az eredeti növénytakaró alatt nem vezet a szerves anyag felhalmozódásához, tehát a talajfejlődés iránya alapvetően eltér mind a réti, mind a lápos folyamatokétól. A legfontosabb talajképződési folyamataik a



Nyáras-borókás erdőfolt a Kiskunságban

humuszosodás, kilúgzás, redukció, savanyodás. A mocsári erdőtalajok esetén jelentősen eltér a hazai mezőgazdasági és erdészeti osztályozás. Míg a mezőgazdasági osztályozásban egy típus van, addig az erdészeti osztályozásban három típust különítünk el, ezeket külön-külön jellemezzük. Általános jellemzőjük, hogy átmeneti típusnak tekinthetjük őket, amelyek részben kialakulóban, részben átalakulóban vannak.

Réti erdőtalaj

Ha a rétek vízellátottsága csökken, a vegetáció is átalakul, megjelenik az erdő. Az erdők gyökérzetének hatására a talaj legfelső rétege fellazul, a réti humusz mullhumusszá alakul. A réti talajokra jellemző kötött, poliéderes morzsás szerkezeti elemek lekerekednek, sőt megkezdődik a B-szint kialakulása. A korábbi glejes állapotot rozsdafoltok mutatják, a talajvíz mélysége 1–3 m körül található. Kémhatásuk az alapkőzettől függ, víz- és tápanyag-ellátottságuk kedvező. Természetes vegetációjuk a tölgy-kőris-szil ligeterdő, vagy a gyertyános tölgyes.

Öntés erdőtalaj

Állandó erdőborítás esetén a humuszos öntés talajokból alakulnak ki, ahol már nincs újabb hordaléklerakódás, de a folyók vízjárásának kedvező hatása még tovább érvényesül. Az erdő hatására 40 cm-t meghaladó mullhumuszos szint alakul ki. Az öntésrétegek még jól elkülöníthetők, de a talaj tömődöttsége fellazult, és megindult a kilúgzás. Ennek mértéke és a talaj mésztartalma, illetve kémhatása az öntésanyag milyenségétől függ. A gyökerek főleg a humuszos réteget hálózák be.

Ezen talajok vízgazdálkodása jó, a magasabb fekvésből adódó szárazabb körülményeket a talaj magasabb humusztartalma ellensúlyozza. Nagyobb mésztartalom, illetve durva homok fizikai féleség esetén rosszabb a vízgazdálkodása. Tápanyag-ellátottságuk jó. Ezen talajok a folyók, patakok ártereinek magasabb fekvéseiben és ármentesített területeken fordulnak elő. Eredeti erdőállományuk tölgy-kőris-szil ligeterdő, esetleg gyöngyvirágos tölgyes.

Lejtőhordalék erdőtalaj

A lejtőhordalék talajoknál az egyes rétegeket nem köti össze genetikai kapcsolat, mert azok nem a helyi talajképződés eredményei, hanem a közeli magasabban fekvő területekről lehordott talaj- és kőzetrészek egymásra halmozása útján jönnek létre. Tulajdonságuk alapvetően a hordalék anyagától függ, azaz milyen talajtípus található a magasabban fekvő helyeken, ezek milyen mértékben erodáltak és a talajpusztulás a talajképző kőzetet eléri-e vagy sem. A víz által elszállított talaj a lejtők alsó felében, völgyekben rakódik le, és ott sok esetben több méter vastagságban is felhalmozódik. Lejtőhordalék erdőtalajok erdők alatt alakulnak ki, ahol az erdő hatására, helyben, 30–40 cm-nél vastagabb mullhumuszos szint alakul ki, így a rétegzettség is csak nehezen ismerhető fel. Kémhatásuk és mésztartalmuk alapvetően az alapkőzettől függ, és ez alapján különböztetjük meg az altípusokat is. Ezen talajok víz- és tápanyag-gazdálkodása kifogástalan, gyakran szivárgó vízü hidrológiájuk van. Általában jó növekedésű erdőket találunk rajtuk, de ezek a termőhelyek gyakran fagyzugosak.

5. Erdőtalajaink víz- és tápanyag-gazdálkodása

A talajok legfontosabb funkciói közé tartozik a víz tározása és a növények felé történő továbbadása (vízszolgáltatás), valamint a tápanyagok raktározása és feltárása. Röviden: az erdei ökoszisztéma működését és stabilitását nagyban az dönti el, hogy mennyire hatékonyan gazdálkodik a talaj a vízzel és a tápanyagokkal – és ez a szabály a legtöbb ökoszisztémára és biomra igaz. Az erdők talajainak jó vízmegtartása főként a vastag avar- és humuszrétegnek köszönhető, amely szivacsként felfogja a csapadékot, valamint a kedvező pórusrendszernek, ahol a különböző méretű, egymáshoz kapcsolódó pórusok segítik a beszivárgást és a víz visszatartását. Lejtős területeken az avar különösen fontos, mert csökkenti a csapadék lefolyását, elősegíti a beszivárgást, és mérsékli az aszály hatását. (Ehhez azonban megfelelő mennyiségű csapadék kell az egyes csapadékeseményeknél, ami elegendő ahhoz, hogy az intercepciót meghaladja és az avartakarót átnedvesítse.) A kedvező vízháztartást az erdei mikroklíma is erősíti (kevesebb direkt besugárzás és a magasabb relatív páratartalom), ami csökkenti a párolgási veszteséget. Síkvidéken a fák mélyre hatoló gyökérzete stabilabb vízkészletekhez is hozzáférhet, akár a kapilláris zónáig vagy a talajvíz közelébe, vagy akár a talajvíztükör alá. Mindez jól mutatja, hogy talaj nélkül a szárazföldi növényzet lényegében a felszíni vizek közvetlen környezetére szorulna vissza.

A tápanyag-gazdálkodásban kulcsszerepe van a szerves anyag körforgásának, ami főként az avar lebomlásával valósul meg. A mikroorganizmusok és talajlakó élőlények lebontó tevékenysége során a tápanyagok fokozatosan válnak felvehetővé a növények számára, így az ellátás sokszor egyenletesebb, mint hirtelen felszabadulás esetén. Az erdőtalajok általában zárt tápanyagkörforgással működnek, így a veszteségek – például kimosódás vagy elszállítás – általában mérsékeltebbek. A humusz javítja a talaj kémiai tulajdonságait és növeli a tápanyagmegkötő képességét. Az erdőgazdálkodás módja mindezt jelentősen befolyásolja: a biomassza elszállítása tápanyagkivonással járhat, a bolygatás pedig módosíthatja a víz- és tápanyag-háztartást. A fenntartható gazdálkodás ezért az erdőtalajok hosszú távú termékenységének megőrzését is jelenti.

5.1. Hidrológiai jellemzők, vízmozgás a talajban

A talaj felszínétől lefelé haladva először a vadózus, más néven háromfázisú zónába jutunk. E zóna víz szempontjából telítetlen: a pórusok egy részét levegő, másik részét víz tölti ki. Az itt jelen lévő vizet nevezzük talajnedvességnek. Ha továbbmegyünk lefelé, előbb-utóbb (szilárd közet hiányában) elérjük a talajvíztükört, vagyis azt a szintet, ahol kezdődik a vízzel telített, kétfázisú zóna (a víz és a szilárd váz együttese) (5.1.1. ábra). Ezt a telített tartományt freatikus zónának is hívjuk; a kifejezés a görög „*phreatos*” szóból ered, ami mélységi vizekre utal. A talajvíztükör fölött közvetlenül, a vadózus és a freatikus zónák határán található a kapilláris zóna. Itt a pórusok képesek „felhúzni” a vizet a telített zónából, mintha egy láthatatlan szivattyú működne. A víz ebben a rétegben a légköri nyomásnál kisebb, úgynevezett szubatmoszférikus nyomáson van jelen, és a kapilláris erők tartják meg a gravitációval szemben. Ennek a zónának a vastagságát döntően a pórusméret szabja meg, mégpedig fordított

módon: minél finomabb a talaj (kisebb pórusokkal), annál magasabbra képes a víz kapillárisan emelkedni, tehát annál vastagabb lehet a kapilláris zóna. Durvább, nagy pórusú talajokban ezzel szemben a kapilláris emelkedés kisebb, ezért a kapilláris zóna is vékonyabb. Ez a jelenség a víz különleges tulajdonságaira épül. A vízmolekulák hidrogénkötésekkel kapcsolódnak egymáshoz, ami kohéziót hoz létre (a víz összetart). Emellett a víz a hidofil felületekhez – például ásványi szemcsékhez, szerves anyagokhoz – is könnyen hozzátapad, ezt nevezzük adhézióknak. A kohézió és az adhézió együtt teszi lehetővé, hogy a víz a finom pórusokban a gravitáció ellenére is megmaradjon, sőt bizonyos mértékig felfelé is tudjon mozdulni. Ezt a vízmozgási képességet a gyakorlatban kapilláris vízemelésnek hívjuk. Ennek értéke adja meg azt, hogy egy adott talajban a víz meghatározott idő alatt milyen magasságig tud feljutni a pórusok (hajszálcsövek) rendszerében. A két fogalom tehát összetartozik: a kapilláris zóna a jelenség „természetes terepe”, a kapilláris vízemelés pedig ennek a jelenségnek a mérhető kifejeződése. A kapilláris vízemelés mértéke tehát szoros kapcsolatban áll a talaj pórusméretével és pórusarányával, illetve – közvetve – a talaj agyagtartalmával. Ahogy nő az agyagtartalom, általában több lesz a finom pórus, ezért a víz magasabbra képes feljutni. Ugyanakkor van egy fontos „csere”: minél finomabb a pórusrendszer, a víz annál lassabban halad felfelé, vagyis a kapilláris emelkedés nagyobb lehet, de a folyamat sebessége csökken. A kapillaritás erejét jól szemlélteti



5.1.1. ábra: A talaj függőleges rétegzettsége víztelítettségét tekintve

egy egyszerű gondolkísérlet: egy 1 μm átmérőjű, üvegfalú kapillárisban a desztillált víz akár közel 15 méter magasra is fel tud emelkedni. A talaj természetesen nem egyetlen cső, hanem pórusok bonyolult hálózata, de az alapelv ugyanaz: a finom pórusok nagyobb emelőerőt adnak, a durva pórusok kisebbet. Ez magyarázza azt is, miért lehet a kapilláris zóna „magasabb” kötöttebb talajokban, és miért vékonyabb homokos, nagy pórusú talajokban. Kedvezőtlen irányba módosíthatja a kapilláris vízemelést a nátrium jelenléte: a nátriumionok és nátriumsók sokszor rontják a talaj szerkezetét, így a kapilláris vízemelés mértéke is csökkenhet.

A növények szempontjából a kapilláris zóna sokszor valódi „biztonsági tartalék”. Aszályos időszakban, amikor felülről nincs utánpótlás, a talajvízből kapillárisan felemelkedő víz (támaszkodó kapilláris víz) képes részben pótolni a gyökérzet által felvett nedvességet – de csak akkor, ha a gyökérzóna leér ebbe a kapilláris tartományba. Ezért nem mindegy sem a talaj pórusrendszere, sem a talajvíz mélysége: a kettő együtt dönti el, hogy a kapilláris utánpótlás egyáltalán elérhető-e a növény számára.

A vadózus zónában a talaj sok tekintetben szivacsként viselkedik: a pórusok a gravitáció ellenében is képesek vizet visszatartani. Ez azonban nem minden pórusméret esetén működik a növények szempontjából hasznosan. Vízmegtartásra és növényi felvételre az optimális pórusméret-tartomány a legfontosabb: hidrofil pórusfalat és henger alakú pórusokat feltételezve nagyjából 0,2 μm és 8,8 μm közötti átmérőnél beszélhetünk igazán releváns vízkészletről. A nagyobb pórusokból a víz a gravitáció hatására gyorsan leürül, így ezek inkább a levegőzésben és a gyors vízvezetésben fontosak. A nagyon kicsi pórusok viszont túl erősen fogják a vizet: a növények nem tudnak akkora szívóerőt (negatív nyomást, tenziót) kifejteni, hogy onnan a nedvességet kiszivattyúzzák, ahogy egy injekciós tűből sem könnyű kirázni a vizet. Ez a kettősség szabja meg, mennyi víz érhető el ténylegesen a növények számára. A növények által felvehető vízkészletet diszponibilis víznek nevezzük. Ennek alsó határa a hervadáspont, amikor a víz már főként a nagyon finom pórusokban (ezek a 0,2 μm alatti átmérőjű pórusok) kötött, felső határa pedig a szabadföldi vízkapacitás (amikor a nagy, 8,8 μm -nél nagyobb átmérőjű pórusok már leürültek, de az optimális pórusok még vízzel telítettek).

A víztartalom meghatározó fokozatai

Ha egy csapadékos időszak vagy hóolvadás után, vízzel telített talajállapotból indulunk ki, érdemes végiggondolni, milyen hajtóerők képesek vizet eltávolítani a talajból. Az egyik a gravitáció, amely lefelé irányuló vízmozgást okoz. A másik a növények gyökérszívása (ozmotikus és fizikai vízfelvétel), amellyel a talajnedvességet a gyökérzet felé húzzák. A leghatékonyabb szárító hatás azonban többnyire a párolgás: itt a légkör páratelítetlenségéből adódó szívóerő a meghatározó, amely a páratartalomtól és a hőmérséklettől függ. Mindhárom folyamat értelmezhető szívóerőként (tenzióként), és mindegyikhez tartozik egy olyan jellegzetes talajnedvesség-állapot, amelynél az adott erő „már nem tud több vizet kivenni”. Ezeket a jellegzetes állapotokat nevezzük a talaj vízkapacitási értékeinek, amelyeket többféle mértékegységben is megadhatunk (tömeg%, térfogat%, mm , m^3/ha , illetve pF).

A telített talajtól a (majdnem) teljesen szárazig több fontos „állomást” szokás elkülöníteni. A maximális vízkapacitás (VK_{max}) az az állapot, amikor a talaj teljes pórustere vízzel van kitöltve (például hatalmas eső vagy tavaszi hóolvadás után): ilyenkor a talaj gyakorlatilag kétfázisú (szilárd váz + víz). Ebből kiindulva, ha megszűnik az utánpótlás, a gravitációs víz néhány nap alatt le tud szivárogni – feltéve, hogy van hova –, és a talaj beáll a szabadföldi vízkapacitás (VK_{sz}) állapotára. Ezt szemléletesen úgy képzelhetjük el, hogy egy beázott talajt letakarunk (nincs párolgás), és várunk: a víz csak lefelé távozik, míg a talaj eléri azt a nedvességet, amit már képes visszatartani. A növények szempontjából ez sokszor ideális: van elég víz, de a pórusok egy részében már levegő is jelen van.

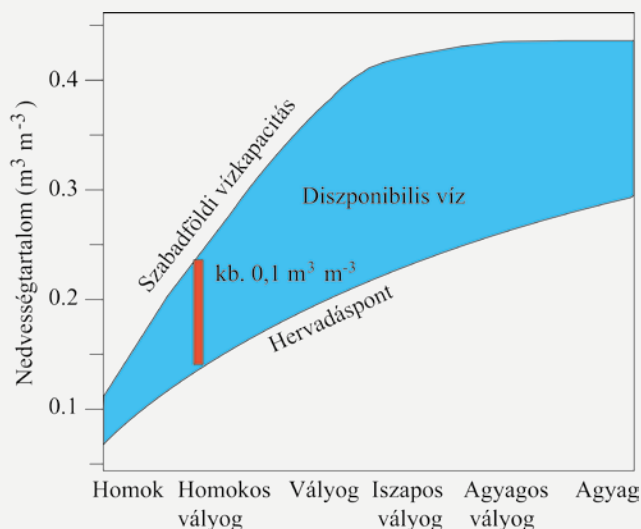
A másik kritikus határ a hervadási pont (holtvíztartalom, HV): ez az a nedvességszint, amely alá csökkenve a növények gyökerei már nem képesek vizet felvenni. Gyakorlatban ez öntözésnél különösen fontos alsó küszöb, a talajnedvességet nem célszerű eddig csökkenteni.

A növények számára ténylegesen hasznosítható tartományt a diszponibilis víz (DV) adja: $DV = VK_{\text{sz}} - HV$.

Ez az a vízmennyiség, amely a legkisebb energiabefektetéssel hozzáférhető, és nagy része a kapilláris pórusokban tárolódik (kapilláris víz). A kapillárisok feltöltődése történhet alulról is – ekkor támaszkodó kapilláris vízről beszélünk, amely a talajvízből kap utánpótlást –, illetve felülről beszivárgó csapadék- vagy öntözővízből, ami a függő kapilláris víz esete; ez utóbbi nem feltétlenül áll kapcsolatban a talajvízzel.

A természetes körülmények között már teljesen kiszáradt talajban is marad valamennyi, nagyon erősen kötött nedvesség: ezt higroszkóposágnak (h_y) nevezzük. Ez a víz szobahőmérsékleten, száraz légtérben sem párolog el, és lényegében csak szárítószekrényben, 105 °C-on távolítható el.

Végül fontos látni, hogy a diszponibilis víz mennyisége erősen függ a talaj fizikai féleségétől, a talajtextúrától (5.1.2. ábra). Ökölszabályként a szemcseméret-eloszlás összefügg a pórusméret-eloszlással:



5.1.2. ábra: A diszponibilis (növények számára felvehető víz) mennyiségének változása a talajtextúra függvényében. Jelen példában ez kb. 0,1 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (piros oszlop) homokos vályog textúrájú talajra.

homoktalajokban több a nagy pórus, ezért a víz gyorsabban leürül, és a talaj könnyebben kiszárad; vályogosabb, agyagosabb talajok több vizet képesek visszatartani. Ezt a képet árnyalja a talajszerkezet: a jó szerkezet épp abban segít, hogy a különböző pórusméretek jó arányban legyenek jelen, és egyszerre legyen megfelelő víztárolás és levegőzés.

5.2. Hogyan tudjuk számszerűsíteni a talajok víz- és nedvességtartalmát?

A talajok nedvességi állapotát alapvetően kétféleképpen szoktuk leírni és számszerűsíteni. Az egyik, a legegyszerűbb, „kézzelfoghatóbb” megközelítés: mennyi víz van a talajban. Ezt nevezzük a talaj nedvességtartalmának, és leggyakrabban térfogati alapon adjuk meg. A térfogati nedvességtartalom (jele: θ_v , a görög théta) nem más, mint a talajban lévő víz térfogata (V_w) osztva a talaj teljes térfogatával (V_{tot}):

$$\theta_v = \frac{V_w}{V_{tot}}$$

Bizonyos esetekben a nedvességet tömegalapon is megadjuk (jele: θ_g). Ez különösen akkor praktikus, amikor a nedvességtartalmat klasszikus módon, szárítószekrényes módszerrel határozzuk meg, vagy amikor olyan talajokat vizsgálunk, amelyek térfogata nedvesség hatására számottevően változik. Ilyenek például a szmektitet (duzzadó agyagásványt) tartalmazó talajok (pl. a bazaltos alapkőzetten kialakuló erubáz- vagy fekete nyiroktalajok): nedvesedéskor megduzzadnak, száradáskor összezsugorodnak, vagyis a térfogatuk nem állandó. Tömegalapú megadásnál a víz tömegét (m_w) a talaj száraz tömegéhez (m_s) viszonyítjuk:

$$\theta_g = \frac{m_w}{m_s}$$

A nedvességtartalom előnye, hogy viszonylag könnyen mérhető és jól összehasonlítható. Ugyanakkor önmagában sokszor kevés ahhoz, hogy megértsük a víz mozgásának irányát, vagy azt, hogy a talajban lévő vízből mennyit tud a növény ténylegesen felvenni. Ehhez a másik megközelítés hasznosabb: a talajnedvesség energiaállapotának leírása. Ezt a gyakorlatban a tenzióval, illetve tágabb értelemben a vízpotenciállal jellemezzük. A vízpotenciál azt fejezi ki, mekkora „hajtóereje” van a víznek a mozgásra egy adott

helyen – vagy másképp: mennyi energia jut egységnyi talajtömegre vagy talajtérfogatra. Mértékegysége ezért valamilyen nyomásjellegű egység (például kPa, bar, higanymilliméter vagy vízoszlop-centiméter). Gyakran találkozhatunk a pF-skálával is, ami a vízoszlop-centiméterben kifejezett szívóerő 10-es alapú logaritmus. A tenziót, vízpotenciált általában a görög Ψ (pszí) betűvel jelöljük, és három fő összetevőjét szokás elkülöníteni: a mátrix-potenciált (a pórusfalakhoz való kötődésből adódik), a gravitációs potenciált (a helyzeti energiából), valamint az ozmotikus potenciált (az oldott anyagok koncentrációkülönbsége mentén fellépő szívóerőt). Az ozmotikus potenciál kapcsán meg kell említeni az oldott sók hatását: az ionok a vízmolekulákat hidrátburokban részben megkötik, ettől a víz nem tűnik el, de nehezebben felvehetővé válik – ezt nevezzük fiziológiai szárazságnak. Ez az oka annak, hogy szikes/sós talajokon többnyire nem alakul ki zárt fás vegetáció, inkább sótűrő (halofil) növények maradnak meg.

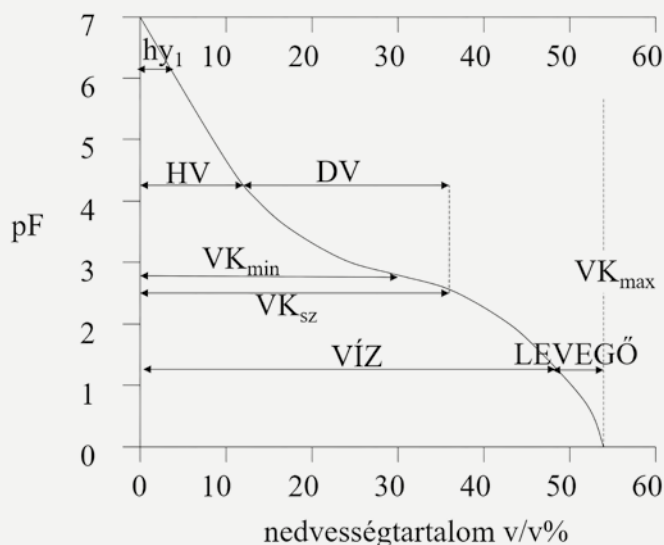
5.3. Mit jelent, hogyan értelmezhető, és miért fontos a pF-érték?

Minden talajra igaz, hogy a talajnedvesség és az adott nedvesség „kimozdításához” szükséges szívóerő között szoros, függvényyszerű kapcsolat áll fenn. Ezt a kapcsolatot a pF-görbével írjuk le. A gyakorlati kérdés így hangzik: *mekkora erőt (tenziót) kell kifejteni ahhoz, hogy a talajból egy adott mennyiségű vizet el tudjunk távolítani?* Ennek megértéséhez jó támpont lehet Torricelli klasszikus kísérlete, amellyel a légnyomást igazolta. Ahogy egy kb. 76 cm-es higanyoszlop egyensúlyt tart a légnyomással, a higany és a víz sűrűségkülönbségéből (kb. 1:13,6) adódik, hogy 1 atmoszféra nyomás nagyjából 10 méter vízoszlopnak felel meg. Innen ered az a szemlélet, hogy a szívóerőt (nyomást) akár vízoszlop-magasságban is megadhatjuk.

A talaj esetében ez úgy értelmezhető, hogy a mindenkori nedvességtartalomhoz hozzárendelhető egy olyan szívóerő, amely már nem képes a talajban maradó vizet elmozdítani, viszont a többletet még eltávolítja. Ezt a szívóerőt szokás vízoszlop-centiméterben (H₂O-cm) kifejezni. Ez a skála azonban rendkívül széles lehet: a néhány centimétertől akár milliókig terjedhet, ami kezelhetetlenné válik. Ezért a talajfizikában ennek a mennyiségnek a 10-es alapú logaritmusát használjuk – ez adja a pF értéket.

A pF definíciója tömören: a talajnedvesség eltávolításához szükséges szívóerő H₂O-cm-ben kifejezett értékének 10-es alapú logaritmus. Például 1000 cm szívóerő pF 3, míg 10⁵ cm (1 km vízoszlop) pF 5. A szabadföldi vízkapacitást gyakran pF 2,5-tel azonosítjuk, a hervadáspont megállapodás szerinti értéke pedig pF 4,2; a nagyon erősen kötött, higroszkópos víz tartománya nagyjából pF 6,2 körül jelenik meg.

A pF-görbe (5.3.1. ábra) tehát azt mutatja meg, hogy egy adott szívóerő mellett mennyi víz marad a talajban (nem az eltávolított, hanem a vissamaradó nedvességtartalmat rendeljük a tenzióhoz). A görbe alakja döntően a talaj fizikai féleségétől függ, de a szerkezet, a tömörödöttség, a rétegzettség is erősen módosíthatja. Homoktalajban a nagy pórusok miatt már kis szívóerőnél is gyorsan csökken a nedvesség, kötöttebb talajokban viszont még nagy tenzió mellett is maradhat számottevő vízkészlet.



5.3.1. ábra: pF görbe a jellemző vízkapacitás értékekhez tartozó nedvességtartalmakkal, ahol VK_{sz}: szántóföldi vízkapacitás (pF=4,2); VK_{min}: minimális vízkapacitás; HV: holtvíztartalom (pF=4,2); DV: diszponibilis v. hasznosítható vízkészlet; hy₁: higroszkóposág (pF~6,2)

Így most már az is könnyebben érthető, hogy miért félvezető ön-
mágában egy nedvességtartalom-érték. Ha azt mondjuk, hogy a talaj
aktuális nedvessége 20 v/v%, az önmagában nem árulja el, „sok-e
vagy kevés”. Homoktalajban ez akár bőven a szabadföldi vízkapacitás
felett lehet, míg egy agyagos talajban előfordulhat, hogy már a növény
számára kritikus tartományhoz közelít. Ezért a gyakorlatban nem elég
a nedvességtartalom ismerete: érteni kell mellé a talaj pF-görbéjét,
vagyis azt, milyen tenziónak felel meg az adott víztartalom. Ha a talajál-
lapot pF ~2,5 körül van, általában kedvező a vízellátottság; pF ~4,2 kör-
nyékén már kifejezetten szűkös a növények számára hozzáférhető víz.

Hazánkban sok helyen mérnek talajnedvesség-tartalmat és tenziót is. Ilyen
pl. az országos aszálymonitoring-hálózat, melynek adatai több talajmély-
sége is ingyenesen elérhetőek (<https://aszalymonitoring.vizugy.hu/>).

5.4. A talaj vízvezető képessége

Minél szárazabb egy talaj, annál több csapadékvizet tud úgy elnyelni, hogy
az elsőként a pórusok feltöltésére fordítódik, és csak kisebb része jut tovább
gyorsan a mélyebb rétegek felé. Ezt a tulajdonságot víznyelő képességnek
(infiltrációs kapacitásnak) nevezzük. Dimenziója hossz/idő, tipikus mérté-
kegységei például mm/óra, cm/nap vagy m/s. Értéke a fizikai féleségtől és
a talaj állapotától (tömörödöttség) függ. Fontos, hogy ugyanazon talajnál
sem egy állandó számról van szó: a víznyelő képesség erősen függ a talaj
pillanatnyi nedvességi állapotától, ezért inkább egy időben (valójában ned-
vességben) változó függvényként érdemes rá gondolni. Ugyanaz a talaj egy
száraz időszak után sok vizet képes gyorsan befogadni, míg egy korábbi
esőzést követően – amikor már közel telített – jóval kevesebbet.

Ahogy a talaj telítődik, a víznyelő képesség „beáll” egy közel állandó értékre.
Telített állapotban már inkább a talaj vízáteresztő (vízvezető) képességéről
beszélünk, ennek klasszikus neve a telített hidraulikus vezetőképesség
(K-tényező, „saturated hydraulic conductivity”; jele: K, Ks). Ez az egyik legfon-
tosabb talajfizikai paraméter: meghatározza, hogy egy intenzív csapadék
mekkora része tud beszivárogni, mennyi válik lefolyássá, milyen öntözési
intenzitás tartható, és általában milyen gyorsan mozognak a folyadékok a
telített talajban. Szennyezőanyag-terjedési vagy beszivárgási folyamatokat
érdemben modellezni is csak ennek ismeretében lehet. A K értéke a talaj
fizikai féleségével együtt széles tartományban változik: durva szemcséjű
(homokos) talajokban nagy (több száz mm/óra is lehet), kötöttebb (agyagos)
talajokban igen kicsi (10⁻² vagy 10⁻³ mm/h) (5.4.1. ábra). Ráadásul a „mért
K” attól is függ, hol mérjük: laboratóriumban, a talaj mátrixában kapott
érték sokszor jóval kisebb lehet, mint a természetes talajban a repedése-
ken, gyökér- és gilisztajáratokon át zajló gyors vízmozgás. Természetesen a
felszínről nem egy egységes sík mentén szivárog be a víz a talajba. Ott, ahol
egységes talajmátrix van – telített talajállapot mellett – a Darcy-törvénynek
engedelmeskedik a beszivárgás, vagy infiltráció. Azonban a talajban lehet-
nek makropórusok, például gyökér-, giliszta- vagy rágcslőjáratok. Ezeket
nevezzük preferenciális folyáspályáknak, ahol a víz gyorsabban mozog lefelé,
mint a talajmátrixban, körülbelül úgy, mintha egy locsolócsőben áramlana.
Emiatt két dimenzióban a beszivárgási front egyenetlen, ujjszerű mintá-
zatot vesz fel (5.4.2. ábra). Ezt tovább bonyolítja az is, hogy a vadózus zóna

telítetlen, ezért nem csak a gravitáció, hanem a mátrixpotenciál-különbség
is mozgatja a talajnedvességet.

A telített talajban a vízmozgást legegyszerűbben Darcy törvénye írja
le. Eszerint a vízáram (az egységnyi idő alatt áthaladó vízmennyiség)
arányos a keresztmetszettel és a hidraulikus potenciálkülönbséggel, és
fordítottan arányos az áramlási úthosszal.

Q = K*(A*h/L)

ahol,

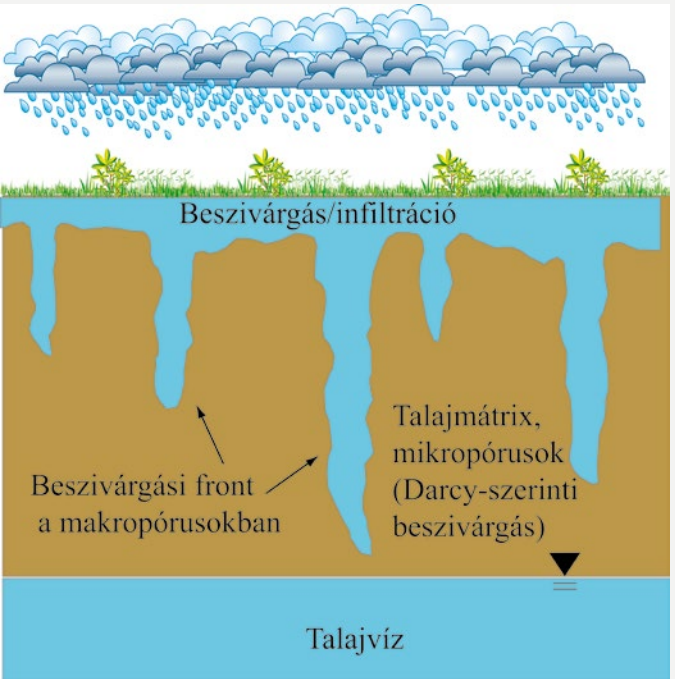
- Q: időegység alatt átszivárgott víz mennyisége (cm³/h vagy cm³/perc)
- A: a talajoszlop keresztmetszete (cm²)
- h: hidraulikus nyomáskülönbség (vízoszlop cm)
- L: a talajoszlop hossza (cm)
- K: arányossági tényező (cm/h vagy cm/perc) – mm/h-ban vagy mm/percben kifejezett értékét nevezzük a talaj hidraulikus vezetőképességének vagy konstans vízáteresztő képességének

Gyakorlatban ebből az a lényeg, hogy a telített hidraulikus vezetőké-
pesség (K) megmutatja: egységnyi mozगतóerő hatására, egységnyi
idő alatt milyen gyorsan képes a víz áthaladni a talajon.

A K-tényező jellemző értéktartományait mutatja meg számunkra az 5.4.1.
ábra. Mértékegysége a hosszúság és az idő hányadosa (pl. m/s, cm/s, cm/nap
stb.). Értéke az alábbi sorrendben csökken: kavics > homok > iszap > agyag.

		Vízvezető képesség (cm/s)										
		10 ¹	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Vízvezetési kategória		Magas		Közepes		Alacsony		Nagyon alacsony		Gyakorlatilag vízzáró		
Szemcse-kategória		Kavics		Homok		F. homok Homokos agyag Vályog		Szilt Agyag		Homogén agyag		

5.4.1. ábra: Tipikus K-tényező értékek üledékekben és talajokban



5.4.2. ábra: Beszivárgási front makropórusokkal és preferenciális folyáspályákkal rendel-
kező talajokban

A vadózus, telítetlen zónában a kép bonyolultabb, mert ott nemcsak a gravitáció számít, hanem a mátrixpotenciál különbségei is mozgatták a talajnedvességet. Ennek leírására a Darcy-féle megközelítés kiterjesztéseit használjuk (pl. Buckingham–Darcy), a térben és időben változó nedvességmozgás pontos leírásához pedig már összetettebb modellek (pl. Richards-egyenlet) kellenek. A szakemberek számára jó hír, hogy ma már erre léteznek bevált numerikus eszközök is: a talajnedvesség dinamikájának szimulálására például gyakran használják a HYDRUS programcsomagot.

5.5. A talaj vízgazdálkodási típusai

Egy talaj „fejlődési pályáját” – vagyis azt, hogy hogyan alakul a fizikai, kémiai és biológiai állapota, majd végső soron a talaj típusa – nagyban meghatározza, hogy a lehulló csapadékból mennyit képes befogadni, és a beszivárgó vízből mennyi jut le hosszabb távon a mélyebb rétegekbe, akár a talajvízig. Ez a mérleg alapvetően két tényezőn múlik: egyrészt a klímán (mennyi a csapadék, mekkora a párolgási igény), másrészt a talaj vízgazdálkodási tulajdonságain (pórusrendszer, szerkezet, tömörödöttség, vízvezetés). Magyarországon a víz mozgása és „sorsa” alapján négy jellegzetes vízgazdálkodási típust szokás elkülöníteni.

- a. Felszíni lefolyás típusa.** Főként lejtős területeken jellemző, különösen akkor, ha a talaj nem laza homok. Ilyenkor a csapadék egy része nem tud elég gyorsan beszivárogni, ezért a felszínen indul meg lefelé. A talajművelés sokszor ráerősít erre: a növényborítás hiánya, a talajtömörödés, illetve a lejtő irányú művelés mind növeli a lefolyás arányát. Ennek tipikus kísérőjelensége a vízerózió, vagyis a termékeny felső talajréteg lemosódása.
- b. Kilúgozási típus.** Ennek alapfeltétele a humid klíma, amikor tartósan több a csapadék, mint amennyi víz párolgással el tud távozni. A talajban ilyenkor a lefelé irányuló vízmozgás a meghatározó: a beszivárgó víz egy része keresztülszivárog a talajszelvényen, és eléri a talajvizet. Ez a vízmozgás a könnyebben oldható anyagok kimosását is elősegíti, innen a név. Tipikus képviselők a barna erdőtalajok.
- c. Egyensúlyi típus.** Itt a beszivárgó csapadék nem jut el a talajvízig: a víz többnyire a beázási (gyökérszónához közeli) rétegben mozog, majd később el is fog. Jellemző a szezonális váltás: tavasszal inkább a beszivárgás és feltöltődés, nyáron a kiszáradás a meghatározó. A talajvíz általában mélyen helyezkedik el. A hazai csernozjomok ebbe a csoportba sorolhatóak.
- d. Párolgató típus.** Ennek két feltétele van: szárazabb (aridabb) klíma és magas talajvízszint. Ilyenkor nem a lefelé szivárgás, hanem a felszín felé irányuló vízmozgás és a párolgás kerül előtérbe: a felszíni nedvesség és – kapilláris utánpótlással – akár a talajvíz is hozzájárulhat a párolgási veszteséghez. Ezzel együtt gyakran megjelenik a sók felhalmozódásának kockázata is. Tipikus példák a réti talajok és a szikes talajok.

5.6. Tápanyagok a talajban és az erdőállományban

A talajok termékenysége víz- és tápanyagraktározó funkciójukhoz köthető, biztosítják az elsődleges biológiai produkció előállításához nagyobb mennyiségben szükséges makro- és kisebb mennyiségben szükséges mikroelemeket (esszenciális elemek). Esszenciális vagy a növények növekedéséhez és fejlődéséhez nélkülözhetetlen elemeknek tekintjük azokat, amelyek hiánya tüneteket idéz elő a növényekben, nem pótolhatók más elemekkel, és a növényi anyagcserében funkcionálisak, például enzimek alkotói. Minden élő szervezetnek, illetve szerves molekuláinak építőelemei az ún. organogén elemek a hidrogén (H), oxigén (O) és a szén (C). A makroelemek a foszfor (P; felvétel módja HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-), a kalcium (Ca; Ca^{2+}), a kálium (K; K^+), a kén (S; SO_4^{2-}), a magnézium (Mg; Mg^{2+}), a nitrogén (N; NO_3^- , NH_4^+ ; karbamid), a mikroelemek a bór (B; BO_3^{3-} , $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$), a cink (Zn; Zn^{2+}), a klór (Cl; Cl^-), a vas (Fe; Fe^{3+}), a mangán (Mn; Mn^{2+}), a molibdén (Mo; MoO_4^{2-}), a nikkel (Ni; Ni^{2+}) és a réz (Cu; Cu^+ , Cu^{2+}). A tápelemek biokémiai funkciójuk és élettani szerepük szempontjából is osztályozhatók (5.6.1. ábra).

A talajok a tápanyagokat az agyagásványok és humuszanyagok felületén megkötött ionok formájában raktározzák. A tápanyagok felvehetősége ionjaik kötéseinek erősségétől függ, lehetnek erősen kötött, a növények számára közvetlenül nem felvehető, a talajkolloidok felületén adszorbeált formában vagy a növények által közvetve felvehető formában, valamint könnyen felvehető, de könnyen ki is mosódó formában a talajoldatban. A kötött ionok többnyire a kationok, míg a talajoldatban az anionok dominálnak. A vízhiány a tápelemek ionjainak a talajoldatból való felvehetőségét korlátozza. A különböző ionok adszorpcióját és deszorpcióját a talajrészecskék felületén, és ezáltal azok felvehetőségét a talajok kémhatása határozza meg. Általánosan elmondható, hogy a legtöbb tápelem felvehetőségének maximuma a közel semleges kémhatáson (pH = 6,8) van.

A növények tápanyagellátása szempontjából talán a legfontosabb tápelem a nitrogén, a növényi sejtek szárazanyag-tartalmának közel 5%-a nitrogén. A nitrogén aminosavak, nukleinsavak, a klorofill és fontos anyagcseretermékek alkotóeleme. A mérsékelt övi erdők talajában a nitrogén mennyisége többnyire növényi növekedést limitáló hatású. A nitrátió (NO_3^-) a növények és gombák számára leginkább hozzáférhető nitrogénforma, míg az ammóniumion (NH_4^+) a savanyú talajokban dominál, ahol a NO_3^- limitált. Ugyan a levegőben rengeteg nitrogén van (78%), mégis nehezen „varázsolható” át a talajba. A szabadon élő és gümőképző nitrogénfixálók a levegő nitrogénjének kötése révén dúsítják nitrogénnel a talajt (ilyen például az akác-*Rhizobium* vagy az éger-*Frankia* fajok közti szimbiota kapcsolat). Mérsékelt övi erdei ökoszisztémákban a szabadon élő diazotrófok akár 12 kg N/ha/év, míg a szimbiota nitrogénkötők akár 160 kg N/ha/év nitrogént kötnek meg. Az ektomikorrhiza és arbuszkuláris mikorrhiza (endomikorrhiza) gombák a nitrogént elsősorban ammóniumion formájában veszik fel, de fehérjebontásuk, aminosav-felvételük és transzportjuk sem elhanyagolható.

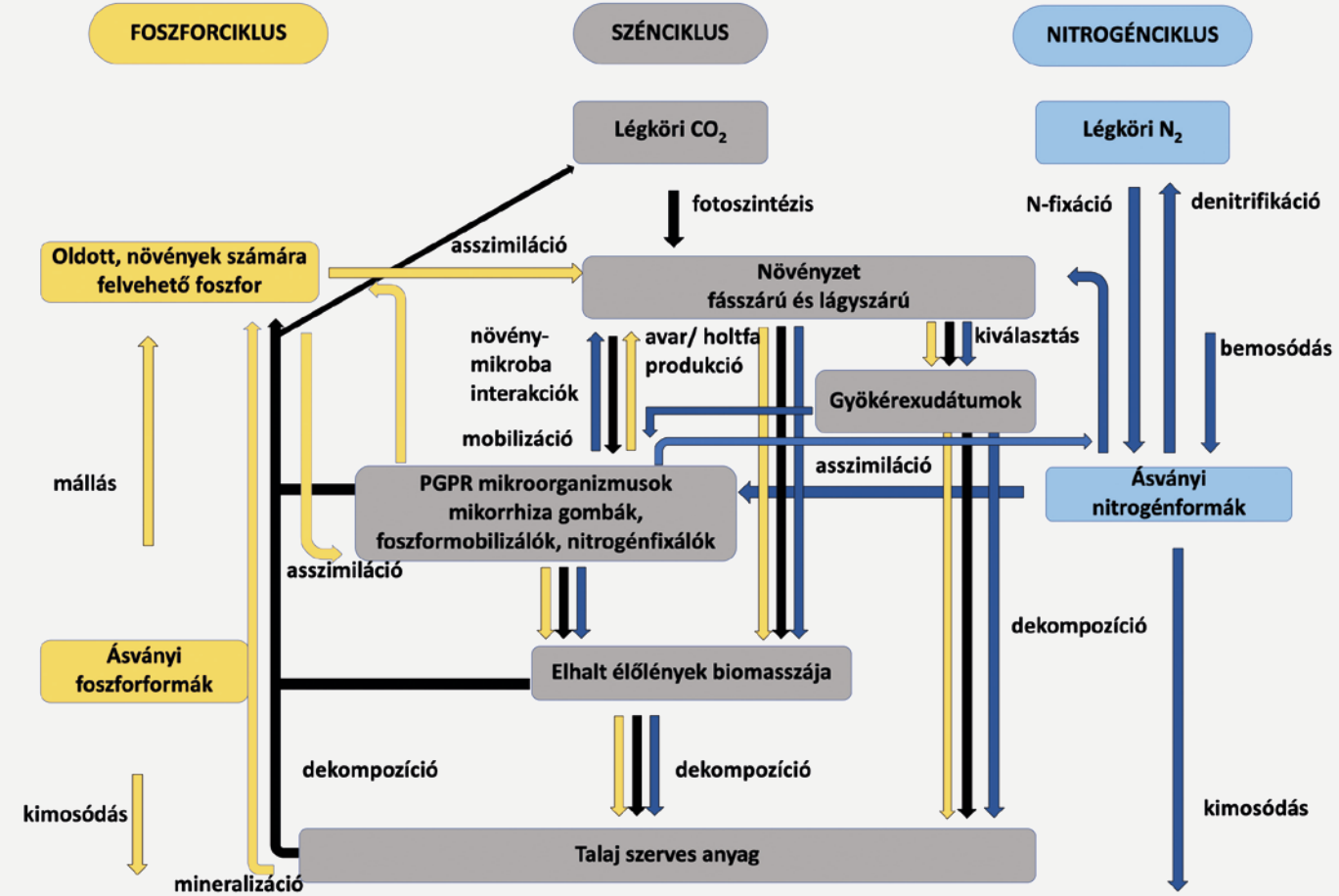
NÖVÉNYI RÉSZ		N	P	K	Ca	Mg
		g/kg				
LEVÉL	tölgy	24,6	1,8	7,8	6,7	1,6
	bükk	23,2	2,5	9,6	—	—
ÁG (1–4 CM)		6,5	0,4	2,3	2,6	0,4
ÁG (4–7 CM)	tölgy	4,9	0,5	2,3	1,8	0,4
ÁG (7–10 CM)		5,6	0,3	1,8	1,4	0,3
ÁG (0–2 CM)		4,7	1,8	3,0	—	—
ÁG (2–5 CM)	bükk	2,5	1,5	2,2	—	—
ÁG (> 5 CM)		2,0	1,2	1,7	—	—
TÖRZSKÉREG	tölgy	5,8	0,2	1,1	0,7	0,4
TÖRZSFA	tölgy	3,4	0,2	3,1	1,8	0,7
	bükk	1,5	1,1	13	—	—
GYÖKÉR		7,9	0,6	3,1	1,8	0,7
TERMÉS	tölgy	9,6	1,1	8,4	2,0	0,6

5.6.1. táblázat: Egyes fafajok szárképleteiben található tápanyagok átlagos mennyisége (Fülek, 1999) alapján

A növényi növekedés szempontjából másik kulcsfontosságú elem a foszfor, amely nélkülözhetetlen a sejtszótódáshoz, a fotoszintézishez, a gyökerek fejlődéséhez, illetve az “energiamolekula”, az ATP egyik fő alkotóeleme. A talajoldatból anion formában vehető fel, de a talajokban gyakran kötött,

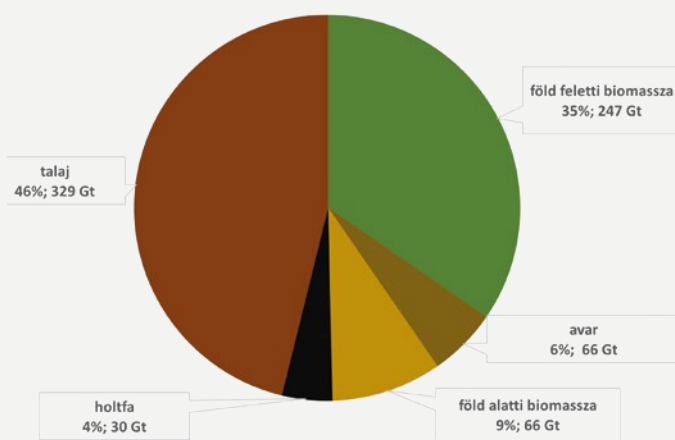
a növények számára nehezen elérhető állapotban van jelen. A meszes talajokban a kalciumfoszfátok, a savanyú talajokban az alumínium- és vasfoszfátok foszfortartalmának felvehetősége meglehetősen korlátozott. A foszforionok lassan mozognak a talajban, a gyökerek körüli hiányzóna gyorsan kialakul. A gyökerek morfológiája, aktív felvevő felülete, a rizoszféra mikrobiális összetétele és a mikorrhiza gombák jelenléte jelentősen befolyásolják a foszfor felvehetőségét. A rizoszférában élő foszformobilizáló mikroorganizmusok alacsony molekulatömegű szerves savak (pl. citrát, oxalát) termelése révén elősegítik a kémiai mállást. A mikorrhiza gombák enyhítik a talajok erőforrásainak térbeli és időbeli heterogenitását adódó kedvezőtlen hatásokat (6.3. fejezet). A talajt behálózó extraradikális hifahálózatuk (hifa = gombafonal); a hajszálgyökereknél is vékonyabb és hosszabb hifák nagyobb talajtér fogat tápanyagkészleteinek kiaknázására képesek, mint a gyökerek. Az ásványi foszfor feltárása proton és szerves savak kiválasztásán keresztül történik, továbbá a mikorrhiza gombák enzimeket is termelnek, melyekkel a szerves anyagok foszfortartalmát oldják. A mikorrhizás kapcsolatban élő növények gyökércsúcsai nagyobb kapacitással veszik fel a foszfort, az ektomikorrhiza és arbuszkuláris mikorrhiza gombák hifái is nagy affinitású foszfát-transzportert tartalmaznak, és a foszfort polifoszfátként tárolják. A talajok magas foszfor- és nitrogéntartalma gátolja a mikorrhizaképzést.

A faállományok több évtizedes növekedése egy kisebb, de kiegyenlített tápanyagellátást igényel, mint a szántóföldi kultúráké (5.6.1. táblázat). Az erdők talajainak tápanyag-utánpótlását elsősorban az



5.6.1. ábra: A szén, nitrogén és foszfor elemek biogekémiai ciklusainak sematikus ábrája

Az erdők szénkészletének megoszlása



5.6.2. ábra: Az erdők szénkészletének megoszlása az egyes széntároló kompartmenek között (FAO, 2025)

avar bomlása során mineralizálódó tápanyagok jelentik. Az avar döntő tömegét a tápanyagokban gazdag levelek teszik ki, emellett jelentős mennyiségű a lehullott termés, az elhalt ágak, gallyak és a fakéreg, de nem elhanyagolható az állati eredetű ürülék sem, amely az avarra, majd a talajba kerül. A tápelemek reciklizációja miatt az idős, lehullott levelek tápelemtartalma alacsonyabb, mint a fiatal zöld leveleké, ugyanakkor magasabb, mint a fás részeké. Az évente képződő avar mennyiségét a fajok, annak kora és a klimatikus viszonyok befolyásolják. Az avar bomlásának gyorsaságát, optimális nedvesség és levegőztetés mellett alapvetően a C/N arány határozza meg (6.2. fejezet). A lombos erdők avarja és talaja kevésbé savanyú és nagyobb tápanyagtartalmú, mint a tűlevelű erdők.

Alacsony C/N-tartalma miatt az éger, a gyertyán, az akác, a fehér és szürke nyár, a hárs és a vénic-szil lombja gyorsan, míg a tölgyavar lassan bomlik le. A nitrogénfixáló baktériumokkal szimbiózisban élő akác és éger esetén az avar és a talaj nitrogénben gazdag, melyet a nitrogénkedvelő aljnövényzet is jelez. A legkevesebb nitrogén-utánpótlást a tölgyfajok avarja adja. Az erdők talajainak tápanyagtartalma lassan és gyorsan bomló avar képző fajok elegyítésével befolyásolható. Az avar foszfortartalma fajtától függően jelentős eltéréseket mutat, aminek az erdők tápanyag-ellátottságában, tápanyag-utánpótlásában fontos szerepe van. A kislevelű hárs, a gyertyán és a tölgyek jelentős foszfort vesznek fel, míg a fehér és szürke nyár, valamint az akác kevesebbet. Az avar káliumtartalma kevésbé fajfajspecifikus, mint a foszfortartalma. A bükkösökben, tölgyesekben és más zárt lombhullató erdőtülsősorokban az avar lebomlása eltérő feltételek mellett zajlik, mint a fenyőerdőkben. A lombhullató fák gyökerei mélyebbre nyúlnak, mint a tűlevelűeké, és az évente megújuló lombzatban arányaiban több kalciumot és magnéziumot halmoznak fel. E két elem jelenléte miatt a talaj nem savanyodik el olyan mértékben, mint a tűlevelű erdők talajaiban.

Az 5.6.1. ábrán látható szén ciklushoz kapcsolódóan érdemes tudni, hogy a FAO 2025-ben készült tanulmánya szerint a globális erdei biomassza becsült mennyisége 709 Gt, ami átlagosan 171 tonna hektáronként. Az erdők által raktározott szénkészlet becsült mennyisége, beleértve az élő és holt biomasszát és az erdők talaját is 714 Gt, ami hektáronként 172 t raktározott szenet jelent, és ennek legjelentősebb része, 49%-a az erdők talajában van (5.6.2. ábra).



Vízzel borított láptalaj az ócsai láperdőben

6. Az erdő talajának ökológiai funkciói az erdei ökoszisztémában

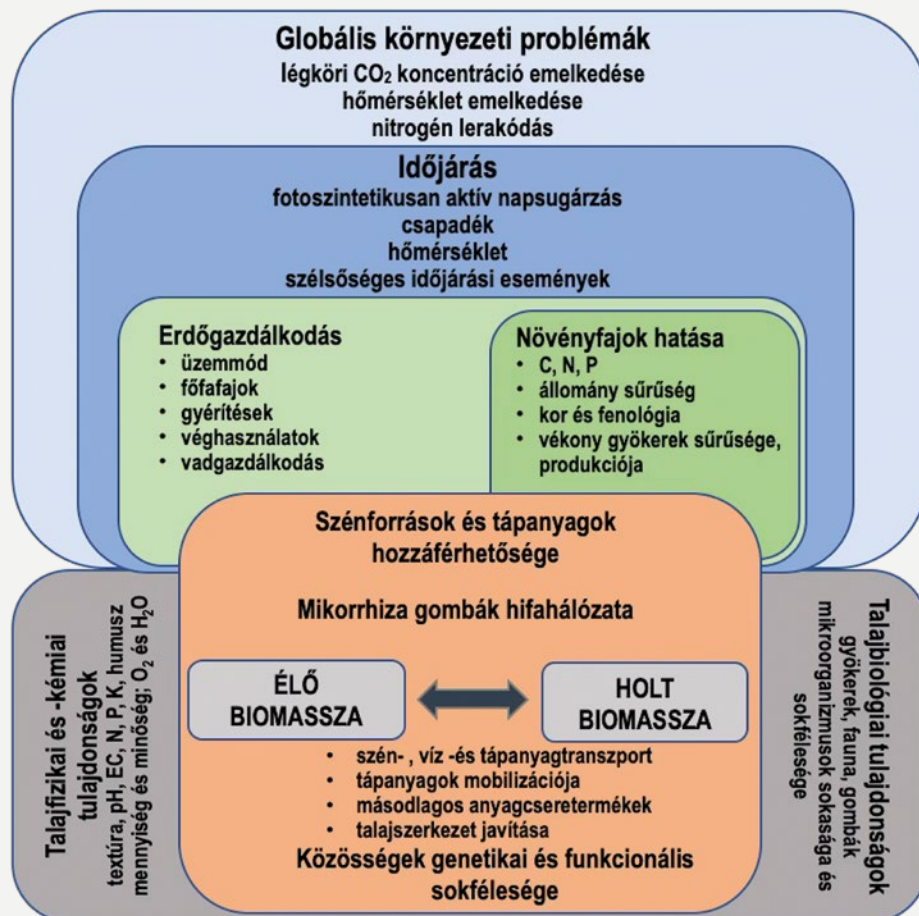
6.1. A talaj mint élőhely általában

Az erdei biodiversitás jelentős része a talajfelszín alatt található. Az erdők viszonylag stabil, szerves anyagban gazdag taljai összetett élőlényközösségeknek adnak otthont, amelyek működését elsősorban az avar és a holtfa biztosítja. Ezek a közösségek kulcsszerepet játszanak az anyag- és energiaforgalomban, különösen az avarbomlás, a tápanyag-visszapótlás és a talajszerkezet fenntartása szempontjából. Az erdő talajlakó életközösségeinek megértése ezért alapvető jelentőségű mind az erdőökológia, mind az erdőgazdálkodás számára. A talaj élővilágának fajösszetételét – a növényzethez hasonlóan – nagymértékben befolyásolják az élőhely környezeti adottságai. A helyi klíma, különösen a hőmérséklet, a csapadék mennyisége és évszakos eloszlása, valamint a talaj kémhatása, tápanyagtartalma és vízáteresztő képessége van legnagyobb hatással a talaj élőlényközösségeinek összetételére (6.1.1. ábra). Ennek megfelelően a különböző hazai erdőtípusok különböznek egymástól a földalatti fajkészletet illetően is, például egy fenyőerdőben merőben más gombafajok élnek, mint egy tölgyerdőben. A talajban élő mikroorganizmusokat ma már leginkább környezeti DNS-alapú módszerekkel vizsgálják, amelyekkel felfedhető a talajélet magas biodiversitása és rendszertani azonosítása. Ezekre az érzékeny módszerekre azért is van szükség, mert 1 gramm erdei talajban általában több ezerféle gomba és baktérium található. A talajok biológiai

aktivitásának terepi vizsgálata a gyökerek sűrűségének és az állatjártatok méretének, gyakoriságának leírásán alapul. A gyökerek térbeli elrendeződése, sűrűségének mélység szerinti megoszlása, iránya a talaj kémiai és fizikai tulajdonságairól is fontos információt hordozhat. A gyökerek vizsgálata az átmérőjük szerint finom (átmérő < 0,5 mm), vékony (0,5–2 mm), közepes (2–5 mm) és vastag (> 5 mm) gyökerek 1 m² talajfelszínre jutó mennyisége alapján történik. Amennyiben a 2 mm-nél kisebb átmérőjű gyökerek száma meghaladja a 200 db-ot vagy annál vastagabb gyökerekből több mint 20 db található a talajban, akkor a gyökérszűrő sűrűnek tekinthető. A talajfauna különböző képviselőinek járatait a talajszint térfogatának százalékos arányában határozzuk meg. A talaj ökológiai funkcióit és szolgáltatásait a benne és rajta élő élőlények által tudja betölteni.

6.2. Az avarszintről (humipedon) és a humuszformákról

Az erdőben képződő biomassza anyagainak átalakulása, lebomlása, majd a talajba és ezáltal az erdei ökoszisztémába történő visszajutása döntően az avarszintben zajlik, amelynek vastagsága, rétegzettsége, szerkezete és minősége számos tényező függvénye. Ha a lebontási folyamatokat kedvezőtlen klimatikus viszonyok (pl. téli hideg, nyári szárazság) vagy talajadottságok (pl. erősen savanyú kémhatás) gátolják, akkor az avar nagy vastagságban, viszonylag változatlan, lebomlatlan



6.1.1. ábra: A klimatikus, talajtani és gazdálkodási jellemzők, illetve a faállomány-tulajdonságok hatása a talaj életközösségre (Takács T.)

formában halmozódhat fel. A talajmikrobiom és talajfauna számára kedvező viszonyok mellett azonban a szerves anyagok gyorsan lebomlanak, és a szerves talajszintek anyagával mélyen és intenzíven átkeverednek. Az avarszinteket (O) az alattuk elhelyezkedő ásványi (A, E) vagy szerves ásványi talajszintektől (Ah) elsősorban nagy (>20%) szerves széntartalmuk különbözteti meg. A jól szellőzőtt, az év nagy részében vízzel telítetlen szerves talajszinteket O-val, az év nagy részében vízzel telített, félig szárazföldi szerves talajszinteket H-val jelöljük. Az avart alkotó szerves anyag eredete szerint gyakran elkülönítik a döntően lombavarból, az elhalt gyökérszövetből, mohákból vagy holtfából származó avarrétegeket. Avarszint azonban nemcsak a mállott, ásványi talajfelszínen alakulhat ki, hanem gyakran találkozhatunk vele szilárd, összefüggő kőzetek zárt felszíni mélyedéseiben, sőt akár tuskók, kidőlt fák odvainak dendrotelmáiban, vagy ártéri ligeterdőkben a fákra felkúszó iszalagok szövedékében visszatartott függő avar formájában.

Az osztályozási rendszerek a humuszt a tápanyagkörforgás sebessége és a biológiai aktivitás alapján hagyományosan három fő kategóriába sorolják: *mull*, *moder* és *mor*. Az európai osztályozásban ezt a közelmúltban kiegészítették a karbonátos alapközetek felett megjelenő *amphi* és *tangel* kategóriákkal (lásd lentebb). A szerves anyagok felhalmozódásával létrejött talajszintek (*humipeden*) részletes tagolása és jelölése az alábbiak szerint történik:

O szintek (szerves C-tartalom > 20%, jól szellőzőtt, vízzel telítetlen):

- *Ol* (*elbomlatlan avar, gyökérszövet vagy holtfa*): eredeti növényi anyagok (levelek, ágak, tűlevelek)
- *Of* (*fermentált avar*): részben lebomlott, felaprózott vagy átalakult anyag
- *Oh* (*humifikált avar*): jól lebomlott, növényi részek nem ismerhetők fel, amorf szerves anyag

H szintek (szerves C-tartalom > 20%, víztelített):

- *Hi*: rostos tőzeg, döntően elbomlatlan növényi rostokból áll
- *He*: hemikus tőzeg
- *Ha*: erősen lebomlott, átalakult növényi maradványok nem ismerhetők fel, kotu

Ásványi (vagy szerves-ásványi) talajszintek (szerves széntartalom < 20%)

- *A* (*Ah/Ae*): szerves anyaggal kevert ásványi talaj

A szintek jelölését még gyakran kiegészítik azzal az információval, hogy a talajfauna általi átkeverés mennyire jellemzi az adott szint anyagát (giliszták vagy ízeltlábúak által végzett intenzív, mérsékelt vagy csekély bioturbáció). A felhalmozódó szerves anyag felaprításában, lebontásában részt vevő szervezetek arányát, mennyiségét részben a klimatikus viszonyok, a talajképző üledék és az avar összetétele határozza meg.

Szárazföldi humuszformák (jól szellőzőtt, aerob humuszformák) – O, Ah- szintek

- *mull*: Jellemző rá az avar (többnyire lombhullató) gyors bomlása a magas bakteriális aktivitás és a szerves anyagok intenzív, mély bekeverése a földgiliszták által az ásványi talajszintekbe.

A bomlatlan avarszintek (Ol) vékonyak vagy teljesen hiányozhatnak. A mull humusz vastag, sötét, tápanyagban gazdag, átmenete a szemcsés szerves-ásványi feltalajszint (Ah) felé fokozatos, attól szinte elválaszthatatlan. Az átkeverést nagyrészt anecikus és endogeikus (6.4.2. ábra) földgiliszták végzik. Kémhatása általában > 5, C/N aránya kicsi.

- *moder*: Átmeneti forma mérsékelt bomlási sebességgel, lombhullató vagy vegyes erdőkben jellemző, a szerves rétegek (Ol, Of, Oh) határozott felhalmozódása és az ásványi feltalajjal (Ah) történő mérsékelt keveredés révén keletkezik. Az átmenet fokozatos, de világosan felismerhető, földgiliszták közül inkább csak az epigeikus fajok (6.4.2. ábra) vannak jelen. Kémhatása savanyú, enyhén savanyú (<5), C/N aránya nagy.
- *mor* (*nyers humusz*): Az erősen savanyú, nehezen lebomló, jellemzően tűlevelűek alatt képződő avar nagyon lassú bomlása és emiatt vastag rétegben történő felhalmozódása révén keletkezik (vastag Ol, Of, Oh szintek). A gombák tevékenysége uralja, az állati aktivitás elenyésző, a földgiliszták teljesen hiányoznak, a szerves anyag aprítását rovarok, főként hangyák vagy televényférgék végzik, az ásványi talajszintekkel (Ah vagy E) alig keveredik, és attól éles, hirtelen határvonallal válik el. Kémhatása savanyú vagy erősen savanyú, C/N aránya nagyon nagy.
- *amphi*: Erős évszakos kontrasztokkal (hőmérséklet, nedvességtartalom) rendelkező környezetben (pl. mediterrán vagy kontinentális) előforduló forma, vastag szerves szinttel (Of és Oh) és jól fejlett, erősen bioturbált ásványi szinttel (Ah). Kétcsúcás biológiai aktivitást mutat (tavasszal/ősszel magas, nyáron/télen alacsony).
- *tangel*: Hegyvidéki éghajlaton, mészkő/dolomit talajon fordul elő, nagyon vastag szerves rétegekkel (Ol, zoOf, Oh; 10–50 cm). Lényegében a mor megfelelője karbonátos, bázikus környezetben, de annál kedvezőbb adottságokkal a bioturbáció számára.

Az erdei avartakaró általában a fentiek kombinációjából áll, de vízállásos, lápos, pangó vizes helyszíneken találkozhatunk olyan szervesanyag-felhalmozódással is, amelyben a lebontást elsősorban a víztelített állapotból fakadó oxigénhiány gátolja.

Félig szárazföldi humuszformák (vízzel telített), amelyek vizes élőhelyeken, mocsarakban vagy magas talajvízszintű területeken fejlődnek ki, ahol az anaerob körülmények gátolják a bomlást:

- *anmoor*: Vizes élőhelyeken alakul ki, időszakos, de nem folyamatos telítődéssel, ami sötét, szerves anyagokban gazdag ásványi talajréteget (Ah) eredményez.
- *tőzeg*: Folyamatosan vízzel telített területeken képződik, vastag, rosszul lebomlott szerves (H) rétegek jellemzik. Ezeket a humifikáció szintje alapján osztályozzák:
 - *rostos tőzeg* (*Hi – fibrizsol*): gyengén lebomlott (> 2/3 megőrzött növényi rost).
 - *hemikus tőzeg* (*He – hemizsol*): mérsékelt lebomlott (1/3–2/3 megőrzött rost).
 - *szaprikus tőzeg* (*Ha – zapritsol*): erősen lebomlott (< 1/3 megőrzött rost).

Az avarszintben raktározott tápanyagok felhalmozódásának és késleltetett lebontásának az erdőciklus szabályozásában is szerepe van, mivel a korai szukcessziós fázisban lévő erdőben a kezdeti gyors avartömeg-növekedés, valamint a fiatal erdőben kedvezőtlenebb mikroklima és gyengébb talajélet okozta lassú lebomlás időszakos tápanyaghiányt válthat ki a lombkoronát alkotó fajok számára, ami ezt a kezdeti erős fanövekedést visszafogja. Az erdő öregedésével a felhalmozott avar-tömeget egyre változatosabb és nagyobb sűrűségű avarlakó élővilág veszi birtokba, így fokozódik annak lebomlása. Ez végül az avartakaró elvékonyodásához vezet, miközben a tápanyagok újra felvehető formában a talajba kerülnek, támogatva a további növekedést.

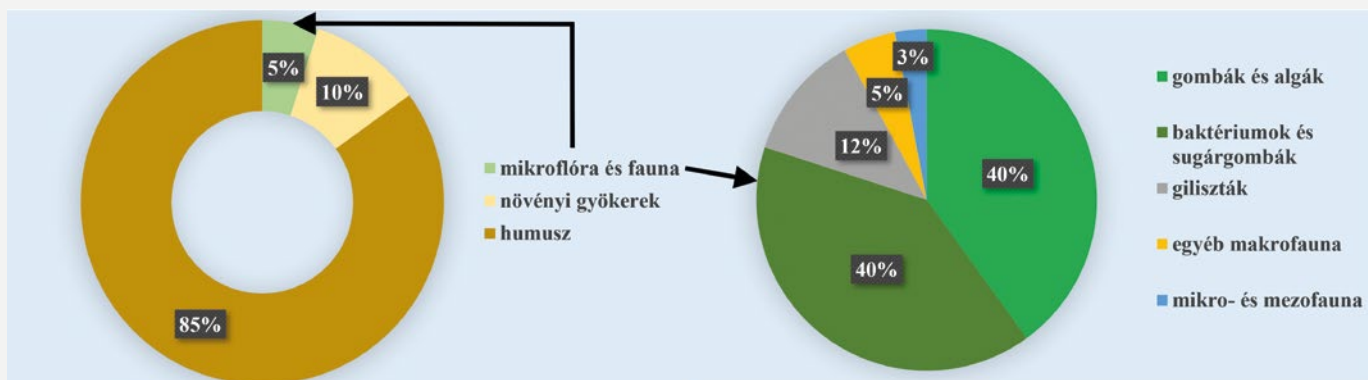
6.3. Az erdőtalajok meghatározó élőlényközösségei: mikroorganizmusok és gombák

A vegetáció és a talajok jórészt mikroszkopikus élővilága közötti kölcsönhatások határozzák meg az ökoszisztémák működését és az elsődleges produktivitást. Az erdei talajokban élő mikroorganizmusok – elsősorban a gombák és a baktériumok – kulcsszerepet játszanak a tápanyagok körforgásában és szabályozzák az ökoszisztéma működését. Ezen mikroorganizmusok számos ökológiai funkciót látnak el. Ezek közül az erdei ökoszisztémákban kiemelt jelentőségük van a lebontó szervezeteknek (szaprotrófok), különösen a lignin- és cellulózbontó gombáknak, melyek az elhalt növények maradványaiból teszik felvehetővé a szenet, a nitrogént és más elemeket. Az erdők számára ugyancsak létfontosságúak a növényekkel kölcsönösen előnyös szimbiózisban élő mikorrhiza gombák és nitrogénmegkötő baktériumok, melyek a növényeket – beleértve minden magyarországi fajt – tápanyagokkal és vízzel látják el. A kórokozók is fontos részei az ökoszisztémának, és hozzájárulnak az állatok és a növények biodiverzitásának fenntartásához, egyrészt, mert fabontó tevékenységük elősegíti a madarak odúvájó tevékenységét, másrészt a növénytartó gombák rendszerint gyakrabban támadják meg a helyi legdomináns növényfajok egyedeit, mint a ritka fajokat.

A legtöbb erdei talajban az *Acidobacteriota* (*Acidobacteria*), *Actinomycetota* (*Actinobacteria*), *Pseudomonatoda* (*Proteobacteria*), *Bacteroidota* (*Bacteroidetes*), *Verrucomicrobiota* (*Verrucomicrobia*) és *Bacillota* (*Firmicutes*) baktériumfajok a leggyakoribb taxonok. A talajok kémhatása mellett – amely a talajban élő baktériumközösségek összetételének egyik meghatározó tényezője – a mikroorganizmusok társulási viszonyait a szerves

anyagok mennyisége, az ásványi tápanyagok rendelkezésre állása, az éghajlati viszonyok és a biotikus interakciók (különösen a növényzet hatása) befolyásolják. Ezen paraméterek térbeli változása felelős a mikrobiális aktivitás fokozott előfordulási helyeiért, például a növényi maradványokban, avarban és a holtfák környezetében, vagy a gyökereken és azok körüli rizoszférában. A friss avar a gombák mennyiségi dominanciájával jellemezhető. Az avar felső, szárazabb rétegében leggyakoribb cellulózbontók a *Fusarium*, *Trichoderma*, *Penicillium* nemzetségek fajai és a talajlakó *Mortierella* és *Mucor* fajok. A talajjal érintkező nedves avarrétegben inkább a bazídiumos gombák jelenléte dominál, melyek fehér micélium-kötegei gyakran szabad szemmel is láthatóak. Ez a nyirkos réteg számos avarlakó állat élőhelye. Az avar bomlásának előrehaladtával a baktériumok biomasszája fokozatosan növekszik, csakúgy, mint a sokféleségük. Az elhalt hifák biomasszáját bontó speciális baktériumközösség jelenik meg, és a növényi maradványok bomlásának előrehaladtával a cellulózbontó baktériumok aránya fokozatosan nő (6.3.1. ábra).

A baktériumok és gombák szerepét nem lehet elválasztani egymástól: sem a tápanyagciklusokban betöltött funkciójuk, sem a növényekhez kötődő holobiontok (mikrobiális közösségek) és a speciális ökológiai nichek interakciói révén. Közösségeik sokfélesége és fajaik számossága meghatározó a közösségek stabilitása, valamint a kórokozók és patogének elnyomása szempontjából. Az erdőtalajok minőségének kulcsindikátorai a mikorrhiza gombák (biotrófok). A mikorrhiza (gombás gyökér; Albert Bernhard Frank 1885) a gazdanövények és gombák kölcsönösen előnyös együttélése, amely során a gazdanövények fotoszintetikus termékeket, elsősorban egyszerű cukrokat, vitaminokat adnak át a gombapartnernek, míg a gombák hifahálójukon keresztül vizet és ásványi anyagokat juttatnak a növényeknek. Emellett a növénypartnereket össze is kötik egymással, létrehozva egy hálózatot a talajban. A mikorrhiza gombák hifahálójata (micélium) néhány négyzetcentimétertől akár több négyzetkilométer kiterjedésű is lehet és egy faegyed akár sok tucat mikorrhizaképző gombafajjal élhet együtt. A mikorrhizaképző fákat összekötő gombapartnerik hálójata egy jelzőmolekulák révén kommunikáló életközösség, egy „szuperorganizmus”. A mikorrhiza gombák anyag- és energiaforgalomban betöltött szerepükön túl, gazdanövényeik növekedésére, fejlődésére, ezáltal ellenálló képességére és versenyképességére gyakorolt hatásaikon keresztül a növényközösségek összetételét is befolyásolják. Hazánk valamennyi fás szárú növényfaja kedvezőbben fejlődik valamilyen mikorrhizás kapcsolatban, sőt a fenyőfélék (*Pinaceae*) családjába tartozó fajok gombapartner nélkül sokszor nem életképesek.



6.3.1. ábra: A talajok élő és élettelen alkotói, és a talajok élőlényközösségeinek megoszlása (Szabó, 2008 alapján)



6.4.2. ábra: A gyűrűsférgek életmód szerinti elkülönülése

A mikorrhizáknak morfológiailag két fő típusa van: a hazai erdők fáival együttélő ektomikorrhizák és a többnyire lágyszárú növényekkel szimbiózisban élő endomikorrhizák. Az ektomikorrhiza gombák a tömlős (*Ascomycota*) és bazídiumos (*Basidiomycota*) gombák fajai közül kerülnek ki. Becslések szerint az ektomikorrhizát képző gombafajok száma globálisan nyolcezerre tehető. Ismert kalaposgombáink nagy része szoros, akár fajspecifikus mikorrhiza-kapcsolatban él. Az ektomikorrhiza gombák hifái a gyökerek sejtjei közötti járatait kolonizálják, a sejtekbe nem hatolnak be, a partnerek közti tápanyagátadást biztosító hálózatot, úgynevezett Hartig-hálót hoznak létre és a gyökerek felszínén sajátos struktúrájú szövedéket, köpenyt alkotnak, melyből hifáik a talajba nőnek. A mikorrhizák másik nagy csoportja az endomikorrhiza, ahol a gombahifák behálózják a gyökerek sejtjei közötti járatait, és behatolnak a sejtekbe is. Az endomikorrhizák két kisebb és specifikusabb csoportja a hangafélékkel együttélő erikoid mikorrhiza gombák és a vadon élő orchideák szimbiontái. A legősibb és legerősebb mikorrhizatípus az arbuskuláris mikorrhiza (AM). Az AM gombák (*Glomeromycota*) a szárazföldi növények közel 90%-ával élnek nem gazdaspecifikus szimbiózisban. A hazai erdőkben elsősorban a lágyszárú aljnövényzet fajaival és a rózsafélékhez tartozó fás szárúakkal, továbbá a kőris-, szil-, nyár-, akác-, juhar-, éger- és fűzfajokkal élnek együtt, egyes fajok gazdanövényei lehetnek ektomikorrhiza-képző és AM gombáknak. A mikorrhiza gombák hifáinak kiterjedt hálózata nemcsak tápanyagszállító, elosztó funkciót tölt be, hanem hatalmas biomasszája révén tápanyagok raktára is. A mikorrhizás gyökerek rizoszférája a mikorrhizoszféra egy speciális mikrobiális közösséget tart fenn, melyben a növényi növekedést és a mikorrhizaképzést elősegítő baktériumok nagyobb gyakorisággal vannak jelen. Ilyen mikroorganizmusok például a szabadonélő, gyökéraszociált és a pillangósok gümőképző nitrogénfixálói vagy például a foszformobilizáló baktériumok. A szerves anyagban



Epigeic : *L. rubellus*



Endogeic : *A. caliginosa*



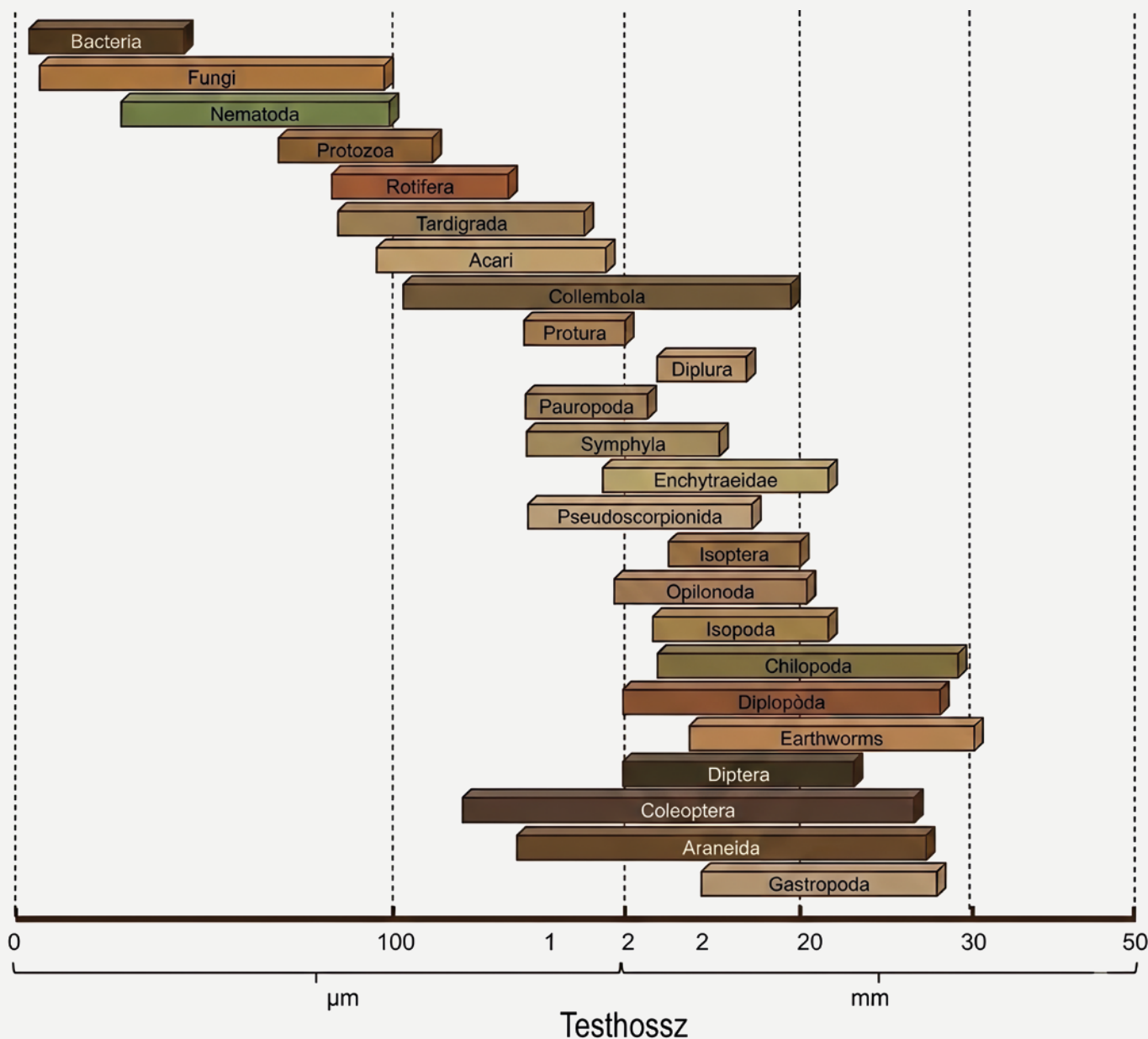
Anecic : *A. longa*

gazdag felsőbb rétegekben a szaprotróf gombák gyakoribbak, a talajmélység növekedésével a mikorrhiza gombák dominanciája nő. A talajok kémiai tulajdonságainak vertikális változásai, különösen a kémhatás és szervesanyag-tartalom, a kicserélhető kationok és a felvehető foszfor mennyisége meghatározóak a gombaközösségek összetételének alakulásában. A gombák hifahálózata a talajszemcsék összetapasztása, kötése révén aggregátumokat hoz létre, ami a talajok szerkezetét, vízmegtartó képességét javítja. Az AM gombák által termelt glomalin a talajok jelentős és tartós szénraktára. A talajban élő baktériumok és gombák között verseny folyik a tápanyagokért. A nitrogén mennyisége az erdei talajokban limitált. Az ektomikorrhiza-képző gombák térfoglalással, gyorsabb tápanyaghasznosítás révén és antimikrobiális anyagok segítségével gátolhatják a szabadon élő szaprotróf gombák növekedését (Gadgil-hatás), amelynek következtében az erdei talaj szerves anyagának lebomlása lassul.

6.4. Az erdőtalajok meghatározó élőlényközösségei: a talajfauna

A talajfauna méret szerinti csoportosítása és általános funkciói

A talajban élő állatokat a szakirodalom hagyományosan testméretük alapján mikro-, mezo-, makro- és megafaunára osztja (6.4.1. ábra). Az erdei talajok faunájához tágabb értelemben a megafauna üregászó tagjai is kapcsolódnak, amelyek 10 cm-nél nagyobb testméretűek, például a róka, a borz és a vakond. A makrofaunába a 2 mm–10 cm közötti testméretű fajok tartoznak, mint a gyűrűsférgek (*Annelida*), hangyák (*Formicidae*) és egyéb rovarok, főleg azok lárvái, valamint a száz- és ezerlábúak (*Chilopoda*, *Diplopoda*) és az ászkák (*Isopoda*). Az erdei talajokban a makrofauna – különösen a földigiliszták – jelentős biomasszát képvisel (10–80 g/m²).



6.4.1. ábra: A talajfauna méret szerinti csoportosítása

A mezofaunát a 0,2–2 mm testméretű, rendszertanilag és ökológiailag változatos állatcsoportok alkotják, például a televényférgek (*Enchytraeidae*), előrovarok (*Protura*), szövőcsévések (*Symphyla*), lábaspotrohúak (*Diplura*) és álskorpiók (*Pseudoscorpiones*). A két legjelentősebb mezofauna-csoport az ugróvillások (*Collembola*) és az atkák (*Acari*), egyedszámuk mérsékelt övi erdei talajokban elérheti a 10 000–40 000 egyedet négyzetméterenként.

A mikrofauna a 0,2 mm-nél kisebb testméretű szervezeteket foglalja magában – például a fonálférgeket (*Nematoda*), a kerekcsigákat (*Rotatoria*), valamint az állati egysejtűeket: az amőbákat (*Amoebzoa*), az ostorosokat (*Flagellata*) –, amelyek elsősorban a talajszemcséket körülvevő vízhártyában élnek, szoros kapcsolatban a baktériumokkal és gombákkal. Bár méretük kicsi, rendkívül nagy egyedszámmal rendelkeznek, és fontos szerepet játszanak a tápanyagok gyors körforgásában.

Vertikális eloszlás és életmód a talajban

A talajfauna tagjai nem egyenletesen oszlanak el a talajprofil mentén, hanem eltérő mélységekhez és mikroélőhelyekhez kötődnek. Ez az

úgynevezett vertikális tagoltság szorosan összefügg az egyes csoportok morfológiai és életmódbeli sajátosságaival.

A gyűrűsférgek példáján jól szemléltethető ez a tagoltság. Három fő életmódcsoporthoz különíthető el:

- avarlakók (*epigeic*), amelyek az avarban és a humuszos felső rétegben élnek;
- talajlakók (*endogeic*), amelyek mélyebben élnek, főként vízszintesen mozognak, a talaj szerves anyagait fogyasztják, és fontos szerepük van a talaj porozításának fenntartásában;
- mélyben aknázók (*anecic*), amelyek állandó, függőleges járataik révén a felszínnel is összeköttetésben állnak; rendszerint esténként jönnek elő, ilyenkor növényi maradványokat húznak a járataikba, majd ott fogyasztják el azokat (6.4.2. ábra).

A mezofauna számos csoportjánál szintén jól megfigyelhető a vertikális elkülönülés, amelynek alapján epiedafikus, hemiedafikus és euedafikus életformákat különböztetünk meg. Az egyes életformák közötti különbségek morfológiai bélyegeken is tükröződnek.



6.4.3. ábra: Vertikális morfológiai elkülönülés pilisi gyertyános-tölgyes talajában ugróvillások példáján

A felszíni (epiedafikus) formák általában erősebben pigmentáltak, gyakran szőrözöttek, testméretük nagyobb, és fejlettebb függelékekkel (pl. csápokkal, lábakkal) rendelkeznek. Ezzel szemben a talaj mélyebb rétegeiben élő (euedafikus) fajok testpigmentációjuk és látása redukált vagy hiányzik, függelékeik megrövidültek, ami a stabil, fénymentes környezethez való alkalmazkodást tükrözi (6.4.3. ábra).

A talajszerkezet befolyásolása

A megafauna üregászó tagjai a járatrendszerük kialakításával jelentős mértékben alakítják a talaj fizikai szerkezetét. Tevékenységük elősegíti a talajrétegek keveredését, valamint a makropórus-hálózat kialakulását és fennmaradását, ami összességében javítja a talaj víz- és levegőforgalmát, illetve a szerves anyag térbeli eloszlását. Hasonló funkciót töltenek be a földigiliszták (*Lumbricidae*) is, amelyek bár egyenként kisebb talajtérfiguratot mozgatnak meg, nagy egyedszámuk miatt szerepük a talajszerkezet alakításában kiemelkedő: járataik tartós makropórusokat hoznak létre, amelyek alapvetően hozzájárulnak a talaj szerkezeti stabilitásához. A járatfalakat borító bőrváladék (mucus) kötőanyagként működik, növeli a talajaggregátumok kohézióját és a makropórusok tartósságát, ezáltal hosszú távon javítja a talaj vízbefogadó képességét és levegőellátottságát. Emellett a váladék könnyen hozzáférhető szénforrást biztosít a mikroorganizmusok számára, fokozva a járatok mentén kialakuló mikrobiális aktivitást.

A hangyák szintén fontos ökoszisztéma-mérnökök, különösen olyan élőhelyeken, ahol a földigiliszták előfordulása korlátozott. Járatrendszerük révén hozzájárulnak a talaj szerkezetének javításához, miközben raktározó tevékenységük jelentős mennyiségű szerves anyag visszajuttatásával növeli a talaj heterogenitását.

A talajfauna szerepe a lebontó folyamatokban

Az erdei ökoszisztémák egyik kulcsfolyamata a lombavár lebontása, amelyet döntően a talajbiológiai közösségek irányítanak. A talajlakó gerinctelenek tevékenysége alapvető jelentőségű az energia- és tápanyagkörforgásban, és általánosságban elmondható, hogy a talajfauna nagyobb diverzitása gyorsabb lebontási folyamatokkal jár együtt. Az erdei avar és egyéb holt szerves anyag lebontása többlépcsős folyamat, amelyet a talajfauna és a mikroorganizmusok szoros kölcsönhatásban hajtanak végre. A makrofauna elsődleges szerepe a szerves anyag mechanikai feldarabolása és a talajba keverése, amely növeli a lebontásra rendelkezésre álló felületet. Ezen belül a bogarak közül a ganéjtúrók (*Scarabaeoidea*) főként állati eredetű szerves anyagot, például ürüléket temetnek a talajba, míg a temetőbogarak (*Silphidae*) elhullott állatokat dolgoznak be. E tevékenységük nemcsak lárváik számára biztosít táplálékot, hanem jelentős mértékben visszaforgatja a tápanyagokat a talajba. A lehullott lomb nagy részét az ászkák (*Isopoda*) és az ezerlábúak (*Diplopoda*) aprítják fel. A földigiliszták nemcsak aktívan fogyasztják a holt szerves anyagot, hanem azt a mélyebb talajrétegekbe is szállítják, és ezáltal kedvező

feltételeket teremtenek a mikrobiális lebontás számára. Járataik révén a talaj szerkezetének átalakításával az aerob lebontási folyamatokat is elősegítik.

A mezofauna egyes csoportjai – többek között az előrovarok (*Protura*), a szövöcsészek (*Symphyla*), az ugróvillások (*Collembola*) és egyes atkák, különösen a páncélosatkák (*Oribatida*) – a szerves anyag további finomaprításában játszanak szerepet. Emellett közvetetten hozzájárulnak a lebontáshoz a mikrobiális közösségek szabályozásával, aktivitásuk serkentésével, valamint a baktériumok és gombák terjesztésével.

A táplálékhálózati szerep és a természetes szabályozás

A talajban számos növényevő faj él, amelyek főleg lárvá alakban jelentős kártevők lehetnek: a gyökerek megrágásával vagy később a lombon táplálkozva gyengítik a növényeket. Egyes rovarok életciklusuk nagy részét a talajban töltik: például a kabócalárvák (*Cicadidae*) akár tizenhét évig is fejlődhetnek a föld alatt. Lárváik a növények gyökerében élnek, és a nedveket szívogatva nőnek több vedlés során. Hasonlóképpen a talajban élő fonálférgék (*Nematoda*) egy része is növényevőként viselkedik, a gyökereket károsítva, és így a talajlakó kártevők közé sorolható.

Az avarban és a korhadó növényi anyagban számos ragadozó faj él, amelyek a talajkártevők állományát szabályozzák. Az erdőkben a legjellegzetesebbek a százlábúak (*Chilopoda*), a futóbogarak (*Carabidae*), az álskorpók (*Pseudoscorpiones*) és a kaszáspókok (*Opiliones*). A talaj mélyebb rétegeiben jóval kisebb ragadozókkal találkozunk, amelyek a repedéseket, pórusokat vagy más állatok járatait használják mozgásra. Ezek közül a legnépesebb csoportot a ragadozó atkák (pl. *Mesostigmata*) alkotják: mikroszkopikus, kerekded testű, nyolclábú állatok, szűrő-szívó szájszervvel, amelyek főként fonálférgekkel és ugróvillásokkal táplálkoznak.

A talajban élő ragadozó fonálférgék ugyancsak a talaj kártevőit szabályozzák: más fonálférgekkel, rovarlárvákkal és egyéb talajlakó gerinctelenekkel táplálkoznak, ezzel közvetetten hozzájárulva az erdei ökoszisztémák stabilitásához és a tápanyagkörforgás szabályozásához.

A talajfauna számos erdei gerinces és gerinctelen faj számára alapvető táplálékforrást biztosít. A fonálférgék, ugróvillások és atkák kiemelt szerepet töltenek be a madarak, kétélűek és kisemlősök táplálkozásában, különösen olyan időszakokban, amikor a felszíni táplálékforrások korlátozottak. E fajok többsége hasznos élőlény, amely közvetetten hozzájárul a ragadozók túléléséhez, még akkor is, ha a kártevők száma alacsony, ezzel támogatva az erdei táplálékhálózat stabilitását.

Bioindikáció és erdőgazdálkodási jelentőség

A talajfauna, különösen a mezofauna és a földigiliszták, érzékenyen reagálnak a talaj fizikai és kémiai tulajdonságainak változásaira, így megbízható bioindikátoroknak tekinthetők. A mezofauna – például

az ugróvillások és az atkák – gyors szaporodásuk, magas egyed-számuk és helyhez kötött életmódjuk miatt korán jelzi a környezeti változások finom hatásait, például a talajnedvesség, a pH és a szerkezet módosulását. Kedvezőtlen körülmények között ezek a fajok a mélyebb talajrétegekbe húzódnak, nyugalmi állapotba kerülhetnek, vagy állományuk lecsökkenhet. A földigiliszták esetében az anecikus és endogeikus fajok fajösszetétele, biomasszája és járataktívítása szintén érzékenyen tükrözi az erdei talaj állapotát és az erdőgazdálkodási beavatkozások hatásait. Az anecikus giliszták aktivitása különösen jó indikátora a talaj aggregátum-stabilitásának és a szerves anyag körforgásának, míg az endogeikus fajok érzékenyen reagálnak a talajnedvesség és a pH változásaira. Összességében a talajfauna közösség szerkezete és összetétele megbízható információt nyújt az erdei ökoszisztémák állapotáról, valamint a környezeti stressz vagy a gazdálkodási beavatkozások hatásairól.

Az erdészeti beavatkozások hatása a talajfaunára.

Az erdészeti munkák, például a gyérítések, lékek nyitása, véghasználatok, jelentős hatással vannak a talajfaunára, elsősorban a talaj fizikai és kémiai tulajdonságainak, az avar mennyiségének és minőségének, a tápanyag-dinamikának, valamint a mikroklimatikus viszonyoknak a módosításán keresztül. A felszínközeli fajok gyorsan reagálnak a zavarásokra, míg a mélyebb talajrétegekben élő euedafikus csoportok lassabban, a talaj pufferkapacitása miatt.

Az avar és a mikrobiális közösségek változásai alulról felfelé ható (bottom-up) közvetlen folyamatokat indítanak el. Az avarmennyiség csökkenése tovább fokozza a mikroklimatikus ingadozásokat, növeli a hőmérsékletet és a fénybehatást, miközben csökkenti a levegő páratartalmát, ami közvetett módon szintén befolyásolja a talajfauna reakcióit.

A hatások mértéke az erdőkezelés intenzitásától függ. Az alacsony intenzitású beavatkozások, például a kisebb erélyű gyérítések és a felújítások kezdeti bontóvágásai, általában megőrzik a talajfauna összetételét és denzitását. Ezzel szemben a nagyobb zavarással járó kezelések, különösen a tarvágás, csökkenti az egyedszámot és a diverzitást, kiemelten az érzékeny csoportok, például az atkák, *Protura* és *Collembola* esetében. A taxon-specifikus életstratégiák, a szezonális dinamika és a helyi tényezők (talajtípus, domborzat, a beavatkozás óta eltelt idő) tovább alakítják a fajok reakcióit. A hosszú távú regeneráció, különösen a K-stratégista csoportok, mint a páncélosatkák esetében, több évig is eltarthat, míg az r-stratégisták populációi, például a *Collembola*, gyorsabban képesek helyreállni.

Mind az erdőkezelés típusa és intenzitása, mind az azt követő természetes regeneráció jelentősen befolyásolja a talajfauna összetételét és az ökoszisztéma-funkciókat. A fenntartható erdőgazdálkodási gyakorlatok, amelyek megőrzik a lombtakarót, az avarmennyiséget és a mikroklimatikus puffereket, kulcsfontosságúak a talaj biodiverzitásának, valamint a lebontási és tápanyag-körforgási folyamatok fenntartásában.

7.1. A klímaváltozás várható hatása a talajok tulajdonságaira és funkcióira

A klímaváltozás az erdők talajára direkt és indirekt hatásokat fejt ki, melyek a kiindulási feltételek mentén nagyon eltérőek és diverzifikáltak lehetnek. A hatások között azonnali és hosszú idő alatt kifejlődő változásokat egyaránt találunk, melyek jellemzően kaszkádhátsként és egymásra rakódva is mozgathatják az átalakulási folyamatokat. A talajok tulajdonságaira közvetlenül és a talajban lejátszódó fizikai, kémiai és biológiai folyamatok befolyásolása révén is kihatnak. Abban, hogy a klímaváltozás hatást gyakorol az erdő talajára, alapvetően semmi meglepő nincs, hiszen a talaj fejlődési folyamatait leíró fejezetben láttuk, hogy a klíma önmagában is az egyik legmarkánsabb talajképző tényező.

Az alábbiakban rendszerezve mutatjuk be azokat a klímaváltozástól eredő hatásokat, amelyekkel szemben erdőtalajaink kitettsége egyértelműen azonosítható.

Fizikai hatások

Hőmérséklet-változások: Hazánkban a klímaváltozás következményeként a középhőmérséklet emelkedése, a hőség ($T_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$) és a forró napok ($T_{\max} \geq 35^\circ\text{C}$) számának növekedése jellemző. Ezzel együtt a növekvő átlaghőmérsékletek értelemszerűen megnövelik a talajok hőmérsékletét is. Ez a hatás leginkább a talajfelszínen érvényesül, a mélységgel csökkenő hatékonysággal. Az egyes mélységekre vonatkozóan a 7.1.1. ábra mutat példát, hogy egy alföldi feketefenyves esetében hogyan változik az éven belüli talajhőmérséklet a mélységgel. Minél mélyebbre megyünk, a hőmérséklet annál kiegyenlítettebb, és a napi ingások egy méteres mélység táján eltűnnek, ám a szezonális változások két méter mélyen is érzékelhetők, ugyanakkor a maximumok és minimumok időben jelentős eltolással jelentkeznek a mélyebb talajrétegekben. Miközben a talajfelszín hőmérséklete augusztus közepére – nyár végére – éri el a maximumot, 22°C környéki értékkel, addig a két méter mélyen lévő talajréteg csak 1–1,5 hónappal később, szeptember végére melegszik fel leginkább – ebben az esetben – mintegy 16°C körüli hőmérsékletre. A tél folyamán hasonló folyamat játszódik le, a felső talajrétegek január közepére hűlnek le legjobban, míg a két méteres mélység csak március elejére éri el a minimumhőmérsékleti értékeit. Ezek a hőmérsékleti változások nagy szerepet játszanak a fák fiziológiai folyamataiban, a fenológiai fázisok vezérlésében, végső soron a vegetációs időszak hosszának kialakulásában.

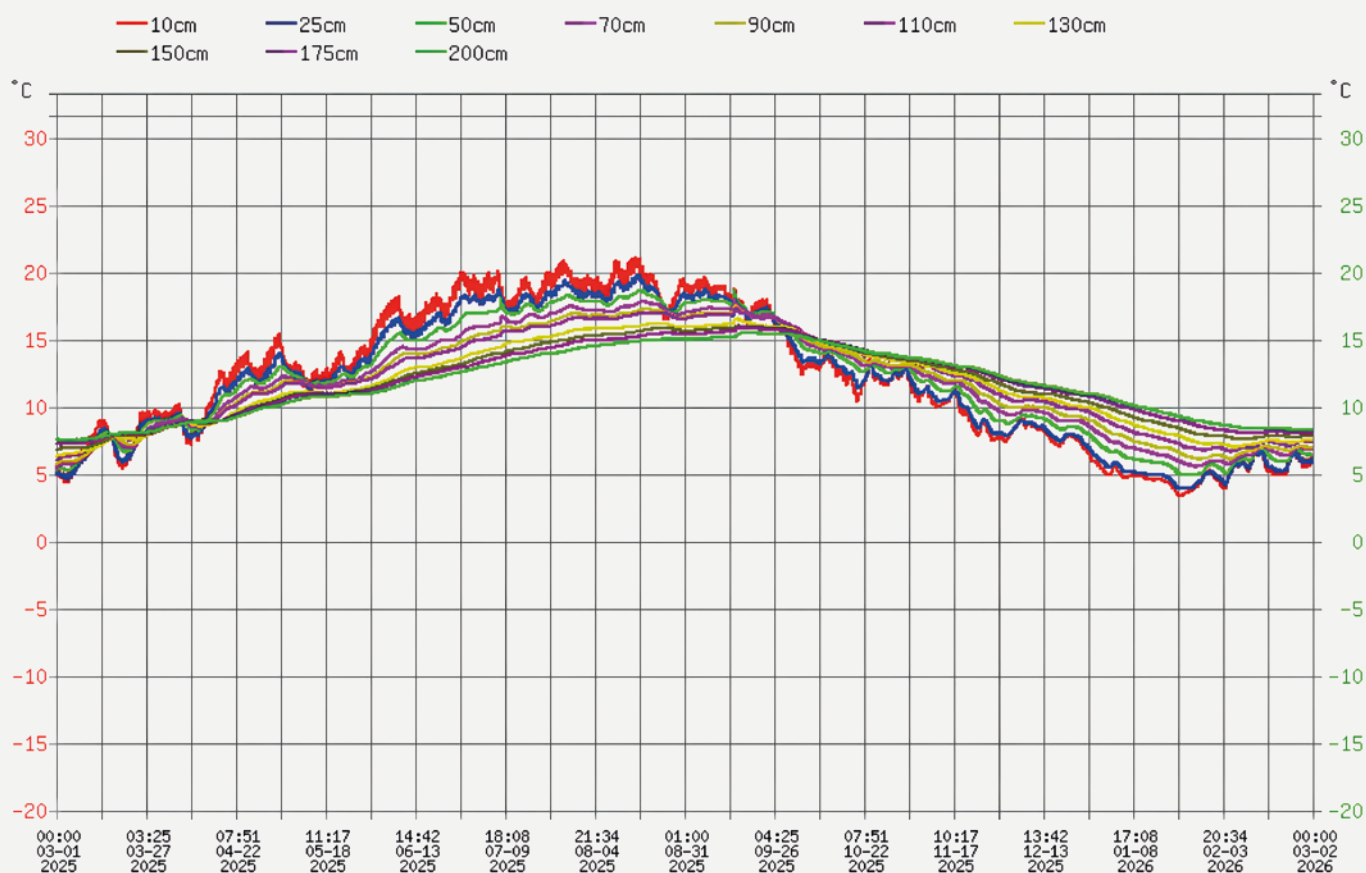
A növekvő talajhőmérséklet növeli a talajfelszín párolgását, ezzel gyorsítja a felső talajrétegek kiszáradását. A kiszáradt talaj nehezebben fogadja be a csapadékot, mert tovább tart az átnedvesedése, így megemelkedik a felszíni elfolyás aránya. Mindez pedig növeli az eróziós károk kockázatát is, mivel több víz, nagyobb mozgási energiával fog lefolyni az esésvonal irányában. Különösen igaz ez a ritkább, de meg-növekedett intenzitású csapadékesemények alkalmával, melyek jellemzően a legmelegebb időszakokban mutatnak növekvő gyakoriságot.

Szélsőséges esetben a túlságosan magas talajhőmérséklet a talaj élővilágának pusztulását is okozhatja az átforrósodó talajrétegekben. Ezért nagy jelentősége van a talajfelszín árnyalásának, illetve borítottságának, ami nem csupán a direkt besugárzás mértékét csökkenti, de fékezi a párolgást is. Globálisan a legnagyobb aggodalom a permafroszt területek talajainak felolvadását övezi, amely egyre növekvő területeket érint. A felolvadó talajokban újraindul a mikrobiológiai aktivitás és vele együtt a szerves anyagok lebomlási folyamatai, melyek a szén-dioxidon kívül jelentős mennyiségű metán felszabadulásával is járnak, aminek az üvegház hatása a szén-dioxidénak a százszorosa.

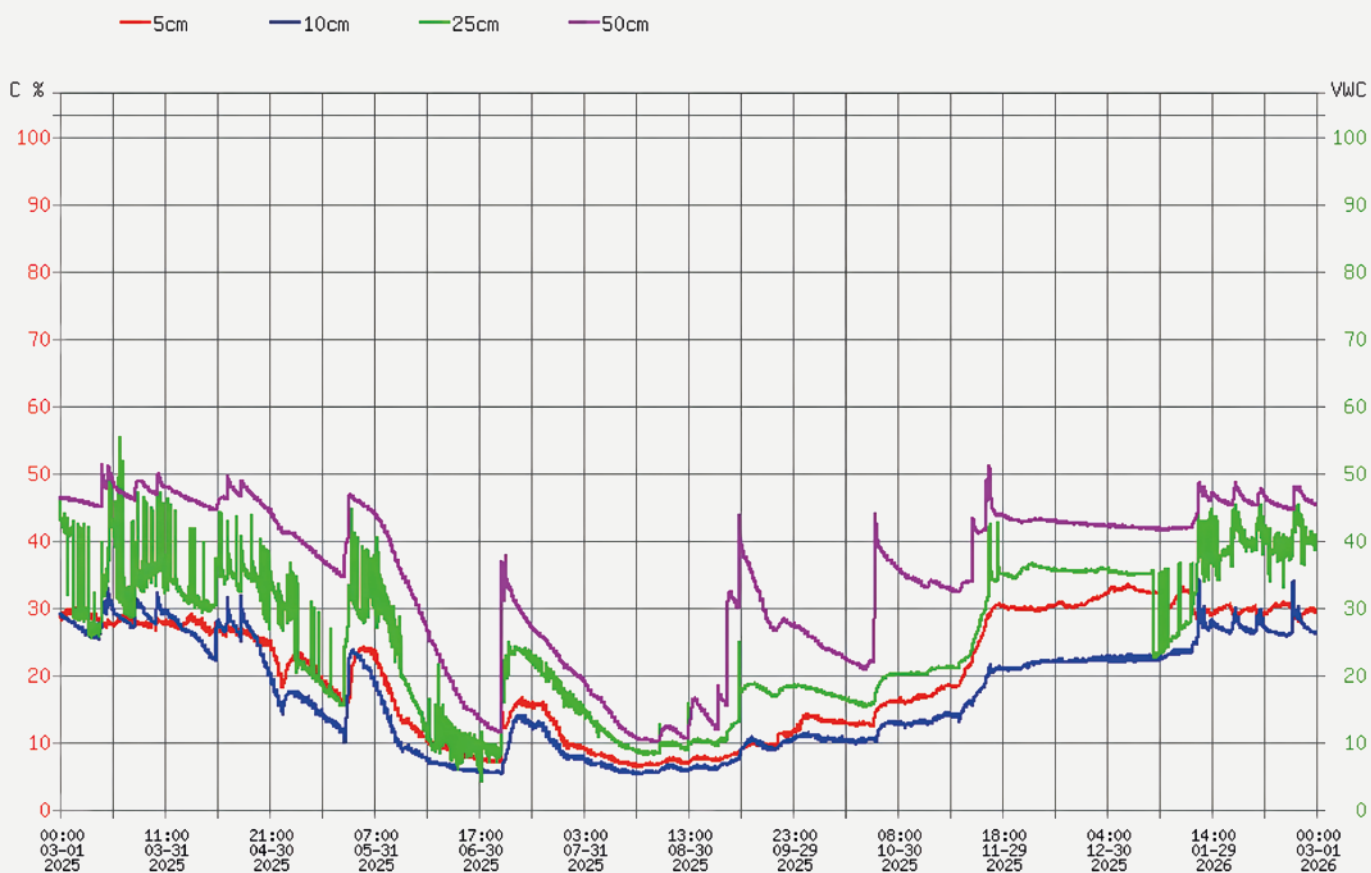
Az emelkedő hőmérséklet – különösen a vegetációs időszakban – jelentősen megemeli a párolgási kényszert, a talaj-növény rendszerek evapotranspirációját. Egy fok hőmérséklet-emelkedés 7%-kal növeli a levegőben páráként tartható víz mennyiségét. Amikor a nyári átlaghőmérsékletek $3\text{--}4^\circ\text{C}$ -kal is meghaladhatják a referencia-időszaki értéket, akkor az, hogy ugyanazt az állapotot fenntartsuk, mint ami a klímaváltozás előtti időket jellemezte, durván 30%-kal több csapadékot igényelne a nyári hónapokban. A magyarországi eddigi $1,6^\circ\text{C}$ -os átlaghőmérséklet-emelkedés mellé legalább 10%-os csapadéktöbblet lenne szükség, főként a nyári hónapokban amellet, hogy a téli csapadékfeltöltés is megmarad. Ez sajnos azonban nem valósul meg. A tartós téli hóborítás évtizedek óta nincs meg, ami télen is szárítja a talajokat. A nyári csapadékhány pedig a téli feltöltődés nélkül teljesen eltűnteti a növények számára hozzáférhető vizet a többlet vízhatástól független talajokból. Ebből a szempontból teljesen mindegy, hogy ha két méter mély és jó víztartó képességű talajunk van is, akár 300 mm potenciálisan felvehető vízkészlettel. Ez a tartalék utánpótlás híján egy-két vegetációs időszak alatt eltűnik a talajból. A 7.1.2. ábra a talajnedvesség (VWC – volumetric water content) éves alakulását mutatja egy Gyöngyössolymos községhatárába eső erdőrészletben.

A 7.1.2. ábra alapján látható, hogy a talajnedvesség éppen fordított mintát követ az éves alakulásában, mint a talajhőmérséklet abban a tekintetben, hogy a vegetációs és különösen a fő növekedési időszakban lecsökken a talajrétegek víztartalma a megemelkedő párolgás és növényi vízfelvétel miatt. Amennyiben a kilúgzási folyamatok akadálymentesen tudnak érvényesülni egy átlagosan jó vízvezető képességű talajban, akkor a mélyebb rétegek felé a víztartalom növekszik az agyagtartalom növekedésével, a hőmérséklet csökkenésével és a növényi vízfelvétel csökkenésével, ahogy kikerülünk a fő gyökérszónából. A 7.1.2. ábra jól szemlélteti, hogy az erdőállomány egy gyakorlatilag csapadékteljes (4 mm) június mellett öt hét alatt teljesen felhasználja a felső 50 cm vízkészletét, 50%-ról 10%-ra csökkentve a talaj víztartalmát.

A hőmérséklet emelkedése együtt jár a fagypon alatti hőmérsékletű napok számának csökkenésével, ami a fagyott felszíni víz hiánya miatt a kőzetek fizikai aprózódásának mértékét csökkenti.



7.1.1. ábra: A talajhőmérséklet változása egy fekete fenyő állományban



7.1.2. ábra: Példa a víztartalom éves változására különböző talajmélységekben

Erózió: A vízerózió mértékét alapvetően a csapadék- és lejtőviszonyok, a talaj nedvességi állapota, vízgazdálkodása, szerkezete és a növényborítottság határozza meg.

A szélsőséges időjárási viszonyok, a heves esőzések hatására a vízeróziós károk növekedése várható. A hirtelen lezúduló nagy mennyiségű csapadékot a talaj nem képes teljes mértékben befogadni, ami a talajszemcsék elmozdulását eredményezi a lejtős területeken.

Az esőcseppek a talaj szerkezeti elemeit is károsíthatják (csepperózió), különösen akkor, ha a csapadék hosszabb száraz periódus után érkezik, amikor a talaj felszíne már jelentősen kiszáradt. Ilyen esetben az esőcseppek a talajmorzsák szétrobbanását okozhatják. A másik véglet, amikor a talaj telített; ekkor már kisebb hevesességű eső is felületi lefolyást vált ki (sárfolyás).

A talaj víznyelő és víztartó képessége is jelentősen hat a degradáció kialakulására, mértékére. A víznyelő képesség tekintetében legnagyobb szerepe a felszín vízgazdálkodásának van, a mélyebb talajrétegek vízáteresztő képessége viszont az egész szelvény beázását és a huzamosabb ideig tartó csapadékok talajpusztító hatását is meghatározza.

A talajok szerkezete részben a vízgazdálkodást módosítja, részben meghatározza a talaj erodálhatóságát. Utóbbi lényege, hogy a nagyobb, víznek jobban ellenálló szerkezeti elemek nehezebben mozdíthatók el a helyükről, mint az elporosodott talajszerkezet részei. A jó szerkezetű talajok vízvezető és víztartó képessége egyaránt kedvező.

A különböző növénytakarók vízeróziót mérséklő hatása között jelentős különbségek vannak. Mind közül a legkedvezőbb hatású lehet az erdő, különösen, ha az többszintes: első és második lombkoronaszinttel, cserje- és lágyszárú szinttel is rendelkezik. Az erdő lombkoronája, aljnövényzete és az alomtakaró is jelentősen csökkenti a csepperóziót, és növeli a vízvisszatartást. Az alomtakaró ezen túl megakadályozza a talaj kiszáradását, védi annak szerkezeti állapotát.

A hegységek kopárjain, illetve a korlátozott víztárolási képességű, sekély termőrétegű (pl. köves-sziklás váztalaj, rendzina) talajokon a talajborítás mértéke tovább csökkenhet az erózió hatására, ami a szárazodó klímával társulva a zárt erdők fennmaradását is veszélyezteti ezeken a határtermőhelyeken.

E folyamat során a klímaváltozás csapadékhányt okoz, ami a növényzet borításának kiritkulásával megnöveli a borítatlan talajfelszín arányát. Ezeken a területeken az intenzív csapadékesemények nagyban növelik az eróziós károk valószínűségét és mértékét, ami egy pozitív visszacsatolású folyamatként jelentkezik. Minthogy a kiritkuló növényzet miatt nő a csupasz talajfelszín felülete, a növények gyökerei híján nincs mi megtartsa a talajtestet. A hirtelen, nagy mennyiségű víz nagy mozgási energiával jelentős károkat tud okozni a talajszerkezetben. A lepusztuló talaj még kevesebb vizet képes elraktározni, így tovább ritkul a növényzet, amivel új felületek nyílnak meg az erózió előtt.

A zárt füves pusztáknak az erdőkhöz hasonló, kedvező hatásuk van a talajok erózióval szembeni ellenállását tekintve.

Az erózióknak leginkább kitett területek a legeltetett, illetve a szántóként művelt területek. A művelés hatására betömörített, leromlott szerkezettel, elhordott humuszszinttel rendelkező talajokon a növényzet kis fedettsége tovább erősíti az eróziós károkat. A kultúrnövények esetében meghatározó, hogy mely időpontban legteljesebb a talajborítás, és milyen hosszú ideig tart.

A szélerózió (defláció) mértékét elsősorban a szél sebessége és örvényessége határozza meg; befolyásoló tényezői a deflációs területek hossza, a talaj szemcseösszetétele, szerkezetessége és szervesanyag-tartalma, a talajfelszín érdessége és nedvességtartalma, valamint a növényborítottság mértéke.

A talaj szemcseösszetételét tekintve minél kisebb szemcséből áll a talaj, és minél lazábban kapcsolódnak egymáshoz, valamint a talajfelszínhez a szemcsék, annál nagyobb annak a lehetősége, hogy a szél elragadja őket. Azokban a talajokban, melyekben a finom homok az uralkodó és kevés a kolloidális rész (humusz és agyag), a talajszerkezet nem tud kialakulni, így ezek a talajok fokozottan érzékenyek a szélerózióra.

A száraz, szeles időszakokban a légkör magasabb energiaszintje miatt erősebb és gyakoribb deflációs károokra is számítani kell. Amíg a zárt erdőterületek jelentősen mérsékelni tudják a szélesebességet, addig a szárazodás miatt felnyíló erdők a szél döntéseivel szemben is sérülékenyebbeké válnak. A nagy területű, egész domboldalakra kiterjedő szél döntések a talajt is fellazítják, utat engedve a vízerózióknak is a vihartárral sújtott területeken. A szerves talajok különösen kitétek a klímaváltozás káros hatásainak, mivel meghatározó részben szerves anyagokból állnak. Aerob körülmények között gyorsan lebomlanak, teljesen kiszáradt állapotban az alacsony térfogatsúlyuk miatt könnyen áldozatul esnek a szélerózióknak, illetve a talajtűzeknek. Mindezzel az ásványi talajok átlagos széntartalmánál 3–4-szer több szenet juttatnak a légkörbe.

A víz- és szélerózió külön-külön és együtt is felléphet ugyanazon a területen, felerősítve egymás hatásait. Ezek az eróziós károk viszont nemcsak ott okoznak problémát, ahonnan elhordják a talajt, hanem ott is, ahol felhalmozzák azt. A vízerózió esetében ez a talajpusztulás következményeként jelentkező szedimentáció vagy eliszapolás jelensége: a lejtős területekről lepusztult talajrészek leülepednek, amint csökken a felületi lefolyás energiája; és a növényzetet elborítva kárt okoznak. A defláció esetén a mozgó homok ütéshatása következtében károsodik a növényzet (homokverés).

Kémiai hatások

A klímaváltozással együtt járó szárazodás csökkenti a kilúgzási folyamatok hatékonyságát, például az agyagvándorlást, a vízdoldható tápanyagok talajoldatba kerülését, valamint – víz hiányában – a

kémiai mállási folyamatokat. Ahol a klímaváltozás nyomán csapadék-többlet jelentkezik, ott a megemelkedett szén-dioxid- koncentráció a hőmérséklet emelkedésével együtt erősíti a mikrobiális aktivitást, és ez segíti a kilúgzási, savanyodási folyamatokat, amely hazánkban nem jellemző következmény. Ellenben a melegebbé és egyben csapadékosabbá is váló területeken erősödnek a kémiai mállási folyamatok, melyek megbonthatják a talaj tápanyag-szolgáltató képességének eddigi folyamatait. Azokon a területeken pedig, ahol a növekvő hőmérséklet és a csökkenő csapadékmennyiség miatt növekvő párolgási kényszer a növényzet számára még elérhető, sokban gazdagabb talajvízzel párosul, a felfelé irányuló vízmozgás erősíteni tudja a szikesedési folyamatokat. A többlet vízhatással nem érintett melegedő és egyben szárazodó térségekben a kémiai mállást a nedvesség hiánya korlátozza – ahogy fentebb már említettük – ugyanis az elsődleges szilikátok másodlagos szilikátokká (pl. földpátból agyagásvánnyá) való átalakulása többnyire víz jelenlétében történik meg. A kilúgzás mértékének és hatékonyságának csökkenése az erdőgazdálkodásban legjelentősebb barna erdőtalajok szerkezetének esetében az agyagosodási, agyagvándorlási és kovárványosodási folyamatokat fékezi, vagy blokkolja, ami a talajfejlődés leállítását, irányváltását idézi elő hosszabb távon.

Biológiai hatások

A klímaváltozás a talajban lejátszódó biológiai folyamatokra jelentős hatással van. Ezek a hatások működhetnek katalizátorként és inhibítorként is. A hatásokra (pl.: szén-dioxid-szint változás, antropogén eredetű nitrogénterhelés) nem csak a növények, hanem az erdőtalajok baktérium- és gombaközösségei is reagálnak. A megnövekedett CO₂ koncentráció növeli a fotoszintézis hatékonyságát így a szervesanyag képzés mértékét is, ameddig a szükséges víz és egyéb tápanyagok rendelkezésre állnak. A megnövekedett nitrogénigény miatt azonban, ha a lebontási folyamatok nem tudnak ezzel lépést tartani, akkor N-limitáltság alakul ki, visszavetve a növekedési erélyt.

A klímaváltozás nemcsak megváltoztatja az erdő növényeinek produktivitását, hanem fotoszintetikus termékeik, szénraktáraik allokációja is változik azáltal, hogy a szárazabbá váló feltételek mellett a növények gyökérzetük növelésére fordítanak nagyobb energiát. A növények a szárazság enyhítésére és a vízvisszatartás érdekében, kisebb felületű leveleket fejlesztenek, ligninben gazdagabb, vastag sejtfalat és szilárdító szövetet képeznek.

A hőmérséklet emelkedése serkenti a mikrobiális aktivitást, így – megfelelő mennyiségű víz jelenlétében – növekszik a lebontási folyamatok sebessége. Ha az elhalt szervesanyag-képződés mértéke ezzel nem tart egyensúlyt, akkor csökkenhet a talajok szervesanyag-készlete, ami nemcsak a talaj víz- és tápanyag-gazdálkodását érinti hátrányosan, de előidézheti a talajok kibocsátóvá válását is, rontva ezzel az a talajok összesített szénmértékét. A mérsékelt övi erdők talajában a teljes ökoszisztéma szerves szénkészletének kb. 60%-a található, aminek változása hatással lehet az éghajlat és a globális szén ciklus közötti visszacsatolásra is.

Magyarország vonatkozásában az eddigi tényadatok és a jövőre vonatkozó klímaprojekciók alapján eddig úgy fest, hogy az erdőterületek döntő többségének esetében erős vízlimitáltságra kell számítani. A klímaváltozás nyomán a vegetációs időszakban, de különösen nyáron jelentősen megemelkedik mind az átlaghőmérséklet, mind a várható maximum-hőmérsékletek tartománya. Ezt nem követi a csapadékösszeg növekedése, hanem vagy stagnálást, vagy – a megnövekedett párolgási, párologtatási kényszerhez képest – elégtelen mértékű emelkedést, de nagyobb valószínűséggel szignifikáns csapadékösszeg-csökkenést várhatunk a vegetációs időszakokban. (Megj.: Tény, hogy az elmúlt évtizedek vonatkozásában – 1981–2020 – a meteorológiai mérések jellemzően az Alföld és az Északi-középhegység térségére jelentős, 20–40%-os éves csapadékösszeg-növekedést mutatnak, ami „sajnos” összhangban van a pesszimistább klímamodellek jelen időszakra vonatkozó becsléseivel. Azonban ez a növekedés nem kompenzálta a hőmérséklet emelkedéséből származó klímaosztály-eltolódásokat a melegebb és szárazabb típusok felé.) Mindez azt valószínűsíti, hogy talajainkban a melegedés és szárazodás irányába mutató folyamatok lesznek a dominánsak.

A talajok felmelegedése kezdetben emeli a talajlégzés, valamint a lebontás mértékét, ami a kibocsátás felé tolja el a talajok szénmértékét. A növekvő növényi vízfelhasználás és a fotoszintézis intenzitása kezdetben emeli a biomassza-termelést. (Ez az időszak körülbelül a 2010-es évek elejéig lehetett jellemző.) Ezek a hatások kompenzálhatják egymást, idővel azonban a további felmelegedéssel a csapadékösszegek nem tartanak lépést, ami a vízkészletek feltöltődésének hiányában a talajrétegek kiszáradásához vezet, különösen a vegetációs időszakban. A lecsökkenő víz- és tápanyag-szolgáltató képesség csökkenti az elsődleges termelést, és az egységnyi területen fenn tartható biomassza tömegének nagyságát. Az ennek nyomán fellépő mortalitási folyamatok – felnyíló erdők kialakulása – növelik az elhalt szerves anyagok mennyiségét a talajon és a talajban is, ami a lecsökkent intenzitású lebontási folyamatok miatt az elhalt szerves anyagok felhalmozódásával járhat. A szárazság hatására az avar mennyisége csökken, minősége változik, bomlása lelassul. A szerves anyag felhalmozódása a szárazodással együtt növeli az avartüzek előfordulási valószínűségét és súlyosságát is.

A talajnedvesség csökkenésének jelentős hatása van a talajlevegő összetételének alakulására, hő- és tápanyag-gazdálkodására, a talajlakók aktivitására. A talaj felmelegedése és kiszáradása együtt már csökkenti a mikrobiális aktivitást, gátolja a mineralizációt, a tápanyagok mobilitását, felvehetőségét. Egyes vizsgálatok szerint másfél-két évtized alatt jelentősen megváltozhat a talaj élővilágának összetétele is a klímaváltozás következményeként. Hosszabb szárazság hatására ugyanis a lebontási útvonalakban változások következnek be, ahogy a talajbióta életfeltételei romlanak. Egyes csoportok dominanciaviszonyai és végül a talajlakók fajösszetétele is változik, a nagy élettani plaszticitással és tág ökológiai tűrésséggel, gyors akklimatizációs és adaptációs képességgel rendelkező fajok kerülnek előtérbe.

8. Hazai és európai talajinformációs rendszerek és térképek

8.1. A talajinformációs rendszerek szükségessége

A talajokra vonatkozó térképalapú információigény korábban is jelentős volt, napjainkban azonban emellett, hogy bővül, egyidejűleg jellege is változik, mind hazai, mind nemzetközi vonatkozásban. A megfelelő minőségű, megbízhatóságú, reprezentációjú és felbontású térbeli talajinformáció a kutatás mellett a mezőgazdaság, a környezet- és természetvédelem, a területi tervezés számos feladata (agrár-környezetgazdálkodási programok, földértékelés, földhasználat-váltás, környezeti kockázatkezelés, ökoszisztéma-szolgáltatások felmérése, öntözési stratégia, termésbecslés, vízgazdálkodás, stb.), valamint a földhasználók, a szakpolitika formálói, a döntéshozók és a modellező közösség számára egyaránt elengedhetetlen. Ez az elvárás szerencsés módon egybeesik a hatalmas technológiai ugrással, amely a talajokra vonatkozó információk gyűjtésének módjában és azok térbeli becslésének kivitelezésében (összességében a talajtérképezésben) az utóbbi időszakban kezdődött, és jelenleg is zajlik.

A korábban gyűjtött térképezések, felvételezések által szolgáltatott információk hosszú időn keresztül jól szolgálták a felmerült társadalmi igényeket, annak köszönhetően, hogy döntően ez utóbbi igények határozták meg gyűjtésük célját. A talaj multifunkcionalitásának széles körű felismerése azonban éppen a hagyományos, terepi adatgyűjtésre fordítható erőforrások beszűkülésével egy időben következett be. A talajokról hagyományosan gyűjtött adatok körét és az azok alapján szerkesztett térképek tematikáját döntően a talaj – korábban szinte kizárólagosan tekintetbe vett – biomassza-termelésre vonatkozó funkciója határozta meg. Az általánosabb szolgáltatásokkal,

a talaj multifunkcionalitásával kapcsolatos igények csak az utóbbi időben kezdik elérni a kritikus szintet, amelyek kielégítésére a kvantitatív talajtan és a talajtérképezés nyújt megoldásokat. Mindeközben aktuális elvárás, hogy az információ digitálisan és minél szélesebb körben legyen hozzáférhető. Ennek köszönhetően vették át a legfőbb talajtani információhordozó szerepét a talajtani adatbázisok és talajinformációs rendszerek. A korábbi talajtérképek helyébe lépő térbeli talajinformációs rendszerek téradatakkal való feltöltéséről a digitális talajtérképezés gondoskodik.

Az utóbbi évtizedben a térbeli talajinformációk értelmezésében és előállításában paradigmaváltás következett be. Az újonnan előállított talaj-tér adatok tematikájukban, azok reprezentációjában, mélységi jellegükben messze túlmutatnak a korábbi térképek tematikus tartalmain. A térképezett talajtani változókat a tematikai robosztussággal szemben a feladatorientáltság jellemzi, ami utat nyit olyan, általánosabb értelemben vett talajtérképek kidolgozásához, amelyek akár talajfunkciókat, folyamatokat jellemeznek térbeli módon. A talajjellemzők térképi megjelenése kvantitatív térbeli becslés eredménye, melyet kiegészít a predikció globális és lokális bizonytalansága is. Egy adott céltérkép maga is számos realizáció formájában születhet meg, amelyek tematikus tartalmuk, felbontásuk, pontosságuk, megbízhatóságuk szerint különböznek. A térbeli modellezési módszerek bizonytalanságának értékelése lehetővé teszi a predikciók összehasonlítását, illetve optimalizálását.

Jelen fejezet az erdészeti szempontból leginkább releváns hazai és európai talajinformációs rendszerek és téradat-szolgáltatások bemutatására vállalkozik.

portal.nebih.gov.hu/-/ja-tim-azaz-a-talajvedelmi-informacios-es-monitoring-rendszer-

Apple iCloud Bing Google Wikipedia Facebook Twitter LinkedIn Időskép TripAdvisor Blog Erste Bank H...ányszemélyek Mower, Jake ...rop Sciences

nébih

HIVATAL ▾ AKTUÁLIS ▾ ÁLLAT ▾ ÉLELMISZER ▾ NÖVÉNY ▾ ÁTFOGÓ TÉMÁK ▾ KAPCSOLAT ▾

A TIM, azaz a Talajvédelmi Információs és Monitoring rendszer

A TIM célja a talajok minőségi változásainak, környezeti állapotának folyamatos figyelemmel kísérése. Az adatok nyilvánosak és közérdekűek, így például tudományos, kutatási vagy statisztikai adatok kiegészítésére, megalapozására bárki igényelheti.

A Talajvédelmi Információs és Monitoring (TIM) rendszer működtetését jogszabály [2007. évi CXIX. törvény] írja elő a talajvédelmi hatóság számára a talajok minőségi változásainak, környezeti állapotának folyamatos figyelemmel kísérése céljából. A rendszert 1991-ben dolgozták ki, az első mintavételre 1992-ben került sor, és azóta minden évben, szeptember-október környékén vesznek talajmintát a talajvédelmi felügyelők.

A TIM az ország egész területére kiterjed: művelési ágak, tulajdonjog és egyéb szempontok szerinti korlátozás nélkül.

A monitoring tevékenységet az érintett ingatlan földhasználója, kezelője, tulajdonosa tűrni köteles, a mintavétel megkezdéséről az ingatlan tulajdonosát vagy használóját előzetesen értesíteni kell.

A monitoring-tevékenység az ingatlan rendeltetészerű használatát csak a szükséges mértékben akadályozhatja.

A TIM pontok

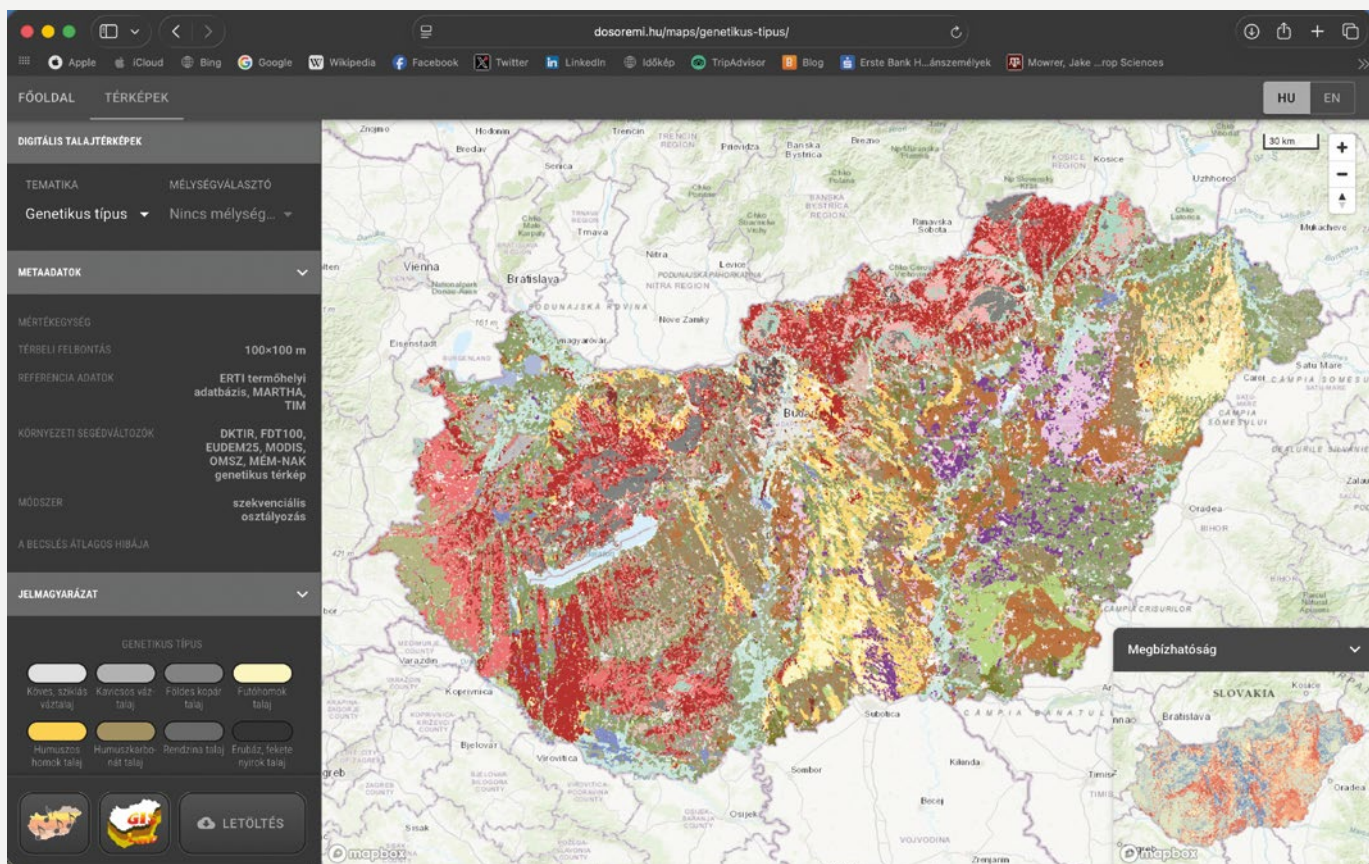
A mintavételi pontok kijelölésénél alapvető követelmény, hogy a pont megfelelően jellemezze a természetföldrajzi egység talajviszonyait, ezzel nyomon követhető a talajállapot és a bekövetkező változások.

Friss hírek

2026. április 1, szerda
Közlemény elveszett „fehér könyvről” (2026.04.01.)
A Komárom-Esztergom Megyei Kormányhivatal Növény- és Talajvédelmi Osztályának tájékoztatása.
TOVÁBB >

2026. április 1, szerda
Közlemény elveszett „fehér könyvről” (2026.04.01.)
A Komárom-Esztergom Megyei Kormányhivatal Növény- és Talajvédelmi Osztályának tájékoztatása.
TOVÁBB >

8.2.1. ábra: A TIM rendszer honlapja



8.3.1. ábra: A DOSoReMI böngészős térképfelülete

8.2. A Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer – TIM

A TIM a talajok környezeti állapotát és minőségi változásait nyomon követő rendszer, amely igyekszik reprezentatív módon, ismétlődő mintavételekkel adatokat gyűjteni és szolgáltatni a talajok állapotról. A rendszert jogszabályi előírás alapján a talajvédelmi hatóság üzemelteti. Az első mintavételek 1992-ben történtek. A hálózat 1236 pontot tartalmaz, amelyből 183 pont található erdőterületen. A vizsgálatokat 3–6 évente ismétlődően végzik el. A kezdeti részletes mintavételt talajszelvény segítségével végezték. A visszatérések alkalmával a pont 50 m-es környezetéből vesznek 9 almintát a 0–30, 30–60 és 60–90 cm-es mélységekből. A TIM rendszert a NÉBIH üzemelteti és térítésmentesen szolgáltat adatokat az adatbázisból (8.2.1. ábra).

8.3. DOSoReMI.hu

A DOSoReMI.hu (Digital, Optimized, Soil Related Maps and Information in Hungary; azaz Digitális, Optimalizált, Általános értelemben vett Talajtérképek és Térbeli Információk) kezdeményezés célja a hazai talajteradat-infrastruktúra megújítása az országos szintű talajteradatokat előállítási és szolgáltatási kereteinek újrarendezésével.

Az elmúlt évek során folyamatosan születtek országos fedettségű, tematikus talajtulajdonság-térképek a talaj egyes rétegeire vonatkozóan, különböző digitális talajtérképezési módszerek felhasználásával. Az egyes célváltozók modellezése különböző térbeli kiterjesztési

eljárások sorával történt, melyek közül az eredménytérképekre elvégzett pontossági vizsgálatok alapján választottuk ki a legjobban teljesítőt és egyben az azt szolgáltató paraméteregyüttest. Az elkészült térképek részben az ún. GlobalSoilMap.net specifikációi szerint, részben azok kisebb-nagyobb mértékű változtatásával születtek a felhasználói igények figyelembevételével. Ezeket túl diagnosztikus talajjellemzőkre vonatkozó unikális, illetve kísérleti jelleggel néhány általánosabb értelemben vett, nagy térbeli felbontású, országos talajtérkép is készült. Az adott jellemzőkről korábban nem születtek térképi alapú elemzések – főképp nem a modellezésben használt egyhektáros felbontásban, az ország teljes területére vonatkozóan.

A digitális talajtulajdonság és általánosabb értelemben vett talajtérképek a dosoremi.hu portálon keresztül érhetők el strukturált módon. A talajjellemzőkre vonatkozó térképek szabadon böngészhetők, a térképek szerkesztett képi formátumban letölthetők (8.3.1. ábra).

8.4. HU-SoilHydroGrids

A HU-SoilHydroGrids egy háromdimenziós talajhidrológiai adatbázis Magyarország teljes területére vonatkozóan, amely 100 méteres térbeli felbontásban, hat talajmélységi szintre, két méter mélységig, országos szintű információt nyújt a leggyakrabban használt talajhidrológiai tulajdonságokról (maximális vízkapacitás, szabadföldi vízkapacitás, holtvíztartalom, telített hidraulikus vezetőképesség és a nedvesség-vízszattartási görbe leírásához szükséges van Genuchten-paraméterek). A hat talajréteg a 0–5 cm, 5–15 cm, 15–30 cm, 30–60 cm, 60–100 cm, 100–200 cm beosztásokkal követi egymást. A HU-SoilHydroGrids

egyedülálló támogatást nyújt országos léptékű talajhidrológiai problémák (mint pl. aszály, belvíz, vízmegtartás stb.) elemzésére irányuló kutatások számára.

8.5. A MARTHA adatbázis

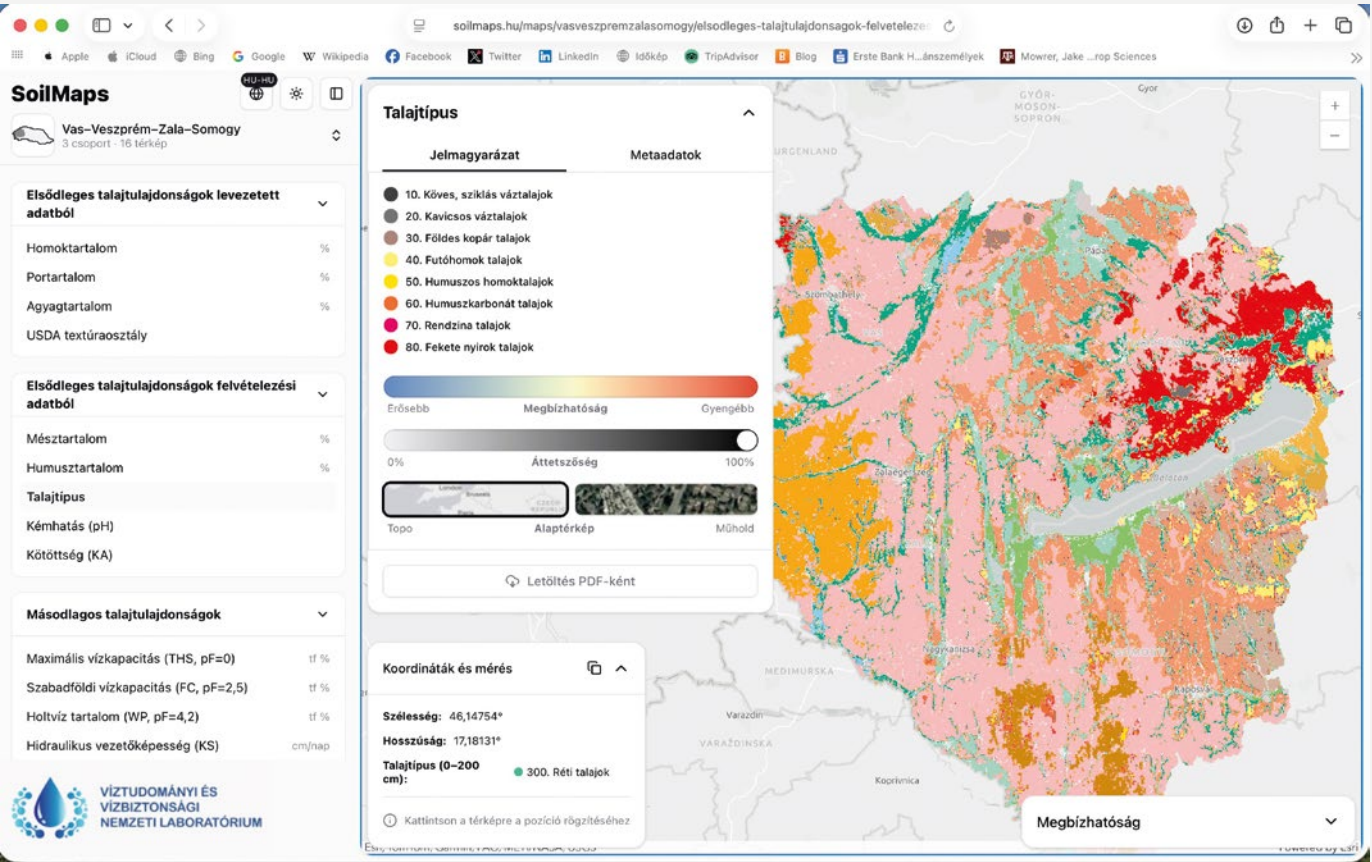
A talaj hidraulikai tulajdonságaira vonatkozó, elegendő mennyiségű adat hiánya gyakran korlátozza a különféle szimulációs modellek alkalmazását (például az ökológiai előrejelzések, a geológiai és hidrológiai veszélyeztetettség-értékelés, valamint az agrár-környezetvédelmi modellezés területén). A talaj hidraulikai tulajdonságainak közvetlen, laboratóriumi mérése ma is összetett, időigényes és költséges eljárás. Ennek következtében régóta élénk érdeklődés övezi azokat a módszereket, amelyek a talaj vízgazdálkodási paramétereit könnyebben, illetve rutinszerűen mérhető talajtulajdonságokból képesek megbecsülni. Ilyen gyakran használt bemenő paraméter például a szemcseméret-eloszlás (mechanikai összetétel), a térfogattömeg, valamint a szervesanyag- vagy szervesszén-tartalom.

A jelenlegi legrészletesebb hazai hidrofizikai talaj-adatbázis a MARTHA (Magyarországi Részletes Talajfizikai és Hidrológiai Adatbázis). Fejlesztőinek célja az volt, hogy összegyűjtsék Magyarországon az összes elérhető, mért talaj-hidrofizikai adatot, és ezeket egységes szerkezetben, harmonizálva egyetlen adatbázisba rendezzék. Az adatbázis jól reprezentálja a művelés alatt álló magyarországi talajokat, és tartalmaz erdő hasznosítású területek talajáról származó adatso-rokat is. A MARTHA 3.2. adatbázis jelenleg 15 142 talajréteg fizikai és

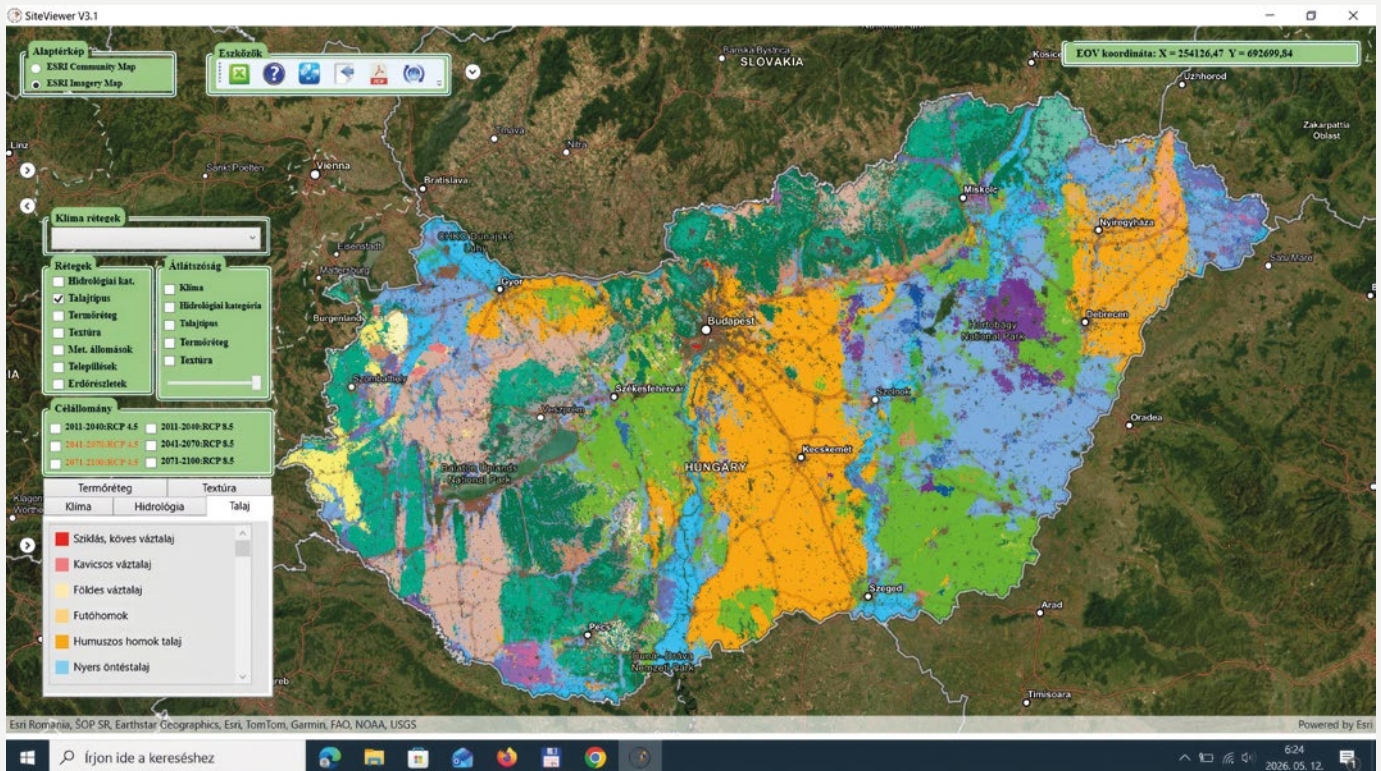
kémiai adatait tartalmazza, amelyek 3970 talajszelvényhez tartoznak. Az általános paraméterek a talajszelvény alapinformációit tartalmaz-zák (azonosító; a minta eredete; a vármegye neve, ahol a szelvény található; EOv- és GPS-koordináták; talajtípus és altípus; a genetikai szintek neve és mélysége; továbbá a talajszelvény fényképe). A kémiai paraméterek tárolják a pH(H₂O) és pH(KCl) értékeket; a savanyúsági jellemzőket (y₁, y₂); a kalcium-karbonát-tartalmat; a só-tartalmat; a kicserélhető nátrium mennyiségét; a Na, K, Ca, Mg kationok összegét (S-érték); a kationcserélő kapacitást (T-érték/CEC); valamint a szer-vesanyag-tartalmat. Végül a fizikai paraméterek a következő jellem-zőket tartalmazzák: a talaj vízvisszatartási jellemzőit (a talaj víztar-talma különböző mátrixpotenciál-értékeknél: -1, -2,5, -10,0, -32,6, -100, -200, -316, -2512, -15 850 és -1 584 893 hPa mellett); a szemcseméret-eloszlást (frakciók: 0,25-2; 0,05-0,25; 0,02-0,05; 0,01-0,02; 0,005-0,01; 0,002-0,005; <0,002 mm); a térfogattöme-get; a szemcsesűrűséget (fajlagos tömeg); az Arany-féle kötöttségi szá-mot (plaszticitás felső határa); a higroszkópos víztartalmat (Sík-féle higroszkóposság); valamint a telített hidraulikus vezetőképessé-get. A talajtulajdonságokat a mérések során a magyar szabványoknak megfelelően határozták meg.

8.6. NATASA adatbázis és az annak alapján szerkesztett nagy méretarányú, mintaterületi digitális talajtérképek

A NAgyméretarányú Talajfelvételezések Szelvény szintű Adatbázisa (NATASA) a Magyarországon az 1960-as és az 1990-es évek között végzett nagy méretarányú talajfelvételezésekből származó, még



8.6.1. ábra: A NATASA-alapú talajtérképek honlapja



8.8.1. ábra: A SiteViewer program felülete

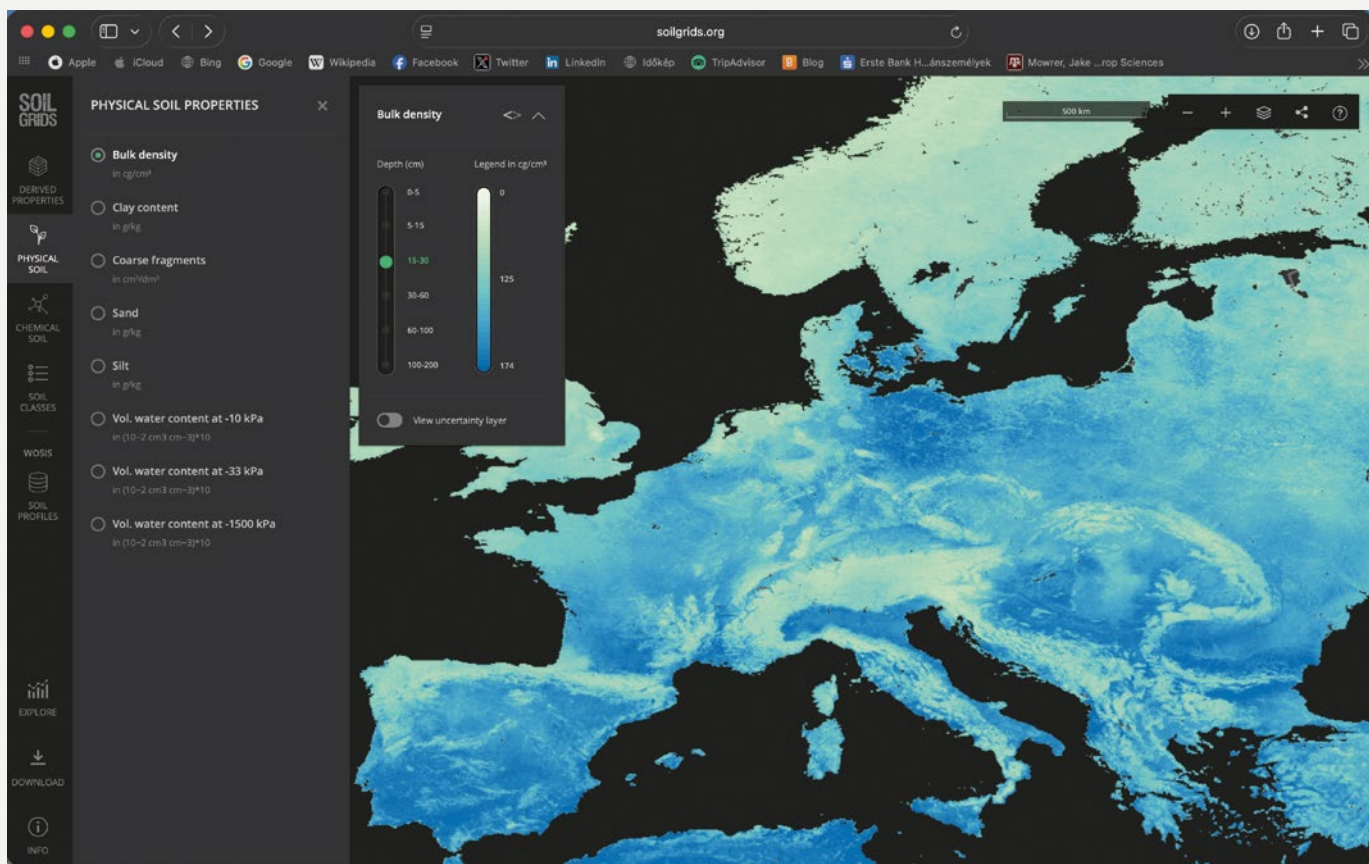
rendelkezésre álló, archív talajvizsgálati adatok megőrzésére és digitális feldolgozására indított NATASA kezdeményezés eredményeképpen jött létre, és a folyamatos adatfeltöltésnek köszönhetően látványosan bővül. A nagy térbeli felbontású talajadatok több, eltérő célú és időszakú felmérésből származnak. Ide tartozik

- az 1960-as évek elején megindult, a mezőgazdasági üzemek területeire kiterjedő, nagy méretarányú (1:10 000) üzemi genetikai talajtérképezés;
- a „100 pontos” termőhely-értékeléshez kapcsolódó 1980–1985 között végzett mintateres talajfelvételezés;
- a szintén a termőhely-értékeléshez illeszkedő, földminősítési célú genetikai talajtérképezés, amely 1986 és 1990 között zajlott.

A különböző célú talajfelvételezésekből származó, papíralapú archív dokumentációk – helyszíni leírások és laboratóriumi talajvizsgálati eredmények – összegyűjtését és rögzítését követően az adatokat modern térinformatikai adatbázisba szerveztük, amely alkalmas a további elemzések és gyakorlati felhasználások támogatására. A feldolgozott adatokból elsőként 25 méter térbeli felbontású, digitális, elsődleges talajtulajdonság-térképek készülnek, amelyek a későbbiekben hasonló térbeli felbontású másodlagos tulajdonság-térképek származtatásához is felhasználhatók. A <https://soilmaps.hu/maps> portálon keresztül nagy méretarányú, mintaterületi digitális talajtulajdonság- és általánosabb értelemben vett talajtérképek érhetők el strukturált módon. A talajjellemzőkre vonatkozó térképek szabadon böngészhetők. A térképek szerkesztett képi formátumban letölthetők (8.6.1. ábra).

8.7. Az ICP Forest adatbázis

Az ICP Forest egy páneurópai kutatási és megfigyelési hálózat, amit a légszennyezés erdőkre gyakorolt hatásának monitorozására és értékelésére hoztak létre 1985-ben, az ENSZ európai gazdasági bizottságának (UNECE) égisze alatt. A mára több mint 40 éves monitoring hálózat két szintre oszlik. A szisztematikus mintavételű I-es monitoringszint egész Európa erdőterületét lefedi egy 16×16 km-es rácsban. Ez a szint több mint 6000 monitoringhelyszínt tartalmaz. A II-es monitoringszint több mint 600, egyedileg választott monitoringhelyszínt tartalmaz az országok jellemző erdei ökoszisztémáiban és a monitoring mellett az ok-okozati összefüggések tisztázására fókuszál. A monitoringpontokon a talajra vonatkozóan részletes talajvizsgálatok történtek és történnek jelenleg is. Teljes talajszelvény-leírás a genetikai, illetve diagnosztikai szinteknek megfelelő mintavétellel készül a pontok létesítésénél, ezen túlmenően (országfüggően) 10–15 éves visszatérési idővel a szerves és a szerves talajszintek visszatérő mintavétele és értékelése is zajlik. A szerves talajszintekből az (OL), OF, OH és H szinteket külön, valamint az ásványi szintekből a 0–10 cm, a 10–20 cm, a 20–40 cm és a 40–80 cm szinteket vizsgálják az I-es szintű pontokon, és a 0–5, illetve 5–10 cm szinteket külön a II-es szintű pontokon. Az adatállomány rögzíti a mintapontok koordinátáit, tengerszint feletti magasságukat, a WRB talajosztályozás szerinti besorolásukat és minőségjelzőiket, a diagnosztikai szintek mélységét, az esetleges talajvízszint-adatokat és a teljes talajmélységet. A vizsgált szintenként (genetikai és mélység szerinti) az alábbi adatokat minden esetben tartalmazza az adatbázis: a talajszerkezet típusa,



8.9.1. ábra: A SoilGrids oldal felülete

száraz és nedves szín a Munsell-skála alapján, valamint a textúraosztály. Ezeken túlmenően opcionálisan tartalmaz adatokat a szemcseeloszlásra, a talaj kémiai és fizikai tulajdonságaira, valamint a tápanyag-szintekre vonatkozóan. Az adatbázisból adatok igényelhetők a szervezet honlapján keresztül (icp-forests.net). Magyarországon 76 db I-es és 8 db II-es szintű monitoringpont üzemel jelenleg.

8.8. A SiteViewer erdészeti döntéstámogató program

A programon keresztül talajtípus, termőréteg-vastagság és fizikai féleség térképfedvényeket érhetnek el a felhasználók. A térképek szerkesztéséhez az erdészeti termőhelyi adatbázisban szereplő, direkt termőhely-feltárással érintett erdőrészeket súlyponti koordinátáin értelmezett termőhelyi adatait, az ERTI-ben összegyűlt termőhely feltárási adatokat, valamint a TAKI által erre a célra megosztott termőhely-feltárási adatokat használtuk fel. Az adatokat és a térképeket évente igyekszünk frissíteni az erdőgazdálkodóktól beérkező új adatok, valamint az ERTI által végzett termőhely-feltárási adatgyűjtések feldolgozásával. A térképek szerkesztésére közel 60 ezer pontot használtunk. Az adatpontokból a talajtípus, termőréteg-vastagság és fizikai féleség fedvényeket ún. környezeti segédváltozók segítségével (pl.

domborzat és egyéb, a talajfejlődést befolyásoló tényezők), a digitális talajtérképezési módszertan szerint állítottuk elő (8.8.1 ábra). Ennek részleteit az irodalomjegyzékben szereplő írások tárgyalják. A SiteViewerben alkalmazott talajtérképek becslés általános pontossága 75–80%.

8.9. A SOILGRIDS + GlobalSoilMap

A SoilGrids egy digitális talajtérképezési rendszer, amely a talajprofil-adatok (WoSIS) és a környezeti rétegek globális összeállításán alapul. A SoilGrids és a WoSIS projektekről az isric.org oldalon olvashatunk bővebben. A SoilGrids egy globálisan konzisztens, adatközpontú rendszerként került kialakításra, amely globális segédváltozók és globálisan illesztett modellek segítségével jósolja meg a talaj tulajdonságait és osztályait. Nyilván ez a platform lokálisan kevésbé pontos, mint a nemzeti rendszerek, de tágabb régiós összehasonlításokban informatív lehet.

A rendszer a *World Reference Base for Soil Resources* (WRB) szerinti talajosztály-besorolásról, a talajok pH-járól, szerves széntartalmáról, N-tartalmáról és kationcserélő kapacitásról ad információkat, valamint egyes fizikai tulajdonságokról, amilyen a térfogatsúly, a mechanikai összetétel, illetve a víztartó képesség (8.9.1. ábra).

9. Mit tehet az erdőgazdálkodó a talajhoz kapcsolódó erőforrások fenntarthatóságáért?

Hazánk erdőterületei jelentős mértékben kitéttek a klímaváltozás és a talajpusztulás hatásainak. E problémák mérséklésének lehetősége elsősorban a területen dolgozó kollégákon, így legtöbbször az erdőgazdálkodókon múlik. Ahhoz, hogy az erdőkben található természeti erőforrásokat, a biológiai sokféleséget, a talajok termőképességét megőrizzük vagy esetlegesen javítsuk, sok mindent kell tennünk.

A jelenleg hatályos erdészeti jogszabályok viszonylag kevés, de fontos és generális szabályozást tartalmaznak az erdők talajainak védelmére vonatkozóan, így a helyes gazdálkodás mikéntjének megválasztása és gyakorlása az erdő mindenkorai gazdálkodóját kötelezi és jogosítja fel a szükséges intézkedések, beavatkozások megtételére.

Az első és legfontosabb, amit egy erdőgazdálkodó megtehet, az az, ha megismeri erdeinek termőhelyi adottságait, kitapasztalja azok sajátosságait és együtt él annak minden előnyével és hátrányával. Ne elégedjünk meg az erdőtervben szereplő átlagos termőhelyi adottságok ismeretével, tárjuk fel erdeink mikro-termőhelyeit, és azok változatosságának vagy homogenitásának rendeljük alá gazdálkodásunk mikéntjét, hiszen termőhelyeink és erdeink minőségi mutatói sok esetben kéz a kézben járnak egymással.

Másodsorban, minden erdőgazdálkodó eldönti saját gazdálkodása során, mely jelenleg engedélyezett üzemmód nyújtja számára a legkedvezőbb gazdálkodást, és ennek megfelelően választhatja meg gazdálkodási technológiáit.

Mint köztudott, a vágásos üzemmódban kezelt erdeink azok, amelyek leginkább kitéttek a talajdegradációnak, így ezen erdők esetében az átgondolt, passzív és aktív talajvédelem mára elengedhetetlen, annak érdekében, hogy a jövő generációnak jó állapotban lévő erdőtalajokat és ezáltal a jól működő erdők megteremtésének és fenntartásának lehetőségét adhassuk át.

Az ilyen üzemmódban az első és legfontosabb talán a helyes megválasztott vágásméret és vágásvezetés. Törekedjünk a meredek területek kíméletére, a nagy összefüggő nyílt területek, vágásterek létrehozásának elkerülésére. Ahol lehet, kerüljük a talajok túlzott összejárását, lehetőség szerint olyan technológiákat válasszunk, amelyek a talaj tömörödését minimalizálják. Talajaink termőértékének megőrzése miatt csak azt a faanyagot és ezzel összefüggően csak azt a szerves anyagot vigyük ki erdeinkből, amelyre feltétlenül szükségünk van, illetve amit a kiválasztott technológia mindenképpen megkövetel tőlünk. Lehetőség szerint kerüljük a túlzott talajbolygatást, ezáltal segítve a talajélet kialakulását, illetve fenntartását.

Szerkezetátalakítások (pl. lucfenyvesek tölgyessé alakítása) során bevett gyakorlat a tuskó- és talajmarás, ami nagyban megkönnyíti az első kivétel elvégzését és a későbbi ápolások gépesíthetőségét, ugyanakkor rendkívül nagy talajbolygatással jár. A talaj felső rétegének teljes

átdolgozásával megindul a szerves anyag gyorsabb lebontása, ami szén-dioxid-felszabadulással jár, valamint a 20 tonnánál nagyobb tömegű mulcsozó gépek jelentős tömörítőhatással is bírnak.

Vágásos üzemmódban a passzív talajvédelmi technológiák mellett várhatóan a jövőben elkerülhetetlen lesz az aktív technológiák alkalmazása is. Egy-egy erdőfelújítás vagy erdőtelepítés előtt mindenképpen szükséges lehet a talajerő utánpótlása, illetve a szélsőséges termőhelyi tényezők, mint például a túlzott savanyúság vagy a kedvezőtlen levegő- és vízháztartás javítása. Törekedjünk a termőhelyi adottságokat maximalisan kihasználó és azok tápanyagegyensúlyát vagy C/N arányát megőrző faállományok létrehozására, fenntartására.

Az átalakító- és örök-üzemmódok sajátosságai mentén jóval kisebb mértékű beavatkozásokat okoznak erdeink talajaiban, viszont alapvető passzivitásuk miatt az aktív beavatkozások lehetőségeit is meglehetősen korlátozzák. Mint minden üzemmódnál, ezen kíméletesebb beavatkozással kecsegtető gazdálkodási formák esetében is rendkívül fontos a megfelelő feltárhálózat kialakítása, annak hosszú távú fenntartása, a taposási károk mérséklése, annak érdekében, hogy a viszonylag sokszori beavatkozás ellenére ne okozzunk károkat talajainkban.

Az erdőgazdálkodóra rótt térbeli és időbeli korlátozások az eredeti céljukkal olykor ellentétes hatást érnek el a talajokat tekintve. A téli időszakban engedélyezett vagy előírt közelítés — a téli fagyok hiánya és a téli csapadékmaximum miatt — manapság már nem mondható talajkímélőnek; sokkal kedvezőbb lenne a melegebb és száraz időben való munkavégzés. A fahasználati és szállítási munkákra a korlátozások miatt nem áll rendelkezésre elegendő idő, így azokat akkor is „el kell” végezni, ha ahhoz az időjárási viszonyok nem megfelelőek.

A faanyagtermelést nem szolgáló üzemmódú erdeinkre minden erdőgazdálkodó tekinthet úgy, mint egyfajta standard értékre, hiszen a beavatkozások szinte teljes hiánya megmutathatja számunkra a jelenlegi körülmények között a talajfejlődés főbb irányait, jellemzi az éppen a termőhelyre ható erőket, így összehasonlításként szolgálhat a másik három üzemmódban kezelt erdők termőhelyi viszonyainak változásával.

Napjainkban a bekövetkezett és még előttünk álló további klímaleromlás idején erdeink számára is a két leginkább meghatározó limitáló tényező a hő és a víz. Ennek érdekében valamennyiünknek, és különösen az erdőgazdálkodóknak elemi érdeke az erdőklíma minél további fenntartása, a hőstressz hatásainak csökkentése és a víz visszatartása, raktározása.

Elkerülhetetlennek látszik a vízvisszatartás érdekében aktív beavatkozások megtétele, így jelesül a kis víztározók, tókák létesítése. Erdei vízfolyásaink medrét minél természetesebb állapotukban kell megtartani, de ahol szükséges, ott a „kis duzzasztó” vagy a vízfolyások lefolyását lassító, esetleg azokat akadályozó műtárgyak vagy természetes anyagból készült hordalékfogók építése sem mutatkozik „ördögtől való” dolognak.

A hőstressz és a nyílt területeken vele sokszor kéz a kézben járó UV-károk elkerülése érdekében mindenképpen figyeljünk a vágásterületek, lékek tájolására. Kerüljük a hosszúkás alakú kelet-nyugati irányú üres területek létrehozását. Ha van rá mód, vágásos üzemmódban lehetőleg sok hagyásfát, hagyásfacsoportot hagyjunk vissza, ezáltal jelentős előnyhöz juttatva a feltörekvő facsemetéinket.

Törekednünk kell az erdőtelepítések területének növelésére az észszerűség és szakmaiság határain belül. A leromló klíma az erdőtelepítésre alkalmas területeinket is korlátozza, ugyanakkor, ha csak kis mértékben is, de az erdőtelepítésekkel is tehetünk a klímaváltozás mérsékléséért, a szén-dioxid megkötésének növeléséért és talajaink védelméért. Új erdő létrehozásakor a talajjavítás, tápanyag-utánpótlás is könnyebben kivitelezhető, mint például egy felújítóvágás esetében. Ma már számos anyag és technológia áll rendelkezésre, amivel talajaink termő- és víztartó képességét vagy éppen levegőzöttségét javíthatjuk. A teljesség igénye nélkül alkalmazhatunk szennyvíziszapot, komposztot, szerves trágyát, hígtrágyát, fahamut, talajjavító és talajkondicionáló szereket, baktérium- vagy gombakészítményeket is. A mikorrhizált makkal vagy csemetével történő erdősítés nemcsak a későbbiekben hozhat hasznot (pl. szarvasgomba), de a csemeték kezdeti fejlődését is nagyban segíti és gyorsítja a gombakapcsolat.

A fák gyökérzetükkel megkötik, lombjukkal árnyékolják a talajt, mérséklük az eróziós károkat, avarjukkal biztosítják a talaj szervesanyag-utánpótlását, javítják a mikroklimatikus viszonyokat, és nem utolsósorban egy mezőgazdasági kultúrához képest a talajbolygatás is jelentősen csökken.

Minden erdő esetén elmondható, hogy az elegyes állomány és a – jelenleg még erdeinkben fellelhető, rendkívül sokrétű – genetikai erdőforrások fenntartása és megőrzése erdeink talajainak fenntartása szempontjából is nélkülözhetetlen, hiszen a diverz erdőállomány ellenállóbb, ezáltal hosszú távon is stabilabb erdőket és jó állapotban megőrzött erdei termőhelyeket eredményezhet.

Ha nem csak a zárt erdőkben gondolkodunk, akkor az agrárerdészeti rendszerek létrehozásával is tehetünk talajaink védelméért pl. mezővédő fasorok, erdősávok telepítésével, fás legelők létrehozásával. A mezőgazdasági területek közé telepített fasorok vagy erdősávok megkötik a talajt, a szél irányát, sebességét módosítják, ezáltal csökkentik a széleróziót, a talaj elhordását vagy annak kiszáraitását. Javítják a mikroklimát, valamint árnyékolják a talajt és a növényzetet a forró nyári napokon.



Bakacsi Zsófia



Barta Károly



Bereczki Katalin



Bidló András



Czigány Szabolcs



Flórián Norbert



Geml József



Gergál-Gombási Mónika



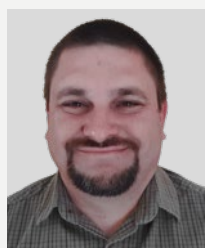
Illés Gábor



Laborcz Annamária



Makó András



Neumann Péter



Novák Tibor



Pásztor László



Szatmári Gábor



Takács Tünde

10. Szakirodalom

- Barta K., Tanács E., Samu A. és Keveiné Bárány I. 2009: Classification of Hungarian rendzina soils in conformity with the international World Soil Reference Base System (WRB). *Agrokémia és Talajtan* 58(1): 7–18. <https://doi.org/10.1556/agrokem.58.2009.1.2>
- Bartus M., Barta K., Szatmári J. és Farsang A. 2019: Csongrád megye talajainak szélcsatorna-kísérletekre alapozott szélerózió-veszélyeztetettség becslése. *Agrokémia és Talajtan* 68(2): 225–242. <https://doi.org/10.1556/0088.2019.00046>
- Florián N. 2018: Klímaváltozási hatások a talaj-mezofauna közösségekre – új módszertani megközelítések. *Gödöllő*. 120 o. <https://doi.org/10.14751/SZIE.2019.003>
- Illés G. és Schiberna E. 2024: Erdőtelepítési potenciál becslése termőhelyi adatbázisok alapján. *Erdészettudományi Közlemények* 14(1–2): 47–61. <https://doi.org/10.17164/EK.2024.04>
- IUSS Working Group WRB 2022: World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.
- Kovács G. 2016: Termőhelyismerettan. Herman Ottó Intézet, Budapest.
- Novák T. 2013: Talajtani praktikum. Meridián Alapítvány, Debrecen.
- Novák T. J., Tóth T., Makó A., Kocsis M., Bakacsi Z., Bidló A., Barta K., Czigány S., Tóth G., Horváth A. és Hernádi H. 2024: A hazai genetikai talajosztályozás megújításának szükségessége – 1.: A nevezéktan és a struktúra korrekcióra szoruló elemeinek azonosítása [The necessity of the renewal of the Hungarian genetic soil classification system – 1.: Identification of the elements of the nomenclature and structure to be corrected]. *Agrokémia és Talajtan* 73(1): 59–85. <https://doi.org/10.1556/0088.2024.00160>
- Pásztor L., Laborczi A., Bakacsi Z., Szabó J. és Illés G. 2018: Compilation of a national soil-type map for Hungary by sequential classification methods. *Geoderma* 311: 93–108. ISSN 0016-7061. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.018>
- Rab Gáborné Seress Katalin Emese (szerk.), Bayoumi Hamuda Hosam, Biró Borbála, Diriczi Zsombor, Farsang Andrea, Hefler József, Hetesi Zsolt, Kulcsár Balázs, László Péter, Lőrinczy Márk, Molnár Tamás Gergely, Nyárai Orsolya, Szlatényi Dóra és Takács Tünde 2022: A talaj az életünk alapja. CEEweb for Biodiversity, Agrárminisztérium, Budapest. Ismeretterjesztő kiadvány.
- Rajkai K., Makó A., Huzsvai L., Szabó B., Bakacsi Z., Barna G., Fodor N. és Hernádi H. 2025: A talaj víztartó képességének becslése fraktáldimenzióval és egyéb talajjellemzőkkel [Estimation of soil water retention curve using fractal dimension and other soil characteristics]. *Agrokémia és Talajtan* 74(2): 114–137. <https://doi.org/10.1556/0088.2025.00189>
- Schaetzl R. J. és Thompson M. L. 2015: Soils: Genesis and Geomorphology. 2nd edition. Cambridge University Press. 778 o.
- Stefanovits P., Filep Gy. és Fülek Gy. 1999: Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Wielopolski L., Song Z., Orion I., Hanson A. L. és Hendrey G. 2005: Basic considerations for Monte Carlo calculations in soil. *Applied Radiation and Isotopes* 62: 97–107. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2004.06.003>
- Zampedri R., Bernier N., Zanella A., Giannini R., Menta C., Visentin F., Mairota P., Mei G., Zandegiacomo G., Carollo S. et al. 2023: Soil, Humipedon, Forest Life and Management. *International Journal of Plant Biology* 14: 571–592. <https://doi.org/10.3390/ijpb14030045>
- Zanella A. et al. 2018: Humusica 1, article 5: Terrestrial humus systems and forms – Keys of classification of humus systems and forms. *Applied Soil Ecology* 122: 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.012>

Tartalomjegyzék

Előszó	1
1. Bevezetés	2
1.1. A talaj fogalma	2
1.2. Talajfejlődés térben és időben – a talajképző tényezők	2
1.3. A talaj alapvető funkciói, társadalmi jelentősége	4
1.4. A talajokat veszélyeztető degradációs folyamatok	5
2. Az erdőtalajokról általában	7
2.1. Az erdőtalajok kialakulásának alapvető feltételei	7
2.2. A Föld erdőöveinek jellemző erdőtaljai	7
3. Az erdőtalajok fejlődésének meghatározó folyamatai és az általuk kialakított tulajdonságok	13
3.1. Talajok helye a földtani ciklusban	13
3.2. Talajképződési folyamatok, folyamatpárok	13
3.3. Alapvető talajtulajdonságok	15
3.4. Mechanikai összetétel	16
3.5. A talajszerkezet kialakulása	18
4. Erdeink jellemző talajtípusai	20
4.1. Váztalajok	20
4.2. Közethatású talajok	20
4.3. Közép-európai barna erdőtalajok	22
4.4. Mocsári és ártéri erdőtalajok	26
5. Erdőtalajaink víz- és tápanyag-gazdálkodása	28
5.1. Hidrológiai jellemzők, vízmozgás a talajban	28
5.2. Hogyan tudjuk számszerűsíteni a talajok víz- és nedvességtartalmát?	30
5.3. Mit jelent, hogyan értelmezhető, és miért fontos a pH-érték?	30
5.4. A talaj vízvezető képessége	31
5.5. A talaj vízgazdálkodási típusai	32
5.6. Tápanyagok a talajban és az erdőállományban	32
6. Az erdő talajának ökológiai funkciói az erdei ökoszisztémában	35
6.1. A talaj mint élőhely általában	35
6.2. Az avarszintről (humipedon) és a humuszformákról	35
6.3. Az erdőtalajok meghatározó élőlényközösségei: mikroorganizmusok és gombák	37
6.4. Az erdőtalajok meghatározó élőlényközösségei: a talajfauna	38
7. Az erdőtalajok és a klímaváltozás, a mitigáció és az alkalmazkodás kihívásai a talajgazdálkodásban	42
7.1. A klímaváltozás várható hatása a talajok tulajdonságaira és funkcióira	42
8. Hazai és európai talajinformációs rendszerek és térképek	46
8.1. A talajinformációs rendszerek szükségessége	46
8.2. A Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer – TIM	47
8.3. DOSoReMI.hu	47
8.4. HU-SoilHydroGrids	47
8.5. A MARTHA adatbázis	48
8.6. NATASA adatbázis és az annak alapján szerkesztett nagy méretarányú, mintaterületi digitális talajtérképek	48
8.7. Az ICP Forest adatbázis	49
8.8. A SiteViewer erdészeti döntéstámogató program	50
8.9. A SOILGRIDS + GlobalSoilMap	50
9. Mit tehet az erdőgazdálkodó a talajhoz kapcsolódó erőforrások fenntarthatóságáért?	51
10. Szakirodalom	53