

A klímaváltozás hatása a talajok degradációjára

Talajdegradációk kialakulása

A talajképződés folyamatában nemcsak a termőföld kedvező tulajdonságai alakulnak ki, hanem a kedvezőtlenek is, amelyek következménye a talajpusztulás. A talajdegradáció a FAO szerint felosztható a vízerózió, a szélerózió, a kémiai degradáció és a fizikai degradáció csoportjaira. Ezek a degradációs jelenségek az emberi tevékenységek következtében egyre gyorsabb ütemben jelentkeznek. A GLASOD (Global Assessment of Soil Degradation) az utóbbi ötven év alatt felgyorsult hatást vizsgálta. A különböző talajdegradációs folyamatok elterjedései a következő arányban alakultak: 56% vízerózió, 28% szélerózió, kémiai degradáció és 4% fizikai degradáció. A víz, valamint a szél elhordja a már kialakult talajréteget, így véget vet a talajban lejátszódó talajképző folyamatoknak, az intenzív talajpusztulás a visszamaradó talajrészek tulajdonságait pedig alapvetően megváltoztatja. A talajpusztulást előidéző tényezők vizsgálata során különbséget kell tenni a természetes viszonyok - elsősorban a természetes növénytakaró alatt kialakuló -, valamint az emberi tevékenység hatásának eredményeként bekövetkező talajpusztulás között. Az előbbi lassú ütemű és a geológiai talajpusztulás csak hosszú idő alatt alakul ki. Az erdőirtás és az intenzív szántóföldi művelés következményeként fellépő, valamint az ezekkel szoros korrelációban álló, a szél és a víz által előidézett károsodás viszont gyors ütemű. Ez utóbbit értékelték a GLASOD keretében. A gyors ütemben lezajló talajpusztulás hatására a lejtők talajrétege elvékonyodik, vízmosások

keletkeznek, valamint homokverés és kifúvás lép föl. A gyors lezajlású talajpusztulást előidéző okokat két csoportba érdemes osztani: 1.) a talajpusztulást kiváltó, 2.) a talajpusztulást befolyásoló tényezőkre. A kiváltó tényezők a talaj elmozdításához és szállításához szükséges közeget és energiát szolgáltatják, míg a befolyásoló tényezők ezeknek az energiáknak a talajra gyakorolt hatását csökkentik vagy fokozzák. A talajpusztulás két válfaját különböztetjük meg aszerint, hogy a víz vagy a szél hatásának következményeként lépnek-e fel. A víz általi talajfelszín pusztulást erózióknak, a szél által okozott pusztulást deflációnak nevezzük. A víz eróziót kiváltó elsődleges tényezők a csapadék és a domborzati viszonyok, elsősorban a lejtők meredeksége. A csapadék, mint kiváltó tényezőnél több ok is szerepet játszik; cseppnagyság, hevesség, intenzitás vagy tartam, hőmennyiség és annak oladási ideje, üteme. Befolyásoló tényezők a talaj nedvességi állapota, a talaj vízgazdálkodása, szerkezete, a felszín érdekessége és a növényborítottság. Az esőzés szempontjából az intenzitásának és az időtartamának, valamint az ezek által megszabott mennyiségnek van hatása a talajpusztulásra. Az erózió akkor jelentkezik, ha a felületi lefolyás során az eső intenzitása és mennyisége nagyobb mértékű, mint az adott talaj vízbefogadó képessége. Természetesen ez talajtípusonként változik, de szoros összefüggés van a lejtő meredekségével is. A jó vízgazdálkodású talajokon kisebb az erózió mértéke, sőt sok esetben nem is alakul ki vízerózió. Valójában a talajok vízgazdálkodása nem állandó érték, hiszen egyazon talaj esetében is változhat időszakosan a talaj nedvessége, telítettsége, valamint szerkezete.

Tulajdonképpen ugyanazon a talajon azonos hevességgel érkező csapadék nem mindig vált ki azonos hatást. A hó önmagában nem vált ki eróziós hatást, viszont a nagy hómennyiség esetén az olvadás mértéke és körülményei befolyásolhatják azt, hogy kialakul-e eróziós hatás vagy elmarad. Abban az esetben, ha az olvadással egyidejűleg a talajfelszín is melegszik, akkor csak az olvadás ütemétől függ, hogy az olvadék víz teljes mértékben leszivárog-e a talajba, vagy lefolyásként lefut a lejtőn. Fagyott talaj esetén a víz talajba történő szivárgása teljesen gátolt, így az olvadás ütemétől függetlenül lefolyást eredményez. Ebből is látszik, hogy a hó estében a talajrombolás az időjárási viszonyoktól függ elsősorban és nem az adott talaj vízgazdálkodási tulajdonságaitól. Ez utóbbi talajeróziót befolyásoló tényező napjainkban a klímaváltozás eredményének következtében már kevésbé jellemző. Viszont a globális felmelegedés és a csapadék szélsőséges eloszlásának következtében a hirtelen nagy intenzitással és mennyiségben lehulló, korábban nem jellemző csapadékmennyiség nagymértékű talajpusztulást eredményez. Továbbiakban az erózió mértékét a lejtők meredeksége, alakja és égtáj szerinti kitétsége befolyásolja legnagyobb mértékben. A kitétség szempontjából a csapadékviszonyokkal és besugárzási viszonyokkal kell kalkulálni. Mivel egy adott területen a heves záporok azonos irányú széllel érkeznek, amely hatására a lejtő kitétsége és a szélirány egybeesik, az esőcseppek szinte merőlegesen ütőhatást gyakorolnak a talajra. A besugárzás jellemzően a déli kitétségű lejtőket érinti, mivel nagyobb mértékű a talaj kiszáradása a korábbi felmelegedés miatt, ezért a száraz talajt érő csapadék szétrombolja a

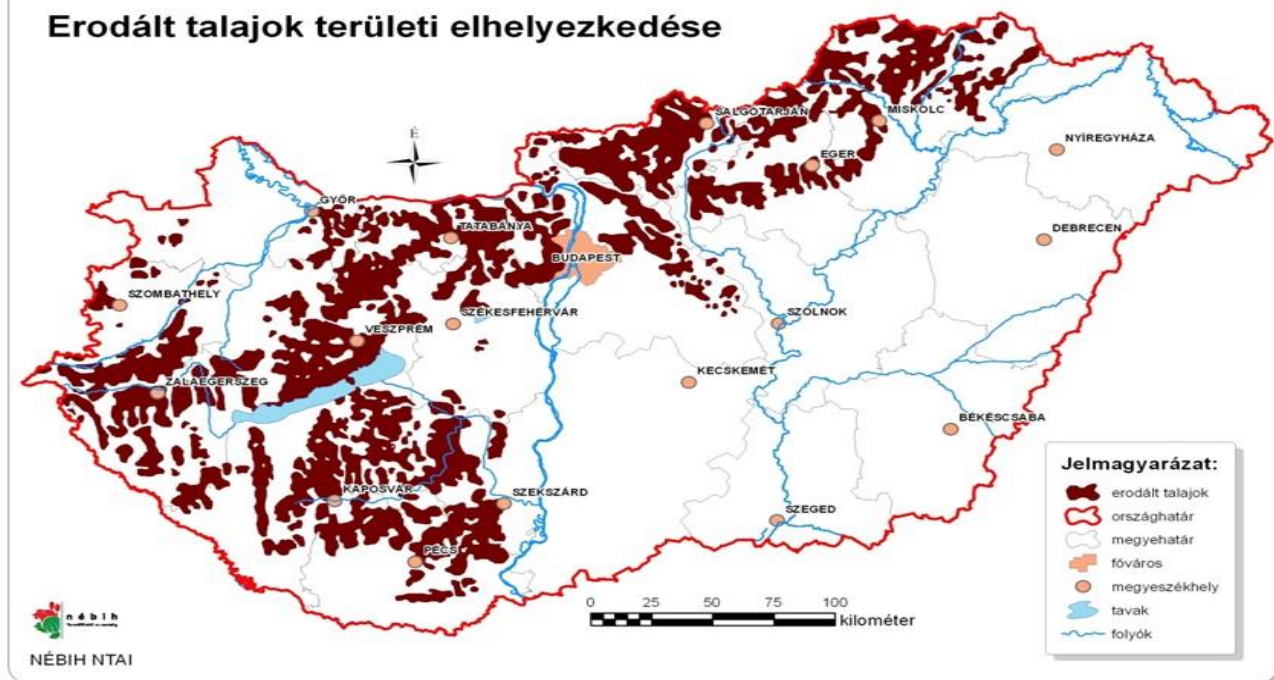
talaj szemcséit – aggregátumait. Az így keletkezett szerkezetromlás fokozza a lefolyásból eredő erózió mértékét.



A talaj nedvességi állapota is meghatározhatja a talajdegradáció mértékét. Ugyanis a kiszáradt talaj esetében az esőcseppek – de ez jellemző lehet a rosszul öntözött területre is – szétrobbantják a talajmorzsákat, aggregátumokat, amelyek kisebb egységekre bomlanak. A nedves talajfelszínen ez a jelenség nem tapasztalható, mert a lehulló csapadék a talaj víznyelő képességének megfelelően jut a talaj mélyebb szintjeibe. Viszont, ha az adott talaj felszínének a hosszantartó esőzés hatására a víztartó kapacitása telített, akkor csekélyebb mennyiségű eső is felületi lefolyást eredményez, a pépes talajfelszín mozgását sárfolyásnak nevezik.

A befolyásoló tényezők között a legfontosabb a talaj vízgazdálkodása. A víznyelő és víztartó képessége – pufferkapacitása, amelynek mértékegysége az AK (Aranyféle Kötöttségi szám), jelentősen befolyásolja a talajpusztulás kialakulásának lehetőségét. A talajok víznyelő képességének tekintetében a felszíni vízgazdálkodásnak van.

Erodált talajok területi elhelyezkedése



Ettől függ ugyan is, hogy a talajra jutó csapadék átereszti-e a csapadék formájában érkező nedvességet vagy nem, és ez által felületi lefolyás kialakulását eredményezi. Az egész talajszelvény vízáteresztő képességét minden esetben az adott talaj legrosszabb vízáteresztő képességű rétegének a felszíntől való távolsága határozza meg. Ha ez a réteg a talajfelszínhez minél a közelebb található, akkor a felette lévő jobb vízáteresztő képességgel rendelkező réteg hamarabb telítődhet és a telítődést követően a felszínen többlet víz jelenik meg, mely felületi folyást eredményez. A talajok víztartó képessége hatással van a talaj kiszáradásának lehetőségeire és így közvetett módon befolyásolja a talajon élő növényzet vízszükségletének biztosításával a talajvédő növénytakaró kialakulását. A globális klímaváltozás lokális hatásai már napjainkban erőteljesen érzékelhetők régióinkban: egyrészt megnövekedett az aszályos, száraz évjáratok gyakorisága, másrészt jelentősen növekedett a szélsőséges időjárási jelenségek

előfordulási valószínűsége, ill. e jelenségek negatív hatásainak erőssége. Mindezek eredményeként hazánkban a csapadék mennyisége kevés, éves eloszlása nem egyenletes.

A talaj vízháztartása nemcsak a természetes növényzet és a termesztett növények vízigényének kielégíthetőségét szabja meg, hanem meghatározza a talaj levegőgazdálkodását, hőgazdálkodását, biológiai tevékenységét és - ezeken keresztül - tápanyaggazdálkodását is. Hat a talaj technológiai tulajdonságaira is, meghatározva ezzel egyes agrotechnikai műveletek szükségességét, optimális időpontját, illetve lehetséges időtartamát, gépigényét, energiaszükségletét. Végül meghatározza, hogy a talaj vagy terület a környezet "stresszhatásait" milyen mértékig képes pufferni, s melyek a tűrési határt meghaladó "terhelés" esetén a talajban vagy a talajjal érintkező felszíni vagy felszín alatti vízkészletekben várhatóan bekövetkező károsodások rövid vagy hosszú távon, az adott területen vagy annak környezetében.

Felmérések szerint hazánk talajainak mintegy 44%-a kedvezőtlen, 26%-a közepes és csupán 30%-a jó vízgazdálkodású. A talaj közepes vízgazdálkodási tulajdonságainak okai az előbbinél kevésbé szélsőséges, de még mindig nagy homoktartalom (11%), illetve agyagtartalom (12%), valamint a talaj mélyebb rétegeiben előforduló mérsékelt szikesedés (3%).

A fentiek következtében ezért arra kell törekednünk, hogy a talajműveléssel segítsük elő a talajra hullott csapadék gyors befogadását, illetve az elnyelt vízmennyiség megőrzését a szárazabb időszakokra. A művelés, a talajtípustól függően rövidebb-hosszabb időszakra megváltoztatja a talajban a pórusviszonyokat, aminek köszönhetően a talajban lévő víz és vízgőz, valamint levegő mozgása megváltozik. A talajművelés egyik fő célja tavasztól ősziig a víz megőrzése, ősszel – kora tavasszal a víznek a talajba való levezetése. Nagyon fontos a növény igényeit figyelembe vevő, a talaj nedvességforgalmához igazodó és azt kedvezően befolyásoló talajművelési technológiák alkalmazása.

A talajnedvesség és a talajművelés kapcsolata

A talajra jutó csapadék vagy öntözővíz a talaj felső rétegét bizonyos mértékig telíti, és az alsóbb rétegek csak ezután nedvesedhetnek be. Azt a vízmennyiséget, amelyet a talaj eredeti természetes állapotában a csapadékból vagy az öntözővízből a nehézségi erővel és a szomszédos telítetlen talajrétegek szívóhatásával szemben visszatart, a talaj természetes (szántóföldi) vízkapacitásának vagy víztartó képességének nevezzük. Ha a

talajrétegek teljes vízbefogadó-képességüknek megfelelő vizet tartalmaznak, akkor maximális vízkapacitásig telítettek. Akár sok, akár kevés a csapadék, azzal okosan lehet és kell gazdálkodni. Ha száraz a tavasz és a nyár, akkor a talajnedvesség veszteségét csökkentő, nyár végén és ősszel pedig a talaj vízbefogadó képességét növelő művelési módszerek vezetnek eredményre. Ha hosszabb időn keresztül sok a csapadék, akkor az egyedüli megoldás az, hogy minél kevésbé tapossuk le a földet, mert ha erre nem ügyelünk, akkor drágán orvosolható, sőt visszavonhatatlan talajszerkezeti károk keletkezhetnek.

A talaj kedvező vízgazdálkodásának kialakításához, illetve fenntartásához szükséges:

1. *A vízvezető képesség fokozása.* A talaj vízvezető képességét igen gyakran akadályozza kötött talajon a barázda fenekén összetömődött talajréteg (eketalp-betegség), amely 20-30 cm mélységben található. Ezt a szántás mélységének változtatásával lehet megelőzni.

2. *A víztartó képesség növelése,* melyet a morzsás talajszerkezet biztosít.

3. *A vízvesztés csökkentése.* A veszteséget a felületi lefolyás és az improduktív párolgás okozza, mely mérsékelhető tavasszal a talajfelszín porhanyításával, nyáron pedig tömörítéssel.

A talajnedvességgel, annak kifejezésével kapcsolatos néhány fogalom:

Hézagterfogat, sűrűség, térfogattömeg. A talajban a szemcsék (morzsák) között, illetve belsejében azok nagyságától és

alakjától függően kisebb-nagyobb hézagok (pórusok) találhatóak, ahol a nedvesség, a levegő és a mikroorganizmusok helyezkednek el. A növény hajszálygyökereivel behatol a hézagokba és felveszi a vizet, valamint az oldatba került tápanyagokat. A hézagtérfogat (pórustérfogat) a szilárd részek által elfoglalt tér és a hézagtér viszonyát fejezi ki térfogatszázalékban. Jelölése: P%. A hézagtérfogat a talajműveléstől függően erősen változó sajátosság, általában 50% körül ingadozik, de az erősen fellazított ásványi talajokban eléri a 60%-ot, a tömődött talajban csak 40%, az igen tömődöttben pedig csak 30% körüli.

A hézag nélküli tömör talaj sűrűsége $2,6 \text{ g/cm}^3$, tehát a víz sűrűségének 2,6-szerese. Ilyen tömör talaj a természetben nem található, laboratóriumokban állítják elő. A sűrűség a talajt alkotó ásványok sűrűségétől és a humusz mennyiségétől függ. Az ásványi eredetű talajok sűrűség-ingadozása igen kicsi, a láptalajoké valamivel nagyobb (1,25-1,50).

A térfogattömeg (Tt) a természetes állapotú hézagos talaj egységnyi térfogatának tömege. Kifejezhető g/cm^3 és t/m^3 mértékegységben. Ugyancsak változó sajátosság, mert pl. a frissen szántott talaj térfogattömege 0,9 körüli, az igen tömődött talajé pedig elérheti az $1,8 \text{ g/cm}^3$ -t is. Magágykészítéskor a talaj általában 1 g/cm^3 térfogattömegre lazul, majd megüledve $1,4-1,6 \text{ g/cm}^3$ körül megállapodik. Tehát nem a vetésmélység pillanatnyi állapota a fontos, hanem az ülepedés utáni állapot, mert az 5 cm mélyre vetett vetőmag feletti talajtakaró vastagsága 21-23 napi ülepedés után csak 4 cm körüli lesz.

A talajban levő hézagok mennyiségét a talaj térfogatának százalékában fejezik ki és P%-kal jelölik.

A víz a talajban többféleképpen fordulhat elő:

A pára (vízgőz) a talajharmat képződésének forrása. A talaj levegőjében levő vízgőz a nagyobb párányomású helyről a kisebb párányomású hely felé áramlik, így rendszerint a mélyebb rétegekből pára áramlik a magasabban fekvő üregekbe. Ez a folyamat azonban 25-30 cm-nél mélyebbre nem terjed ki. Ennél mélyebben a talajhézagok csaknem telített állapotú vízgőzt tartalmaznak.

A páratartalom növekedése vagy lehülése következtében a vízgőz talajharmat alakjában kicsapódik. Ennek aránylag csekély mennyisége távolról sem elégti ki a növényzet vízszükségletét. Mégis fontos szerepe van száraz periódusokban a hasznos baktériumtevékenység időleges elősegítésében, a talaj beérlelésében.

A higroszkópos nedvesség az a vízmennyiség, amelyet a talaj a vele érintkező légrétegből megkötni képes. Ennek mennyisége annál nagyobb, minél több agyag- és humuszkolloid van a talajban és minél nagyobb a levegő relatív páratartalma. A higroszkópos nedvességet a növények nem képesek felvenni, ez a nedvesség is a baktériumtevékenységet segíti elő.

A hártvíz a talajszemcsékhez tapad, és több molekula vízrétegből áll. Ennek csak azt a részét képesek felvenni a növények, amelyek tapadása nem haladja meg a gyökök szívóerejét. A többit a baktériumok hasznosíthatják.

A kapilláris víz a növények fő vízforrása, amely az esőzések, illetve az öntözések

közti száraz időszakban is kielégíti a növények vízszükségletét.

A gravitációs víz csak nagy esőzések idején tölti ki a talaj összes hézagait és az esőzés megszűnte után lassan szivárog le a mélyebb rétegekbe. Ezért a növények csak kevésbé tudják hasznosítani. A gravitációs víz mozgása a túlnyomóan kapilláris hézagokat tartalmazó talajban lassú, a durva hézagtérfogatú talajban gyors.

A talajvíz a talaj mélyebb rétegében alakul ki, ahol az összes hézagok teljes mértékben vízzel telítettek. Legtöbbször oldalirányban mozog és a mozgás annál gyorsabb, minél lazább a talaj. A gyorsabban mozgó talajvíz több oxigént és tápanyagot tartalmaz, mint a lassabban mozgó, ún. pangó talajvíz, amely ártalmas lehet a növényzetre (redukációs viszonyok).

A talaj nedvességtartalma a növénytermesztés sikerességét leginkább befolyásoló tényezők közé tartozik. A talaj vízkészlete közvetlen párologással (evaporáció) vagy közvetve, a növények párologtatásával (transzspiráció) csökkenhet. A művelés, a trágyázás és a vetésciklus helyes megválasztásával érhető el a legtöbb esetben szűkösen rendelkezésre álló nedvesség veszteségének csökkentése. Például a monokultúra egyoldalú vízfelhasználása ugyanolyan kedvezőtlen hatású lehet, mint a talaj tápanyagkészletének kimerülése.

A növényzet a vizet a talajból veszi fel. Ez lehetőséget teremt a talajviszonyok megváltoztatásával a nedvességviszonyok szabályozására. A gyakorlatban jól bevált eljárás (eljárások) kiválasztásakor hármas feladat megoldását kell szem előtt tartani: a talaj vízvezető képességének fokozása, víztartó képességének növelése és a vízvesztés csökkentése.

A különböző termesztett növények eltérő mértékben használják fel a talajok nedvességtartalmát, vízigényük szerint kevés, közepes és sok nedvességet felhasználók csoportjába sorolhatók. Ez a csoportosítás nem az egységnyi szárazanyag előállításához felhasznált vízmennyiséget, hanem azt a hasznosítható vízkészletet jelenti, amelyet a növények betakarításuk után a talaj bizonyos rétegében visszahagynak. A nyár elején betakarított növényeket soroljuk a kevés vizet felhasználók közé, pl. a borsó, a bükkönyfélék, a mák és a tavaszi takarmánykeverékek zölden betakarítva. A közepes vízmennyiséget felhasználó növényeket a nyár folyamán takarítják be, pl. az őszi és tavaszi kalászosok, a len, a silónapraforgó és a silókukorica. A talaj vízkészletét erőteljesen felhasználják a mélyen gyökerező, a hosszú tenyészidejű, későn betakarított és a nagy gyökér- vagy szártömeget fejlesztő növények, pl. a kukorica, a napraforgó, a cukorrépa, a cirokfélék és az évelő pillangósok.



A talaj megfelelő művelése a nedvességmegőrzés alapvető módszere. Okszerű talajműveléssel kedvezőbbé tehető a talaj vízvezetése, vízkapacitása, evaporációja, nedvességtartalma. A talajműveléssel befolyásolható fizikai talajállapot vízhasznosítást módosító tényező. A talajban a szilárd fázis

megnövekedése, a tömődöttség, a vízhasznosítást rendkívüli mértékben rontja. Középkötött talajon az összporozitást növelő művelési eljárások kedvezően befolyásolják a talaj vízgazdálkodását, a jobb vízhasznosítás eredményeként a növények termése növelhető. A művelés megváltoztatja a talajban a különböző átmérőjű pórusok arányát, aminek köszönhetően a talajban lévő víz és vízgőzmozgása megváltozik.

Száraz, vagy átlagos csapadékú években a művelés feladata, azon túl, hogy a természetére minél kíméletesebben tegye alkalmassá a talajt, a vízbefogadó képesség javítása, és a talajban lévő nedvesség vesztésének csökkentése. A talaj nedvességforgalmát befolyásolja az agyagtartalom, a fizikai állapot, a művelési és a termesztési technológia.

A talaj és a talajállapot fokozza a nedvesség vesztéséget, ha:

- akadályozza a csapadék talajba szivárgását (vagyis károsan tömődött)
- fedetlen,
- megmunkált, túl laza és vízvesztő felülete nagy (pl. szántás nyáron).

A művelés fokozza a nedvesség vesztéséget, ha:

- hőségnapok előtt és alatt végzik (hántás, lazítás stb. a felszín elmunkálása nélkül),
- sokmenetes,
- túlzottan mély, és nagy párologtató felület marad utána (pl. tavaszi, vagy nyári szántáskor).

A talaj nedvességvesztése csökkenhet, ha:

- a vízbefogadást akadályozó

tömörödés enyhül,

- a felszín takarják (tarlómaradványok, mulcs), és nedvesség-visszatartó formát kap,
- száraz idényben kímélően művelnek (lazítással és porhanyítással kombinált tömörítés),
- a vetésváltásban eltérő tenyészidejű növényeket természetnek,
- az állománysűrűséget ésszerűen alakítják,
- az elgyomosodást megfékezik szántóföldön és a ruderalis területeken.

A korszerű talajművelés kedvezően hat a talaj víz-, levegő-, hő- és tápanyaggazdálkodására egyaránt. A talajművelésben az ésszerűség mindig fontosabb szempont, mint a pillanatnyilag elvégzett munka tetszetőssége. Fontos, hogy az esztétikum játssza a főszerepet, ne a látvány érdekében dolgozzunk! Minden egyes elvégzett művelet 10-15 mm vízvesztéssel is együtt jár.

A talajművelés a vegetációs időszak alatt tömődötté vált legfelső talajréteg forgatásával, lazításával megszünteti annak hajszálcsöves szerkezetét, így egy szigetelőréteget létrehozva elősegíti az alsóbb rétegek víztartalmának megőrzését. A talajban a víz és levegő aránya a művelt réteg lazításával, illetve tömörítésével szabályozható.

A művelés során módszereinkkel mindenképpen alkalmazkodnunk kell a talaj kötöttségéhez, annál is inkább, mivel a költség- és talajkímélő művelés minden kötöttségi érték mellett megvalósítható.

A középkötött talajok művelhetősége a legjobb. Ezek szerkezetét ne rontsuk

taposással, „felrögösítéssel” vagy „elporosítással”, hisz a szerkezetromlással növekszik a talaj azon képessége, hogy az általa tárolt értékes nedvesség a növények és egyben a növénytermesztés számára megőrizze.

A laza talaj magasabb víztartalma ellenére is jól művelhető. Nem tanácsos feleslegesen bolygatni, vagy levegőztetni és – a többnyire – kis mennyiségű szerves anyagot elvesztegetni.

Tanácsok a talajnedvességveszteség elkerülésére

Az aratással megszűnik az árnyékolás, a bolygatatlan talaj felmelegedését és vízvesztését a tarlószalak késleltetik, de nem akadályozzák meg. Az aratáskor adapterrel zúzott és a tarlón egyenletesen szétterült szalma nem csak jobb minőségű hántásra ad lehetőséget, hanem – néhány napig – a talaj kiszáradását is késlelteti.

Amikor hosszú hetek telnek el a betakarítás és az utónövény vetése között, a vízvesztést egy új árnyékoló, szigetelő réteg létrehozásával lehet mérsékelni. A hántott és nyitva hagyott, vagy hántatlan és fedetlen felület inkább növeli, mint csökkenti a nedvességvesztést.

Az eredményt tekintve nem közömbös, van-e elmunkáló-elem a hántó eszközön. Száraz időben olyan sekélyen porhanyító, mulcshagyó és keverő, nagy területteljesítményű eszköz jobb a tarlőhántásra, amelyen lezáró elem van, vagy ilyen elem rászerezhető.



A nedvességveszteség csökkentését és a művelhetőség javulását segíti a száraz talaj fokozatos mélyítése a hántástól az alpművelésig. A fokozatosság a tarlómaradványok bekeverésében is hasznos.

A nedvességforgalom szabályozása érdekében nyári műveléskor hasznosabb, ha a tarlómaradványok fele, kétharmada a felszínen marad (mulcshagyás), és a kisebb része vagy a fele kerül a talajba. A következő, időben későbbi talajmunkával – amely lehet ápolás, vagy alpművelés – hasonló arányban rendezhető el a tarlómaradványok.



Kerülni kell a nedvességvesztést, a rögösítő eszközök használatát. Kíméletes porhanyításra, és lehetőleg egyenletes elmunkálásra kell törekedni. Az elmunkálás a rögösség csökkentését és a felszín lezárását célozza.

A talaj nedvességforgalmát – vagyis a befogadott, tárolt és az elpárolgott vízmennyiség mérlegét – az adott területen több éve folytatott talajhasználat is befolyásolja. A nyáron betakarított növények kisebb vízigényéből adódó előnyt egy jó tarlóműveléssel tovább lehet növelni. Ez az előny a tarlok gondatlan használata esetén 2-3 hét, hőségben pár nap alatt elveszhet.

A feltalaj fokozatos mélyítésével érdemes próbálkozni abban az esetben is, ha az erős kötöttség a sok talajmunka eredményeképpen sem enyhül. Így ez a réteg alkalmassá válik nagyobb mennyiségű csapadék befogadására. Az altalaj tömörödését időnkénti mélylazítással lehet megszüntetni, mindenképpen törekedni kell azonban a menetszám csökkentésére.

Vízmegőrzést elősegítő művelési módszerek

A termesztett növények, a maradványaik és a gyomok befolyásolják a talaj állapotát és művelhetőségét, mégpedig:

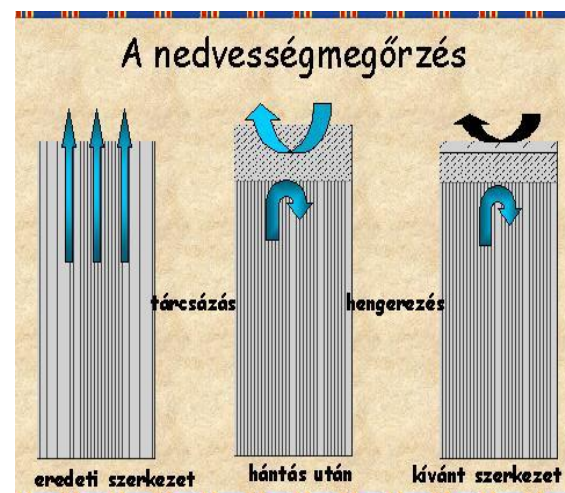
- a talaj vízkészletének felhasználása,
- a gyökerezésük mélysége, gyökérzetük tömege és minősége révén.

Mindemellett a földfelszínen hagyott tarlómaradványok elősegítik a talajnedvesség megtartását azáltal, hogy akadályozzák a talaj kiszáradását.

A tarlókántás a nedvességtakarékos termesztési technológiák egyik legfontosabb eleme, a nyár elején, nyár közepén betakarított növények tarlóján végzett sekély, legfeljebb 10 cm mély talajmunka. Célja – többek között – a talaj

nedvességvesztésének csökkentése. A hántott réteg talaját a bolygatatlan állapothoz képest ún. késleltetett vízleadás jellemzi. Mivel a talajon végzett lazító művelés növeli a párolgást, ezért hántás után a nedvességvesztés csökkentésére megfelelő felszínt kell kialakítani. A sekélyen hántott tarló, amelyre a tarlómaradványok részleges bekeverése és felületen maradása egyaránt jellemző, átlagosan 8-36 %-kal kevesebb nedvességet veszít, mint a bolygatatlan és fedetlen tarló. A rossz minőségű, vagyis a túl mély, a rögös, vagy a nyitottan hagyott hántásra nem jellemző e nedvességmegőrző hatás.

A hántást a betakarítást követően azonnal, a talaj ún. beárnyékolási érettségében kell elvégezni, a felszín kiszáradása előtt. A lazító-porhanyító műveletek elvégzésével egy időben gyengén tömöríteni is szükséges, tehát a felszínt le kell zárni. Így alakul ki az ún. második szigetelő réteg, amely egyben a szél szárító hatását is csökkenti. A tarlókántás eszköze lehet a talaj kötöttségétől függően bármely sekély lazításra és porhanyításra alkalmas eszköz: tárcsa, ásóborona, kultivátor, talajmaró.



Az ábrából látható a vízmegőrző talajművelés másik fontos eleme, az elmunkált talaj lezárása. Ezzel a művelettel a talajfelszínen egy tömörebb réteget alakítunk ki, amely elvágja a felfelé mozgó nedvesség útját, így megakadályozza a talaj gyors kiszáradását. Az egymenetes felületelmunkáláshoz gyűrűs vagy pálcás hengert szerelnek vagy kapcsolnak a hántó eszközhez. Magyarországon legelterjedtebb a tárcsás tarlóhántás.



Talajvédő művelési rendszerek (conservation tillage):

Ezen rendszerek irányzatának kialakulása Észak-Amerikában az 1960-as, 1970-es évek fordulójától, Európában az 1970-es évek közepétől figyelhető meg. Ide tartozik minden olyan művelési és vetési módszer, amelyeknek eredménye a legalább 30 %-os tarlómaradvány-borítottság, természetesen vetés után és a talaj felszínén. A talajvédő művelési módszereknek amelltt, hogy az eróziós- és deflációs károk, illetve a környezetkárosodás mértékének csökkentését hivatottak megvalósítani, a növénytermesztés és a gazdálkodás bizonytalanságának mérséklése is céluk, amely magába foglalja a talaj

vízkezelésével való ésszerű gazdálkodást, azaz a szárazabb éghajlatú területeken a vízmegőrző funkciójuk is van.

Észak-amerikai talajvédő rendszerek

No-tillage/zero tillage (művelés nélküli direktvetés). A direktvető gép csoroszlyája átvágja a tarlómaradványokat, és megnyitja a talajt a vetősorban a felszín legfeljebb 10 %-át bolygatva. Vetés előtt, illetve azzal egy menetben gyomirtó permetezést, műtrágyaszórást vagy permetezést végeznek.

Slot-planting (hasítékba vetés). A no-till rendszertől annyiban különbözik, hogy a vetéssel egy időben és menetben 5-15 cm mélységig lazítják a vetés sora alatt a talajt (hasíték-képzés), majd a vetés után vissza is tömörítik.

Strip-tillage (sávos művelés és vetés). A megművelt sávok szélessége a terület 1/3-a, mélysége 3,8-5,0 cm, esetleg 6-8 cm. A szárazúzást vetéskor vagy vetés előtt végzik. A tarló- és gyommaradványok a sávok közötti bolygatatlan területre tolvá fejtik ki talajvédő-vízmegőrző hatásukat. Vetés után a felület legalább 25 %-a fedett. A gyomirtószert és a műtrágyát a megművelt sávok talajába keverik. Sávos művelésre kultivátort vagy rotációs eszközt alkalmaznak.

Bakhátas művelés és vetés (ridge-till). A tarlómaradványokat a vetési idény előtt zúzzák és letolják a bakhátak tetejéről. A vetősorokat a bakhátakon alakítják ki, így itt a talaj melegebb, a fedett sorközöké pedig nyirkosabb és hidegebb. A tarlómaradványok csökkentik a talaj kiszáradását, lehordását és a traktorkerekek tömörítő hatását. A bakhátak (18-20 cm magasak) kialakítása,

tavaszi felújítása (bakhátfejezés vetés előtt) és a sorközök művelése (bakhátmagasítás) egyben mechanikai gyomkorrólatozást is eredményez.

Forgatás nélküli művelési rendszerek

Az 1990-es évek közepétől, számításba véve az ökológiai és ökonómiai tényezők hatásait, a talajállapot leromlását, a változó évjáratok kedvezőtlen befolyását, valamint a talaj- és környezetvédelem sürgető elvárásait, a hangsúly az alkalmazkodásra, a környezetterhelés csökkentésére – környezetkímélésre helyeződött, jelentősen módosultak a talajhasználati rendszerek.

Mára a környezetkímélő művelési eljárások az Európai Unióban egyre nagyobb hangsúlyt kapnak, s nemcsak a termelés gazdaságossága, hanem inkább a művelés környezetterhelése és annak káros következménye miatt. Napjainkban az éghajlatváltozás hatása egyre szembetűnőbb. A Föld tudatos lakójaként, továbbá uniós tagként felelősségteljes magatartással és szabályozásokkal kell odafigyelnünk környezetünk, így talajaink épségére. Éppen ezért a mezőgazdaságon belül a modern talajművelés feladata biztosítani a megfelelő talajállapotot az adott régióban, komoly vizsgálatokat és elemzéseket kell végezni annak érdekében, hogy az éghajlat- és a környezeti változásokat figyelembe véve melyek a megfelelő talajművelő eljárások, módszerek.

Olyan eszközöket – kultivátor, tárcsa, rotációs művelő – alkalmaznak, amelyekkel a tarlómaradványokat részben a talaj felső

(8-10 cm) rétegébe keverik, részben a felszínen hagyják. Vetés után a felszín legalább 20 %-a borított. A gyomirtásra a kémiai és mechanikai módszereket kombinálják. Elnevezésük az alapművelő eszköz alapján kultivátoros, tárcsás, rotációs stb. művelési rendszer. Az 1970-es évek végétől Magyarországon is megjelentek az előzőekhez hasonló művelés csökkentési törekvések. A csökkentett talajművelési rendszerek megjelenése hazánkban az energiahordozók árának emelkedéséhez köthető.



Erózió és vízvédalom növényborítottsággal

A talajok szerkezete részben a vízgazdálkodását és hő háztartását módosítja, valamint megszabja a talaj erodálhatóságát. Ismeretes, hogy a jó szerkezettel rendelkező talajok vízáteresztő és vízmegtartó képessége egyaránt kedvező. A jó talajszerkezet másik hatása, hogy befolyásolja az adott talajnak az erózióval szembeni ellenállóságát, mivel a nagyobb a víznek jobban ellenálló szerkezeti elemek nehezen mozdulnak el a

helyükről, mint az elporosodott, könnyen szétiszapolódó szerkezeti elemek.

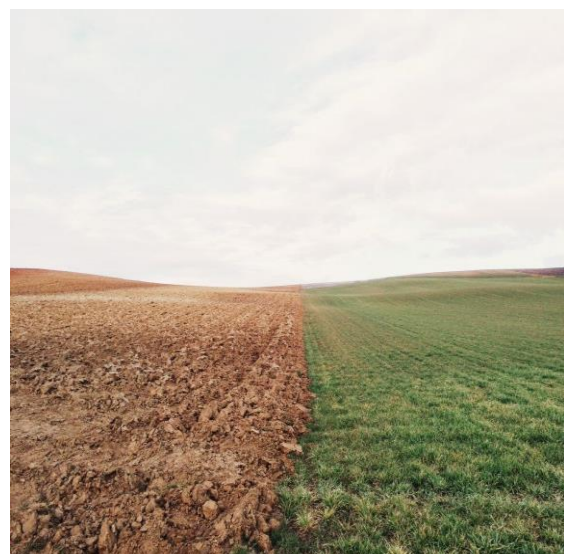


A növényborítottság az egyi legjelentősebb vízeróziót szabályozó tényező. Különböző növénytakarók eltérő módon befolyásolják a víz eróziós hatását, a talajpusztulásra gyakorolt hatásuk között lényeges eltérések mutatkoznak. Az erdők jelentősen csökkentik a talajra jutó csapadék mennyiségét.

A lombkoronák általában felfogják a lehulló csapadék jelentős részét. A víz a levelekről elpárolog, a maradék az ágakon, majd a törzs felületén jut az a talajra. Többszintű növénytakaró esetén az alsóbb szinteken élő növénytársulások csak növelik a szűrő hatást. A talajfelszínre jutó csökkent vízmennyiség maradék részét felfogja az avartakaró, amely nagy mennyiségű vizet képes visszatartani, valamint a víz csepperóziós hatás nélkül jut a talajba. Összességében az az ősi erdőtípusok radikálisan csökkentik a talaj eróziós pusztulását.



Bármely emberi beavatkozás, legeltetés, erdőtelepítés esetén nagy mértékben csökken talajeróziós elleni biztonság. Az erdős puszták szintén kiváló erózió gátló hatásúak. Kevésbé, mint az erdők, de jellemzően a zárt növénytakaró jelentősen csökkenti a talajpusztulás lehetőségét, mivel visszatartja a csapadék egy részét és biztosítja a felületen összegyűlt vizek erózió nélküli lefutását. A mezőgazdasági művelés alá vont területeken a mesterségesen megváltoztatott növénytakaró csökkentette a növényzet talajvédő hatását. Ennek oka, hogy a zárt növénytakaró a tavaszi és nyári záporok időszakban bírnak nagyobb jelentőséggel az erózió csökkentése szempontjából, viszont ezekben az időszakokban a legcsekélyebb a szántóterületek növényfedettsége.



A szél erózió másnéven defláció

A talajpusztulást nem csak a víz, hanem a szél is okozhat. Defláció valójában minden fizikai tulajdonságú talajon előfordulhat, ha a szél megfelelő energiával rendelkezik a szerkezeti elemek, talajszemcsék elszállításához.

A széleróziót 1.) kiváltó tényezők a szél sebessége, örvénylése, 2.) befolyásoló tényezők a deflációs terület hossza, a talaj szemcseösszetétele, a talaj szerkezetessége, a talajfelszín érdessége és nedvessége, a talaj szervesanyag tartalma és a felszín növényborítottsága, valamint a talajfelszín nedvessége és érdessége.

A szélesebesség hatása a talajszemcsék mozgását befolyásolja. A szélesebesség ebben az esetben nem a meteorológiai észlelést vagy szabad légmozgást veszi figyelembe. Ugyanis a szél erősségét fékezik a talajfelszín domborzati formái, a növényzet és a felszín érdessége. Természetesen a szélesebesség a talajfelszín közelében a legkisebb, a felszíntől távolodva a szélerősség exponenciálisan nő. A felszín felett 2mm vékony rétegben az áramlás nulla, egyenletes légmozgásnak tekinthető, viszont felette a légmozgás örvénylő (turbulens). Ez az örvénylő áramlás okozza a talajrészecskék mozgását.

A leginkább mozgékony talajrészecskék a 0,1 mm nagyságúak, de a talaj felszínén mért 0,82 m/s sebesség már a 4-5 mm nagyságú szemcséket is elmozdítja a helyükről. Ha figyelembe vesszük, hogy a felszín feletti 8 méteres magasságban a szél sebessége 15-szörösére nő, akkor ennek megfelelően egy kisebb szélvihar is képes az apróbb szemcseméretű talajmorzsákat távolra szállítani. Ennek a jelenségnek a következményeként a talaj felső termőrétege elvándorol és nem csak a

növénytermesztés szempontjából okoz gondot a termőréteg eltűnése, hanem por és homokvihart is okoznak, amelyeket települési környezetben is gyakran érzékelhetünk. Homok esetében a távolabbi növényállományokban a jelentős homokverés okoz rendkívüli anyagi károkat. A jelenséget intenzívebbé teszi az a tény, hogy a defláció során a talajrészecskék egymásnak ütődve a szomszédos területek talajszemcséit is magával ragadják, így ez a természeti jelenség lavinaszerűvé válik. A talaj szerkezetessége jelentős szerepet játszik a defláció kialakulásában vagy annak gátló hatásában. Ahogyan nő a talajszemcsék átmérője úgy csökken a szemcséket összetapasztó erő és a szerkezet kialakulásának a lehetősége.



A szerkezet kialakulásában fontos szerepe van a talajkolloidoknak (humusz és agyag), mivel a kolloidok felületi feszültségének következtében a felületükön megmarad a nedvesség. A talaj nedvességének mértékével egyenes arányban csökken a deflációs hatás.



A teljesen száraz talajrészeknek a deflációs ellenállása szinte nulla. Abban az esetben, ha a szerves és a szervesetlen kolloidok mértéke növekszik, az a deflációs hatás folyamatos csökkenését eredményezi.

A talajfelszín érdessége alatt a talajfelszínen kialakuló egymástól eltérő és kis magasságkülönbségeket értjük, néhány cm nagyságúak. Viszont ezek a pár centis felületi eltérések elegendőek ahhoz, hogy könnyebben a széláramlás örvénylő rétegébe jussanak, ezzel is fokozva a szél pusztító hatását. A talajfelszín érdessége befolyásolja a talaj nedvességi állapotát. A nedves talajszemcsék térfogattömege jellemzően nagyobb, mint a száraz talajszemcséké. A nedvesség hatására a szemcsék között megnő a tapadóerő, ami értelemszerűen csökkenti a deflációs hatást. A talajnedvességet jelentősen befolyásolja a talaj szervesanyag tartalma. A szervesanyagtartalom kedvezőbb kolloidális viszonyokat eredményez, amely a talajok kedvezőbb vízháztartásához vezet. A nedvesség hatására a szemcsék jobban tapadnak egymáshoz és a tömegük is megnő így jobban ellenállnak a szél kedvezőtlen hatásainak.

Tehát a talaj vízgazdálkodása határozza meg, hogy az adott talajfelszín milyen hosszú ideig őrzi meg a nedvességtartalmát, amely fékezni tudja a talajpusztulás folyamatát, valamint, hogy

mikor szárad ki annyira, hogy a deflációnak kevésbé tud ellenállni.

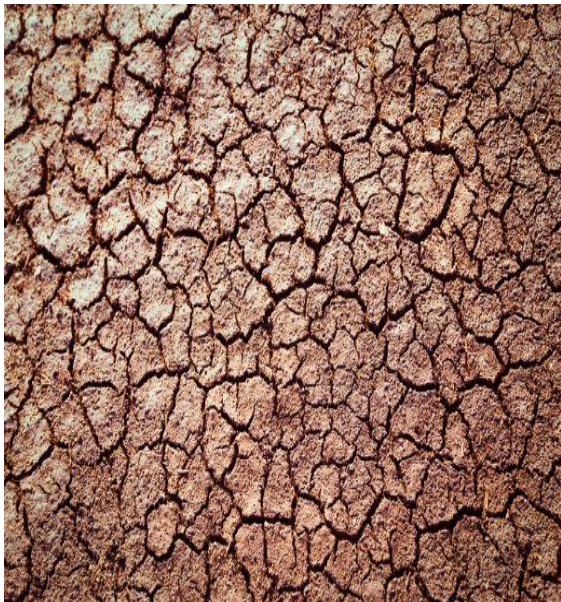
A szél eróziós hatásai a mezőgazdasági termelést negatívan befolyásolják. A mezőgazdaságra termelésre gyakorolt negatív hatásokon túl, az emberi környezetre, életre és a klimatikus viszonyok kedvezőtlen változásaira is befolyással vannak. A városokban megnő a szálló por koncentrációja, az ember által lakott területeken az emberi életre és az épített környezetre veszélyt jelent a homokviharok kialakulása.

A szél és a víz által degradált talajok nem képesek a vízmegtartásra és a víz hűsítő hatása kevésbé érvényesül. Ennek eredményeképpen a mezőgazdasági művelés alá vont területek hatalmas méretéből adódóan a talajok vízkészletének gyors elpárolgása miatt intenzíven hozzájárulnak az általános felmelegedési tendenciákhoz. Ugyanis a talajok rövid időn belül kiszáradnak, így a párolgotatás nem egyenletes és folyamatos. Tehát a párolgás a léghő hűsítő hatása csak rövid ideig érvényesül.

A talajok gyors ütemű párolgása kedvezetlenül befolyásolhatja a légköri és csapadék viszonyokat, mivel a talajokból rövid idő alatt elpárolgó nagy mennyiségű víz a légkörbe jut és a légmozgások következtében a légkörben felhalmozott víz egy másik földrajzi területen özönvíz szerű esőzéseket okoz. A jelenség a csapadék hektikus eloszlásának egyik oka lehet. A rövid idő alatt lehulló nagy mennyiségű csapadék belvizek és áradások kialakulását eredményezi. Továbbá a légkör magasabb szférái felé történő áramlás intenzív, gyakori, korábban ritkán előforduló jégesők kialakulását is eredményezi. Ezek mindegyike jelentős környezetterheléssel és károkkal jár.

LIFE19CCA/HU/001320-LIFE-CLIMCOOP

Össességében az általánosan romló éghajlati, klimatikus viszonyokhoz a talaj pusztulás ezen formái radikálisan hozzájárulnak.



A Problémákra adható válaszok

A súlyos talajdegradációk mérséklésére és megállítására, valamint a kialakult környezeti problémákra számos, napjainkban már jól ismert protokoll létezik. Első és legfontosabb a helyzet kialakulását előidéző agrotechnikai és termesztéstechnikai gyakorlatok felülírása, elhagyása vagy optimalizálása. Ezek között meg kell említeni a forgatásos talajművelés

elhagyását vagy minimalizálását. Továbbá a talajművelés szempontjából fontos, az eróziós hatásokat csökkentő agrotechnikai módszerek alkalmazása és a talajtömörödést előidéző taposási károk csökkentése.



További igény a környezetvédelem és a fenntarthatóság szempontjából a műtrágyák használatának radikális csökkentése, vagy optimalizálása és okszerű felhasználása.

Elengedhetetlen a zöldtrágya és takarónövények használata. Valamint jelentősen növelni kell a védő erdősávok mértékét, a folyamatos növények általi talajfedettséget és a biodiverzitást.

A leromlott talajszerkezet meliorációjának kiemelt szerepe van. Ennek elérése érdekében a talajok szervesanyag készletének növelése elengedhetetlen a növényi biomasszák, állati szervesanyagok és egyéb szénforrások felhasználásával, amelyek növelik a talajok pufferkapacitását, humuszképződését és jelentősen növelik a vízháztartást.



A humuszképződés folyamata és jelentősége

A termőtalajok romlása világviszonylatban, de Magyarországon is jelentős. A fő probléma az, hogy a talajélet egyre silányabbá válik, ennek következtében sérül többek között a tápanyag-szolgáltató képesség, és fogyatkozik a humusz.

Ezért szemléletváltásra és komplex technológiai megoldásokra van szükség. Ennek része többek között a szervesanyag-visszapótlás, minimális talajbolygatás, a kíméletes művelés, a mikrobiológiai megoldások alkalmazása.

A mikrobiológia tudományának már sikerült tisztázni a jó néhány talajbaktérium szerepét. Ismerünk nitrogénkötő, a foszfort és a káliumot a növények részére felvehető formára átalakító törzseket. De vannak növényi hormonokat termelő, talaj- és növényegészséget védő baktériumok is. A morzsás talajszerkezet kialakításáért pedig a nyálkaszerű anyagot termelő mikrobák a felelősek.

Több évtizedes kutató- és fejlesztőmunka eredményeként jöttek létre a baktériumos talajoltó készítmények és a növényi maradványok szakszerű elbontását támogató mikrobiológiai termékek.

A humusz a talaj egy sajátos és igen fontos alkotórésze. Nem egy vegyület, hanem vegyületek összessége. A humuszvegyületek talajspecifikusak, azaz 85-90%-ban csak a talajban fordulnak elő. Tulajdonképpen a talajba jutott szerves anyagok azon része, ami már átesett a humifikáció folyamatán. Ehhez a folyamathoz viszont elengedhetetlen a talajlakó mikroorganizmusok tevékenysége.

A humusznak jelentős szerepe van a talaj termőképességének fenntartásában, hatással van a talaj szerkezetére, víz-, levegő- és hőgazdálkodásra.

A humuszképződés egyik legnagyobb mérvű szereplői azok a talajbaktériumok, amelyek képesek egyszerű szénhidrátokból (cukrokból) ún. baktériumnyálka, azaz EPS-exopoliszacharidok kiválasztására. Ez egyben a talajszerkezet kialakításában „gyors” és optimális javulást tesz lehetővé. Talajoltó baktériumokkal ez a folyamat jelentősen gyorsítható.

A szakirodalom szerint a humusz a megfelelő összetételű mikrobiológiai közösség életfolyamatainak eredményeként jön létre, amely jelentős mennyiségben keletkezhet, ha ott nagy változatosságú a növényi élet, és a talaj képes tápanyagokkal ellátni a minél változatosabb humuszképző mikrobiális életközösséget.

Mindehhez a talaj széntartalma a kulcs – ami akár duplája is lehet a légkör szénttartalmának –, ezért ezt nagyon fontos megőrizni, illetve növelni!

A talaj legfontosabb alkotói a kolloidális méretű, vízburokkal körülvett agyagásványok és humuszanyagok. Kalciumban gazdag környezetben ezek agyagásvány–humusz-komplexeket képeznek, amelyek a **talajmorzsák** kialakítói.

A tápanyagfelvétel alapvetően a talaj szilárd alkotórészeinek, a talajban lévő mikroorganizmusoknak és a növények gyökérfelszínének kölcsönhatása eredményeként a talajoldatban megy végbe.

A humusz ellenálló, nehezen bomló, vízben csak meghatározott körülmények között oldódó vegyületek összessége. A felhalmozódása nagyobb mennyiségben csak hosszú folyamat eredménye. Lebomlása lassú, amely lehetővé teszi, hogy a humusz hosszú időn át tudjon tápanyagot, főleg nitrogént biztosítani a növényeknek.

Talaj szervesanyag (humusz) tartalmának csökkenése

A globális szén körforgalomra világoceánok mellett legnagyobb hatással a talaj termőrétegének van. Bár a biotikus és abiotikus úton keletkező széndioxid legnagyobb hányadát a világoceánok nyelik el, és alakítják kalcium-karbonáttá. Az óceánok mellett a talaj termőrétegének szerepe a szén-dioxid elnyelésében jelentős hányadot képvisel. A talajlakó állatok, földigiliszta, ászkarák, különféle drótférgék óriási szerepet játszanak a talaj humusz-képződésében és a humuszanyagok stabilizálásában. A lebomló növényi anyagokat az említett talajlakó állatok alakítják stabil humuszanyagokká kalcium-humátokká, amelyek

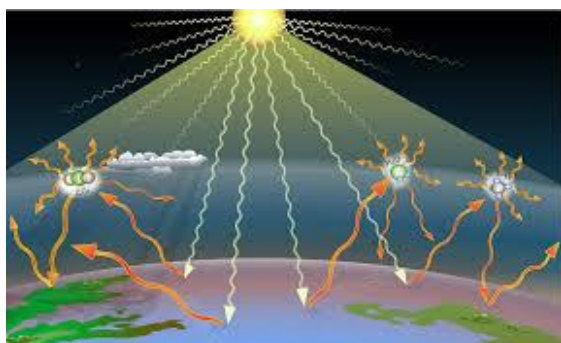
a talaj morzsalékos szerkezetét köszönhetjük. A földigiliszta bélcsatornájában lévő a Morren-féle mézmirigyek kalcium ionokat választanak ki, amelyek komplexeket képeznek a humuszanyagokkal. A kiválasztott kalcium más része a szén-dioxidot megkötve kalcium karbonát szemcsékké alakul. Sajnos a nagyüzemi mezőgazdaságban számos olyan tényező van, amely gátolja a talaj humuszanyagok képződését, csökkenti a humuszanyagok stabilitását, és csökkenti a talajlakó állatok populációját.

Ezek közül az egyik tényező a talaj savanyodása. Az intenzíven művelt területek jelentős hányadát érinti a talajsavanyodás, mint a talaj termékenységet csökkentő tényező. A talajsavanyodás legfőbb előidézője az intenzív műtrágya használat, ezen belül is a kálium trágyák használata. Amennyiben a kijuttatott műtrágya kálium-klorid, a növények a káliumot hasznosítják míg a kloridionok a talajban maradnak. Így a kloridionok a talajban feldúsulnak és kation pár nélkül a vízzel sósavat alkotnak. Ez intenzív párolgás esetén savasesők kialakulásához vezet. A talaj pH értékének savas irányba történő eltolódása szinte láncreakció-szerűen több káros folyamatot indít el: a kalcium karbonát szemcsék szén-dioxid képződés közben feloldódnak, ezzel hozzájárulva talajok szén-dioxid kibocsátásához

A savas kémhatás miatt a talaj humusz kolloidok szétesnek, a kalcium-humátok feloldódnak, amely a humuszanyagok termőrétegből történő kimosódását okozhatja. A savanyú talajokban csökken a nitrogén-fixáció is mivel a szabadon élő nitrogén- fixáló mikroba fajok pl. *azotobacter*, *azospirillum* az enyhén alkalikus közeget kedvelik.

További kedvezőtlen hatás a gyomirtók, talajfertőtlenítők növényvédőszer használata. Bár rövid távon ezek a hatóanyagok ténylegesen növelik a termésbiztonságot, azonban katasztrofális hatást gyakorolnak a talajlakó állatokra és a talaj mikrobiális aktivitására egyaránt. Külön ki lehet emelni a foszfátésztereket és a fenil-karbamátokat, amelyek enziminhibitor hatással bírnak. A humuszképződésért felelős talajlakó állatokra pedig közvetlen toxikus hatást gyakorolnak. A humuszképződés intenzitásának csökkenésén túl, az alkalmazott növényvédő szerek csökkentik a talaj termőrétegének szén-dioxid elnyelő képességét is.

A mezőgazdaságból eredő üvegházhatású gáz kibocsátás okai között kiemelten fontos foglalkozni a nitrogén műtrágyázás hatásaival.



A leggyakrabban alkalmazott nitrogén műtrágya az ammónium-nitrát. Több nemzetközi vizsgálat is igazolta, hogy a kijuttatott nitrogén műtrágyának csak a 40-50%-a hasznosul, a többi elemi nitrogén gáz formájában elvész a légkörbe. Továbbá az oldható nitrogén formák egy része ki van téve a kimosódásnak. Ennek következménye lehet a felszín alatti vízbázisok nitrát szennyeződése, amely komoly humánegészségügyi kockázattal jár. A veszteség nagyobb hányada a denitrifikációból ered. A talaj anaerob

mikrorégióiban a feltételek kedveznek a denitrifikációnak. Ebben a folyamatban, ha nem áll rendelkezésre oxigén, a mikrobák egy része képes a nitrát ionokat légzési elektron akceptorként használni. A folyamat során nitrogén-monoxid, dinitrogén-oxid, végül pedig elemi nitrogén képződik, amelyek a talajból a levegőbe távoznak. A dinitrogén-oxid és a nitrogén-monoxid üvegházhatású gázok, így végsősoron a nitrogén műtrágyák használata közvetve hozzájárul a globális felmelegedéshez.



Lehetséges megoldások a talaj szervesanyagtartalmának növelésére, a humusztartalom megőrzésére

A talaj humusz frakciójának növelése érdekében ma már számos innovatív biológiai megoldás áll rendelkezésre, illetve van fejlesztés alatt. Ezek egyike a különféle baktériumokat, gombákat, algákat tartalmazó mikrobiológiai készítmények alkalmazása. A biotrágyák mikroba összetételének összeállításakor alapvetően nitrogénkötésre, tápanyag mobilizálásra, növényi növekedési hormonok termelésére, valamint a szármagványok gyorsított lebomlására összpontosítanak. Így a termék megjelölése nélkül genus szinten a biotrágya készítmények általában az alábbi mikroba fajokat tartalmazzák:

Bacillus fajok például; *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus polymixa*. Az említett *Bacillus* fajok számos lebontásban szerepet játszó extracelluláris enzimet, észterázokat, lipázokat, proteázokat termelnek, ezzel elősegítve a komplex szerves anyagok lebontását. A *Bacillus*ok további hatása, hogy a szerves anyagok lebontása során többféle szerves savat is termelnek, amelyek elősegítik a foszfátok mobilizálódását az agyagásványokból. Ellenben a foszforműtrágyák túlzott használata a foszfát tajvízbe mosódását okozhatja, amely állóvizekbe jutva algavirágzást és eutrofizációt okoz, amely a vizek élővilágának létét veszélyeztetik.



A *Bacillus*ok az aromás aminosavakat pl. a triptofánt képesek indol-ecetsavvá, egy a növények számára nélkülözhetetlen növekedési hormonná átalakítani. Az indolecetsav gyorsabb csírázást, nagyobb gyökértömeget és felületet eredményez.

A készítményekben alkalmazott *Azotobacter* fajok pl. *Azotobacter chroococcum*, *Azotobacter vinelandi* szabadon élő nitrogénkötő baktériumok. Így amennyiben a talajok nem tartalmaznak elegendő nitrogént, alkalmazásukkal növelhető a biológiai nitrogén-fixáció. Itt meg kell jegyezni, hogy a szabadon élő nitrogén kötő baktériumok optimális molibdén ellátottság esetén akár 60-120kg/ha nitrogént is megköthetnek,

amely gabonatermesztés esetében a nitrogén szükséglet harmadát, felét is kiteheti. Ez lehetőséget nyújt a szintetikus nitrogénműtrágyák csökkentésére.

A *Pseudomonas* fajok vas és nyomelemkötő vegyületeket termelnek. A talaj termőrétegében a ferrovas (Fe^{2+}) a felvehető vas forma, amely csak rendkívül kis koncentrációban van jelen a talaj termőrétegében. A növény rhizoszféra mikrobái sziderofórokat termelnek, amelyek specifikusan kötik az Fe^{2+} ionokat. Így gátolva az esetlegesen jelenlévő más patogének növekedését.

A problémákra adható alternatívák

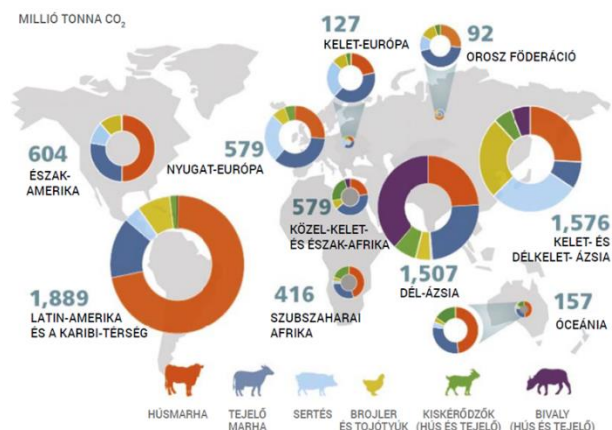
Az okszerűtlen műtrágya használat helyett környezetkímélőbb és hatékonyabb tápanyagutánpótlási rendszerek alkalmazása. Elsődlegesen a biostimulátorok, valamint különféle szervestrágyák mezőgazdasági, élelmiszeripari és kommunális hulladékok komposztálásából származó tápanyagutánpótlási módok alkalmazása. Ezen technológiák alkalmazásával jelentősen csökkenthetőek a korábban felsorolt környezeti ártalmak, az üvegházhatású gázok kibocsátása és vízszennyezések vonatkozásában. Ezek a környezetkímélő biológiai megoldások hosszútávon megőrzik a talaj egészségét és termőképességét, valamint hozzájárulnak a klimatikus egyensúly helyreállításához.



A mezőgazdaság karbon kibocsátása

Magyarország teljes szén-dioxid kibocsátásának 14 százalékát (9 megatonna CO₂ egyenérték) a mezőgazdasági termelés adja. A mezőgazdasági ágazat egy főre jutó kibocsátási aránya megfelel a regionális átlagnak, és Európa nagy részéhez hasonlóan a legnagyobb kibocsátást a haszonállatok bélfermentációja okozza, ezt követi a növénytermesztés (a műtrágyák használata miatt) és a mezőgazdasági üzemek energiafelhasználása. Habár a közép- és kelet európai országokhoz képest Magyarországon kevesebb szarvasmarha van, a haszonállat tartásból származó kibocsátások kétharmadáért mégis ők felelnek. Ez jól tükrözi azt a tényt, hogy a kérődző állatok – így különösen a szarvasmarha – tartása 10-szer nagyobb szén-dioxid-kibocsátással jár, mint a baromfitartás, és 30-szor nagyobb szén-dioxid-kibocsátással, mint a növényi fehérje előállítás. A növénytermesztésből származó kibocsátás Magyarországon viszonylag magas, az összkibocsátás mintegy 47 százaléka, ami a szintetikus műtrágyák széles körű használatából adódik. A mezőgazdasági üzemekben felhasznált energia mintegy 18 százalékkal járul hozzá Magyarország mezőgazdasági ágazatának kibocsátásához, ez valamivel alacsonyabb a szomszédos közép- és kelet európai országokénál.

Magyarországon – Közép- és Kelet-Európa többi országához képest – a kibocsátások kisebb hányada származik haszonállattartásból és nagyobb hányada növénytermesztésből Magyarországon – Közép- és Kelet-Európa többi országához képest – a kibocsátások kisebb hányada származik haszonállattartásból és nagyobb hányada a növénytermesztésből.



Az állattenyésztést érintő károsanyag kibocsátások tekintetében az ammónia és a metán rendelkezik a legjelentősebb környezeti terheléssel, és a légköri szennyezők között ezek járulnak hozzá leginkább a klímaváltozás előidézéséhez és fokozásához. Nem vitatható, hogy a kérődző állatok emésztőrendszerében lejárló fermentációs folyamatok általi, valamint a trágyában lévő szerves anyagok anaerob baktériumok általi bontása során keletkező – CO₂-egyenértékben a mezőgazdaság összkibocsátásának 44%-át adó – metánkibocsátás jelentős. Hangsúlyozni szükséges azonban, hogy az állattenyésztéshez köthető globális kibocsátás tekintetében regionális szinten, valamint az enterális fermentációból származó kibocsátások esetében állatfajonként jelentős eltérések figyelhetők meg.

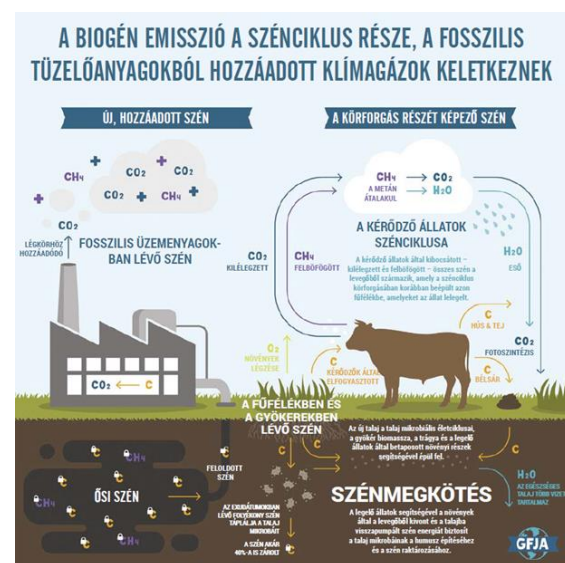
Az Európai Unió több évtizede tudatosan és hatékonyan dolgozik az állattenyésztés környezetre gyakorolt káros hatásainak mérséklésén, az ágazat ÜHG-kibocsátás csökkentésén, valamint az erőforrások fenntarthatóbb és hatékonyabb felhasználásán. A megtett intézkedéseknek köszönhetően Európa enterális fermentációból származó kibocsátása az elmúlt évtizedekben jelentősen csökkent, miközben a metán kibocsátás Afrikában, Ázsiában és Amerikában jelentősen nőtt. Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség legfrissebb adatai szerint az unió teljes kibocsátásának már csak alig 6%-a származik az állattenyésztés ÜHG-kibocsátásából.

Mi is a különbség az „áramló” és a „készlet” klíma gázok között?

Sok esetben figyelmen kívül hagyják azt a tényt is, hogy a mezőgazdasági eredetű metán – különösen az állattenyésztéshez köthető szerves eredetű gázkibocsátás – az ÜHG-ok természetes körfogásának részét képezi. A biogén metánforrások rövid élettartamú „áramló” klíma gázként a légkörben megközelítőleg 12 év alatt széndioxiddá és vízzé bomlanak, amelyek a fotoszintézis útján a biomassa (takarmány) és a talaj szénkészletébe beépülnek, ezáltal a mezőgazdaság természetes szénkörforgásának azaz a biogén szénkörforgásának a részét képezik, ellentétben a fosszilis forrásokból származó, hosszú élettartamú, „készlet” klíma gázokkal. A fosszilis tüzelőanyagokból származó szén ugyanis az „ősi”, több millió éve a föld alá zárt és onnan kivont szénből és nem a légköri szénből származik. A fosszilis tüzelőanyagok elégetése során keletkező gáz halmazállapotú égéstermékek – mint például a szén-dioxid is – tehát a

légkörben új, hozzáadott gázként jelennek meg és úgynevezett „hőfogó gázként” jelentősen erősítik az üvegházhatást.

A biogén és a fosszilis metán közötti különbségtétel, a kiegyensúlyozottabb megközelítés, valamint a tudományos bizonyítékokon alapuló klímapolitikai döntéshozatal tehát kulcsfontosságú a metánkibocsátási probléma kezelése tekintetében. Különös tekintettel az állattenyésztési ágazat jelentőségére, mely – a biodiverzitás megőrzésén, talajainknak a klímaváltozás hatásaival szembeni ellenállóképességének fokozásán és a fosszilis eredetű szintetikus műtrágya felhasználás mérséklésén túl – a teljes európai agrár-élelmiszeripari termelés 40%-át adja, megközelítőleg 170 milliárd euró értéket termel és közvetlenül több mint 4 millió embert foglalkoztat.



A megvalósítható dekarbonizációs pálya

A mezőgazdaság kétségkívül a legnehezebben dekarbonizálható ágazat. A szükséges technológiák közül sok még kezdeti stádiumban van, és a mezőgazdasági tevékenységek szétszórta jellege is megnehezíti a nyomon követést.

Mindazonáltal – számítások szerint – a következő három évtizedben (különösen 2030 után) célzott intézkedésekkel Magyarország akár 37 százalékkal is csökkentheti a mezőgazdasági ágazat kibocsátását. Fontos megjegyezni, hogy elemzésünk nem veszi figyelembe az ágazat fenntarthatóságához szükséges további intézkedéseket, például a biológiai sokféleség és a vízellátás biztosítását.

Az alábbiakban bemutatott intézkedések révén a kibocsátás 2050-re 37 százalékkal csökkenhet. A mezőgazdaság dekarbonizációjában Magyarország számára a legfontosabb lépés a haszonállatok bélfermentációjából származó kibocsátások csökkentése. Elsőként olyan új technológiák bevezetésére lehet szükség, amelyek hatékonyan csökkentik a kérődző állatokból származó kibocsátást, mint például a trágya anaerob kezelése. Az állattartással kapcsolatos kibocsátások csökkentése érdekében a gazdálkodók speciális takarmánytípusokat és takarmánykeverékeket is használhatnak, például tengeri algát, zsírokat és tanninokat, hogy csökkentsék a metán- és dinitrogén-oxid-koncentrációt.



Elemzések szerint míg e technológiák bevezetésével az állatállományból

származó összes kibocsátás mintegy 22 százalékkal csökkenne, az is tény, hogy a kibocsátás egy része az állattartás velejárója, így teljesen nem küszöbölhető ki. Éppen ezért a gazdálkodóknak a növénytermesztéssel összefüggő kibocsátások csökkentésére is törekedniük kell – ez az a terület, ahol a szintetikus műtrágyák használatát kiváltó fejlett technológiák különösen nagy hasznot hajthatnak Magyarországon. Az olyan természetes stimulánsok, mint a tengeri moszatok kivonata, növelhetik a növények terméshozamát, és segíthetik a környezetben már jelenlévő (természetes vagy műtrágyákból eredő) tápanyagok felvételét, amivel csökkenthető a trágyázás mértéke és a kapcsolódó nitrogén-oxid kibocsátás. Hasonlóképpen, a nagyobb hatékonyságú trágyák, így különösen a dinitrogén-oxid inhibitorok, segíthetnek lassítani a műtrágya lebomlását más kémiai vegyületekre. A folyamat következtében a növények számára több nitrogén áll rendelkezésre, míg kevesebb nitrogénből keletkezik káros gáz.



A műveléshez használt mezőgazdasági gépek energiafelhasználása 1,9 megatonna CO₂-egyenértékkel járult hozzá a magyarországi kibocsátáshoz. A műveléshez használt mezőgazdasági gépek energiafelhasználása 1,9 megatonna CO₂ egyenértékkel járult hozzá a magyarországi

kibocsátáshoz. Ezek teljes egészében kiválthatók lennének, ha a fosszilis üzemanyaggal működő mezőgazdasági gépeket – például a traktorokat – elektromos vagy hidrogénüzemű járművekre cserélnék. A villamos energia jelenlegi részesedése a mezőgazdaságban felhasznált összes hajtóanyagból mindössze 12%, mivel a legtöbb mezőgazdasági gép még fosszilis üzemanyaggal, főként gázolajjal működik. Elemzések szerint előbb az elektromos, majd a hidrogénüzemű mezőgazdasági gépek is versenyképesek lesznek a belső égésű motorokkal szemben, így 2050-re a mezőgazdasági gépek zéró kibocsátóvá válhatnak. A technológiai fejlődésen túl a fogyasztói szokások megváltozása is csökkentheti a mezőgazdasági kibocsátást.

Az ENSZ Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) földhasználati foglalkozó külön jelentése szerint jelenleg 50-100-szor gyorsabban pusztítjuk talajainkat, mint ahogy az képes volna regenerálódni. A talajromlás hozzájárul a klímaváltozás káros hatásainak növekedéséhez, amely az élelmiszerbiztonság csökkenését okozza. Az EU Talaj Misszióját előkészítő tudományos jelentés szerint 50 milliárd eurót veszít évente a közösség a rossz gyakorlatok és a talajromlás miatt. A talajkímélő és innovatív eszközök megoldást jelenthetnek a szektor klímaváltozással szembeni ellenállóképességének és alkalmazkodóképességének a növeléséhez, ugyanakkor az innovatív eszközökkel szemben a gazdák jelenleg még bizalmatlanok.

Számítások szerint a bemutatott intézkedések 37 százalékkal csökkentenék a magyar mezőgazdaságból származó károsanyag-kibocsátást.

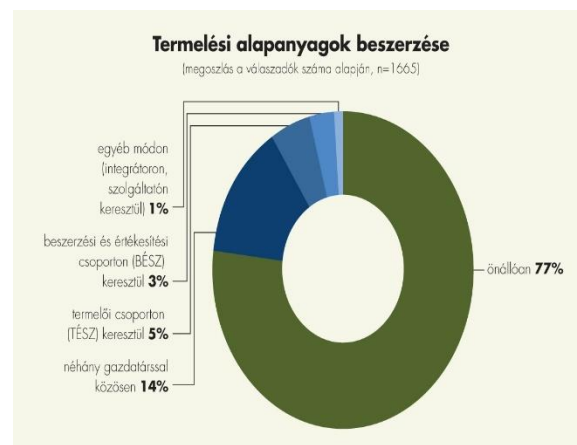
Mindazonáltal, tekintve az ágazat struktúráját, az intézkedések mellett legalább ennyire fontos a végrehajtás minősége. Magyarországon összesen 234 ezer, többnyire közepes méretű gazdaság működik, amelyek fele bérelt mezőgazdasági területet művel. Ez egyben azt is jelenti, hogy a földterület művelésében vagy a műveléshez alkalmazott technológiákban tervezett bármilyen módosításhoz meg kell szerezni a földtulajdonosok engedélyét. Mivel az új technológiák bevezetése általában jelentős beruházásokkal jár, a kis- és közepes méretű gazdaságok nem feltétlenül motiváltak ezek bevezetésére. Ezen segíthetnek az olyan dekarbonizációs megoldások, mint amelyet például dán gazdák alkalmaznak. A mezőgazdasági dekarbonizációs törekvések megvalósításáért a kormányok is sokat tehetnek, például a klímasemlegességet célzó intézkedések finanszírozásával. Például az Európai Zöld Megállapodás (EU Green Deal) az agrárágazattal szemben is megfogalmazott 2030-ig teljesítendő – bár egyelőre még nem kötelező érvényű – fenntarthatósági célokat. Az Európai Unió tagállamai többek között megállapodtak arról, hogy a 2023-2027 közötti időszakra vonatkozó közös agrárpolitikában (KAP) központi szerepet kapnak a környezetvédelmi és klímavédelmi intézkedések. A finanszírozás elnyeréséhez a pályázóknak szigorúbb fenntarthatósági követelményeknek kell megfelelniük, ami hozzájárulhat az új, alacsony kibocsátású technológiák szélesebb körű alkalmazásához.

Követendő nemzetközi gyakorlatok

Az Arla Foods egy olyan nemzetközi tejipari szövetkezet, amely 1990-ben Dániából és Svédországból indult, és mára Európa-



szerte 10 000 gazdálkodóval dolgozik együtt. Az Arla nemrégiben duplájára – 30 százalékról 63 százalékra – emelte a Scope 1 és Scope 2 kibocsátás (működés, szállítást beleértve) csökkentésére vonatkozó 2030-as célkitűzését. Ezen felül 30 százalékkal szeretné csökkenteni a Scope 3 kibocsátását. A csökkentést a szövetkezet úgy érte el, hogy a gazdáktól, a termelőktől és a szállítóktól begyűjtött adatok elemzése alapján felmérte az értéklánc szereplőinek szénlábnyomát, és meghatározta, hogy milyen támogatásra van szükség a kibocsátás mérsékléséhez. Az információmegosztás elősegítésére az Arla a tej kilogrammjáért 1 eurócentes ösztönzőt kínál a gazdáknak, ha adatokat szolgáltatnak arról, hogy milyen üzemanyagokat és takarmányt használnak, hány állatot tartanak, milyen típusú trágyát, és milyen hulladékkezelési technikákat használnak. Az Arla mezőgazdasági termelőinek több mint 90 százaléka vett részt ebben.⁸⁰ Ezen adatok alapján az Arla célirányosan hajtja végre a szén-dioxid-kibocsátás⁸¹ csökkentésére fókuszáló beruházásait, például a meglévő gépek elektromosra⁸² cserélését vagy a megújuló energiaforrásokból származó villamos energia részarányának növelését. Ezen felül partnerséget kötött például a DSM⁸³ nevű céggel, hogy új hozzáadott anyagokkal kísérletezzenek, melyek a tejtehenek metánkibocsátását 30 százalékkal csökkenthetik. Hasonló programok a magyar mezőgazdasági társulások/szövetkezetek esetében is célravezetőek lehetnek a kibocsátáscsökkentés felgyorsításához.



A jelenlegi műszaki megoldások és a fogyasztói szokások ismeretében Magyarország 2050-ig várhatóan nem képes minden szén-dioxid-forrását felszámolni, így a legnehezebben megszüntethető kibocsátások ellensúlyozására negatív kibocsátási, karbonelnyelő forrásokat is fel kell használnia. Ezek két kategóriába bonthatók: természeti és technológiai alapú megoldásokra. A természetes karbonelnyelő megoldások köre, vagyis a földhasználat, földhasználat megváltoztatás és erdőgazdálkodás (angol rövidítéssel a LULUCF szektor) is meghatározó szerepet játszik a pozitív kibocsátásforrások ellensúlyozásában. A természetes karbonelnyelők Magyarország teljes szén-dioxid kibocsátásának 8 százalékát képesek elnyelni, azaz mintegy 6 megatonna CO₂ egyenértéknyi kompenzációt jelentenek. Ezzel szemben az olyan technológiai alapú megoldások, mint a szén-dioxid-leválasztás és -tárolás, még gyerekcipőben járnak: nagyobb léptékű megoldás globális szinten sem létezik, Magyarországon egyelőre még prototípust sem alkalmaznak.

Dekarbonizációs lehetőségek

Természetes karbonelnyelő megoldások
Mivel a szén-dioxid-kibocsátás kompenzációjának 95 százaléka a szén-

dioxid megkötésében hatékony erdőterületeknek köszönhető, az erdőgazdálkodás fenntartása és javítása, illetve az erdőtelepítés kulcsfontosságú ahhoz, hogy Magyarország 2050-re elérje a klímasemlegességet. Szén-dioxid-megkötő képességnek a biomassa (pl. fák) növekedése és a biomasszaveszteség közötti különbséget nevezzük, ami a megköthető CO₂ mennyiségét fejezi ki. Az erdőterületek szénmegkötő potenciálja a fák kiterjedtségétől, korától és fajmegoszlásától függ. A fák növekedése például a koruk előrehaladtával lelassul, így a szén-dioxid-elnyelő képességük is csökken. A fa lombosodása szintén hatással van a szénmegkötő potenciálra. A gyorsan növekvő és laza lombzatú nyárfafajok sokkal kevesebb szenet kötnek meg, mint a sűrűbb lombzatú tölgyek. Ennélfogva a fakivágásoknál és a telepítéseknél az egyes fajok növekedési ciklusait és állománysűrűségét is figyelembe kell venni. Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség előrejelzése szerint a természetes karbonelnyelők kibocsátáscsökkentési potenciálja Magyarországon a következő 18 évben, vagyis 2040-re mintegy 80 százalékkal csökkenhet, ha a meglévő erdők korára és várható életciklusára tekintettel nem születnek további intézkedések. Elemzésünk szerint megfelelő intézkedések hiányában ez a csökkenés 2050-re akár 90% is lehet. A természetes karbonelnyelők növelésére azonban több lehetőség is kínálkozik. **Az erdőtelepítés** (a tőzeglápok helyreállításával együttesen) elméletileg akár 5 millió tonna CO₂ egyenértéknyi kompenzációt is jelenthet. Ez a szén megkötésében hosszú és rövid távon is jelentős előrelépést jelent, mert míg az erdők megkötik a szén-dioxidot és azt biomasszává alakítják, addig a jelenleg

önmagukban is kibocsátó tőzeglápok helyreállításával maga a kibocsátás is elkerülhető lenne. Az erdőtelepítés során jelenleg nem erdős területeket alakítanak át erdővé olyan helyeken, ahol korábban erdőgazdálkodás folyt, vagy ahol az erdők ökológiailag életképesek vagy szükségesek lehetnek. A McKinsey elemzése alapján Magyarország erdősítési potenciálja a meglévő erdők, tőzeglápok, városi területek és szántóföldek figyelembevételével a földterület 3,8%-át teszi ki. Egy ilyen mértékű erdőtelepítés megvalósítása hasonlóan ambiciózus cél, mint a jelenlegi erdészeti stratégiában megfogalmazott célkitűzés, amely – az erdőgazdálkodásra és -fenntartásra vonatkozó egyéb intézkedések mellett – 28%-os arányt kíván elérni az erdővel borított területek tekintetében. **A tőzeglápokból származó kibocsátást a leromlott állapotú területek helyreállításával lehet kezelni, például a vízgyűjtő medencék szabályozásával, és a növényzet újra telepítésével.**



Az erdők felújításánál fontos szempont, hogy minél változatosabb, elegyes erdőket hozzanak létre. A több fajból álló erdők növelik a biológiai sokféleséget, ellenállóbbak lesznek a károkkal, kórokozókkal szemben. Az erdősítésekhez ezért általában a termőhelyhez illő több fajt szükséges tervezni.

Az erdőtelepítések a korábban nem erdő által borított területeken (pl. szántó, rét) létrehozott új erdők. Magyarország területének hozzávetőleg 21 százalékát borítják erdők, amit az évtizedek óta zajló erdőtelepítésekkel értek el, és a területük napjainkban is folyamatosan nő.

A gazdálkodókat pályázatok segítik, az állami erdőgazdaságok pedig a Mintafásítási és az Újszülöttek Erdeje Program keretében vállalnak jelentős részt a hazai erdőterületek gyarapításában.



A meglévő erdőgazdálkodási gyakorlatok kiterjesztése és új agrár-erdészeti gyakorlatok meghonosítása további 1 millió tonna CO₂ kibocsátáscsökkentést eredményezhetne. Például bizonyos erdőgazdálkodási módszerekkel, sűrű lombzatú fajok előnyben részesítésével vagy a fakitermelés lassításával növelhető az erdőkkel megköthető szénmennyiség. Léteznek továbbá olyan megoldások, amelyek a fákat úgy integrálják a szántóföldekbe, hogy azok alapvetően ne csökkentsék a terméshozamot (például szélvédő sáv létesítésével, sávos növénytermesztéssel, és a mezőgazdasági termelők által irányított természetes regeneráció révén). Az erdőgazdálkodáson túl a természetes karbonelnyelő megoldások magukban foglalják a szántóföldi művelést és a

gyepegzálkodást is. **A legelőgazdálkodás** például az állatállomány takarmányozási ciklusának megváltoztatásával alkalmas lehet a szén megkötésére is, különösen a nedvesebb, nagy takarmánynövekedési sebességű régiókban. A technológiai alapú megoldások kulcsfontosságúak lesznek Magyarország számára a fennmaradó mintegy 2 millió tonna CO₂ egyenérték kompenzálásához, amelyet a természetes karbonelnyelők nem tudnak ellensúlyozni leválasztásával és tárolásával járó bioenergia (BECCS) és a közvetlenül a levegőből való szén-dioxid kivonás (DACs) területén. A BECCS eljárásnál a biomassza erőművek füstgázából (például a cement- és mészgyártás során) kémiai módszerekkel kivonják a szén-dioxidot, majd föld alatti üregekben tárolják. Ma világszerte körülbelül 1 millió tonna nagyságrendben léteznek BECCS erőművek. A DACs reagensok segítségével a levegőből köti meg a CO₂-ot, ahol annak koncentrációja lényegesen alacsonyabb, mint az ipar vagy az energiaágazat füstgázaiban. Mivel a DACs-technológia egyelőre Az intézkedések kibővítésével a természetes karbonelnyelési potenciál a 2019-es szinthez képest kismértékben növelhető, ami azonban jelentős javulás az egyébként várható 80-90%-os csökkenéshez képest. Elemzésünkben azzal a feltételezéssel számolunk, hogy az ágazat közel 6 millió tonna CO₂ egyenértéknyi kompenzációt valósíthat meg. Ahhoz azonban, hogy ez a potenciál 2050-ig megvalósuljon, az intézkedések végrehajtását már a 2020-as években meg kell kezdeni, ami összhangban van az EU Green Deal („Zöld Megállapodás”) azon törekvéseivel, amely a 2026 és 2030 közötti időszakra a természetes karbonelnyelők nettó célértékét 310 millió tonna CO₂ egyenértékben határozza meg, ami 37

százalékos növekedést jelent a korábbi, 2021 és 2025 közötti időszakhoz képest. **Technológiai megoldások** A technológiai alapú megoldások kulcsfontosságúak lesznek Magyarország számára a fennmaradó mintegy 2 millió tonna CO₂ egyenérték kompenzálásához, amelyet a természetes karbonelnyelők nem tudnak ellensúlyozni. Az elmúlt időszakban két fő területen történtek fejlesztések, nevezetesen a szén-dioxid gyerekcipőben jár, kevesebb mint egy tucatnyi kísérleti projekt van folyamatban, és az első kereskedelmi üzem – 1 millió tonna nagyságrendben – is várhatóan 2024-re vagy 2025-re lesz működőképes. Tekintve, hogy a technológia még gyerekcipőben jár és magas költsége van, a klímasemlegesség eléréseért folytatott küzdelemben valószínűleg az egyik legutolsó lépés lesz a legnehezebben csökkenthető emissziók kompenzálásánál.

A klímaváltozás egyik legsúlyosabb jelensége az aszály

Az aszály a Föld némely részén – nevezetesen déli vidékeken – rendszeres jelenség, mellyel számot kell vetni s az egész gazdálkodásnak hozzá kell alkalmazkodnia, északibb fekvésű vidékeken ellenben csak elvétve s többnyire az aszály olyan időszakot jelent, amikor jelentősen kevés csapadék hullik, vagy ha a csapadékmennyiség egészben véve eléri is a megszokottat, de a magas hőmérséklet miatt a talaj párolgási vesztesége jelentősen megnő, hosszabb időre terjedő szárazság áll be, a növényzet fejlődését a szükséges nedvesség hiánya miatt megakasztja, sőt a növényzet pusztulását is okozhatja. Legnagyobb mértékű a kár, ha a hosszabb időre kiterjedő szárazság hótalan tél után következik, így a téli nedvesség hiányát a

tavasszal elég gyakori és bő esőzés sem pótolja. Ilyenkor az őszi vetések tetemes kárt szenvednek, a talaj nem készíthető elő kellően a tavaszi vetés alá, az elvetett mag hiányosan kel ki, s ami kikelt, nem indulhat jó fejlődésnek. Az égető nap és a szárító szelek nem csak a vetéseket károsítják, hanem a réteket és a legelőket is. Néha nagy területre terjed ki, egyike a legfélelmesebb kisebb mértékben jelentkezik. Magyarországon az aszály elég gyakran fordul elő és a mezőgazdaságon ejtett csapásai néha igen súlyosak.

Az aszályok jelentős hajtóerők a talajromlásban, ami viszont kedvezőtlen hatással van az erőforrásoktól függő vidéki lakosságra, és potenciálisan megélhetési veszteségekhez, majd az érintett területekről történő elvándorláshoz vezethet. A talajromlás és a migráció közötti kapcsolatok összetettek és nem különösebben jól dokumentáltak, mivel a társadalmi-gazdasági, politikai, demográfiai és környezeti folyamatok többléptékű kölcsönhatásainak szélesebb összefüggésében fordulnak elő.

Európában 2018 óta folyamatosan száraz periódust figyelhetünk meg, mely kontinens szerte mezőgazdasági, meteorológiai és hidrológiai aszályt okoz. A 2021-es és 2022-es év az elmúlt 100-150 év legsúlyosabb vízhiányát okozta Európában és Magyarországon.

A 2022-es történelmi aszály következtében az őszi és nyári növények terméshozamai egyaránt alulmúlták az elmúlt évek átlagait, de az állattenyésztés is megsínylette a szárazságot, Európában a termés közel 40 százaléka elpusztult, Magyarországon az agrárium több mint 1000 milliárd Ft kárt szenvedett.

Európában és azon belül a Kárpát-medencében a felmelegedés mértéke közel kétszerese, egyes régiókban (három-négyszerese) a globális átlagnak és a csapadék mintázatában megfigyelhető változások is sokkal markánsabbak, mint más régiókban. A nyári félév (április-október) alatt jelentős (szignifikáns) csapadékmennyiség csökkenés figyelhető meg az elmúlt évtizedekben Magyarország jelentős részén, mely növeli az ország amúgy is erős ariditását. De nem csak az időjárás (hosszútávon éghajlat) okozza ezt a negatív tendenciát, hanem olyan társadalmi és gazdasági tényezők is, melyek a 19. században a folyószabályozással kezdődtek. A szabályozások után több millió hektár termőterületet ármentesítettek. A gyakori aszályok következtében viszont ma már mindenütt öntözni kell, a kiszáradt mocsaras térszíneken eluralkodtak a szikesek, eltűnt a hajdani vízivilág is az ártéri erdők zömével együtt, illetve egyes kistájainkon 150-200 cm-rel is süllyedt a talajvíz. A folyószabályozások miatt a Kárpát-medencében lehulló 9 km³-nyi csapadék közel 80-85 százaléka hasznosulatlannul átfolyik. További probléma, hogy az 1960-as évektől fokozódó rétegvíz-kitermelés is súlyosbítja a vízhiányt. A talajvíz-kitermelés, a vízrendezés (pl. belvízelvezetés) és a földhasználat változásai (pl. az erdősítés) is az okok közé sorolhatók.

A nyári szignifikáns hőmérséklet emelkedés, a csökkenő csapadék együtt széleskörű negatív hatást gyakorol a társadalomra és az ökoszisztémákra, és társadalmi vitát indított el az aszály miatti (változó) sebezhetőségről és az alkalmazkodási intézkedésekről.

Az éghajlati rendszerben és ökoszisztémában végbemenő változások gyakoribb, súlyosabb és tartósabb aszályhatásokat váltanak ki világszerte. Az éghajlati és környezeti szélsőségeknek kitett mezőgazdaság pedig az egyik leginkább érintett ágazat. A növekvő időjárási szélsőségek (pl. aszály, ariditás, belvíz, fagyok, jégelverés stb.), a növekvő globális és európai élelmiszer-kereslet és más növényi eredetű (pl. bioüzemanyagok) termékek miatt az aszálykockázat csökkentése ezért kihívást jelent Európában és Magyarországon is.

Egyrészt a klímaváltozás érinti a vízkészleteket, másrészt a hidrológiai rendszer lokális változásai és a talajok leromlása együttesen felerősítik a mezőgazdaság és az ökológiai rendszer sérülékenységét. A heterogén talaj és talajvíz pufferkapacitások meghatározzák az aszály súlyosságának különbségeit, akárcsak a növényélettan, a gyökérarchitektúra és a terméshenológiai fázisok időbeli különbségei. A terméshnövekedést és a fenológiát a nedvesség elérhetősége modulálja. A talaj nedvességtartalmát azonban mind térben (pl. a talaj felszínén és a talajszelvény mentén), mind pedig időben (pl. a tenyészidőszakban) befolyásolja a száraz időszakok szezonális változékonysága, ami viszont megváltozott hidrológiai rezsimhez vezet. A talajban lévő víz mennyisége és annak ingadozása szintén szorosan összefügg az állaggal (és szerkezettel), a szervesanyag-tartalommal és a talajgazdálkodással. Például a talaj szervesanyag-kezelésének javítása növelheti a szárazságtűrést az élelmiszertermelésben az esővíz hatékony talajfelhasználásának fokozásával.

A hatások súlyossága nagyban függ attól is, hogy egyes növényfajták hogyan alkalmazkodtak a helyi stresszhatásokhoz, pl. a vízellátottsági mintákhoz. Ennek az összetettségnek köszönhetően az aszályvizsgálat jelentős kihívás elé állította a klimatológusokat, hidrológusokat, agronómusokat és a döntéshozókat.

Magyarország éghajlata és a jelenkor éghajlatváltozása (a mezőgazdaság szemszögéből)

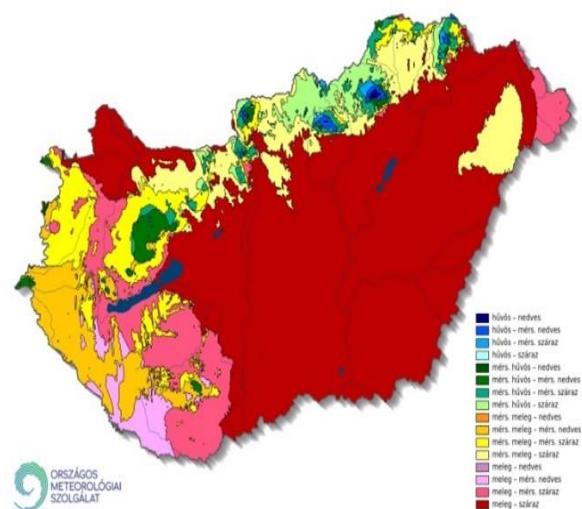
Európa legsérülékenyebb területe Dél-Európa, ahol a jelentős hőmérséklet emelkedés és a csökkenő csapadékmennyiség együttes hatása olyan területeken jelentkezik, melyeken már most is vízhiánnyal küzdenek. Mivel Magyarország e régió határán fekszik, ezért hazánkban a klímaváltozás kockázatainak megítélésekor lényeges, hogy a Kárpát-medence az óceáni, a száraz kontinentális és a mediterrán éghajlati régió határán helyezkedik el. E határzónában az éghajlati övek kisebb eltolódása is oda vezethet, hogy a Kárpát-medence és Magyarország átmenetileg átcsúszhat a három hatás valamelyikének erőteljesebb hatása alá. A műszeres megfigyelések nagyobb területen való elterjedése az 1860-as évek elejére tehető. Az azóta eltelt időszakban Európára és Magyarországra vetítve az elmúlt 20 év volt a legmelegebb, többségében jóval 10 °C-ot meghaladó középhőmérsékletű évek voltak, az elmúlt 150 év legmelegebb éve 2022 volt 12,23 °C-os középértékkel. A magyarországi hőmérsékleti idősorok jellemzői jól illeszkednek a hőmérséklet globális tendenciáihoz, a kisebb terület miatt azonban a változékonyság nagyobb és a melegedés mértéke közel 2-2,5-szerese a globálisnak az elmúlt 30 évben. Az 1990-től napjainkig tartó

periódus a legintenzívebb melegedés korszaka, sőt a 2010-es évektől az intenzitása egyre markánsabb.



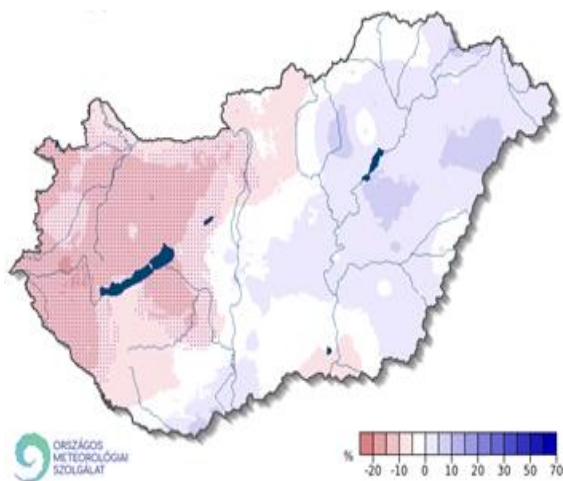
Az évi középhőmérséklet területi eloszlása a következő (HungaroMet adatok alapján): Észak-Alföld, Nyírség, Dél-Alföld, Dél-Dunántúl, Mecsek, Kisalföld térségében 1,8-2 °C, az ország többi részén 1,4-1,7 °C.

A melegedési tendenciát leginkább a nyarak és a telek hőmérséklete tükrözi, az utolsó 30 évben nyáron 2-2,1 °C-kal emelkedett az évszak középhőmérséklete, de a többi évszak esetében is szignifikáns az emelkedés.

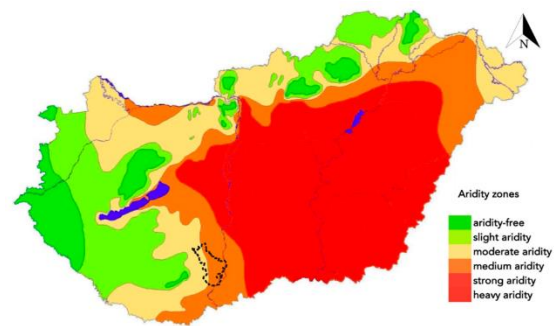


A csapadék a Kárpát-medencében térben és időben változékonnyá időjárási és éghajlati paraméter, így a tendenciákat ebben az esetben nehezebb kimutatni.

Magyarországon az éves csapadék mennyisége csökken, de nem jelentős mértékben 110 éves időszoron, hazánkban Dél-Európához hasonló tendencia tapasztalható. Azonban, ha az elmúlt 30 év (1991-2020 klímanormál) adatait az azt megelőző 30 évvel (1981-2010) összehasonlítjuk, jelentős változás nem történt, sőt egyes közép- és kistájainkon mérsékelt emelkedést is láthatunk. Míg az évi középhőmérséklet az elmúlt 30 évben szignifikáns növekedést mutat, addig a csapadék változása nem mutatható ki egyértelműen. Az 1950-es évektől végbement csapadékváltozás területi eloszlásában kijelenthető, hogy leginkább nyugaton és délnyugaton, illetve a Dél-Alföldön csökkent a lehullott csapadék mennyisége, 10-15 százalékkal, míg az ország többi részén emelkedett, mely növekedés igen jelentős, és nagy területen eléri a 30-60 mm-t, azaz a 10-25 százalékot is.



Ezzel párhuzamosan a száraz napok összege a két évszakban kisebb tájegységeket leszámítva nőtt. Ez azt jelenti, hogy alapvetően kevesebbszer, de több csapadék esik, azaz a vegetációs időszak nagyrészt intenzívebbé vált a csapadék, miközben a száraz időszak összegzett tartama is növekedett.



A négy évszak összehasonlításában a legnagyobb csapadékcsökkenés tavasszal következett be, értéke megközelíti a 20 százalékot egyes tájainkon, de a nyarak csapadék deficitje is szignifikáns. Ezzel szemben télen 15-20 százalékos csapadéknövekedés figyelhető meg az elmúlt évtizedekben, de a csapadéktöbblet nagy része hasznosítatlan maradt.

A mezőgazdaság szempontjából kritikus 500 mm-es éves szint alatti csapadék előfordulása gyakoribbá vált: ez 1901 és 1950 között hat évben, 1951 és 2000 között tíz évben, 2001 és 2023 között hét évben következett be, mely területi eloszlásban változó, de továbbra is az Alföld és a Kisalföld szenved egyre kritikusabb ariditástól.

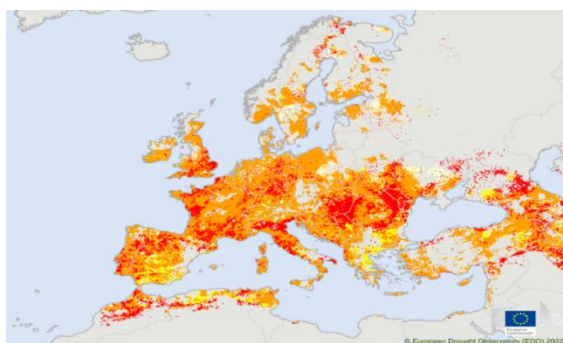
Az aszályhajlam Európán belül a mediterrán térségben és Kelet-Európában növekszik, hazánk éghajlata ebből a szempontból a déli szomszédjainkéval mutat hasonlóságot, sőt a cirkuláció tavasztól ősziig várhatóan anticiklonosabbá (száraz, nyugodt idő) válik majd, mely tovább növeli az Alföldön és a Kisalföldön az aszályhajlamot, de az egész országban egyértelmű trend nem figyelhető meg. Országos átlagban az elmúlt 50-60 évben nem nőtt annak a valószínűsége, hogy egyre több az aszályos év, ugyanakkor szignifikánsan növekedett annak valószínűsége, hogy amikor aszály van, akkor az egyre súlyosabban jelentkezik,

hiszen nőttek a száraz napok tavaszi és nyári összegei, illetve egyre jelentősebbek és intenzívebbek a tartós hőhullámok, melyek együttesen légköri és talajmenti aszályt eredményeznek.

A Kárpát-medencében és Magyarországon gyakoribbá váltak a szélsőséges, extrém időjárási események, és ugyancsak kedvezőtlen, hogy a csapadék – különösen a nyári félévben – egyre egyenetlenebbül oszlik el. A legtöbb klímamodellezés szerint e tendencia a jövőben is folytatódni fog, sőt az évszázad második felében akár évtizedes extrémítások is felléphetnek.

Aszályosság a 21. században

Napjainkban a legtöbb klímamodellezésből eltűntek az optimista forgatókönyvek a 21. századra vetítve. A jelenlegi globális klímapolitikákkal a hőmérséklet emelkedése az iparosodás kezdetéhez viszonyítva 2,7-4,1 °C között várható az évszázad végéig, a Kárpát-medencében ennél jóval magasabb is lehet a mértéke. Mint látható, ha a felmelegedés üteme nem lassul vagy egyáltalán nem fordul meg, akkor a Párizsi Klímaegyezmény céljai egyáltalán nem teljesülnek. Sőt már most megjelentek a globális és a regionális modelleken is azok az egyre valószínűbb scenáriók, hogy már a 2030-as évtizedben tartósan átlépjük a 1,5 °C-os hőmérséklet emelkedést és a 2050-es évtized elejéig a 2 °C-ot.



Az aszályos évek gyakorisága eddig nem növekedett szignifikánsan, a súlyosan aszályos évek elsősorban 1990-től jelentkeztek, sőt az elmúlt évszázadok legsúlyosabb aszálya 2022-ben volt Európában és Magyarországon is.

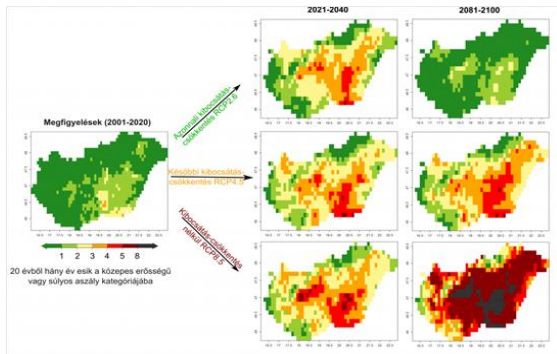
Az aszályos időszakok összes száma és a súlyos aszályok gyakorisága jelentősen növekedhet a következő évtizedekben.

A várható változásokhoz való alkalmazkodás érdekében a csapadékosabb évek többletszapadékát a jövőben mindenképpen tárolnunk kellene a súlyosan aszályos évek hiányainak pótlására és a 2022-höz hasonló extrém aszályok okozta katasztrófák elkerülésére.

A 2040-es évtizedtől jelentősen (18-23 százalék) megnő az esélye annak, hogy a 2022-es évhez hasonló extrém száraz időszakok száma megduplázódjon, sőt az évszázad utolsó három évtizedében meg is négyszereződhet. A mostani globális klímapolitikák mellett (ÜHG-kibocsátás) az elkövetkezendő években várhatóan csökkenni fog az aszálymentes évek területi aránya hazánkban.

Míg a megfigyelések átlagát tekintve Magyarország területének 37-40 százaléka jellemzően aszálymentes volt 2001 és 2020 között, 2050-ig 30 százalék alá, 2081–2100-ra 10 százalék alá is eshet az aszálymentes tájak és tájegységek aránya.

A jövőre vonatkozó szimulációk átlaga szerint a 2021–2040-es időszakra az Alföldön minden forgatókönyv esetén csökkenni fog az aszálymentes évek száma.

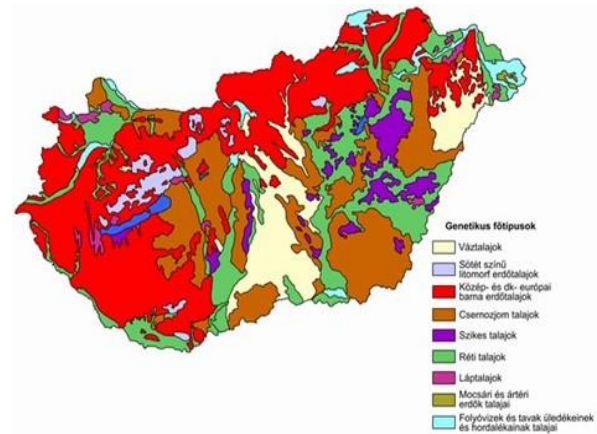


Az évszázad végére az ország legnagyobb részén kettőnél kevesebb aszálymentes év valószínűsíthető húsz évente. Jelentős növekedés valószínűsíthető a közepes erősségű és súlyosan aszályos területek arányában is. A súlyosan aszályos évek átlagos számának területi eloszlása azt mutatja, hogy a leginkább kitett terület az Alföld és a Kisalföld. A megfigyelések szerint 2001 és 2020 között átlagosan 1-2 év esett ebbe a kategóriába (elsősorban az Alföld és a Kisalföld), az ország nagyobb részén viszont egyáltalán nem volt jellemző. A klímaszimulációk szerint a következő két évtizedre jelentősen visszaszorul azon területek aránya, amelyeket átlagosan maximum egy évben érint közepes erősségű vagy súlyos aszály, 2071-2100-ra húsz évből legalább öt évben fog előfordulni közepes erősségű vagy súlyos aszály.

Azonban, ha most azonnal elkezdődne egy jelentős ÜHG-kibocsátás csökkentés Kína, az USA, Oroszország és India részéről, akkor a 21. század végére a jelenlegihez hasonló feltételeket valószínűsíthetünk a közepes erősségű és súlyos aszályokat tekintve, de jelenleg egyik nagyhatalom sem tűzte ki céljául az azonnali kibocsátás-csökkentést, ezért ennek az optimistább forgatókönyvnek a valószínűsége közel nulla.

Magyarország talajai és földjeinek öntözhetősége

Ahogy az alábbi térképen is látszik, Magyarország változatos talajadottságokkal rendelkezik, melyhez a mezőgazdaságnak alkalmazkodnia kell.



Természetesen csernozjom talajon is lehet rossz vízgazdálkodással, vesztésgesen gazdálkodni, és váztalajokon is lehetséges jól bánni a rendelkezésre álló vízzel és jó termésátlagokat elérni, azzal együtt, hogy a talajtípus döntően befolyásolja a termesztendő növények körét és a gazdák lehetőségeit. Ez jól mutatja a helyes vízgazdálkodás fontosságát, melynek az aszály elleni küzdelemben is döntő szerep jut. Az aszály okozta károkat alapvetően kétféleképpen lehet elkerülni: ha természetesen vagy mesterségesen elegendő víz áll rendelkezésre a területen (eső, talajvíz, felszíni és felszínalatti víztározók), illetve az öntözés bevezetésével. Előbbi csak bizonyos mértékben függ a gazdálkodótól, hiszen a csapadékmennyiséget nem tudja befolyásolni, csupán a víz talajban való megtartására van hatással. Utóbbi pedig egy költséges eljárás, amely jelen körülmények között csak korlátozottan áll rendelkezésre. A KSH 2022-es adatai alapján Magyarország mezőgazdasági területeinek alig több mint 4 százaléka volt engedélyezett öntözési terület, és mindössze 2,2 százaléka ténylegesen öntözött.

Továbbá, még az ezen a viszonylag kis területen gazdálkodók sem érezhetik magukat teljes biztonságban, hiszen egy telepített öntözőrendszer sem jelent mindenre megoldást.

Ha 2022-es évhez hasonló történelmi aszály tapasztalható, akkor még az olyan területek vízellátása is veszélybe sodródhat, melyeken egyébként ki van építve az öntözés lehetősége. Ennek oka, hogy az öntözést jellemzően nem réteg- vagy karszt, hanem felszíni vagy talajvizekből biztosítják, melyeknek használata fizikai korlátok közé szorulhat. Ez egyszerűen azt jelenti, hogy nincs elegendő víz a felszínen és a felszín közelében az öntözéshez, vagy csak olyan mértékben, hogy az öntözés mértékét korlátozni kell.

Az öntözésen kívüli adaptációs stratégiák a mezőgazdaságba

A földek öntözhetővé tétele, bár az egyik legkézenfekvőbb, évezredek óta alkalmazott adaptációs módszer, mely aszály esetén a különbséget jelentheti a sikeres és a katasztrofális aratás között, az öntözés alkalmazásának lehetősége több szempontból is korlátok közé szorul.

Hasznos és fontos része az aszályhoz való alkalmazkodásnak, azonban nem minden helyzetre alkalmazható csodafegyver, ezért nélkülözhetetlen, hogy a gazdák egyéb adaptációs módszerekhez is folyamodjanak.

Az egyik legegyszerűbb, és napjainkban egyre nagyobb népszerűségnek örvendő technika az ún. no-till farming, azaz a szántás nélküli mezőgazdaság. Ennek a talaj mikrobiomjának megőrzésében, és így földjeink szervesanyag-tartalmának fenntartásában is fontos szerep jut,

azonban az aszály elleni védekezésben is segítségére lehet a gazdálkodóknak.

A szántás (különösen, ha szakértelem hiányában egyből a nyári aratás után hőségben végzik) nagy mértékben növeli a víz párolgását a talajból, hiszen egyrészt megnöveli a párolgási felületet, másrészt megbontja azt a keményebb, felső réteget, amely bizonyos mértékben védi a talajt a kiszáradástól. Ezek kiküszöbölésére természetesen léteznek utómunkálatok, azonban teljes mértékben egyik sem képes megelőzni azt, hogy több víz párologjon el a földből, mintha nem bolygattuk volna, vagy kisebb mértékben forgattuk volna át. A 2022-es rendkívül aszályos évet követően aligha kell magyarázni, hogy miért probléma ez.

A no-till technikával kapcsolatban fontos megjegyezni, hogy csak bizonyos növénykultúrákon és bizonyos talajtípusok esetén vezet sikerre, ezért nem tekinthető minden helyzetben alkalmazandó módszernek. A szántás nélküli, vagy legalábbis a talajt minimális mértékben felbolygató mezőgazdasággal szemben a világ számos részén ellenállás mutatkozik, hiszen a szántás ősi eljárás, amelyet a gazdák nemcsak a nagyapjuktól láthattak, hanem náluk sokkal régebben is alkalmazták már, ami az innovációra kevésbé hajlamos gazdálkodók számára megbízhatóságot jelent. Emellett, ahogy korábban is említettük, valóban vannak olyan körülmények, amelyek esetén kifizetődőbb a szántást is beiktatni a gazdálkodásba, A klímaváltozás azonban az időjárás szélsőségek gyakoribbá válásában mutatkozik meg igazán, így azt állíthatjuk, hogy a régi korok gazdálkodóinak nem olyan gyakorisággal és nem olyan súlyos aszályokra kellett felkészülniük, mint a maiaknak.

Ez természetesen nem azt jelenti, hogy régen nem kellett szárazabb időszakokhoz alkalmazkodni, azonban a klímaváltozás előretörésével ezek hosszabbá és gyakoribbá válhatnak, miközben a hőségnapok száma is növekszik, ami tovább növeli a párolgást a talajból.

A szántás elhagyása vagy minimalizálása mellet egy másik ősi adaptációs módszer a szárazságtűrő fajták nemesítése és termesztése. Ez évezredekken keresztül a hagyományos nemesítésre korlátozódott, az utóbbi évtizedekben azonban a génmódosítás különböző módszerei is rendelkezésre állnak bizonyos országokban. Akár hagyományos, akár modern nemesítési technológiákról beszélünk azonban, ezek is csak részleges megoldást nyújtanak az aszályhelyzetekre, hiszen vízre minden növénynek szüksége van, így olyan fajtát még nem sikerült kinemesíteni, amely egy extrém aszály okozta teljesen száraz nyári időszakban is hozza a kívánt termést.



Napjainkban már a szántás elhagyásánál és a nemesítésnél sokkal inkább modern, high-tech módszerek is az agrárium rendelkezésére állnak és segítik az aszály elleni védekezést (precíziós eszközök). Ezek elsősorban megelőzni hivatottak az aszálykárokat még a szárazság bekövetkezése előtt, nem pedig az akut problémákat orvosolni. A big data

alapú időjárás-előrejelzések megbízhatóbban, hosszabb időre és kisebb területi bontásban képesek előre jelezni a hőségnapokat, illetve a csapadékmentes időszakokat, mint a hagyományos előrejelzési módszerek (azonban ezek is csak korlátozott időtávban megbízhatóak, nem képesek hónapokkal előre megjósolni az időjárást). Ez az előrejelzés hasznos információkkal szolgálhat a gazdálkodóknak arra vonatkozóan, mikor és hol érdemes öntözni, illetve mikor érdemes (vagy inkább nem érdemes) elvégezni a szükséges talajmunkálatokat.



A fejlett világban szintén gyorsan terjedő high-tech módszer olyan drónok alkalmazása, melyek kamerák segítségével képesek megállapítani a növénytakaróról, hogy mennyire van kiszáradva, milyen mértékben szorul vízpótlásra. Erre ráadásul rendkívül precíz felbontásban képesek, azaz akár néhány négyzetméternyi területről is megállapítják, ha vízhiánnyal küzd. Ez lehetővé teszi az öntözéshez felhasznált víz és az öntözendő terület csökkentését.

A precíziós mezőgazdaság felsorolt módszerei azonban elsősorban olyan területeknek nyújtanak megoldást az aszály ellen, melyeken a védekezés egyéb módszerei, elsősorban az öntözés biztosítottak. Magyarországon ez a mezőgazdasági területek kis részére igaz.

Ahogy az aszályadaptációs módszerek felsorolása (a teljesség igénye nélkül) rámutat, az emberiség számos technikát dolgozott ki a szárazság elleni védekezésre. Mindegyikre igaz azonban, hogy nem önmagában elegendő és minden helyzetre megoldást kínáló csodafegyver. Ennek egyik következménye, hogy több adaptációs módszer együttes alkalmazása vezethet eredményre. A másik fontos tanulság pedig az, hogy bár rövid- és középtávon nagy segítségünkre lesz a klímaadaptáció, azaz az alkalmazkodás, hosszútávon sokkal célravezetőbb a mitigációra, azaz a klímaváltozás következményeinek enyhítésére majd visszafordítására helyezni a hangsúlyt.

Belvizek, árvizek mezőgazdasági következményei

Kárpát-medence gyorsabban melegszik a világtáznál, ez az éghajlatváltozástól fakadó szélsőségek fokozódását is erősíti évről-évre. Az ország jelentős területein egyidőben jelentkezik az aszály, a belvíz és árvíz kockázata. A nagymennyiségű víz nemcsak az ott élő embereket és infrastruktúrát, de a természetes ökoszisztémákat és a mezőgazdasági tevékenységet is veszélyezteti.



Az elkövetkező évtizedekben a nyár egyre szárazabbá, a tél pedig egyre nedvesebbé válik, egyre több „nagycsapadékú” esemény várható – állapítják meg a szakemberek.

„A hirtelen, nagy mennyiségben lezúduló csapadék villámárvizekhez vezethet, a gyors tavaszi hóolvadás és heves esőzések pedig megnövelik az árvíz és belvíz kialakulásának valószínűségét” – figyelmeztetnek a kutatók.

Magyarország vízgazdálkodása ma az árvizek és belvizek gyors elvezetésére van berendezkedve, és többek között ezért nagy mennyiségű vizet veszít évente az ország, azaz egyre szárazabbá válik. Ezzel szemben a vízvisszatartásra kell a hangsúlyt fektetni, így védekezve a szélsőségek okozta vízkockázatok ellen és javítva a helyi közösségek és a mezőgazdaság éghajlatváltozással szembeni ellenállóképességét.

A természetalapú megoldások kellenek

Az eddig elterjedt szürkeinfrastruktúra-megoldásokkal szemben költséghatékonyabbak és számos járulékos hasznot is hordoznak. **„A szürkeinfrastruktúra beruházások rendszerint nagyléptékű földmunkát és technológiai alapú megoldásokat igényelnek, amik drágák. Emellett üzemeltetésük és karbantartásuk is költséges és szakértelmet követel, illetve tervezésükhöz, előkészítésükhöz sok idő szükséges, továbbá rendszerint csak egy feladatot képesek ellátni és járulékos hasznaik nincsenek”** – írja a klímaváltozás szélsőségeit figyelemmel kísérő portál.



A természetes alapú megoldások előnye, hogy egyszerre több problémát képesek kezelni.

A BELVÍZ FOGALMA, KIALAKULÁSÁNAK FELTÉTELEI, JELLEMZŐI

A belvíz a sík vidékek, a magyar Alföld időszakos, de meglehetősen tartós és viszonylag nagy területre kiterjedő sajátos hidrológiai jelensége, vízfajtája. A régi kifejezés a lefolyástalan és többnyire kötött talajú földfelszínt időszakosan elborító vizet nevezi így.

A belvíz fogalmának megszületése mintegy másfélszáz évre nyúlik vissza. Az árvédelmi gátak XIX. századi megépítését követően az árterek birtokosai számára a belvizek elleni védekezés lassanként ugyanolyan fontos kérdéssé vált, mint maga az ármentesítés, hiszen számukra szinte mindegy volt, hogy termésüket az árvíz, vagy a belvíz teszi tönkre.

A XIX. századi ármentesítő és belvízrendező társulatok értelmezése szerint a belvíz nem a távolról a társulat érdekeltségi területére folyt, hanem a talajba be nem szívárgott helyi víz. A távolabbról, a magasabb területről érkező vizet megkülönböztetésül külvíznek nevezték.

A vízlevezető csatornarendszernek és műtárgyainak (átereszek, zsilipek, majd később a vízáttemelő szivattyútelepek)

megépítése nem várt költségekkel terhelte meg az ármentesítő társulatokat, amelyeknek alapfeladataik közé – már az 1870-as évektől fogva – fokozatosan fel kellett venniük a belvíz levezetését is.

E sajátos hidrológiai fogalom keletkezéséről szemléletesen írt Babos Zoltán és Mayer László egy 1939-ben megjelent munkájukban:

„Az ármentesítési munkálatok és töltésépítések tervszerű megindításával a nyílt ártereken egy eddig teljesen ismeretlen kérdés merült fel, a töltések miatt lefolyást nem találó ún. belvizek levezetésének problémája. Ez a kérdés a védőgátak szaporodásával és összefüggő vonallá történő átalakulásával halaszthatatlanul megoldásra váró feladattá súlyosbodott. Az árvédelmi töltések létesítése előtt a környező magasabb területekről a nyílt árterekre lefutó vizek az árvizek lepadása után természetes ereken, árkokon át lefolyást találtak a folyókba.

Ezt az állapotot az árvédelmi töltések gyökeresen megváltoztatták, mert az ártereken elrekesztették a folyók felé törekvő vízfolyások medreit. Ezek számára csak kis nyílásokat hagytak helyenként szabadon, amelyeket árvizek alkalmával gyorsan elzárhattak. Az ártér megszabadult ugyan az árvízi kiöntésektől, de elborították a reá hulló csapadék és a környező magaslatokról odafolyó felszíni vizek. Az árvizek hosszú időtartama miatt hónapokig pangó csapadék és forrásvizek felgyülemlettek a laposokban és teknőkben és azok idővel lassan mocsarakká, lápokká alakultak.

Így született meg az ármentesítési munkálatok megkezdése előtt ismeretlen belvíz fogalma.”



Fontos és igen vitatott kérdés, hogy belvíznek tekinthető-e a termőtalaj vízbőssége, a talaj túlnedvesedett állapota is, vagy csak a felszínen szemmel láthatólag megjelenő víz? Kétségtelen, hogy ezek az állapotok agrotechnikai nehézségeket, belvízkárokat okoznak és erre tekintettel helytálló lehet e jelenségeknek is belvízként való minősítése.

Más esetekben viszont, amikor például belvízzel elöntött területről beszélünk, akkor belvíz alatt csak a nyílt vízborítást értjük, s ettől megkülönböztetjük a károsan túlnedvesedett területet, de éles határt nem lehet megvonni. Összetett kérdés a belvíz és a talajvíz összefüggése is.

Normális talajvízhelyzet esetén nem indokolt belvizet emlegetni, de ha a talajvíz a felszínre tör, vagy akárcsak erősen megközelíti a felszínt, akkor már belvíznek tekinthetjük.

Mégpedig olyan belvíznek, amely nehezebben távolítható el, mint a pusztán esőből vagy hóolvadásból keletkező felszíni víz, ugyanis az ilyen talajvíz rendszerint nyomás alatt áll és állandóan utánpótlódik.

Az árvizek alkalmával keletkező fakadóvíz lényegében feltörő talajvíz, így szintén belvíznek minősíthető. Legtöbb esetben tehát a különböző eredetű belvizek keveredésével állunk szemben.



Belvíz a lakóterületeken, belterületen is keletkezhets. A belvíz belterületi megjelenésénél kiemelkedően fontos szerepe van a talajvíznek, mely magasra emelkedve erősen korlátozza a talaj vízbefogadó képességét, így a hóolvadáshól és az esőből nagy kiterjedésű tartós (több hetes, esetleg több hónapos) elöntések alakulhatnak ki, elsősorban a települések mélyebb fekvésű részein, rendszerint a családi házas beépítésű övezetekben.



A belvizek kialakulását és lefolyását befolyásoló tényezők

A belvizek kialakulását és lefolyását befolyásoló tényezőket két nagy csoportba sorolhatjuk, amelyeket azonban nem elszigetelten, hanem kölcsönhatásaikban kell vizsgálni: – a meteorológiai viszonyokat, valamint a – a vízgyűjtőterületet jellemző tényezők.

A meteorológiai viszonyokat jellemző tényezők Csapadék.

A lehullott csapadék mennyisége, térbeli és időbeli eloszlása jellemezi leginkább a belvíz kialakulását befolyásoló meteorológiai viszonyokat. A belvíz keletkezése szempontjából megkülönböztetünk „előkészítő” és „kiváltó” csapadékot. Az előbbi a talaj nedvességtartalmát növeli, vízbefogadóképességét mérsékeli, s ezáltal mintegy „előkészíti” a belvizet. Belvíz előntés rendszerint akkor alakul ki, ha a talaj vízbefogadó-képessége kimerült (rendszerint rövid időtartamú nagy csapadék – heves zápor, vagy esőzéssel kísért gyors hóolvadás – esetén). Ha a csapadék intenzitása nagyobb, mint a talaj vízvezető-képessége, szintén keletkezik belvíz.

Léghőmérséklet. A levegő hőmérséklete kihatással van a csapadék halmazállapotára, a hó felhalmozódására, illetve olvadására, valamint a talaj vízbefogadó-képességére is. Alacsony léghőmérsékletnél a párolgás minimális; 0 OC alatti lehűlés esetén a talajfagy lényegesen csökkenti a vízbefogadóképességet. A léghőmérséklet meghatározó jelentőségének tudható be, hogy nyáron csak kivételesen nagy csapadékok okoznak belvizeket.

A vízgyűjtőterületet jellemző tényezők:

Talaj. A talaj kötöttsége meghatározza vízbefogadó-képességét és vízvezető-képességét. A belvízképződés szempontjából a kötött talajok minden szempontból hátrányosabbak, mint a laza, nagy szabad hézagterfogatúak rendelkezők. Lényeges paraméter a talajréteg vastagsága is, miután a sekély termőrétegű talajok víztároló kapacitása hamar kimerül.

Talajhasználat módja, művelési ág, agrotechnika, melioráció. A csupasz talaj jobban kedvez a belvíz kialakulásának, mint a növényzettel benőtt, s különösen az erdőnek van jelentős belvízcökkentő hatása. Növeli a talaj vízbefogadóképességét a mélyszántás, mélylazítás, a kémiai talajjavítás, a talajcsövezés, viszont csökkenti a monokulturális termelés, az öntözés és a nehéz munkagépek okozta talajtömörödés. A vízgyűjtő terület beépítettsége, a burkolt felületek növekedése lényegesen megváltoztatja a lefolyási viszonyokat, növeli a belvízhozam csúcsértékét.

Domborzati viszonyok. A vízgyűjtő terepviszonyainak kettős hatása van: a mikrodomborzat főként a belvíz kialakulását, a makrodomborzat pedig a belvíz lefolyását befolyásolja. E tényezők hatására az összegyülekezés, lefolyás, tározódás folyamatai lényegesen módosulhatnak. Vízrendezés.

A vízrendezési tevékenység műszaki eszközei, így a tereprendezés, csatornaépítés, talajcsövezés, szivattyúzás stb. tulajdonképpen a domborzati viszonyokba való beavatkozást jelentik azáltal, hogy lényegesen befolyásolják a víz összegyülekezését és lefolyását

A vízgyűjtő általános fejlettsége is befolyásolja a belvízi viszonyokat, miután a magasabb társadalmi-gazdasági fejlettségi színvonal esetén a több védendő érték intenzívebb vízrendezési beavatkozásokat kíván meg.

Talajvízviszonyok. A talajvízviszonyok általában fontos szerephez jutnak a belvízképződés folyamatában, miután nagymértékben befolyásolják a talaj vízbefogadó-képességét. Egy-egy vízgyűjtő terület talajvízviszonyai függnék a

domborzati, földtani és talajadottságtól, a növénytakarótól, a csapadéktól és a párolgást lényegesen meghatározó hőmérséklettől. Szerepe lehet bizonyos emberi tevékenységeknek (pl. szennyvízszikkasztás, tározókból elszivárgó vizek stb.). A talajok telítődése, a vízbefogadó-képességük kimerülése gyakorta úgy jelentkezik, hogy a talajvíz szintje és a fölötté lévő kapilláris zóna egyre feljebb kerül és mintegy „összeér” a felülről fokozatosan átnedvesedő réteggel.

A belvíz elsődleges forrása a helyben lehullott csapadék. A belvízképződés folyamata úgy megy végbe, hogy a területre lehullott csapadék részben elpárolog, részben beszivárog a talajba és ott a két-és háromfázisú zónában, illetve a növényzetben tározódik. Abban az esetben azonban, ha a talaj már telítődött vagy a beszivárgást valami akadályozza (pl. helytelen talajművelés, talajfagy), illetve időegység alatt több víz jut a területre, mint amennyit a talaj ugyanannyi idő alatt be tud fogadni, a víz a felszínen gyűlik össze. A felszínen megjelenő víz a mikrodomborzat mélyedéseibe folyik, s a belvíz gyakorlatilag helyben keletkezve, eleinte kis kiterjedésű és kis mélységű tócsákban tározódik. Ezek a tócsák a területen szétszórtan, de gyakorlatilag egyidőben jelennek meg. Mélységük a csapadék mennyiségével együtt nő és a terep csekély magasságkülönbségei miatt egyre összefüggőbbek lesznek, és egyre nagyobb területeket borítanak el.

A belvizek kialakulását követő egyik legnagyobb probléma az elsődleges, majd másodlagos szikesedés. Kialakulásának oka az, hogy rossz talajszerkezet vagy a talaj telítettsége miatt a pangó, vagy belvíz nem tud a talaj alsóbb régióiba jutni és a meleg hatására bekövetkező intenzív párolgás

következtében a víz sói a területen maradnak.

Szikesedésnek mondjuk azt a folyamatot, amelynek során a vízben oldódó sók feldúsulnak a talajban – pontosan azért, mert a vízben oldódnak, és együtt mozognak vele.

Ezek a sók lehetnek a kalcium (Ca^{2+}), magnézium (Mg^{2+}), kálium (K^+), klór (Cl^-), szulfát (SO_4^{2-}), karbonát (CO_3^{2-}), bikarbonát (HCO_3^-) és nátrium (Na^+). Amikor a víz elpárolog, hátramaradnak, felhalmozódnak. A szikesedés a szárazabb vidékeken, például Ázsia, Afrika, Ausztrália sivatagaiban jellemző, de nagy kiterjedésben előfordul a mérsékelt égövön is. Fontos a szikesedés elleni védekezés. A sók felhalmozódása (különösen a nátriumsóké) az ökoszisztémákra nézve az egyik legnagyobb veszély. A só megzavarja a növények növekedését azzal, hogy korlátozza a tápanyagfelvételt és rontja a növény rendelkezésére álló víz minőségét. Hatással van a talajban található organizmusok anyagcseréjére is, és a talaj termékenységének jelentős csökkenéséhez vezet. A talaj kiterjedt szikesedése a növények sorvadását idézi elő az ozmózisnyomás növekedése és a só mérgező hatása miatt. A túlzott sómennyiség a talaj szerkezetének romlásához vezet, a talaj az oxigénhiány miatt képtelen lesz fenntartani a növények növekedését vagy az állati életet. A szikesedés növeli a talaj mély rétegeinek vízhatlanságát, ami lehetetlenné teszi a terület megművelését. Magyarországon a szikes talajok kialakulása elsősorban hidrológiai, geológiai és a domborzati viszonyokkal van összefüggésben. A sófelhalmozódás alapvető oka a felszín közeli pangó, sós talajvíz. Az emberi

tevékenység következtében megváltozott körülmények is szikesedést idézhetnek elő (ez a másodlagos szikesedés). Ez a jelenség elsősorban a körültekintés nélküli öntözésnek tulajdonítható, mert vagy a túlóntozás hatására emelkedik a sós talajvíz szintje, vagy a nagy só-, illetve nátriumtartalmú öntözővíz, illetve a csurgalékvíz okozza a szikesedést.

Hazánkban jelenleg főleg digó földet, mészkőport, cukorgyári méziszapot vagy gipszet, gipsziszapokat használnak a szikes talajok javítására. De a kémiai javításon kívül, fontos a fizikai (mechanikai) javítás és a helyes talajművelés is. Mélyművelésre ezeken a talajokon is szükség van, például mélylazítással, komplexebb beavatkozásokkal: felszíni és felszín alatti vízrendezéssel.



Az árvízi veszélyeztetettség és az agrárgazdálkodás összefüggései

A klímaváltozás egyik szembetűnő velejárója a rövid időn belül lezúduló tetemes csapadékmennyiség, amely felbecsülhetetlen károkat eredményez a mezőgazdaságban is. Az árvíz-veszélyeztetettség mérséklését tekintve az agrárgazdálkodásban található jelenlegi lehetőségek szélesek. Hosszútávon komplex, integrált rendszerekben kell

gondolkodni, amely nem a víz mihamarabbi el- és levezetését biztosítja, hanem a vízmegtartást elősegítését irányozza elő.

Magyarország területeinek fele síkvidéki, lefolyástalan terület, amely közel 4,5 millió hektárt jelent. Ebből az árvízi veszélyeztetettséggel érintett terület 2 millió hektárra tehető, amelyből, 1,5 millió hektár a Tisza-vízgyűjtőn 0,5 millió hektár pedig a Duna-vízgyűjtő területein található.

Agrárgazdasági szempontból nem lehet elmenni amellett, hogy az árvízi veszélyeztetettséggel érintett hatásterületek átfedést mutatnak a belvízzel, valamint aszályal érintett területekkel kép), és mindez időbeliség szempontjából is fontos, mert adott esetben 1 éven belül mind három szélsőséggel meg kell küzdeni. Az ágazat átlagos vízkárvesztesége évente 55 milliárd Ft-ra, ebből az aszálykár 40 milliárdra, a belvízkár 15 milliárd Ft-ra tehető.

Hazánk területeinek 80 százaléka termőterület, amely 7,5 millió hektárt jelent, ebből 2 millió hektár erdőterülettel és 5,5 millió hektár mezőgazdasági területtel lehet számolni (ebből 4,5 millió hektárnyi terület a szántó). Elmondható tehát, hogy a termőterületek közel 30 százaléka érintett árvízi veszélyeztetettséggel.

