

dc_747_13



Szent István Egyetem
Növénytermesztési Intézet

A talaj- és környezetminőség javítása és fenntartása növénytermesztési módszerekkel

MTA doktori értekezés

Gyuricza Csaba

2014

Gödöllő

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	2
1. Bevezetés	4
2. Irodalmi áttekintés	6
2.1. A művelés minőségét befolyásoló tényezők	6
2.1.1. Talajvédő művelési rendszerek és a talajminőség összefüggései	6
2.1.2. A talajművelés és a vetésszerkezet hatása a talajállapotra	7
2.2. A másodvetésű zöldtrágyanövények szerepe a talajminőség javulásában	12
2.2.1. Kedvező hatás	13
2.2.2. Semleges, vagy bizonytalan hatás.....	17
2.2.3. Kedvezőtlen hatás	17
2.3. Energetikai célú növénytermesztés	19
2.3.1. Az energetikai faültetvény hatása a talajállapotra.....	21
2.3.2. Az energiafűz biomassza produkciója.....	23
2.4. A talaj-növény rendszer és a fenntartható növénytermesztés kapcsolata	25
2.5. Az EU környezetvédelmi elvárásai a szakszerű talajműveléssel kapcsolatban	26
2.6. A mezőgazdaság és a környezetvédelem kapcsolata - kilátások	29
2.7. Összefoglaló megállapítások a felhasznált szakirodalom alapján	30
3. Anyag és módszer	33
3.1. Talajvédő művelési rendszerek hatása a talaj vízgazdálkodására	33
3.2. A talajművelés és a vetésszerkezet hatása a talajállapotra	34
3.3. Másodvetésű zöldtrágyanövények biomassza tömegének és tápanyagtartalmának vizsgálata kedvezőtlen adottságú termőhelyen.....	37
3.4. Rövid vágásfordulójú fűz (<i>Salix sp.</i>) energiaültetvény termesztésének tapasztalatai és élelciklus-elemzésének eredményei.....	40
3.4.1. Termesztéstechnológiai kísérlet	40
3.4.2. Az élelciklus elemzés során alkalmazott módszerek	41
3.5. Talajállapot vizsgálatok energetikai faültetvényben.....	46
3.6. Biomassza vizsgálatok energiafűz ültetvényben	48
4. Eredmények	50

4.1. Talajvédő művelési rendszerek hatása a talajállapot minőségére és nedvességére	50
4.2. A talajművelés és a vetésszerkezet hatása a talajállapotra	56
4.3. Másodvetésű zöldtrágyanövények biomassza tömegének és tápanyagtartalmának vizsgálata kedvezőtlen adottságú termőhelyen.....	60
4.4. Rövid vágásfordulójú fűz (<i>Salix sp.</i>) energiaültetvény termesztésének tapasztalatai és életciklus-elemzésének eredményei.....	64
4.4.1. Fenológiai eredmények	64
4.4.2. Az életciklus-elemzés eredményei	66
4.5. Talajállapot vizsgálatok energetikai faültetvényben.....	72
4.5.1. Talajellenállás vizsgálatok eredményei	72
4.5.2. Térfogattömeg vizsgálatok eredményei	75
4.5.3. Talaj nedvességtartalom vizsgálatok eredményei	76
4.6. Biomassza vizsgálatok egy energiafűz ültetvényben.....	79
5. Következtetések, javaslatok	84
6. Új tudományos eredmények	88
7. Irodalomjegyzék.....	91
8. Függelék.....	103
8.1. Lágyszárú energianövények	104
8.2. Fás szárú energianövények.....	108
8.3. Termőhelyi feltételek jellemzése	120
8.4. Fontosabb technológiai munkák leírása	124
8.5. Felhasználási lehetőségek.....	148
8.6. Energiaültetvények talajvédelemi és ökológiai szerepe.....	149
8.7. Jövőbeli kilátások lehetőségek Magyarországon.....	160
9. Köszönetnyilvánítás	163

1. Bevezetés

Magyarország legjelentősebb természeti erőforrása az agrártermelésre való képessége. Ennek az erőforrásnak lényegében egy soktényezős bio-geo-kémiai rendszer képezi alapját, amelybe beletartozik az éghajlat, ezen belül is a radiáció, a hőmérséklet és a csapadékviszonyok, a mintegy 1500 MJ/m² fotoszintetikusán aktív energia, a földrajzi környezet, beleértve a domborzati viszonyok földtani, meteorológiai és hidrológiai jellemzőit, valamint mindezek szinergizmusának terméke a talaj.

Maga a növénytermesztés az emberiséggel egyidős tevékenység, amely nem más, mint az ökológiai viszonyok részben, vagy egészében történő befolyásolása a nagyobb, irányított növényi produkció elérése érdekében. Több csoportra is osztható, mivel az alapvető funkció, az élelem, illetve az élelmezést közvetetten szolgáló takarmánytermesztés mellett, már az ókorban ismeretesek voltak az ipari felhasználást célzó növénytermesztési technológiák, így a fehérje, az olaj, a rost, az alkohol előállításának módszerei. A huszadik század során alakultak ki azok a sajátos földhasználati ágazatok, amelyek feladata a közvetlen vegyszer- és gyógyszer-előállítás, és az energetika alapanyagokkal kiszolgálása. Ugyancsak a múlt században alakultak ki az ún. „nem termelő” növénytermesztési ágazatok, amelyek célja a talajvédelem, a melioráció, a sport, a szabadidő, de akár a tájépítészet fitotechnikai feladatainak megoldása.

A különböző időhorizontú tartamkísérletekben világszerte számos vizsgálat folyik a különféle művelési rendszerek talajállapota és környezetre gyakorolt hatásának összehasonlítására. A talaj- és környezetminőséggel kapcsolatos kutatások aktualitását az adja, hogy jelentősen kevesebb szakirodalom ad tájékoztatást a művelési rendszerek szántóföldi körülmények közötti vizsgálatáról. Bár az „élő laboratóriumként és közgyűjteményként” (JOLÁNKAI et al. 2009) szolgáló tartamkísérletek eredményei és hasznosíthatóságuk megkérdőjelezhetetlenek, a szántóföldi vizsgálatok eredményei hozzájárulhatnak és a gyakorlat számára is fontos kiegészítő információkkal szolgálhatnak a talajművelési rendszerek fizikai talajállapota gyakorolt hatásának pontosításához.

A talaj állapota a művelhetőség, a növénytermesztésre alkalmasság és a környezetre gyakorolt hatásai alapján ítélni lehet meg (BIRKÁS et al. 2008). Kedvező a talaj állapota, ha széles nedvesség tartományban jól művelhető, biztonságosan alapozza a növény termesztését, a fizikai, kémiai és a biológiai jellemzői nem rontják a környezet minőségét. A talajállapot

kedvezőtlen, ha egy vagy több fizikai (pl. a szerkezete poros, vizet, levegőt át nem eresztő, tömörödött), kémiai (pl. elsavanyodott), vagy biológiai (pl. tevéketlen) jellemzője környezeti kárnak minősül, és a növénytermesztés csak költséges beavatkozások árán tehető eredményessé. A talaj fizikai és biokémiai állapotának szélsőségei környezeti károk, amelyek a termelés színvonalának csökkentése révén is rontják az élet minőségét.

A növénytermesztést olyan művelés alapozza biztonsággal, amely létrehozza, megkíméli, és/vagy megtartja a talaj kedvező fizikai és biológiai állapotát. A jó talajminőség a művelt agrártáj alapvető feltétele. A talaj minőségét befolyásoló tényezők között a szervesanyag tartalom kiemelt fontosságú. A lehetséges források között az istállótrágya, a komposzt, a tarlómaradványok, és a zöldtrágyák a legfontosabbak, jóllehet alkalmazásuk koronként más megítélés alá esett. A zöldtrágyázás jelentősége napjainkban nem csak a tápanyagtartalom esetleges fokozásában, hanem a fizikai és biológiai állapot javításában, a termőhely fenntarthatóságának erősítésében, továbbá a nedvességforgalom szabályozásában keresendő. Az energianövények okszerű termesztése lehetővé teszi, hogy vélt hátrányai helyett kedvező hatásait érvényesítsük, úgymint talajt fedő, gyökérszóna javító, eróziót csökkentő, gondozottságával művelt agrártájat fenntartó stb. szerepét.

A disszertációban bemutatott kutatómunka három területet ölelt fel:

- környezet minőség javító művelés;
- zöldtrágya, mint talajminőség javító (és vetésváltás ésszerűsítő) módszer;
- a környezet és gazdálkodás minőség javító energianövény termesztés.

Kutatásaink célja, mint az az értekezés címében is megfogalmazást nyert „A talaj- és környezetminőség javítása és fenntartása növénytermesztési módszerekkel”. Valójában azokat a nem hagyományos területeket tanulmányoztuk munkatársaimmal a több mint egy évtizedet felölelő kísérletsorozatban, amelyek képesek hozzájárulni a talaj minőségének, és ezáltal az azt művelő, az azon élő ember életminőségének javításához. Elért eredményeink mindegyike ezt a célt szolgálja, és ha szerény mértékben is, de képesek hozzájárulni a talaj- és a környezetminőség javításához és fenntartásához.

Gödöllő, 2014. január

A szerző

2. Irodalmi áttekintés

A hazai és nemzetközi szakirodalom áttekintésekor elsődleges cél a talaj- és környezetminőség javítását és fenntartását elősegítő növénytermesztési módszerek bemutatása, elemzése. A feldolgozás három témakör köré épül. Az első csoport a művelés minőségét befolyásoló tényezőket, valamint a talajtermékenységet befolyásoló földhasználat elemeit foglalja magába. Része az áttekintésnek az Európai Unió és Magyarország jogszabályi elvárásainak, javaslatainak a fenntartható talajműveléssel kapcsolatos anyaga. A második csoport a talajminőség javítás fontos elemének, a zöldtrágyázásnak a legfontosabb talaj-és környezeti tényezőit taglalja. Végül a talaj- és környezet minőségében egyre fontosabb szerepet játszó energetikai célú növénytermesztés fontosabb alapelemei kerülnek bemutatásra.

2.1. A művelés minőségét befolyásoló tényezők

2.1.1. Talajvédő művelési rendszerek és a talajminőség összefüggései

Ha a termesztett növény igényeihez szükséges talajállapot kialakítása során nem veszik figyelembe a termőhelyi viszonyokat a sablonos talajművelés fizikai és biológiai talajkárokhhoz vezet. A talajdegradációs folyamatok közül világszerte az egyik legelterjedtebb, legnagyobb károkat okozó, és legnehezebben kivédhető a talajok fizikai degradációja, ezen belül pedig a talajtömörödés (LAL és STEWART 1990, OLDEMAN 1994, BIRKÁS 2001, JONES és MONTANARELLA 2003). A természetes és emberi hatásra kialakuló felszíni és/vagy felszín alatti tömör (záró)réteg(ek) megakadályozzák a felszínre jutó csapadékvíz talajba szivárgását és hasznos tározását (VÁRALLYAY 1996). A káros tömörödés hatására a szélsőséges vízháztartási helyzetek kialakulásának valószínűsége megnő és felerősödnek, felgyorsulnak a talajdegradációs folyamatok. Végeredményben a talaj sokoldalú funkcióképessége sérül és a növénytermesztés kockázatosává válik. A talaj hazánk legnagyobb potenciális természetes vízraktározója. A szélsőséges vízháztartási helyzetek megelőzésében és mérséklésében talán az egyik legfontosabb és leginkább célra vezető megoldás a felszínre kerülő csapadék talajba szivárgását és hasznos tározását biztosító talajhasználat (VÁRALLYAY 2006). A talajművelési kutatások feladata olyan termőhely-specifikus művelési rendszerek adaptálása vagy kidolgozása, amely kíméletes, megakadályozza a tömör réteg(ek) kialakulását, továbbá megfelel a fenntartható növénytermesztés igényeinek. A

különböző talajhasználati és művelési rendszerek tömörödéssel kifejtett hatásáról több külföldi (pl. SOANE és OUWERKERK 1994) és hazai (pl. GYURICZA et al. 1998, BIRKÁS et al. 2004) szerzőbeszámolt. Értékelésük nyomán megállapítható, hogy a különböző művelési eljárások eltérően befolyásolják a talajtömörödés kialakulási helyét és mértékét. A talajvédő művelési rendszerek hatásainak felmérése világszerte és Európában is kutatott terület. A védő, kímélő rendszerek bevezetésének elengedhetetlen feltétele a művelési rendszerek helyi körülmények közötti tesztelése.

2.1.2. A talajművelés és a vetésszerkezet hatása a talajállapotra

KEMENESY (1964) szerint „A talaj morzsás szerkezete a talajnak nem állandó tulajdonsága, hanem csak időleges állapota, amit módjában van a mezőgazdának kellő beavatkozással kialakítani és állandósítani”. Napjainkban az emberi tevékenységek hatására a talajpusztulás mértéke meghaladja a talajképződés mértékét, amely hosszútávon akadály a fenntartható fejlődésnek. A talajdegradáció világszerte az egyik fő környezeti probléma. A talajművelés fontos célja a talajművelési tevékenységek környezetre gyakorolt hatásának szükségszerű csökkentése, valamint a talajszerkezet pusztulásának szabályozása (PAGLIAI et al. 2004). BIRKÁS (1995) szerint a művelés legfontosabb célja a talajvédelem, a természetű növény igényeinek megteremtése és a nedvességvesztés csökkentésének egyidejű teljesítése. KELLOGG (1957) a talaj kultúrállapotának megőrzését nem csak talajvédelmi, hanem ökonómiai szempontból is alapvetőnek tartja. Véleménye szerint az ideális talajállapot a gazdálkodó első számú eszköze feladatainak elvégzéséhez. Ennek fenntartása, megóvása elemi érdeke.

A talajszerkezet a talaj szilárd fázisát alkotó részecskék térbeli elrendeződése. STEFANOVITS (1992) szerint a talajszerkezet a talajnak az az állapota, amelynek képződése folyamán az elsődleges részecskék összetapadása után nagyobb méretű, többé-kevésbé ellenálló, másod- és harmadlagos halmazok, ún. szerkezeti elemek, aggregátumok képződnek. A talajszerkezet az egyik legfontosabb tényező a növénytermesztés szempontjából, mert meghatározza azt a mélységet, ameddig a gyökerek eljutnak a talajban és azt a vízmennyiséget, amelyet elraktározhat a talaj, ezen felül a levegő, a víz és a talaj fauna mozgását (HERMAVAN és CAMERON 1993, LANGMAACK 1999, FARKAS 2001, PAGLIAI et al. 2004).

TÓTH (2001) mezőgazdasági vizsgálataival igazolta, hogy a jó talajszerkezet mellett, hogy a nagy termékek elérésének alapja, meghatározó fontosságú a növénytermesztés termelési színvonalának fenntarthatóságában is. A jó szerkezetű talajok egyúttal jobban ellenállnak a talajpusztulást kiváltó tényezőknek, hosszútávon garantálva ezzel a termelés biztonságát. A talajminőség szoros összefüggésben van a talajszerkezettel és az intenzív művelésű területeken bekövetkező környezeti károk túlnyomó többségével: az erózióval, az elsivatagosodással és a tömörödéssel való hajlammal – melyek ezzel a talajszerkezettel pusztulását okozzák (DEXTER 2002, PAGLIAI et al. 2004).

RÁTONYI (2006) megfogalmazása szerint a szerkezeti elemeken belül és a szerkezeti elemek között méretüktől, alakjuktól és térbeli elrendeződésüktől függően különböző nagyságú és formájú hézagok találhatóak, ezek alkotják a talaj pórusrendszerét. A pórusrendszer határozza meg a növények gyökerezését, a talaj víz-, levegő-, hő- és tápanyag-gazdálkodását, biológiai tevékenységét, és befolyásolja a kémiai folyamatok irányát. A talaj összporozitása megfelelő porozitás esetén 50-60 térfogatszázalék. WAIRIU és LAL (2006) megállapításai szerint a porozitás és a pórusméret eloszlás könnyen befolyásolható a talajműveléssel, az erózió által bekövetkezett felszíni talajpusztulással, valamint a növényi maradványok eltávolítása és elégetése által. A jó organikus láptalajok általában nem kötődnek. Az ilyen belső rendszer a nagymértékű degradáció. Talajaink hosszantartó eróziója sem így, sem más formában nem kezelhető. A nem megfelelő porozitású aggregátumokból álló talajban a növényélettani szempontból kívánatos porozitás viszony csak részben vagy igen nehezen biztosítható (VIRÁG 2005).

A talajszerkezet minőségét a pórusviszonyok (az összporozitás, illetve a pórusok méret szerinti megoszlása) és az aggregátumok vízállósága alapján lehet megítélni. A vízállóság a vázrészeket összekapcsoló ragasztóanyagok (szerves és ásványi kolloidok, mikroorganizmus telepek, CaCO_3) mennyiségétől és minőségétől, a póruseloszlás a szemcseösszetételtől, a szerves anyagok mennyiségétől és a talaj fizikai állapotától (a tömörödöttség mértékétől) függ elsősorban (FILEP 1986, KÁTAI 1992, 1999).

A talajszerkezet értékeléséhez a tartósságot, a szerkezeti elemekben és a szerkezeti elemek között kialakult pórustér sajátosságait, valamint a morfológiai és agronómiai szerkezetet vesszük figyelembe (RÁTONYI 2006).

STEFANOVITS (1992) szerint a talaj szerkezetét a szerkezeti elemek alakja és mérete szerint is megítélhetjük. Az agronómiai szerkezet megítélésekor a különböző méretű szerkezeti egységek százalékos mennyiségét határozzuk meg (<0,25 mm porfrakció, 0,25 – 10 mm morzsafrakció, >10 mm rögfrakció). A talajszerkezet szempontjából az ideális az lenne, ha a talaj 80%-át a morzsafrakcióban lévő szemcsék alkotnák. A talaj leromlott szerkezetére utal a por- és/vagy a rögfrakció nagy részaránya (RÁTONYI 2006).

Ugyancsak TÓTH (2001), vetésforgóban és monokultúrában végzett agronómiai szerkezet vizsgálatai során kedvező folyamatokat figyelt meg a műtrágyaadagok növelése révén. A nitrogén kijuttatás változatainak átlagában a tápanyagadagok fokozatos növelésének hatására a nemkívánatos rögfrakció (10 mm<) arányának csökkenését tapasztalta. Kísérletei alátámasztják, hogy a talaj száraz szitálással végzett agronómiai szerkezetvizsgálata során a tápanyagellátás színvonalának növelésével – feltehetően a talaj szervesanyag-tartalom növekedésének hatására – javult a talaj agronómiai szerkezete. BLANCO-C. és LAL (2007) tartamkísérleteikben az aggregátumok tulajdonságain belül az aggregátumok stabilitását is vizsgálták. Megállapításaik szerint a talajtakarás jelentősen befolyásolja az aggregátumok stabilitását a 0-20 cm-es mélységben. A növényi maradvánnyal fedett, illetve fedetlen talaj összehasonlításakor azt tapasztalták, hogy a mulccsal fedett talajban növekedett az 5 mm, illetve az annál nagyobb méretű aggregátumok aránya, míg a 0,25 mm, illetve az ennél kisebb méretű aggregátumok aránya csökkent. A 0,25-0,5 mm közötti aggregátumok arányának csökkenését tapasztalták a mulccsal fedett talajban.

BENCSIK (2009) sík területen védőnövényes és védőnövény nélküli kísérletben, valamint lejtős területen bakhátba és hagyományosan vetett kukorica állomány talajában vizsgálta a talaj agronómiai szerkezetét, amelyet száraz szitálással határozott meg. Megállapította, hogy a lazítással kombinált tárcsázás nem csak kímélte, hanem elő is segítette a talajban a morzsaaképződést. Kísérleteiben a szántás szintén talajszerkezet kímélőnek bizonyult, amely véleménye szerint a jó minőségű alpművelésnek, valamint a gyors, egy menetben történő lezárásnak tudható be. A tárcsázással sokszor bolygatott talajban a morzsafrakció arányának a csökkenését, valamint a rögök arányának növekedését tapasztalta csakúgy, mint BIRKÁS és GYURICZA (2004) agronómiai szerkezet vizsgálataik során. Gödöllői kísérletükben a szántással, tárcsázással sokszor bolygatott talajban kevesebb morzsafrakciót, viszont nagyobb por- és rögfrakció arányt tapasztaltak. Kísérletükben a kímélő művelés az alacsonyabb szerves anyag tartalmú gödöllői talajon is igazolta a jobb morzsaarányt. Mára az is

bebizonyosodott, hogy a talajművelési eljárások optimális talajállapotnál történő végrehajtása fontos az optimális műveléshatás elérése érdekében. A talaj nedves állapotban történő művelése a talajszerkezet károsodását eredményezheti, és gyúrt-rögös marad a felszín, míg a talaj száraz állapotban történő művelése nagy energiát igényel, és nagy rögök keletkezhetnek (DEXTER és BIRD 2001, BIRKÁS 2006, KELLER et al. 2007).

A talajellenállás a tömörödés relatív mértékét kifejező jelzőszám (GYURICZA et al. 1998). Hazai és külföldi szerzők vizsgálatai szerint akkor károsan tömör a talaj, ha a penetrációs ellenállása száraz (nem extrém száraz) állapotban 3,0 MPa értéknél nagyobb (HAKANSSON 1990, SOANE és VAN OUWERKERK 1994, RÁTONYI 1999, cit. BIRKÁS és GYURICZA 2004). A tömörödés gátat szab a kedvező porozitás viszonyok, víz-levegő arány, illetve mikrobiológiai élet kialakulásának, ami a tartós szerkezet, illetve beéredés feltétele is (SCHMIDT et al. 1998).

Az elmúlt évtizedekben és napjainkban is több hazai szerző (FENYVES 1996, SCHMIDT et al. 1998, DARÓCZI és LELKES 1999, RÁTONYI 1999, BIRKÁS 2000, GYURICZA 2000, KISS 2002, PERCZE 2002, SZÖLLŐSI 2003, GECSE 2005, BEKE 2006, UJJ 2006, LÁSZLÓ 2007, BENCSIK 2009, MIKÓ 2009) alkalmazta a talajellenállás mérését a talaj fizikai állapotának vizsgálatához, valamint a különböző talajművelési rendszerek talajállapokra gyakorolt hatásának összehasonlításához. A penetrométer segítségével a talaj ellenállása és aktuális fizikai állapota gyorsan és viszonylag pontosan meghatározható. A penetrométerrel mért talajellenállás értékek megbízhatóságát (becsült értékét) a mérőeszköz pontossága, a mérés végrehajtása és a kísérleti parcellákon belüli inhomogenitás határozza meg. A talajellenállás szórásának nagyságát jelentősen befolyásolja a szondakúp alapjának viszonylag kis területe, valamint a talajellenállással szoros kapcsolatban álló talajparaméterek (pl. nedvességtartalom) variabilitása (RÁTONYI 1999).

BEKE (2006) talajtömörödés és nedvességtartalommal kapcsolatos vizsgálatai során azt tapasztalta, hogy száraz években – a kisebb nedvesség miatt – általánosan nagyobbak a talajellenállás értékek. UJJ (2004) köztes védőnövényekkel való vizsgálatai során megállapította, hogy a csapadék mennyisége és a gyomkorlátozás sikeressége nagymértékben befolyásolja a talaj ellenállását. Véleménye szerint csak az időben betakarításra kerülő védőnövény érvényesíti talajlazító hatását, ellenkező esetben a talaj hasznos vízkészletének felhasználásával talajtömörödésre számíthatunk.

RÁTONYI (1999) vizsgálatai szerint a talaj fizikai tulajdonságai jelentősen befolyásolják a termesztett növények növekedését, fejlődését. Vizsgálatai során a talaj penetrációs ellenállását a nedvességtartalom és a talaj tömörödöttségét tartalmazó kétváltozós lineáris regressziós egyenletekkel jellemezte. Megállapította, hogy a vizsgált nedvességtartományban, a nedvességtartalom csökkenésével a talajellenállás növekedett. FABRIZZI et al. (2005) Argentínában vizsgálták a talaj fizikai tulajdonságait csökkentett és direktvetéses művelési rendszerekben. 1997 és 1999 között zajló kísérleteikben azt tapasztalták, hogy a talaj ellenállása és térfogattömege direktvetésnél (no-till) nagyobb volt, mint a csökkentett művelés esetén (minimum tillage). Ellenben SZALAI et al. (1995) a talajellenállási mérések alapján a direktvetés esetén tapasztalták a legtömődöttebb állapotot a tenyészidő során. GYURICZA et al. (2004) ugyancsak direktvetés esetén mérték a legnagyobb térfogattömeg és talajellenállás értékeket a talaj felső 10-20 cm mélységében. Nyolc éves ausztriai talajművelési kísérleteik alapját a bakhátas művelési rendszer, a hagyományos, forgatásos és a művelés nélküli direktvetéses technológiák összehasonlítása adta. LÁSZLÓ (2007) eltérő művelési rendszerek vizsgálata során azt tapasztalta, hogy direktvetésben egyedül a felszíni, 0-10 cm rétegben volt tömörebb a talaj a talajellenállás alapján, a művelt kezelésekkkel összehasonlítva. A művelési mélység alsó határán a hagyományos művelésben mért talajellenállás érték jóval kisebb volt, mint a bakhátas kezelésben. 20 cm alatt a művelés nem okozott különbséget a talajellenállás értékek között. A direktvetés felszíni rétege alatt jelentkezett kis talajellenállás értékeket a bolygatatlan talajban kialakult kedvező körülményekkel magyarázta. A bakhátas művelésben a talajellenállás érték is utalt a művelőtalp réteg kialakulására. A hagyományos művelés a talajellenállás profilja alapján egyenletesen kedvező talajellenállást mutatott a talajszelvényben.

MIKÓ (2009) zöldtrágyanövényekkel folytatott vizsgálataival kimutatta, hogy a korábban mért nagyobb talajellenállás érték a bedolgozás után 2-3 hónap elteltével megszűnt, vagyis kifejezetten érvényesült a zöldtrágyázás pozitív hatása, és kedvezőbbé vált a talajállapot. A nagy és dús gyökérzetet adó növények talajba dolgozása után tapasztalta a legtömörebb talajállapotot a kontrol százalékában, viszont a bedolgozás után 3 hónappal e növények után vált legkedvezőbbé a talajállapot.

GYURICZA et al. (1998) öt talajművelési változatnál (lazítás+szántás, lazítás+tárcsázás, szántás, direktvetés, tárcsázás) penetrométerrel vizsgálták a talaj ellenállását. Azt tapasztalták, hogy adott kísérleti körülmények között a talajellenállás nagyságát elsősorban a művelési

mélység és az alkalmazott művelőeszköz befolyásolta. Kísérletükben a leginkább szerkezet romboló eljárásnak a tárcsázás bizonyult.

A talajok fizikai állapotának romlását, a talajtömörödést, a természeti tényezők és az ember tevékenysége egyaránt kiválthatják, kialakulásáért elsősorban a gépesítés és a szakszerűtlen talajművelés felelős (RÁTONYI 1999). Hasonló megállapításra jutott BEKE (2006) is, véleménye szerint a tömődöttség a talajban természetes és mesterséges tényezők hatására alakulhat ki. A mesterséges tényezők közül több a nem megfelelő körülmények között és a nem megfelelő minőségben végrehajtott műveléssel függ össze (VIRÁG 2005, BEKE 2006). RADFORD et al. (2000), valamint HAMZA és ANDERSON (2005) szerint számos fontos talajtényezőre (pl. térfogattömeg stb.) káros hatással van a gépek által előidézett talajtömörödés. Mindezen tényezők potenciálisan csökkenthetik a gyökér lehatolását, a vízfelvételt és a növények növekedését (KIRKEGAARD et al. 1992, PASSIOURA 2002). A talaj ellenállását leginkább befolyásoló tényező a talaj lazultsága, vagy tömörsége mellett az aktuális nedvességtartalma (RÁTONYI 1999, GYURICZA 2001b).

2.2. A másodvetésű zöldtrágyanövények szerepe a talajminőség javulásában

A zöldtrágyázás hatásának vizsgálatokor, több tényezőt kell figyelembe venni. Ugyanazon növényfajnál egy adott paramétert vizsgálva is különböző – gyakran egymásnak ellentmondó – eredményeket kaphatunk.

A pillangósok nitrogényűjtését jelentősen befolyásolják a környezeti feltételek. A krotalária (*Crotalaria juncea* L.) zöldtrágyanövényként a nitrogénigényének 27-39 %-át (RAMOS et al. 2001), 72-81%-át (LADHA et al. 1996), illetve 91%-át (SENERATNE és RATNASINGHE 1995), fedezte a légkörből eltérő ökológiai viszonyok mellett.

WESTSIK (1923, 1927, 1932) tapasztalatai szerint az 1906 és 1926 közötti 21 év másodvetésű zöldtrágyából 8 év jól sikerült, 4 év mérsékelt eredményeket hozott, 9 év pedig nem járt sikerrel.

KAHNT (1986) szerint a zöldtrágyanövénynek az utóveteményre gyakorolt hatása az alábbi tényezőktől függ:

1. a zöldtrágyanövény és az utóvetemény fajtától,
2. a hátrahagyott C/N aránytól,

3. a felhasznált, és a növényben jelen lévő víz mennyiségétől,
4. az oldható hatóanyagok mennyiségétől,
5. a jelenlévő növekedésserkentő, -gátló anyagok mennyiségétől,
6. a zöldtrágyanövény elfásodottságának mértékétől,
7. a biomassa tömegétől,
8. a zöldsötmegeg N tartalmától,
9. a vegetációs időtől,
10. a gyökértömegegtől, annak eloszlásától,
11. a zöldtrágyanövény nematódákra gyakorolt hatásától,
12. a bedolgozás minőségétől, a teljes talajműveléstől,
13. a bedolgozás és a vetés közben eltelt időtől,
14. az esetleges egyéb tápanyag-ellátottságtól.

2.2.1. Kedvező hatás

CSERHÁTI és KOSUTÁNY (1887), CSERHÁTI (1892), CSAPÓ (1895), GYÁRFÁS (1916, 1929, 1953), BITTERA (1924, 1935), és SURÁNYI (1951, 1952) szerint a zöldtrágyanövények mélyre hatoló gyökérzete a felszín közelébe hozza a tápanyagokat, ez kiegészül még a pillangósok nitrogényűjtésével is. A zöldtrágyázás hatására az utóvetemény aszálytűrése is nő, mert a talaj minőségi paraméterei is javulnak. Az alászántott zöld növényi részek bomlása során keletkező savak a talajszemcsék mállását, a kolloidokban kötött tápanyagok feltáródását is elősegítik. Emellett megakadályozzák a tápanyagok kimosódását, növelik az utóvetemény termésmennyiségét és -minőségét, elnyomják a gyomnövényeket, megkötik a homokot, védenek a deflációtól.

AJTAY (1957) megállapította, hogy bár zöldtrágyanövények esetenként jelentős mennyiségű vizet használnak fel hosszútávon kiegyenlítődnek a zöldtrágyanövények nagyobb vízfelhasználásából eredő esetleges pillanatnyi aszálykárok, és 25 év átlagában a zöldtrágyázott parcellák többet teremtek, az ide vetett növények jobb aszálytűréssel rendelkeztek.

KARA és PENEZOGLU (2000) mérései alapján a zöldtrágyázás hatására szignifikánsan nőtt a CO₂ termelés és a dehidrogenáz aktivitás. ZHANG és FANG (2007) ezért a talajminőség javítás legjobb módjának tartja a szerves, illetve zöldtrágyázással kiegészített mélyebb (40

cm) talajművelést. KIM et al. (2012) vizsgálatai alapján áttelelő köztes védőnövényekkel rizstermesztésben a kontrollhoz képest 80-250%-kal csökkenthető a CH₄ kibocsátás.

A pillangósok által gyűjtött nitrogén jelentős, akár 118-269 kg/ha is lehet (GRIFFIN és HESTERMAN 1991, CREAMER et al. 1996, HONEYCUTT et al. 1996, STIVERS-YOUNG és TUCKER 1999). CHERR et al. (2006) bizonyították, hogy pillangós zöldtrágyanövények után alig, vagy egyáltalán nem kellett műtrágyát kijuttatni a csemegekukorica alá. MCVAY (1989) beszámolt róla, hogy a szöszös bükköny (123 kg/ha N), illetve a bíborhere (99 kg/ha N) ciroknál teljes mértékben, kukoricánál 2/3 részben biztosította annak nitrogén szükségletét. TOSTI et al. (2012) eredményei szerint a szöszös bükköny 73,8-183,2 kg/ha nitrogén gyűjtésére képes. SAINJU et al. (2000) azt tapasztalta, hogy megfelelő évjáratban a szöszös bükköny által biztosított nitrogén felvehetősége alig maradt el a 90 kg/ha, illetve a 180 kg/ha nitrogénműtrágya felvehetőségétől.

A sesbaniában (*Sesbania aculeata* L.) lévő nitrogén AULAKH et al. (2001) szerint segítette a szélsőségesen eltolódott C:N arány (64:1, illetve 94:1) helyreállítását, illetve növelte a kijuttatott karbamid hatékonyságát is. LADHA et al. (2000) vizsgálataik alapján azolla (*Azolla microphylla* Kaulf.) és sesbania (*Sesbania rostrata* Bremek & Oberm.) után 57-64 kg gyűjtött nitrogén maradt hátra a rizs számára.

CSERHÁTI (1897) felhívja a figyelmet arra, hogy a nem pillangós növények (például a mustár és a csibehúr) jóllehet csak a talaj humusztartalmát növelik, de mivel a pillangósoknál gyorsabb fejlődésűek, ha rövid vegetációs periódus áll rendelkezésre, célszerűbb ezeket választani. Már CSERHÁTI (1897) felismerte az áttelelő zöldtrágyanövények köztes védőnövény funkcióját: „gyökereikkel összeszedik a talajban fölvehető alakban lévő nitrogént, s így meggátolják azt, hogy ezen nitrogént a téli nedvesség a mélyebb rétegekbe mossza.”.

A köztes védőnövénynek gyakran vetett rozs megvédi a talajt az eróziótól, már 1 hónap után 30%-kal nagyobb védelmet nyújt a fedetlen kontrollal szemben. Elősegíti a talajaggregátumok képződését, és javítja a talaj vízfelvevő, vízbefogadó képességét, növeli a talaj stabilitását (BURKET et al. 1997, CREAMER et al. 1997, KINYANGI et al. 2001, STIVERS-YOUNG 1998, ANDRASKI és BUNDY 2005, TÓTH 2006).

A zöldtrágyanövényekben lévő nitrogén könnyen hozzáférhető az utóvetemény számára. THÖNNISSEN et al. (2000a) is a pillangósok (szója és indigó (*Indigofera tinctoria*)) gyors bomlásáról számolt be, 5 hét múlva biomasszájuk 30-70 %-a elbomlott. A nitrogén 2/3-a 2-6. hét között felszabadult, de a maradék 1/3 is hozzáférhetővé vált 5-8. hét közötti időintervallumban. Az utóvetemény paradicsom betakarításakor a zöldtrágyanövények által biztosított nitrogén 30-60 %-a volt a talajban megtalálható, többnyire huminsavak formájában. THÖNNISSEN et al. (2000b) tápanyagban szegény talajon egyértelműen pozitív hatást tudott kimutatni, tápanyagban gazdag talajon a terméstöbblet viszont csekély volt.

CHERR et al. (2006) bizonyította, hogy a 12,2 t/ha száraztömeget és 172 kg/ha nitrogént 14 hét alatt elérő krotalaria nitrogéntartalmának (*Crotalaria juncea* L.) 4 héttel a vegetáció megszakítása után már 45-58 %-a feltáródott.

WESTSIK (1928) megfigyelte, hogy a fehérvirágú csillagfűt zöldtrágya jelentősen növelte a burgonya termését. BITTERA (1935) a csillagfűt nagy előnyének tartotta, hogy a talaj nehezen oldható foszfortartalmát is képes hasznosítani.

AJTAY (1959) csillagfűt után 8 év átlagában háromszoros burgonyatermést mért a kontrollhoz képest. A csillagfűt vetését csak augusztus közepéig javasolta, utána már inkább a szöszös bükköny vetését tartotta célszerűnek.

Mivel a szöszös bükköny áttelelő zöldtrágyanövény, gyakran alkalmazzák köztes védőnövényként is. BROWN et al. (1993) kimutatta, hogy a szöszös bükköny fejlődése során csak kevés vizet használt fel, a hátrahagyott nitrogénjének eredményeként a kukorica szignifikánsan nagyobb termést adott mind konvencionális, mind no-tillage művelésmód esetében is. WILSON és HARGROVE (1986) bíborhere esetében is azt tapasztalta, hogy a művelésmód nem befolyásolta a nitrogén feltáródását.

ASTIER et al. (2006) eredményei szerint a takarmány bükköny nem csak a kukorica termésére volt hatással, hanem fokozta annak nitrogén és foszfor felvehető képességét is. CAVIGELLI és THIEN (2003) beszámolt róla, hogy más pillangósok (lucerna, vöröshere sárgavirágú somkóró) is fokozták az utóvetemény foszforfelvételét.

TEJADA et al. (2008) vizsgálatai szerint a vöröshere, a repce és a két növény keveréke is jelentősen növelte az utóvetemény kukorica termésparamétereit a kontrollhoz képest.

BAUER és ROOF (2004) rozs, bíborhere, illetve a kettő keverékének hatását vizsgálták a gyapot termésparamétereire. A bíborhere után tapasztalták a legnagyobb és legjobb minőségű termést. DACHLER és KÖCHL (2003) kimutatták a vöröshere és a perzsahere termésnövelő hatását. WIVSTAD (1998) bizonyította, hogy a sárgavirágú somkóró 8, 14 és 20 hetes korában bedolgozva is több nitrogént tárt fel, mint a hasonló korú vöröshere. Az utóvetemény tavaszi búza is somkóró után adott nagyobb termést. VÁRADI SZABÓ (1915) az árvakelésű borsó után jelentős terméstöbbletet mért. SCHNEIDEWIND (1915) szerint a borsó-, lóbab- és bükkönykeverék jelentősen fokozta a burgonyatermést.

A nem pillangós zöldtrágyanövények kedvező hatása is jelentős, esetenként megközelítheti, vagy akár meg is haladhatja a pillangósokét. KEMENESY (1959a) azt tapasztalta, hogy a tavaszi repce másodvetése dúsan behálózta a talajt, nitrogén-, és foszfortartalma pedig megközelítette a pillangósok beltartalmi értékeit. JAHN-DEESBACH (1965) az olajretket az egyik legjobb burgonya előveteményének tartotta. Jelentős mértékben javult a talaj tápanyag-szolgáltató képessége is.

GYÖRFFY (1958) eredményei szerint a zöldtrágyanövények biomasszahozamát összehasonlítva a napraforgó adta a legnagyobb zöldtömeget (23,2 t/ha), utána közel azonos biomasszával a szegletes lednek (15,9 t/ha) és a somkóró (15,5 t/ha) következett, míg a borsó csak 8,5 t/ha biomasszát ért el. MIHÁLYFALVY (1959, 1960a, 1960b, 1962a, 1962b) is hasonlókat tapasztalt. Bár a zöldtrágyának termesztett másodvetésű napraforgó vízigénye meghaladta a vízigényesnek tartott vörösheréét is, de öntözött körülmények között hét év átlagában a napraforgó zöldtrágya a borsófélék, a fehér mustár és az egyéves somkóró zöldtömegének négyszeresét adta. BELÁK (1953) beszámolt róla, hogy barna erdőtalajon a tarlónapraforgó jelentős talajlazító hatást fejtett ki, így növelte a takarmányrépa utóvetemény termését.

MIKÓ et al. (2012) eredményei szerint a zöldtrágyanövények biomasszahozama, a talajtermékenységre gyakorolt pozitív hatása kedvezőtlen termőhelyi körülmények között 50 kg/ha nitrogénműtrágya felhasználásával tovább növelhető.

2.2.2. Semleges vagy bizonytalan hatás

A zöldtrágyázás hatását több környezeti tényező együttesen alakítja ki, így a kísérletek egy része nem várt eredményeket hozott. Bár az esetek többségében az eredményekben statisztikailag igazolható az eltérés, előfordul, hogy nem mutatható ki szignifikáns különbség.

RICHARDS et al. (1996) mustár és olajretek után tavasz árpánál, ALLISON et al. (1998a, 1998b) facélia, mustár és olajretek után cukorrépánál, DACHLER és KÖCHL (2003) tavaszi repce után őszi búzánál, KÄNKÄNEN és ERIKSSON (2007) vörös és fehérhere után tavaszi árpánál, CAVIGELLI és THIEN (2003) csillagfűrt, őszi borsó, szöszös bükköny, őszi búza után ciroknál nem tudott statisztikailag igazolható különbségeket kimutatni.

POPAY et al. (1993) azt tapasztalták, hogy a csillagfűrt, a lóbab, a takarmánybükköny, a fehér mustár, a repce, az olajretek, a bab és az angolperje zöldtrágyanövények után a borsó és a búza termésmennyisége nem volt összefüggésben sem a zöldtrágyanövények biomassza-mennyiségével, sem azok gyomosságával.

2.2.3. Kedvezőtlen hatás

Több paraméter is okozhatja a zöldtrágyázás kedvezőtlen hatását. ROSZIK (1993) azt tapasztalta, hogy a zöldtrágyanövények elvonhatják a tápanyagot és a vizet, akadályozhatják a talaj-előkészítést. GYÁRFÁS (1929, 1953) megfigyelései szerint az esetenkénti túl nagy zöldtömeg is okozhat gondot a jelentős vízfelhasználása miatt.

WESTSIK (1936) és BALLENEGGER et al. (1936) eredményei alapján a frissen bedolgozott zöldtrágya az utóvetemények hiányos kelését és lassú kezdeti fejlődését okozta, ezért javasolják 4-6 hetet várni a bedolgozás és a vetés között. DEGREGORIO (1995), BURKET et al. (1997), STIVERS-YOUNG és TUCKER (1999), és LABARTA et al. (2002) tapasztalatai szerint a zöldtrágyázás hátráltatta az utóvetemény vetését.

KISMÁNYOKY (1993) felhívta a figyelmet arra, hogy a másodvetésnél szélsőséges éghajlati viszonyok között – elsősorban a csapadékhiány miatt – a zöldtömeg mennyisége rendkívül bizonytalan. Ez a tény nagymértékben akadályozza alkalmazásának nagyobb arányú elterjedését. A haszon sokszor azért is korlátozott, mert magas járulékos költségekkel jár a

zöldtrágyanövények vetése. (POSNER et al. 1995, STIVERS-YOUNG és TUCKER 1999, ABAWI és WIDMER 2000, LABARTA et al. 2002).

RASMUSSEN és ANDERSEN (1994) fehér mustár után csökkenő búzatermésről, illetve takarmányrépa esetében kisebb állománysűrűségről és kisebb szárazanyag-tartalomról számolt be.

Több szerző is beszámolt a tarlónapraforgó kedvezőtlen hatásairól. WESTSIK (1956, 1960) kísérletében homoktalajon napraforgó után a kontrollhoz képest első évben a burgonya, második évben a rozs kevesebbet termelt. Véleménye szerint laza homoktalajon műtrágya-kiegészítés nélkül a napraforgó nem képes a terméseket fokozni. WESTSIK (1956, 1957) a tarlónapraforgót mulcsként meghagyva és csak tavasszal alászántva, műtrágya-kiegészítés nélkül szintén az utóvetemény terméscsökkenését eredményezte.

GYÖRFFY (1958) búzatarlón vetett másodvetésű napraforgó zöldtrágya után mind búzánál, mind kukoricánál terméscsökkenést tapasztalt jó termékenységű közép kötött vályogtalajon. BAUER (1973) eredményei alapján az elvénytlen bedolgozott napraforgó után mind rozsbán (virágzás kezdetén alászántva), mind kukoricában (teljes virágzásban alászántva) terméscsökkenés jelentkezett.

KEMENESY (1959b) eredményei szerint csak a 30 cm magasságú napraforgó növelte az utóvetemény termését, későbbi fenofázisban bedolgozva terméscsökkenést okozott.

Több irodalmi forrás is megemlíti, hogy a köztes védőnövénynek, illetve zöldtrágyának vetett őszi kalászosok többek között a pentozán hatás miatt csökkentették az utóvetemény termését. ANTAL (1964) azt tapasztalta, hogy a rozs tisztán csak úgy volt alkalmas zöldtrágyának, ha a bedolgozást követően jelentős mennyiségű nitrogént juttattak ki. WAGGER (1989a, 1989b) eredményei szerint rozs köztesnövény után 1984-ben 25 % (30 kg), 1985-ben 18 % (21 kg) plusz nitrogénigény jelentkezett. CLARK et al. (1994), CLARK et al. (1997a, 1997b), VAUGHAN és EVANYLO (1998) kimutatta, hogy a később bedolgozott rozs hiába tartalmazott kétszer több nitrogént, mint amelyiket korán dolgozták be, mégis sokkal rosszabb C:N arányt hagyott hátra.

ODHIAMBO és BOMKE (2007) őszi búza, őszi árpa és rozs köztes védőnövények hatását vizsgálva kedvezőtlen talaj C:N arányt tapasztaltak.

DECKER et al. (1994) vizsgálatai szerint a köztes védőnövény őszi búzában 40 kg/ha nitrogén volt. A kukorica a búza után kisebb termést adott, mint a kontrollon. KUO et al. (1997), BURKET et al. (1997), STIVERS-YOUNG és TUCKER (1999) is azt tapasztalták, hogy rozs után csökkent a nitrogén mennyisége a talajban, illetve az utóvetemény kezdeti fejlődése során a rozs által felvett nitrogén még nem volt hozzáférhető.

Esetenként pillangós zöldtrágyanövények után is tapasztaltak terméseszkökenést. KERPELY (1895) beszámolt róla, hogy a másodvetésű csillagfürt után termesztett zab a kontroll területhez képest kisebb termést adott. A jelenséget azzal magyarázta, hogy a jobb nitrogénellátottság a zab bujább fejlődését vonta magával, így érését hátráltatta, és a fellépő hőségben kényszerítés következett be. HUNTINGTON et al. (1985) azt tapasztalta, hogy direktvetésnél, ha a lezúzott növény a talajfelszínen marad, feltáródása jóval lassúbb.

FISCHLER et al. (1999) korai és kései vetésidejű krotalaria (*Crotalaria ochroleuca* G. Don.) után két éven keresztül vizsgálták a kukorica és a bab terméseredményeit. Első évben a korai vetésű krotalaria után a kukorica 40%-kal, a bab 45%-kal, kései vetésű után a kukorica 22%-kal, a bab 14%-kal termett kevesebbet.

CAVIGELLI és THIEN (2003) eredményei szerint a csillagfürt zöldtrágya kedvezőtlen hatással volt a cirok foszforfelvételére.

2.3. Energetikai célú növénytermesztés

A megújuló energiaforrások hasznosítása egyre kevésbé kerülhető meg. Napjainkra a biomasszából történő bioenergia előállítás és hasznosítás stratégiai kérdéssé vált. Európa és a világ egyaránt energiahiánnyal küzd, a készletenergiákra alapozott rendszerek fogyóban vannak, miközben az energiaigény világszerte (a társadalmi és gazdasági fejlettségtől függően) tendenciózusan növekszik. Magyarországon elsősorban ökológiai adottságaink, nemzetgazdasági érdekeink és az Európai Unió elvárásai miatt kormányzati szinten is foglalkozni kell a megújuló energiaforrások szabályozási kérdéseivel. A megújuló energiaforrások mellett, hogy többségükben környezetbarát energiaforrást jelentenek, sok egyéb más a gazdaság szempontjából kiemelkedően fontos járulékos hatást is magukkal hoznak. Ilyen például a munkahelyteremtés, az energiafüggettség és az energiabiztonság

kérdése is (KOHLHEB et al. 2010). Magyarországon egyelőre a biomassza energetikai hasznosítása terjedt el leginkább, amelynek részesedése már jelenleg is 80% fölött van a megújuló energiaforrásokon belül (VARGA – HOMONNAI 2009). A Nemzeti Cselekvési Terv (NCsT) biomasszából mintegy 52 PJ energiatermelést vetít előre 2020-ra. Ezen belül jelentős növekedés várható a biomasszából származó villamos energia termelésében is, amely 2000 GWh-ról 3218 GWh-ra nő majd (NFM 2010).

A fenti hasznosítási célkitűzések mögött elsősorban erőművi tüzelés áll, amelynek tűzifával való ellátása a tűzifaigény további növekedése mellett egyre nehezebben lesz megoldható. A rendelkezésünkre álló erőforrások hatékony hasznosításának oldaláról is problémás ez a típusú hasznosítás, hiszen a bemenő energiának többnyire csak töredékét (20-30%) hasznosítja. Ezért hosszú távon mindenképpen átgondolandó ennek a technológiának a létjogosultsága Magyarországon. A fentiek miatt elengedhetetlen olyan természetstechnológiák szántóföldi bevezetése, amelyek többlet kínálatot képesek teremteni a tűzifa és az faapríték piacán (CAMBELL et al. 1983). Annál is égetőbb kérdés az alternatív termelési lehetőségek kimunkálása, hiszen a jelenlegi lekötött erőművi tűzifakereslet olyan fenntarthatóbb közösségi hasznosítások elől veszi el a fejlődés lehetőségét, mint pl. a közösségi fűtő-, illetve kiserőmű, vagy a hatékony lakossági biomassza tüzelési rendszerek.

Magyarország területének mintegy felén, kb. 4,5 millió hektáron folyik szántóföldi növénytermesztés (AKI 2009). Több százezer hektárra tehető azon szántóterületek nagysága, ahol a jelenlegi támogatási rendszer mellett is nehezen garantálható a jövedelmezőség hagyományos növényekkel (BARCZI et al. 2006). Ezek a gyakran vízjárta, belvíz kialakulására hajlamos területek, továbbá a kis termőhelyi értékszámú, szélsőséges víz- és tápanyag-gazdálkodású, többnyire homok vagy homokos vályog fizikai féleségű talajok. Mivel ezek a termőhelyek általában a társadalmilag és gazdaságilag egyaránt elmaradottabb térségekben találhatóak, ezért a jövőben is alapvető szerepe lesz a mezőgazdaságnak, és a termelésből való kivonás, vagy művelési ág váltás (pl. szántóról gyepre, vagy erdőre) sem jelenthet megoldást (DOBÓ et al. 2006).

A fás szárú energetikai ültetvények létesítése a vidék népességének megőrzése és a lakosság számára jövedelmező mezőgazdasági ág lehet a jövőben. Általánosságban érvényes a megállapítás, hogy hazánkban valamennyi mezőgazdasági művelésre használt talaj megfelelő valamely gyorsnövésű fafaj termesztésére (GYURICZA 2007). Mivel e fafajok (pl. *Populus*

sp., *Salix* sp.) többnyire a kedvezőtlen termőhelyi adottságokat is elviselik, ezért olyan belvizes, illetve ártéri területeken is telepíthetők, ahol más mezőgazdasági növények már nem élnek meg. Egyes növények (pl. *Robinia* sp.) pedig kifejezetten száraz, aszályra hajló körülmények között is biztonsággal termesztethetők. Magyarország szántóterületének mintegy 60 %-a erózióra vagy deflációra hajlamos, ezeken a területeken rövid vágásfordulójú ültetvények telepítésével kiváló a talajvédő hatás, mivel csaknem egész éves talajfedettség érhető el (FARKAS et al. 2005). Több szerző felhívja azonban arra a figyelmet, hogy a biomassza szántóföldi előállításának csak akkor lehet létjogosultsága, ha olyan technológiákat alkalmazunk, amelyek környezeti és fenntarthatósági szempontból egyaránt megfelelnek az elvárásoknak.

A környezeti hatás elemzésére az életciklus-elemzés (LCA) lehet alkalmas, amely valamennyi biomassza-előállítási és -felhasználási módszerre vonatkozóan pontos becslést ad a károsanyag-kibocsátásra, valamint az energiamérlegre vonatkozóan (HELLER et al. 2003).

2.3.1. Az energetikai faültetvény hatása a talajállapotra

Napjainkban számos téves nézet áll fenn az energetikai ültetvények környezeti hatásáról. E nézetek tudományos vizsgálatokat nélkülözve alakultak ki. Az objektív értékelés ezért nélkülözhetetlen. A megújuló energiaforrásokból úgy nyerhető ki energia, hogy az folyamatosan rendelkezésre áll, vagy jelentősebb emberi beavatkozás nélkül legfeljebb néhány éven belül újratermelődik. Magyarországon a megújuló energia felhasználásának aránya 2007-ben 5,3 % volt, ami napjainkra is alig érte el a 6 %-ot (KOHLHEB et al. 2010). Ez azt jelenti, hogy az elkövetkező tíz éven belül a jelenlegi szint több mint kétszeresére kell növelni az arányát, ha a vállalt kötelezettségünknek eleget kívánunk tenni. Magyarországon döntő többségben a biomasszának és a geotermikus energiatermelésnek lehet hosszabb távon nagyobb jelentősége, amelyektől jelentősen elmarad a többi megújuló energiaforrás. Jelenleg a biomassza hasznosítás egyeduralma figyelhető meg, a megújuló energiaelőállítás több mint 90 %-a valamilyen biomassza forrásból származik (SZAJKÓ 2009, NFM 2010). Az elkövetkező években feltehetően ez az arány csökkenni fog, azonban továbbra is a legjelentősebb megújuló energiaforrás marad. Egyes szakértői vélemények a napenergia hosszútávú hasznosításában is nagy lehetőségeket látnak, azonban várhatóan a megújuló energiahasználaton belüli aránya jelentős mértékben nem fog növekedni. A víz- és szélenergia energiatermelésen belüli arányának jelentős növekedésére a jövőben sem lehet számítani (VARGA és HOMONNAI 2009).

A szántóföldről energetikai célra lekerülő biomassza három típusát különböztethetjük meg: a növénytermesztési melléktermékek csak részlegesen hasznosíthatók a szerves anyag visszapótlásának szükségessége (BIRKÁS et al. 2009), és az állattenyésztésből kikerülő szerves trágya korlátozott mennyisége miatt (PÓTI et al. 2010). A lágyszárú és fás szárú energianövények hő- és villamosenergia célú termesztése elsősorban a hagyományos takarmány és élelmiszer növények számára kedvezőtlen termőhelyeken jöhet számításba (TAMÁS 1997). Magyarország kontinentális éghajlati viszonyainak köszönhetően a fás szárú növények közül az akác (*Robinia sp.*), a fűz (*Salix sp.*), valamint a nyár (*Populus sp.*) számára adottak kedvező termesztési feltételek (IVELICS 2006, BARKÓCZY et al. 2007).

Az energetikai faültetvények hazai kutatása az elmúlt évtizedekben sokirányú volt. Kidolgozták azokat a módszereket, technológiai változatokat, amelyek különböző ökológiai adottságú termőhelyeken a legnagyobb biztonsággal alkalmazhatók (BAI et al. 2008). A kutatások kiterjedtek a faj és fajta megválasztására, a megfelelő tőszámsűrűség meghatározására, a különböző vegetatív szaporítási módszerek továbbfejlesztésére, a telepítési technológia javítására, a növényápolás, a növényvédelem, a növénytáplálás módszereinek és hatásainak vizsgálatára, a betakarítási technológia kidolgozására, valamint a betakarított faanyag tárolására, szárítására és további hasznosítási lehetőségeire (IVELICS 2006, BARKÓCZY et al. 2007, GYURICZA et al. 2011). Bőséges hazai és nemzetközi kutatási eredmény született a fás szárú energianövények klímaváltozásban betöltött kedvező hatásairól, valamint a fitoremediációs, tájrehabilitációs célú alkalmazás lehetőségeiről (HELLER et al. 2003, LAUREYSENS et al. 2004, MOLA-YUDEGO és ARONSSON 2008, SIMON et al. 2010, PELLEGRINO et al. 2011). Az ökológiai hatások vizsgálata elsősorban a rovarok, a madarak, valamint a vadon élő gerinces állatok és az ültetvények összefüggéseire terjedt ki (VERWIJST és MAKESCHIN 1996, AHMAN és WILSON 2008).

Lényegesen kevesebb kutatás folyt ugyanakkor az energetikai faültetvények hatásáról a talaj fizikai, biológiai és kémiai állapotára. LIEBHARD (2009) megállapítja, hogy a jelentős talajfizikai jellemzőknél, mint a porozitás, a pórustérfogat, a pórusméret-eloszlás, a térfogattömeg, a szerkezeti stabilitás, a talajjellenállás, továbbá az infiltrációs ráta középtávon kedvező hatás figyelhető meg, ugyanakkor a jelenleg rendelkezésre álló eredmények nehezen teszik lehetővé az egyértelmű megítélést. A hagyományos szántóföldi növénytermesztés talajállapotra vonatkozó hatásai részletesen vizsgáltak (JÓZEFACIUK et al. 2001, BIRKÁS

et al. 2004), számos eredmény kiterjeszhető az energetikai faültetvényekre, azonban a technológia sajátosságai miatt a konkrét kutatások nem nélkülözhetők.

2.3.2. Az energiafűz biomassa produkciója

A megújuló energiaforrások közül a biomassa felhasználása a legnagyobb arányú, amely energetikai célú hasznosítása egyidős az emberiséggel. Kezdeti domináns szerepe azonban a nagyobb energiasűrűségű energiaforrások használatba vételével jelentősen csökkent (PAPPNÉ 2005, 2008). Napjainkban a biomassa energia felhasználása ismét felértékelődik, így a világ energiafelhasználásából közel tíz százalékkal rendelkező részesedését várhatóan a jövőben is megőrzi. Az bioenergia hasznosítás legegyszerűbb, és az energiamérleg szempontjából is legkedvezőbb változata a biomassa eredeti, vagy az eredetihez közeli állapotában történő energetikai felhasználása. Ezt szem előtt tartva a különböző biomassák közül a közvetlen tüzelésre alkalmas erdő- és mezőgazdasági termények és melléktermények, valamint fás- és lágyszárú energianövények felhasználása a legkedvezőbb hő-, illetve villamosenergia termelés, valamint a bioetanol termelés céljával (MAROSVÖLGYI 2001, MAROSVÖLGYI és IVELICS 2004, BOHOCZKY 2005, BLASKÓ et al 2008, JOLÁNKAI 2009).

A biomassa jelentősége, hogy fosszilis energiahordozók válthatók ki velük, így megvalósítható a fenntartható energiafelhasználás (fenntartható fejlődés). Rövid életciklusban akár 1 éven belül újból megtermelődnek (pl. rövid vágásfordulójú fás szárú energiaültetvények), használatuk esetén bányászott energiahordozók takaríthatók meg (kőszén, földgáz, kőolaj). Az így megtakarított fosszilis energiahordozók nem fokozzák a levegő szennyezettségét és a CO₂ tartalmának növekedését (üvegház-hatással, és a globális felmelegedéssel kapcsolatos törvényi rendelkezések). A társadalom, az ipar és a közlekedés óriási energiaéhsége miatt azonban ilyen módon a gyakorlatban nem csökkenthető számottevő mértékben a CO₂ kibocsátás (BAI et al. 2008).

A megújuló energiaforrások keresése Magyarország számára azért is kiemelten fontos, mert hazánk szegény ásványi eredetű energiahordozókban. A megújuló energiaforrások tekintetében a nap, a szél, a geotermikus energia és a biomassa terén Magyarország jelentős potenciállal rendelkezik, és hazánkban a legjelentősebb megújuló energiaforrásként a biomassa jöhet számításba. A fenntartható energiaellátás érdekében a megújuló energia

aránya a primer energia felhasználásban várhatóan a mai 7%-ról 20% közelébe emelkedik 2030-ig (NFM 2010).

A víz- és szélenergia energiatermelésen belüli arányának jelentős növekedésére Magyarországon nem lehet számítani (VARGA és HOMONNAI 2009). A biomassza jelentős mértékű hasznosítása növelné Magyarország energiamérlegében a biomassza arányt, valamint csökkenti az importfüggőséget (KOLHELB et al. 2010).

Hazánkban a talajok állapota összességében kedvező, azonban a mezőgazdálkodással érintett termőtalajokat funkcióképességük ellátásában akadályozó és termékenységüket csökkentő olyan degradációs folyamatok veszélyeztetik, mint az erózió, a defláció, a szervesanyag-készlet csökkenése, a savanyodás, szikesedés, tömörödés, valamint a termőtalajok mennyiségének csökkenése (BIRKÁS 2008). A talajdegradációs folyamatok számos esetben a helytelen földhasználat, a talajvédelmi szempontokat figyelmen kívül hagyó gazdálkodás miatt alakulnak ki, és a talajpusztulás mellett termés kiesést, továbbá a termelés jövedelmezőségének csökkenését eredményezik (BIRKÁS et al. 2009).

A talajdegradációs folyamatok közül az egyik legjelentősebb a vízerózió, ami a mezőgazdasági területek közel harmadát károsítja, a szélerózióval veszélyeztetett területek kiterjedése mintegy 1,4 millió ha. (TAMÁS 1997). Több százezer hektárra tehető azon szántóterületek nagysága, amelyeken nehezen garantálható a jövedelmezőség hagyományos növényekkel (GYURICZA et al. 2011). A vízjárta, belvizes területek, valamint a szélsőséges víz- és tápanyag-gazdálkodású talajok általában az elmaradottabb térségekben találhatóak, ezért a jövőben a mezőgazdaságnak nagyobb figyelmet kell fordítania e területek termelésből való kivonására. (DOBÓ et al. 2006).

Ezek a területek alkalmasak fás szárú energianövény termesztésére. Vannak olyan fafajok (pl.: *Populus sp.*, *Salix sp.*), melyek e kedvezőtlen termőhelyi adottságokat is elviselik, ezért ott is telepíthetők, ahol más mezőgazdasági növények termesztése gazdaságtalanná vált (IVELICS 2006, BARKÓCZY et al. 2007).

Az erózióknak kitett területeken a rövid vágásfordulójú ültetvények telepítése kiváló talajvédő funkciót lát el, mert egész éves talajfedettség érhető el, ezért a fás szárú energiaültetvények

létesítése a vidék népességének megőrzésén túl, a lakosság számára jövedelmező mezőgazdasági tevékenység lehet a jövőben. (GYURICZA 2007).

A rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények létesítésével, üzemeltetésével kapcsolatban számos példát találhatunk a világban. Európán belül Svédországban, Németországban, Nagy-Britanniában, Horvátországban, Szerbiában, Finnországban, Szlovákiában, Lengyelországban és Magyarországon találhatunk intenzív kísérleteket, illetve nagyobb ültetvényeket. Ezekben az országokban elsősorban fűz, nyár, akác, nyír és éger klónokkal végeznek vizsgálatokat. Magyarországon, ezeken kívül a pusztaszilt és a bálványfát is vizsgálják (IVELICS 2006). E fafajok energiaszolgáltató-képessége jelentős, a fűzfafajokból 19-20 MJ/kg energia nyerhető (MÉSZÁROS et al. 2007, DEMO et al. 2011).

2.4. A talaj-növény rendszer és a fenntartható növénytermesztés kapcsolata

A talaj-növény rendszer első leírásai meglehetősen pontos, és sok esetben ma is érvényes megállapításokkal már a római birodalom idején váltak közkinccsé. Maga az „agricultura” kifejezés először a Kr. e. II századtól van használatban (CATO 1966). Lucius Junius Moderatus Columella ókori mezőgazdasági szakíró 12 fejezetre osztott gyűjteményes munkája a "De re rustica" összefoglalja mindazon ismereteket, amellyel a kor mezőgazdasza rendelkezett, a talajműveléstől a terménytárolásig, a tápanyagellátástól a növénykórtanig (COLUMELLA 2005). Jellemző, hogy e mű ismeretanyaga olyan nagymértékben helytálló, hogy közel kétezer éven keresztül folyamatosan kiadták, és a gazdák kézikönyvként használták. Magyarországon is számos kiadást megért. Mezőgazdasági akadémiai tankönyvként legutoljára 1819-ben Pesten adták ki Fábián József fordításában "Columella 12 könyvei a mezei gazdaságról" címmel.

A fenntartható gazdálkodás lényegében nem más, mint a termőhely és a termesztett növény kapcsolata oly módon, hogy a termelési ciklust megelőző, és majdan az azt követő időszak agroökológiai feltételeinek is eleget tegyünk. Valójában a tartamkísérletek, illetve a vetésváltás szerkezeti koncepciói teszik lehetővé a folyamatos kultúrállapot megőrzését, valamint a termőhelyi adaptáció talajművelési és agrotechnikai módszereinek alkalmazását (BERZSENYI 2002, 2003, NAGY 2003).

Maga az agroökológiai rendszer nem lehet független sem az éghajlati és az időjárási tényezőktől, sem a termőhely biotikus és abiotikus befolyásától. A természetstechnológiáknak következésképpen minden olyan tényezőt figyelembe kell venniük, amely hatással lehet a termesztett, illetve a természetes növényfajok termelésére, valamint a termőhely ökológiai egyensúlyára (CSATHÓ 2003, KÁDÁR és RAGÁLYI 2012, LÁNG et al. 2007, LEHOCZKY et al. 2002). Lényeges eleme a fenntartható technológiáknak az élelmezés- és az élelmiszerbiztonság is. Az adott termőhely környezetminősége valójában meghatározó eleme az ott megtermelt termények és élelmiszerek mennyiségének és minőségének is, vagyis közvetetten az emberi társadalom életminőségének (GYŐRI és KÓNYA 2012, PEPÓ 2012). A fenntartható gazdálkodás, illetve a környezetminőség tényezői között az elmúlt évtized során meghatározóvá váltak a precíziós természetstechnológiai módszerek (NÉMETH és JOLÁNKAI 2002). „A precíziós agrárgazdaság minél gyorsabb és minél szélesebb körű bevezetése, elindítása ma a hazai agrár- és környezetvédelmi kutatásokban prioritást kell élvezzen, lévén ez az egyetlen olyan megoldás, amely egyidejűleg képes megoldást kínálni ökonómiai és ökológiai problémákra.” (GYŐRFFY 2001).

2.5. Az EU környezetvédelmi elvárásai a szakszerű talajműveléssel kapcsolatban

A Közös Agrárpolitika (*Common Agricultural Policy*, CAP) létrehozásának célját az Európai Közösséget létrehozó szerződés (Római Szerződés, 1957) 39. cikkelye fektette le, melyben a környezet védelme még nem játszott fontos szerepet. A közös agrárpolitika átalakulásának több szakasza különíthető el. Az 1950-es években egyértelműen a mezőgazdaság termelékenységének növelése volt a fő cél. A külső inputok túlzott felhasználása az 1960-as évektől mutatta meg környezetromboló hatását. Az 1970-es évektől figyeltek fel először a mezőgazdaság okozta környezeti problémákra. Az első környezetvédelmi világkonferenciát 1972-ben rendezték Stockholmban. Az Európai Közösség Párizsi csúcán (1974) deklarálták, hogy önmagában a gazdasági növekedést nem lehet célul kitűzni. Az új politikai irányzat hatására 1972-ben kidolgozták az első Környezetvédelmi Akcióprogramot, melyben rögzítették a környezetvédelem alapjait és céljait. A környezetvédelmi szempontok Közösségi szabályozásba való fokozatos bevezetése az 1980-as évek közepén indult meg, melynek szükségességét többek között az Egységes Európai Okmány (1987) is magában foglalja (TAR 2008).

BIRKÁS (1997) egy környezeti szempontú tanulmányában hívja fel a figyelmet az EU Ötödik Környezetvédelmi Akcióprogramjában tükröződő elvekre, vagyis az elővigyázatosságra (megelőzés), a szennyező, károsító fizet és a megosztott felelősség hazai érvényesítésének fontosságára (pl. a szennyező/károsító felderítése a megosztott felelősség tudatos felvállalásával).

A Hatodik Környezetvédelmi Akcióprogramról szóló 1600/2002/EK határozat (2002. július 22.) már egyértelműen megfogalmazza a fenntartható fejlődés feltételeként a természeti erőforrások körültekintő használatát és a globális ökoszisztéma védelmét. A program céljaként emeli ki a környezet és az emberi egészség magas szintű védelmét, valamint a környezet és az életminőség általános javítását. A célkitűzések és a kiemelt cselekvési területek között szerepel a talaj fenntartható használatának előmozdítása, különös figyelemmel az erózió, a talaj minőségének romlása, a szennyezés és az elsivatagosodás megelőzésére. Az éghajlatváltozás enyhítése érdekében a közös agrárpolitikában figyelembe kell venni az igényt az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának a csökkentésére más környezeti szempontokkal együtt.

BENCSIK (2009) szerint a mezőgazdaság is jelentős mértékben járul hozzá az üvegházgázok légköri koncentrációjának növekedéséhez. Felmérések szerint az ipari tevékenység (beleértve a fosszilis energiahordozók égetését) 77%-kal, míg a mezőgazdaság 23%-kal járul hozzá a globális felmelegedéshez. Összességében az antropogén eredetű metán és nitrogénvegyületek (NO_x) 50-75%-a és a szén-dioxid 5%-a a mezőgazdasági tevékenységből származik.

Az utóbbi évtizedekben a közgazdasági viszonyok romlása a termelési költségek csökkentésére, a környezet állapotának romlása a kímélő, megelőző eljárások alkalmazására, vagy alkalmazkodásra készítheti a gazdálkodót (BIRKÁS 2002). A fenntartható gazdálkodás szem előtt tartása, a környezet védelme, a talaj megóvása nem új keletű dolog, a téma már klasszikus szerzőinket is foglalkoztatta. Célszerű kiemelni CSERHÁTI Sándort, aki már a XIX. század végén hangsúlyozta, hogy „a talaj okszerű művelése mezőgazdasági haladásunk elengedhetetlen feltétele” (1896). Tanítványa, GYÁRFÁS József a XX. század első felében Sikeres gazdálkodás szárazságban (1922) című munkájában a talajkímélésre, az alkalmazkodó művelés és a nedvességveszteség csökkentésének a fontosságára hívta fel a figyelmet. Id. Manninger G. Adolf szántás nélküli rendszere (okszzerű sekélyművelés) szintén hozzájárult a talaj állapotához való jobb alkalmazkodáshoz, a talaj kíméléséhez. MANNINGER et al.

(1940) a sekély művelés módszereit hasonlították össze a szántással, a hengerhatás mindkét esetben való alkalmazásával, korán lekerülő elővetemények után. A vizsgálat során a növények vízgazdálkodását és fontosabb anyagcsere körfolyamataikat is figyelembe vették. Kísérleteikkel igazolták, hogy a vízgazdálkodás szempontjából a legjobb eredményeket a sekély művelés eredményezte, amelyet a hengerhatással még tovább tudtak fokozni.

A környezet védelme, a talaj megóvása, a fenntartható gazdálkodás feltételeinek megteremtése a hazai mezőgazdaságban mára már mindennapos és kulcsfontosságú kérdés. A környezet védelmének általános szabályairól szóló 1995. évi LIII. törvény a mezőgazdaságra vonatkozóan nem tartalmaz speciális szabályozásokat, azonban a Törvény II. Fejezet 14. §-a (1) bekezdése tartalmazza többek között, hogy a föld védelme kiterjed a talaj védelmére is. A Törvény III. Fejezet 40. §-a előírja a Nemzeti Környezetvédelmi Program elkészítését és végrehajtását. Az első Program (1997-2002) a rendszerváltás utáni időszak fő cselekvési irányait határozta meg és feltárta a több évtizedes problémákat. A 2003-2008 közötti időszakra vonatkozó második Program elősegítette az EU-csatlakozás környezetvédelmi feltételeinek megteremtését (pl. jogharmonizáció, intézményfejlesztés stb.). A 2009-2014 közötti időszakra szóló harmadik Nemzeti Környezetvédelmi Program a környezeti szempontok és összefüggések megjelenítésével, a társadalmi és gazdasági lehetőségekkel összehangolt, szükséges intézkedések meghatározásával rendszerbe foglalja a környezet védelmére irányuló célokat és feladatokat. Az ország fenntartható fejlődési pályára való átállását kívánja sajátos eszközeivel elősegíteni (96/2009. (XII.9.) OGY határozat melléklete).

A Program szerint nem a fejlett országok iparosított mezőgazdasági technológiáinak alkalmazása lenne a megfelelő cél, hanem olyan modernizációs pálya kialakítása, amely a környezetkímélő technológiák alkalmazására, és az ország speciális adottságait és szaktudását kihasználó, magas élvezeti értékű termékek előállítására irányul (KORMOSNÉ 2008).

Hazánk Európai Unióhoz történő csatlakozását követően szükségserűvé vált a nemzeti agrártámogatási rendszerünk átalakítása. Az EU-konform átalakítás olyan agrártámogatási rendszer kialakítását tűzte ki célul, amely megteremti az összhangot a 2007-2013-as időszak uniós forrásokra épülő támogatási rendszerével. Mind az uniós iránymutatások, jogszabályok, mind a nemzeti támogatásokat szabályozó uniós rendelkezések több területen is szigorú követelményeket határoztak meg. Az Európai Unió irányelvekben szabályozza azokat a területeket, amelyek a környezet védelme szempontjából kiemelt fontosságúak. Az

irányelveket szem előtt tartva, már a tagországok feladata a konkrétumok meghatározása, jogszabályokba foglalása.

2.6. A mezőgazdaság és a környezetvédelem kapcsolata - kilátások

Az EU-ban és hazánkban bevezetett agrár-környezetvédelmi intézkedések összhangban vannak a fenntartható fejlődés és a fenntartható mezőgazdasági fejlesztés döntő elveivel, a leghangsúlyosabban ez az összhang a természeti erőforrások – a talaj, felszín alatti- és felszíni vízkészletek, genetikai erőforrások, erdő, táj – hosszú távú védelme területén jelentkezik (GYARMATI 2005).

Jelenleg az Új Magyarország Vidékfejlesztési Program (ÚMVP) keretén belül kerül támogatásra az agrár-környezetgazdálkodás (AKG) intézkedés. Az intézkedés céljai között szerepel többek között a vidéki területek fenntartható fejlődésének elősegítése, a környezet állapotának megőrzése és javítása, a mezőgazdasági eredetű környezeti terhelés csökkentése, a természeti erőforrások fenntartható használatán alapuló környezettudatos gazdálkodás elősegítése, a fenntartható tájhasználat kialakítása, a minőségi termékek előállításának segítése, az élelmiszerbiztonság fokozása, a környezetkímélő gazdálkodás szellemiségének elterjesztése és a gazdálkodók jövedelembiztonságának elősegítése. Az intézkedés keretében azok a mezőgazdasági termelők és egyéb földhasználók támogathatóak, akik önkéntes alapon öt évig – a környezetvédelmi célú gyeptelepítés célprogram esetében tíz évig – AKG kötelezettségeket vállalnak. A meghatározott előírások teljesítéséért járó kifizetés terület (hektár) alapú vissza nem térítendő támogatás. Az előírások célprogramonként vállalhatóak. Az ötéves célprogramok esetében 2009. szeptember 1-től 2014. augusztus 31-ig tart a támogatási időszak.

„A KAP jövője 2020-ig”¹ (2010) című bizottsági közlemény kiemeli annak fontosságát, hogy az élelmiszer iránti kereslet növekedése miatt nélkülözhetetlen, hogy az EU mezőgazdasága megőrizze és fokozza termelőképességét. Hangsúlyozza a természeti erőforrásokkal – úgymint víz, levegő, biológiai sokféleség és talaj – való fenntartható gazdálkodás javítását. A KAP jövőbeli kiemelt céljai között szerepel a fenntartható élelmiszertermelés és a kiegyensúlyozott területi fejlődés, valamint a természeti erőforrásokkal való fenntartható

¹A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak, az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának – *A KAP jövője 2020-ig: az élelmiszer- és a természeti erőforrásokat érintő és a területi kihívások kezelése* (COM (2010) 672 végleges, 2010.11.18.).

gazdálkodás és az éghajlatváltozás elleni fellépés. Ez utóbbi innováció révén kívánja elősegíteni a környezetbarát növekedést, ami új technológiák bevezetését, új termékek kifejlesztését és előállítási eljárások módosítását teszi szükségessé. Az éghajlatváltozás következtében egyre inkább sürgető feladat az ágazat rendkívüli időjárási körülményekhez való alkalmazkodóképességének növelése. A Bizottság 2014–2020 közötti időszakra szóló javaslata² (2011) szerint egyik fontos szempont a KAP általános környezetvédelmi teljesítményének javítása a közvetlen kifizetések „kizöldítése” révén úgy, hogy valamennyi mezőgazdasági termelő mindennapi tevékenységét a környezet védelme és az éghajlatváltozás mérséklése szempontjából előnyös módon végezze.

Összefoglalva, a jövőben az EU elvárásainak megfelelő talajművelésnek a környezeti állapot megőrzését és javítását kell szolgálnia a természeti erőforrások fenntartható használatán alapuló környezettudatos gazdálkodás megvalósítása révén.

2.7. Összefoglaló megállapítások a felhasznált szakirodalom alapján

A témával kapcsolatos gazdag hazai és nemzetközi szakirodalom áttekintése során az alábbi következtetések vonhatók le:

A talajminőség fenntartását hosszú távon mellőző műveléskor az intenzív bolygatás hatására csökken a talajok szervesanyag-tartalma, romlik a talajok szerkezete, művelhetősége, felerősödnek a pusztulási folyamatok, csökken a talaj biológiai aktivitása és a gyakori forgatás miatt emelkedik a szántóföldek szén-dioxid emissziója, amely ezáltal hozzájárulhat az üvegházhatás fokozásához. Ezt, az ún. hagyományos gazdálkodást a környezetre gyakorolt negatív hatásai és költségei miatt éri a legtöbb kifogás.

A talajok jó fizikai és biológiai állapotának, nedvességtartalmának megőrzéséhez és a szén körforgalmának szinten tartásához, a termelési költségek csökkentéséhez a talaj- és környezetkímélő művelési rendszerek járulnak hozzá. A talajon évente képződő növényi maradvány okszerű hasznosítása és a talajkímélő művelés együttes alkalmazása hozzájárul a talajerózió és tömörödés csökkenéséhez, az üvegházhatás mérsékléséhez, és a

²A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak, a Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának – *Az Európa 2020 stratégia költségvetése* (COM (2011) 500 végleges, 2011.6.29.).

növénytermesztés eredményességét leginkább meghatározó talajnedvesség megtartásához, kisebb mértékű csökkenéséhez.

A különböző talajművelési rendszerek talajállapotra gyakorolt hatásainak összehasonlítására vonatkozó kísérleti eredmények olykor ellentmondásosak. A vizsgált szakirodalom alapján azonban megállapítható, hogy a szerzők többsége talaj- és környezetkímélő művelés esetén tapasztalt kedvezőbb eredményeket a szerves anyag mennyiség, a szén-dioxid kibocsátás, a talajnedvesség-tartalom, a földgilizta aktivitás, a térfogattömeg és talajellenállás vonatkozásában.

A talajművelés minőségét nagymértékben befolyásolja a hosszú távú talajhasználat, a növényzet, az állandó és változó talajtényezők, valamint a talajművelés hatástartama, ezért a talajművelés megkezdése előtt a növénytermesztés eredményessége érdekében ezeket a tényezőket célszerű figyelembe venni.

A talaj a növénytermesztés nélkülözhetetlen erőforrása, eszköze, a természeti környezet pótolhatatlan része, ezért a talaj termékenységének megőrzése a fenntartható mezőgazdasági rendszerek elengedhetetlen követelménye.

A kedvező talajállapotot számos tényező határozza meg. A talaj szerkezete, ellenállása és nedvességtartalma olyan változó talajtényezők, amelyek természetes és mesterséges körülmények hatására pozitív és negatív irányban egyaránt módosulnak, és amelyek közvetve a művelés minőségére is befolyással vannak.

A talajtömörödés, az eróziós és deflációs károk, illetve a tápanyagok kimosódásának fokozódása szükségessé tették a védekezés hatékonyságának fokozását, illetve a károk kialakulásának megelőzését, ezért a zöldtrágyázás a talajállapot fenntartásának, javításának fontos eszköze. Bár az EU különböző célprogramjaiban előírja a zöldtrágyázást, ennek ellenére a vetésterület még mindig nem éri el a talajvédelmi szempontból kívánatos értéket.

A szakirodalomban eltérően értékelik a zöldtrágyanövények jelentőségét. Bár többségben vannak a kedvező hatásról beszámoló publikációk, de mivel a hatás több tényezőtől is függ, esetenként, nem megfelelő helyen, módon és időben végezve az eljárás semleges, vagy akár kedvezőtlen hatással is bírhat. A gazdaságosság tekintetében is eltérően vélekednek a szerzők.

Kedvező termőhelyi körülmények között, ott, ahol van elegendő istállótrágya, illetve a műtrágyák olcsón beszerezhetők, a zöldtrágya utónövényre gyakorolt termésmenvelő hatása nem versenyképes más trágyázási eljárásokkal, de kiegészítésként, és a talajvédelemben ott is szerepe van. Kedvezőtlen termőhelyi, illetve gazdasági környezetben viszont csak trágyázási céllal vetve is gazdaságos az alkalmazása.

A megújuló energiaforrások keresése számunkra azért is kiemelten fontos, mert hazánk szegény ásványi eredetű energiahordozókban. A megújuló energiaforrások tekintetében a nap, a szél, a geotermikus energia és a biomassa terén Magyarország jelentős potenciállal rendelkezik, és hazánkban a legjelentősebb megújuló energiaforrásként a biomassa jöhet számításba.

A bioenergia hasznosítás legegyszerűbb, és az energiamérleg szempontjából is legkedvezőbb változata a biomassa eredeti, vagy az eredetihez közeli állapotában történő energetikai felhasználása. Ezt szem előtt tartva a különböző biomasszák közül a közvetlen tüzelésre alkalmas erdő- és mezőgazdasági termények és melléktermények, valamint fás- és lágyszárú energianövények felhasználása a legkedvezőbb hő-, illetve villamosenergia termelés, valamint a bio-üzemanyagok termelése céljából.

A mezőgazdaság fenntarthatóságához elengedhetetlen az ökológiai (környezeti) és az ökonómiai (gazdaságossági) viszonyokhoz való alkalmazkodás. A jövőben a környezet védelme és a klímakár-csökkentés enyhítése szempontjából az EU és a nemzeti elvárásoknak megfelelő talajművelésnek a környezeti állapot megőrzését és javítását kell szolgálnia a természeti erőforrások fenntartható használatán alapuló környezettudatos gazdálkodás által.

3. Anyag és módszer

3.1. Talajvédő művelési rendszerek hatása a talaj vízgazdálkodására

A termőhely-specifikus pontosítás és a talajminőség javítás érdekében 10 éves (1996-ban beállított) művelési tartamkísérletben talajvédő és hagyományos művelési rendszereket hasonlítottunk össze. A talajállapot fizikai és biológiai szempontú minősítése mellett vizsgáltuk a talajállapot minőség és a kukoricatermés összefüggéseit is.

A kutatást az alsó-ausztriai Pyhrai Mezőgazdasági Szakközépiskola kísérleti területén beállított egytényezős, sávos elrendezésű parcellás talajművelési tartamkísérletben végeztük. A kísérleti terület St. Pölten-től délkeletre helyezkedik el (Földrajzi koordináták: $\phi=48^{\circ}08'51''$, $\lambda=15^{\circ}42'08''$, tengerszint feletti magasság: 308 m). A táj lankás dombvidék, néhol meredek lejtőjű patak völgyekkel tagolva. A kísérleti parcellák enyhe lejtésű táblán helyezkednek el. A területen a sokévi (1901-2000) átlagos csapadékmennyiség 736 mm. A sokévi középhőmérséklet (1901-2000) 8,8°C. A kísérleti terület talaja réti öntés, WRB: Endogleyic Fluvis Cambisol (Dystric, Siltic). Alapköze többnyire áradások révén lerakódott finomszemcsés iszap. A talaj fizikai félesége homokos vályog, szerkezete jó, víz- és tápanyag-gazdálkodása kedvező, azonban tömörödéssé hajlamos.

A kísérletben három talajművelési rendszert hasonlítottunk össze, a direktvetést, a bakhátas művelést és a hagyományos forgatásos művelést. Az ismétlések száma 3, amelyen belül a kezelések randomizáltan helyezkednek el. Egy parcella mérete: 9 m x 50 m = 450 m². A kísérletben a kukoricát monokultúrában termesztettük. A talaj előkészítése a direktvetés esetében kizárólag a vetéssel egy menetben történt, és csak a magárok sekély lazításából (~5 cm mélységig) állt. A forgatásos művelésnél az őszi középmélysántást (~15 cm mélységig) és az elmunkálást egy menetben végeztük. A bakhátas művelés őszi talaj-előkészítése a kísérlet beállításának évében megegyezett a hagyományos művelésével, ezt követően tavasszal a kukorica vetése előtt burgonya-töltögetőgéppel segítségével 18-20 cm magas bakhátakat alakítottunk ki egymástól 75 cm sortávolságra, a kukorica vetési sortávolságának megfelelően. Júniusban a bakhátakat a töltögetőgéppel újra megigazítottuk, amely egyben mechanikai gyomszabályozásnak is tekinthető. 1997-ben és 1998-ban őszi alpművelést nem végeztünk. Ebben a két évben a bakhátfelújítás a vetés előtt tavasszal történt, illetve a bakhátmagasításra júniusban került sor. 1999-től azonban a nagyarányú gyomosodás miatt a

bakhátas kezelésben is őszi szántást végeztünk és a bakhátakat vetés előtt tavasszal alakítottuk ki, mint a kísérlet kezdetekor. A bakhátmagasítás továbbra is júniusban történt. A tápanyagellátásban valamennyi kezelés egységesen részesült (N:152 kg/ha, P:90 kg/ha, K:150 kg/ha). A foszfor és kálium teljes egészében ősssel közvetlenül az alapművelés előtt került kijuttatásra. A nitrogénből 60 kg-ot ősssel juttattunk ki, a maradékot pedig következő év júniusában, a növények hat leveles fejlettségi stádiumában. A különböző művelési kezelésekből a talajtömörödés értékelésére a térfogattömeg és a talajellenállás értékei szolgáltak. A térfogattömeg mérés három mélységből (5-10 cm, 15-20 cm és esetenként 40-45 cm), három ismétlésben, a kísérlet beállítását követően minden második évben öt alkalommal történt a kukorica vetését követő második héten. A mintavételi mélységeket a bakhátas és hagyományos kezelésben történő művelési mélységek alapján jelöltük ki. Talajellenállás mérést mechanikus elven működő rugós penetrométerrel végeztük (DARÓCZI és LELKES, 1999). A talajellenállás mérés 10 cm-ként a talajszelvény 50 cm mélységig történt. A mérést évente parcellánként 8-10 ismétléssel végeztük. A talajnedvesség szárítószekrényes meghatározásához a talajellenállás mérésekkel azonos időben és helyen bolygatott mintákat is gyűjtöttünk három ismétlésben. A vízkapacitás értékek meghatározása a pF-görbe jellegzetes értékeinek (pF₀, pF_{1,8}, pF_{2,3}, pF_{4,2}) segítségével történt. Kukorica betakarításkor parcellánként 5 m x 3 m-es területeket jelöltünk ki, ahol kézi betakarítással meghatároztuk a termést.

A művelés hatásának kimutatására töbttényezős (faktoriális ANOVA) varianciaanalízist alkalmaztunk. A szignifikáns különbségek kimutatásához F statisztikát (FISHER LSD-teszt) használtunk 95%-os megbízhatósági szinten ($P < 0,05$).

3.2. A talajművelés és a vetésszerkezet hatása a talajállapotra

Talajművelési kísérleteket állítottunk be Pándon hat gazdaság területén 2004-ben, és három éven keresztül vizsgáltuk a termesztéstechnológiák talajparaméterekre gyakorolt hatását. A kísérletek kéttényezősök voltak: vizsgáltuk a különböző évjáratokban a vetésváltás és a monokultúra talajállapotra gyakorolt hatását. A talajállapot jellemzésére a talajok penetrációs ellenállását, a talajszelvények nedvességtartalmának alakulását, illetve a por, morzsa és rögfrakciók arányának változását elemeztük (FÖLDESI 2013).

A kísérleteket 2004-ben Közép-Magyarországon, Pest megyében Pánd ($\phi=47^{\circ}21'01''$; $\lambda=19^{\circ}38'00''$; tengerszint feletti magasság: 129 m) és Káva ($\phi=47^{\circ}21'04''$; $\lambda=19^{\circ}34'44''$; tengerszint feletti magasság: 157 m) települések között elhelyezkedő szántóterületeken állítottuk be hat gazdaságban.

1. táblázat. A havi csapadékmennyiség alakulása a kísérleti területen 2004-2006 között (mm) (forrás: OMSZ)

Év	Havi csapadék mennyiségek, mm											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2004	37	61	44	49	50	55	54	62	11	42	45	30
2005	15	59	21	79	54	54	83	137	96	8	36	62
2006	40	62	58	28	88	108	38	98	10	9	13	4

A vizsgálati terület csapadékadatait az 1. táblázat tartalmazza. A begyűjtött talajminták elemzése alapján az Arany-féle kötöttség, a talajok pH-ja, a kalcium-karbonát tartalom, a humusz %, valamint a foszfor és kálium ellátottság került kiértékelésre (2. táblázat).

2. táblázat. A talajvizsgálat eredménye az A, B, C, D, E és F kísérletekben (2004-2006)

	K _A	pH _{KCl}	Humusz %	CaCO ₃ %	AL P ₂ O ₅ mgkg ⁻¹	AL K ₂ O mgkg ⁻¹
A	37	6,74	2,61	5,54	220	161
B	38	7,22	1,26	15,38	66	62
C	38	6,85	2,46	2,73	107	141
D	39	6,66	2,18	2,58	114	139
E	38	6,85	2,46	2,73	107	141
F	38	5,70	2,75	0	230	234

A beállított szántóföldi kísérletek mindegyikében hagyományos talajművelést alkalmaztak a vizsgált időszakban (2004-2006). A hagyományos művelést általában az ésszerűnél több menetszám, valamint az idő- és energiaigényes beavatkozások jellemezték. A művelés mélysége a növények igényéhez és a rendelkezésre álló eszközökhöz igazodott. A betakarítást követően a tarlómaradványokat a tenyészidőn kívüli időszakban nem használták fel a talajfelszín takarására, a talaj védelmére és a nedvességveszteség csökkentésére. A tarlómaradványoktól mentes, aprómorzsa magágy kialakítása volt az elérendő cél.

A beállított szántóföldi kísérletekben a talajművelési rendszerek a növények betakarítása után mindhárom évben azonosak voltak: a feltalaj tárcsázása után őszi szántás következett (30 cm). A műtrágya kijuttatása ősszel és tavasszal történt az előző évi növény fajától és termésmennyiségétől függően. Tavasszal, a vetés előtt a talajt kultivátorral lazították. A vizsgált kísérleti területeken a három év alatt kukoricát és napraforgót termesztettek. Köztes védőnövények, zöldtrágyanövények, talajszerkezet-javító növények termesztése nem történt, a talajfelszín tarlómaradványokkal nem takarták a talaj védelme és a nedvességveszteség csökkentése érdekében, továbbá a vetésforgó/vetésváltás talajtermékenység és termelékenység szempontjából történő alkalmazása nem volt tudatos. Az egyes kísérleteknél a növényi sorrend alakulását a 3. táblázat szemlélteti.

3. táblázat. A kísérleti területek növényi sorrendje 2004-2006 között

	2004	2005	2006
A kísérlet	kukorica	napraforgó	kukorica
B kísérlet	kukorica	napraforgó	kukorica
C kísérlet	kukorica	kukorica	napraforgó
D kísérlet	kukorica	kukorica	kukorica
E kísérlet	kukorica	kukorica	napraforgó
F kísérlet	kukorica	kukorica	kukorica

Vizsgálati módszerek

A talaj nedvességtartalmának meghatározása 2004-ben két alkalommal (júniusban és szeptemberben), 2005-ben és 2006-ban három alkalommal (májusban, augusztus végén és októberben) történt. A talaj nedvességtartalmának meghatározásakor szűrőbot segítségével vettünk mintát 10 cm-enként 50 cm-es mélységig, háromszori ismétléssel. A talajminták nedvességtartalmát szárítószekrényes eljárással, 105 °C-on, tömegállandóságig történő szárítással határoztuk meg. A talajnedvesség-tartalom vizsgálatával azonos időben történt a talajjellenállás meghatározása is (FÖLDESI 2013).

A szántóföldi kísérletekben a talajjellenállás mérése mechanikus elven működő rugós penetrométerrel történt (DARÓCZI és LELKES 1999).

A kísérleti területeken a talaj agronómiai szerkezetét száraz szitalással határoztuk meg. A hat gazdaságban 2004-ben két (június és szeptember), 2005-ben és 2006-ban évente három

alkalommal (május, augusztus és október) háromszori ismétlésben végeztünk szerkezetvizsgálatokat. Vizsgálatainkhoz a területről begyűjtött mintákat légszárzóra szárítást követően 7 különböző lyukbőségű szitán (20, 10, 5, 3, 1, 0,5 és 0,25 mm) átrostálva 8 mérettartomány szerinti frakcióba rendeztük. A frakciók tömegének mérése alapján számítottuk ki a talaj százalékos rög-, morzsa- és porösszetételét. STEFANOVITS (1992) módszere alapján a 10 mm (illetve ettől nagyobb) lyukátmérőjű szitán fennmaradt részt rögfrakcióba ($10\text{ mm}<$), az 5 és 0,25 mm közötti lyukbőségű szitákon fennmaradt részt a morzsafrakcióba (0,25 - 10 mm), míg a 0,25 mm lyukátmérőjű szita alatti porfelfogó edényben lévő részt a porfrakcióba soroltuk ($0,25\text{ mm}>$).

A talaj nedvességtartalmát, az ellenállását és az agronómiai szerkezetének értékelése Excel program segítségével történt. Statisztikai értékelésre egytényezős varianciaanalízist alkalmaztunk (SVÁB 1981, BARÁTH et al. 1996).

3.3. Másodvetésű zöldtrágyanövények biomassza tömegének és tápanyagtartalmának vizsgálata kedvezőtlen adottságú termőhelyen

Kutatásunk célja az volt, hogy a fenti tulajdonságok mindegyikével rendelkező három zöldtrágyanövényt vizsgáljunk adott kedvezőtlen termőhelyi körülmények között. Választ kerestünk arra is, hogy nitrogén kiegészítés nélkül megvalósítható-e a sikeres zöldtrágyázás, vagy elengedhetetlen a nitrogén kiegészítés. Vizsgáltuk továbbá, hogy a kijuttatott N hatóanyag fajlagosan milyen mértékben növeli a zöld- és száraztömeget, valamint a hektáronként felvett NPK mennyiségét.

A kísérleteket a Szent István Egyetem Növénytermesztési és Biomassza-hasznosítási Bemutató Központjában Gödöllőn ($\phi=47^{\circ} 34' 43''$; $\lambda=19^{\circ} 22' 39''$; tengerszint feletti magasság: 229 m) állítottuk be. A kísérleti terület enyhén ÉNy-i lejtésű domboság. A terület heterogén, ezért egyes részein az erózió, és a szedimentáció különböző mértékben fordul elő.

Az éves középhőmérséklet $9,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, az éves csapadékmennyiség 590 mm. A másodvetés szempontjából kiemelten fontos augusztus-október hónapokban az átlagcsapadék 150 mm. 2007-ben és 2008-ban a másodvetés szempontjából átlagos évjárat volt 169,4 mm, illetve 130,8 mm augusztus-októberi csapadékmennyiséggel. 2009. év viszont száraz volt, a másodvetésű zöldtrágyanövények tenyészideje alatt mindössze 32,0 mm csapadékot mértünk.

A terület a Gödöllői-dombság kistáján helyezkedik el. A dombvidéket sakkáblaszerűen összetöredezett és különböző mértékben kiemelkedett dombsági kipreparált karbonátos felszínnek jellemzik. Gödöllő környékén felsőpannoniai homokos-agyagra, illetve folyóvízi üledékekre települt felszín borító lösz, homok és lejtőagyag közt néhol felszínre bukkan a felsőpannoniai édesvízi mészkő- és márga. A pleisztocénben a terület kiemelkedett és kialakult egy erősen tagolt, néhol meredek lejtőkkel jellemzett dombvidék, ahol a talajerózió és defláció következtében jelentős áthalmozódások mentek végbe. A kísérleti tábla talaja a magyarországi genetikus talajosztályozás alapján főként homokon kialakult rozsdabarna erdőtalaj (Luvic Calcic Phaeozem). A harmadkori homok és márga alapkőzetén kialakult rozsdabarna erdőtalaj altípus a Ramann-féle barna erdőtalaj talajtípusba tartozik. A degradációs folyamatok következtében közepes termőrétegű, gyengén humuszos változat alakult ki (STEFANOVITS 1999a, 1999b, FÜLEKY 1999, MÁTÉ 2005). A terület eróziótól veszélyeztetett, tömörödsre érzékeny.

A talajképző tényezők közül a humuszosodás és a kilúgzás az uralkodó folyamatok. Az agyagosodás, mint jellemző folyamat jelentkezik, az agyagvándorlás, a kovárványképződés és a savanyodás kísérő folyamat lehet. A humuszos „A” szint vastagsága kb. 40 cm, színe barna, szerkezete morzsás, kémhatása gyengén savanyú, semleges vagy gyengén lúgos. A Ramann-féle barnaföldek vízgazdálkodása általában kedvező, vízáteresztő képességük jó, víztartó képességük közepes, s többnyire a növények számára elegendő hasznosítható vízkészlettel rendelkeznek. A homokon kialakult rozsdabarna erdőtalajok vízgazdálkodási tulajdonságai elmaradnak a barnaföldek kedvező tulajdonságaitól. Termékenységük az alacsonyabb humusztartalom és tápanyag-ellátottság miatt kisebb (STEFANOVITS 1999a, 1999b, FÜLEKY 1999, MÁTÉ 2005).

A kísérleti terület fontosabb talajparamétereit a 4-5. táblázatok tartalmazzák. A MÉM-NAK rendszer szerint a talaj N ellátottsága gyenge, P₂O₅ ellátottsága igen jó, K₂O ellátottsága jó.

4. táblázat. A kísérleti helyszín talajszelvényének leírása

Ap szint (0-25 cm)	Barna (10YR 3/3), friss, laza, gyengén szerkezetes, apró morzsás szerkezetű, gyökerekkel sűrűn átszőtt, homok. Gilisztajaratokban gazdag. Meszet nem tartalmaz. Átmenete a következő szintbe éles, egyenes.
A ₂ szint (25-40 cm)	Barna (10YR 3/3), nyirkos, enyhén tömött, gyengén szerkezetes, apró morzsás szerkezetű, gyökerekkel átszőtt, homok. Gilisztajaratok vannak. Meszet nem tartalmaz. Átmenete a felhalmozódási szintbe fokozatos, hullámos.
B szint (40-60 cm)	Vöröses barna (2,5YR 3/6), nyirkos, tömődött, szemcsés szerkezetű, gyökerekkel kevésbé átszőtt, vályog. Az átmenet a következő szintbe fokozatos, hullámos.
BC szint (60-70 cm)	Kevert szín (10YR 3/3 és 10YR 7/4), friss, enyhén tömődött, szerkezet nélküli agyag. Átmenet a következő szintbe fokozatos, zsákos.
C szint (70-100 cm)	Világos sárgásbarna (10YR 7/4), száraz, erősen tömődött, szerkezet nélküli, iszapos agyag.

5. táblázat. A kísérlet fontosabb talajtani adatai

genetikus talajszintek	pH (H ₂ O)	K _A	humusz (%)	CaCO ₃ (%)	Σ só (%)	összes N mg/kg	AL-P ₂ O ₅ mg/kg	AL-K ₂ O mg/kg
A (0-40 cm)	6,76	30	1,32	0,00	0,044	16,8	371,1	184,0
B (40-60 cm)	7,08	40	1,04	0,00	0,052	11,9	33,0	112,0
BC (60-70 cm)	7,66	61	0,88	0,00	0,060	2,0	123,0	127,1
C (70-100 cm)	8,10	60	0,54	5,57	0,075	16,8	107,5	110,8

A másodvetésű zöldtrágyázási kísérleteket 2007-2009-ben végeztük. A kísérletek előveteménye őszi búza volt, melynek tarlóján közvetlenül a betakarítás után tarlólántást végeztünk. A növények vetésére mindhárom évben közvetlenül a tarlóápolás után augusztus 15-én került sor. A kísérletekben a három növényt (facélia, mustár, olajretek), illetve a két tápanyagdózist (0 kg/ha N; 50 kg/ha N) három ismétlésben sávosan állítottuk be. Ammónium-nitrát műtrágyát juttattunk ki, amelynek bedolgozása a tarlóápolás során történt. A zöldtrágyanövények vetése a szakirodalomban meghatározott vetőmagnormák szerint (ANTAL 2000) valósult meg (6. táblázat).

6. táblázat. A zöldtrágyanövények vetőmagszükséglete (Antal 2000)

növény	csíraszám (db/ha)	vetőmagszükséglet (kg/ha)
facélia	5.000.000	10
mustár	2.000.000	15
olajretek	2.500.000	25

A biomassza méréseket, illetve a beltartalmi vizsgálatokhoz a mintagyűjtést a növényállomány elfagyása előtt november elején végeztük el.

Az NPK meghatározását 1 g finomra őrölt abszolút száraz mintából tömény kénsavas feltárással, és 30 %-os hidrogénperoxidos hevítéses roncsolással végeztük. Roncsolás után a 100 cm³-re hígított mintákból határoztuk meg a N, P és a K tartalmat. A nitrogéntartalom mérésére a Parnass-Wagner vízgőzdesztilláló készüléket használtuk.

A foszfor mérésénél a vanadát-molibdát eljárást alkalmaztuk. Az oldat extinkciójának méréséhez spektrofotométert (Spekol 221) használtunk. A kálium meghatározása a foszfor meghatározásnál ismertetett oldatokból és hígítási sor segítségével lángfotométerrel (Jenway PFP 7) történt.

A statisztikai értékelést az EXCEL program segítségével végeztük. Statisztikai értékelésre egy- és kéttényezős varianciaanalízist használtunk.

3.4. Rövid vágásfordulójú fű (*Salix sp.*) energiaültetvény termesztésének tapasztalatai és életciklus-elemzésének eredményei

Tanulmányunkban a fás szárú fű energiaültetvények egy adott termesztéstechnológiájának környezeti hatásait kívánom bemutatni összehasonlítva más hagyományos szántóföldi kultúrák környezeti hatásaival. Elsőként a termelési kísérlet körülményeit és eredményeit a második részben pedig az életciklus-elemzés módszertanát és eredményeit mutatjuk be.

3.4.1. Termesztéstechnológiai kísérlet

A vizsgálatok alapját képező kísérletet a Szent István Egyetem Növénytermesztési és Biomassza-hasznosítási Bemutató Központjában állítottuk be 2007-ben. A kísérleti tábla talaja a magyarországi genetikus talajosztályozás szerint főként homokon kialakult rozsdabarna erdőtalaj. A harmadkori homok és márga alapkőzetén kialakult rozsdabarna

erdőtalaj altípus a Ramann-féle barna erdőtalaj talajtípusba tartozik (*Chromic Luvisol*). A degradációs folyamatok következtében közepes termőrétégű, gyengén humuszos változat alakult ki. A terület erózió veszélyeztetett és a művelés szempontjából fontos, hogy tömörödéssre érzékeny.

A kísérlet kéttényezős véletlenblokk elrendezésű három ismétlésben. A kísérletben öt különböző fűz fajtát, illetve klónt (*Sven, Inger, Tordis, Tora, Csala*) alkalmaztunk. Valamennyi fajta esetében három különböző tápanyag-ellátottsági szintet állítottunk be: 1; felszintakarás komposzttal (50 t/ha), 2; nitrogén műtrágya tavasszal (50 kg/ha), 3; tápanyag nélküli kontroll-kezelés, azonban elemzésünkben csak a nitrogén műtrágyával kezelt állomány eredményeit vesszük figyelembe. A komposzt és a műtrágya kijuttatása május elején a sorokba történt. Az alkalmazott technológia ikersoros, a sortávolság 70 cm, az ikersorok között 2,5 m távolságot hagytunk, ami a gépi munkákat könnyíti meg. A sorokon belül a dugványokat 40 cm tőtávolságra telepítettük. Dugványozás céljára 25 cm hosszúságú, egyéves, gyökér nélküli hajtásrészeket használtunk fel. A telepítés kézzel történt április közepén. A vegetációs időszak során kémiai gyomszabályozást végeztünk a sorokban, a sorközökben talajmaróval két alkalommal történt mechanikai gyomszabályozás. A kártevők és kórokozók elleni kémiai védekezésre nem volt szükség.

A vegetációs időszak folyamán a kísérletben fenológiai méréseket (növénymagasság, oldalelágazódások száma, hajtásvastagság, biomasszatömeg), valamint talajállapot vizsgálatokat (talajellenállás, talajnedvesség, tápanyag- és nehézfém-tartalom) végeztünk. Statisztikai értékelésre egytényezős varianciaanalízist alkalmaztunk (BARÁTHNÉ et al. 1996).

3.4.2. Az életciklus elemzés során alkalmazott módszerek

Egy technológiai folyamat vagy termék környezeti hatásainak feltérképezésére széles körben elfogadott módszertan az életciklus-elemzés. Ennek lényege, hogy a vizsgált termék vagy szolgáltatás teljes életciklusának – vagyis az előállításának, a felhasználásának és a megsemmisítésének – az összes környezeti hatását figyelembe veszi. Ezt nevezik a bölcsőtől a sírig vagy „cradle to grave” szemléletnek. Az életciklus általában az alapanyagok megszerzésével kezdődik és a termék megsemmisítésével, hulladékká válásával, illetve a szolgáltatás felszámolásával végződik. Az elemzés a környezeti hatásokat többféle szempont

szerint aggregálva könnyen érthetővé és összehasonlíthatóvá teszi más alternatív hasznosításokkal. Ilyen módon megkönnyíthető a környezeti szempontok figyelembevétele a döntéshozatalban.

Megállapíthatjuk azonban az általunk vizsgált rendszer határait úgy is, hogy például csak a termelésig vizsgáljuk az adott termék környezeti hatásait, és a felhasználásból, hulladékká válásból adódó hatásokat figyelmen kívül hagyjuk. Az ilyen jellegű vizsgálatokat bölcsőtől a kapuig (cradle to gate) terjedő elemzésnek hívjuk, és elsősorban olyan termékek, szolgáltatások egymással való összehasonlítására alkalmasak, amelyek a termelés után eltérő módon kerülnek felhasználásra.

A nemzetközi standard (ISO 14044) szerint az életciklus-elemzés lépései a következők:

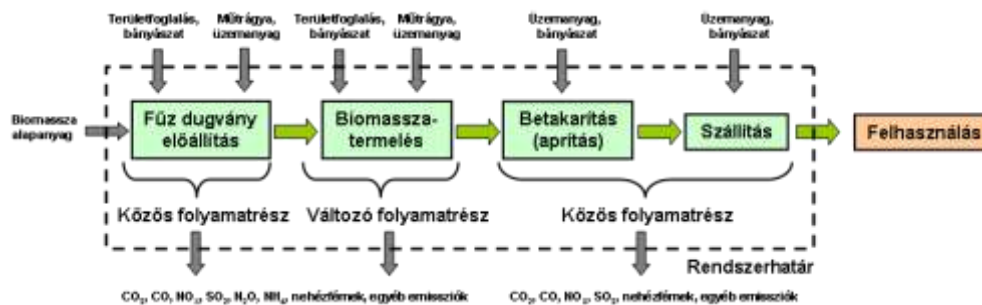
1. a vizsgálat céljának és fókuszának meghatározása
2. az anyag- és energiaáram leltár kialakítása (LCI)
3. hatáselemzés (LCA)
4. értelmezés (FRISCHKNECHT és JUNGBLUTH 2007, SÁRA 2010)

A vizsgálat céljának és fókuszának, illetve tárgyának meghatározásakor pontosan kell definiálni a vizsgálat elvégzésének okát és a vizsgálat pontos tárgyát. E meghatározásokra épülnek azután a további vizsgálati lépések. Jelen tanulmányunkban a vizsgálat célja a fűz apríték-előállítás környezeti hatásainak meghatározása, amelybe az előállított alapanyag a felhasználás helyére történő elszállítását is bele értjük. Eredményeinket pedig összehasonlítjuk más hagyományos szántóföldi terményekkel. Vagyis arra a kérdésre kerestük a választ, hogy jobb-e környezeti szempontból a fűz energiaültetvény, mint a búza vagy a kukoricatermesztés. S ha igen, akkor a főbb mutatók mennyiben térnek el egymástól a hazai termesztéstechnológiákat figyelembe véve?

A célmeghatározás után a következő lépés az anyag- és energiaáram leltár kialakítása. Az anyag- és energiaáramok meghatározásakor két típussal kell foglalkoznunk. Egyrészt a bemenő áramok listáját kell összeállítanunk, másrészt pedig a rendszert elhagyó vagy kimenő áramokét. Mindazon áramok, amelyek átlépik az általunk elemzett rendszer határait, kifejezetten fontosak az életciklus-elemzés szempontjából, ugyanis ezen áramok járnak valójában környezeti hatással. Ezeket alapvető áramoknak (elementary flow) nevezzük. A

rendszeren belül megjelenő energia- és anyagáramok (tracked flow) ennek alapján a környezet szempontból közvetlenül nem is fontosak.

A pontos vizsgálat érdekében körül kell határolnunk a vizsgált rendszert és annak funkcionális egységét. A vizsgált rendszer csak az alapanyag-előállításra vonatkozik, így a bölcsőtől a kapuig szemlélet alapján került kialakításra. Ennek értelmében a faapríték felhasználásával kapcsolatos környezeti hatások a vizsgált rendszerhatáron kívül esnek (1. ábra).



1. ábra. A fűz apríték előállítás életciklusának határai és fontosabb anyagáramai

Az 1. ábrán a szürke nyilak jelentik az alapvető áramokat, amelyek környezeti szempontból közvetlen hatásokkal járnak, a zöld nyilak pedig a rendszeren belül maradó áramokat szimbolizálják. Ez alól kivételt jelent a felhasználás irányába mutató zöld nyíl, amely valójában nem alapvető, hanem a folyamat következő részébe vezető rendszeren belüli (tracked) anyagáramot jelenti.

Vizsgálatunk funkcionális egysége a rövid vágásfordulójú fűz ültetvényeken átlagosan egy év alatt termelt faanyagból a betakarítás során készült faapríték, amelyet meghatározott távolságú (50, 100, illetve 150 km-es) szállítással juttatnak el a felhasználás helyére. A szállítási távolság meghatározásakor a hazai lehetséges átlagos távolságokból indultunk ki és jelezni kívántuk, hogy milyen szerepet játszik a környezetet-terhelésben a szállítás. Az életciklus-elemzés eredményei a rendszer ezen egységére vonatkoznak majd. A hatáselemzés elvégzéséhez meg kell határoznunk azt a referenciaáramot is, amely a vizsgált termék vagy szolgáltatás szempontjából legjobban értelmezhető anyagáram, vagyis az a termék, amely leginkább funkcionális egységnek tekinthető (SÁRA 2010). Esetünkben a referenciaáramot 1 t frissen betakarított (49,5%-os nedvességtartalmú) faapríték képezi, amelyre aztán az összes környezeti hatást vonatkoztattuk. A megtermelt alapanyag energiatartalma (égéshője) száraz állapotban és két éves korban 18,1 MJ/kg, amelynek értelmében a friss betakarítású faapríték fűtőértéke mindössze 7,9 MJ/kg lesz.

Esetünkben a vizsgálat tárgyát képező kétéves vágásfordulóval művelt ültetvény élettartama 12 év, amelybe 0. évként beletartozik a telepítés éve is. A termesztéstechnológia leírását és a fontosabb környezeti hatásokat a 7. táblázat tartalmazza. Az életciklus-elemzés módszertana szerint a közvetlen anyag- és energiaáramokon túl a területfoglalásból és a terület-átalakításból származó környezeti hatásokat is meg kívánjuk jeleníteni. Ezen tényezők feladata a biológiai sokféleségben és az ökoszisztéma szolgáltatásokban okozott károk számszerűsítése. Míg a területfoglalás csak időszakos és a természetes szukcesszió előrehaladását gátolja, addig a terület-átalakítás végleges változásokat okoz és azt feltételezi, hogy az adott infrastruktúra következtében a korábbi természetes élőhelyet végérvényesen felszámolják (FRISCHKNECHT és JUNGBLUTH 2007).

A betakarítás járvaszecskázóval történik. A keletkező faapríték szállításából eredő környezetterhelés mértékét 50, 100, illetve 150 km-es szállítási távolság esetén 16-32 tonna szállítási kapacitású, Euro 4-es kibocsátási értékekkel rendelkező teherautók környezetterhelése jelenti. Ezzel ellentétben a termesztéstechnológia során felmerülő szállítási feladatok környezeti hatásait 3,5-7,5 tonna szállítási kapacitású, Euro 4-es kibocsátási értékekkel rendelkező teherautók, illetve traktorok adják.

7. táblázat. Fűz termesztéstechnológia kétéves vágásfordulóval és műtrágya felhasználással 1 ha-ra vonatkoztatva

Felhasznált folyamatok	Mennyiség	Mértékegység
Növényvédelmi permetezés	1538,5	m ²
Műtrágyaszórás	5000	m ²
Ültetés	769,2	m ²
Talajművelés, mélylazítás	769,2	m ²
Talajművelés, szántás	769,2	m ²
Talajművelés rotációs kultivátorral	15 000	m ²
Szállítás traktorral és pótkocsival	1,34	tkm
Acetamid-anillid keverék (régiós raktárban)	0,3	kg
Ammónium-nitrát N-ként (régiós raktárban)	64	kg
Glifozát (régiós raktárban)	0,2	kg
Fémmegmunkálás, öntött vas darabok (kapákhöz)	1,5	kg

Kálium-klorid (régiós raktárban)	37,5	kg
Superfoszfát (régiós raktárban)	107	kg
Szállítás teherautóval (3,5-7,5 t, EURO4-es kibocsátás)	13,4	tkm
Fűz dugvány	39,1	kg
Szén-dioxid	18516,7	kg
Energia, szerves anyag energiatartalma	158584,7	MJ
Területfoglalás folyamatos növényborítású területtel (intenzív gyümölcsös)	10000	m ² x év
Területátalakítás szántóról	769,2	m ²
Területátalakítás folyamatos növényborítású területté (intenzív gyümölcsös)	769,2	m ²

A funkcionális egység tehát, amelyre az életciklus-elemzés eredményei vonatkoznak, a 12 éves élettartam egy átlagos évére eső faapríték, melyet 50 km, 100 km, illetve 150 km-es szállítással a felhasználás helyére juttatnak. A referenciaáram 1000 kg. Ennek megfelelően a természetstechnológia műveleteit is a 12 éves élettartam egy átlagos évére viszonyítottuk.

Az életciklus-elemzés következő lépése a hatáselemzés, amelynek során az alapvető anyag- és energiaáramok környezeti hatását számszerűsítjük különböző aggregációs eljárások segítségével. Ehhez ki kell választanunk a számunkra fontos hatáskategóriákat. Ilyenek lehetnek például az üvegházhatás (ÜHG) potenciál, az eutrofizációs potenciál, illetve a humán toxicitás. Az általunk használt GaBi4 szoftver³ mindezeket a hatáskategóriákat tartalmazza. Az egyes hatáskategóriák normalizálási, illetve súlyozási módszerekkel egymással összehasonlíthatóvá, illetve összevonhatóvá is tehetőek (SÁRA 2010).

A kétéves vágásfordulójú természetstechnológia esetében mind a terméshozam és az energiatartalom, mind a természetstechnológia műveleteivel kapcsolatos adatok (pl. az egyes műveletek gyakorisága, a felhasznált alapanyagok mennyisége, stb.) mért adatok.

Az egyes természetstechnológiák életciklus-elemzését a GaBi4 professional for Life Cycle Engineering (PE International GmbH and LBP University of Stuttgart, 2007) szoftver, valamint az Ecoinvent database v2.2 (2007) (Swiss Centre for Life Cycle Inventories) adatbázis felhasználásával készítettük el.

³ A GaBi4 (a rövidítés jelentése „ganzheitliche Bilanzierung”) életciklus elemző szoftver egy az életciklus elemzésben elfogadott mérnöki program, amely igen precíz és az aktuális feladathoz szabható beállítási lehetőségeket tartalmaz. A szoftver működéséhez rendelkezésre álló, az EcoInvent svájci központ által készített, adatbázis pedig a biomasszával kapcsolatos adatok tekintetében bír részletes adatokkal.

3.5. Talajállapot vizsgálatok energetikai faültetvényben

E vizsgálatok célja az előzőkben ismertetett energetikai faültetvény létesítését követő négy év talajállapot változásának bemutatása gödöllői barna erdőtalajon fűz kísérletekben. A talajállapot minősítése talajellenállás, talajnedvesség-tartalom, térfogattömeg, pórustérfogat mérésekkel történt.

A kísérletet a Szent István Egyetem Növénytermesztési és Biomassza-hasznosítási Bemutató Központjában állítottuk be 2007-ben. A kísérleti tábla talaja főként homokon kialakult rozsdabarna erdőtalaj (*Chromic Luvisol*). A degradációs folyamatok következtében közepes termőrétegű, gyengén humuszos változat alakult ki. A terület erózió veszélyeztetett, a talaj fizikai félesége homokos vályog, amely tömörödéssel érzékeny. A talaj felső 20 cm-es rétegében 53% homok, 26% vályog és 20% agyagfrakciót találhatók. A feltalaj (0-35 cm) agyagtartalma 26%, vízvezetőképessége jó, az altalaj gyenge. A feltalaj humusztartalma gyenge ugyanúgy, mint N-ellátottsága. Kálium és foszfor ellátottsága megfelelő. A kísérleti tér talajának 2009-es alapvizsgálati adatait a 8. táblázat tartalmazza.

8. táblázat. A kísérleti terület fontosabb talajtani adatai (2009)

Genetikus talajszintek	Mélység (cm)	pH (H ₂ O)	K _A	CaCO ₃ %	Humusz %	összes N AL-P ₂ O ₅ AL-K ₂ O mg/kg		
Asz	0-40	6,76	30	0,00	1,32	16,8	371,1	184,0
B	40-60	7,08	40	0,00	1,04	11,9	33,0	112,0
BC	60-70	7,66	61	0,00	0,88	12,0	123,0	127,1
C	70-100	8,10	60	5,57	0,54	16,8	107,5	110,8

Az éghajlat kontinentális típusú, jellemzőek az időjárási szélsőségek. Az évi középhőmérséklet sokéves átlaga 9,7 °C. Az átlagos csapadékmennyiség 550 mm, melynek kétharmada a nyári félévben (IV-IX.) esik. A vizsgálati évek (2007-2010) időjárási adatait a 9. táblázat mutatja.

9. táblázat. A vizsgálati évek meteorológiai adatai

Évek	Csapadék (mm)						Összes (IV-IX)	Éves csapadék
	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.		
2007	5,8	44,0	63,2	21,8	69,0	46,0	249,8	518,2
2008	34,4	59,6	66,8	200,8	28,6	82,0	472,2	688,2
2009	2,0	28,0	54,0	18,0	27,0	4,0	133,0	392,2
2010	40,4	161,4	172,0	43,0	38,0	106,6	561,4	757,4

Évek	Hőmérséklet (°C)						Átlag (IV-IX)	Éves átlag
	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.		
2007	13,7	18,6	22,6	24,1	22,9	14,1	19,3	12,1
2008	11,9	17,5	21,6	21,6	21,9	15,5	18,3	11,7
2009	15,4	17,6	18,2	22,6	21,8	18,3	19,0	11,2
2010	11,1	15,2	20,2	22,3	20,3	13,4	17,1	9,7

A kísérlet kéttényezős véletlenblokk elrendezésű három ismétlésben. A kísérletben öt különböző fűz fajtát, illetve klónt (*Sven*, *Inger*, *Tordis*, *Tora*, *Csala*) alkalmaztunk. Valamennyi fajta esetében három különböző tápanyag-ellátottsági kezelést állítottunk be: 1; tápanyag nélküli kontroll kezelés, 2; nitrogén műtrágya (ammónium nitrát) tavasszal (50 kg/ha), 3; felszintakarás szennyvíziszap komposzttal (50 t/ha). A komposzt és a műtrágya kijuttatása május elején a sorokba történt. Az alkalmazott technológia ikersoros, a sortávolság 70 cm, az ikersorok között 2,5 m távolságot hagytunk, ami a gépi munkákat könnyíti meg. A sorokon belül a dugványokat 40 cm tőtávolságra telepítettük. Dugványozás céljára 25 cm hosszúságú, egyéves, gyöker nélküli hajtásrészeket használtunk fel. A telepítés kézzel történt április közepén. A vegetációs időszak során kémiai gyomszabályozást végeztünk a sorokban, a sorközökben talajmaróval két alkalommal történt mechanikai gyomszabályozás. A kártevők és kórokozók elleni kémiai védekezésre nem volt szükség.

A fás szárú energianövények termesztése szántóföldi talajhasználatnak minősül, ezért folyamatosan végzünk olyan méréseket, amelyek során a különböző talajhasználati változatok talaját minősítjük. A fás szárú energianövény kísérlettel azonos táblán, ugyanolyan termőhelyi feltételek között 2010 folyamán végeztünk talajállapot vizsgálatokat. A napraforgó alá forgatásos, az őszi búza parcellákon forgatás nélküli alapművelést végeztünk a megelőző évben.

A talaj ellenállását 10 cm rétegenként 50 cm mélységig penetrométerrel mértük (DARÓCZI 2005). A talajnedvesség meghatározásához bolygatott talajmintát 10 cm rétegenként 50 cm, illetve 90 cm mélységig vettünk. A mérés gravimetriás módszerrel történt tömeg%-ban. A térfogattömeg és pórustérfogat vizsgálatához bolygatatlan mintákat vettünk, amelyekből súlyállandóságig szárítás után számoltuk a talajállapot jellemzőket. A biometriai értékelést BARÁTHNÉ et al. (1996) nyomán egytényezős varianciaanalízissel végeztük.

3.6. Biomassza vizsgálatok energiafűz ültetvényben

E vizsgálati sorozatban az előző fejezetben ismertetett fűz kísérletekben kétéves vágásfordulóban vizsgáltuk különböző fűzfajták biomassza-produkcióját eltérő tápanyagkezelések mellett.

A gödöllői 2007-ben telepített fásszárú energiaültetvény kísérleti tábla talaja a magyarországi genetikus talajosztályozás szerint főként homokon kialakult rozsdabarna erdőtalaj. Paramétereit az előző fejezet táblázatai tartalmazzák.

A kísérleti terület éghajlata kontinentális típusú, jellemzőek az időjárási szélsőségek. Az évi középhőmérséklet sokéves átlaga 9,7 °C. Az átlagos csapadékmennyiség 550 mm, amelynek kétharmada a vegetációs időszakban hullik. Az előző évekhez képest hosszabb idősről lévén szó, a vizsgálati évek (2007-2011) időjárási adatait a 10. táblázat mutatja.

10. táblázat. A vizsgálati évek meteorológiai adatai (Gödöllő, 2007-2011)

Csapadék (mm)								
Évek	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Ápr.-szept.	Éves csapadék
2007	5,8	44,0	63,2	21,8	69,0	46,0	249,8	518,2
2008	34,4	59,6	66,8	200,8	28,6	82,0	472,2	688,2
2009	2,0	28,0	54,0	18,0	27,0	4,0	133,0	392,2
2010	40,4	161,4	172,0	43,0	38,0	106,6	561,4	757,4
2011	4,6	25,2	45,8	59,0	4,6	1,0	140,2	272,8

Hőmérséklet (°C)								
Évek	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Átlag (Ápr.-szept)	Éves átlag
2007	13,7	18,6	22,6	24,1	22,9	14,1	19,3	12,1
2008	11,9	17,5	21,6	21,6	21,9	15,5	18,3	11,7
2009	15,4	17,6	18,2	22,6	21,8	18,3	19,0	11,2
2010	11,1	15,2	20,2	22,3	20,3	13,4	17,1	9,7
2011	11,6	16,4	19,9	19,9	21,2	19,0	18,0	10,8

A kísérlet elrendezése megegyező az előző fejezetben leírtakkal; három ismétléses, kéttényezős, véletlenblokk elrendezésű. A kísérletben öt különböző fűzfajtát, illetve klónt (*Sven*, *Inger*, *Tordis*, *Tora*, *Csala*) vizsgálatára került sor. Mindegyik fajta esetében három

különböző tápanyag-ellátottsági szintet alakítottunk ki: 1; felszintakarás komposzttal (50 t/ha), 2; nitrogén műtrágya tavasszal (50 kg/ha), illetve a 3; tápanyag-ellátás nélküli kontroll kezelés. A komposzt és a műtrágya kijuttatása május elején a sorokba történt. Az alkalmazott technológia ikersoros, a sortávolság 70 cm, az ikersorok között 2,5 m távolságot alakítottunk ki. A tőtáv négy fajtánál (Tora, Inger, Sven, Tordis) 40 cm, míg a kisebb növekedési erélyű Csalánál 30 cm volt. A dugványozás 25 cm hosszúságú, egyéves, gyökér nélküli hajtásrészekkel történt, kézzel telepítve április hónapban. A telepítés évében kémiai gyomszabályozást alkalmaztunk az ikersorokban pendimetalin hatóanyaggal. A sorközökben két alkalommal talajmaróval történt mechanikai gyomszabályozás. A 2008-tól a sorközök évi kétszeri talajmarózására került sor. A kártevők és kórokozók elleni kémiai védekezésre nem volt szükség.

A telepítés évét követően 2008. február 26-án vágtuk le az ültetvényt a dúsabb fakadás érdekében. 2010. február 18-án és 2012. január 12-én pedig a teljes kétéves növedék betakarítására került sor. Ezekben az időpontokban mértük meg a biomassza mennyiségét. A száraztömeget, illetve a nedvességtartalmat 105 °C tömegállandóságig történő szárítás után határoztuk meg.

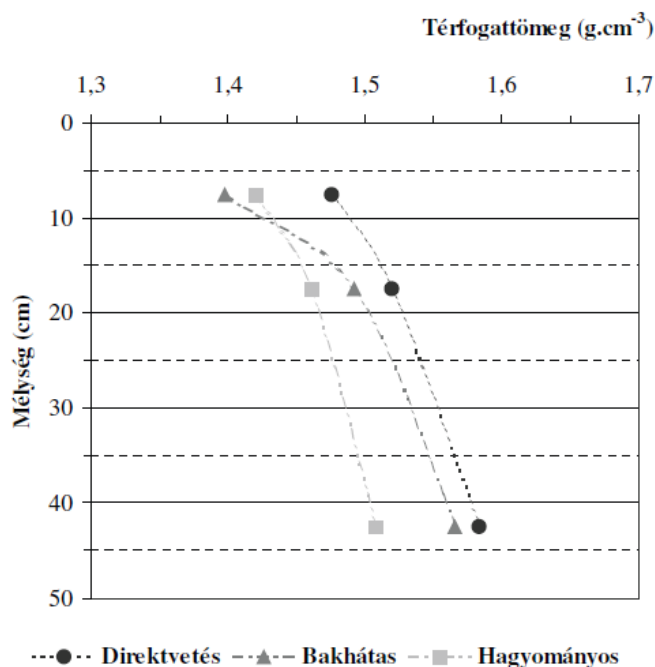
Az adatok statisztikai értékelését EXCEL program segítségével végeztük. A statisztikai értékelésre egytényezős varianciaanalízist használtunk (BARÁTHNÉ et al. 1996).

4. Eredmények

4.1. Talajvédő művelési rendszerek hatása a talajállapot minőségére és nedvességére

Fizikai állapot változások a 0-45 cm talajrétegben

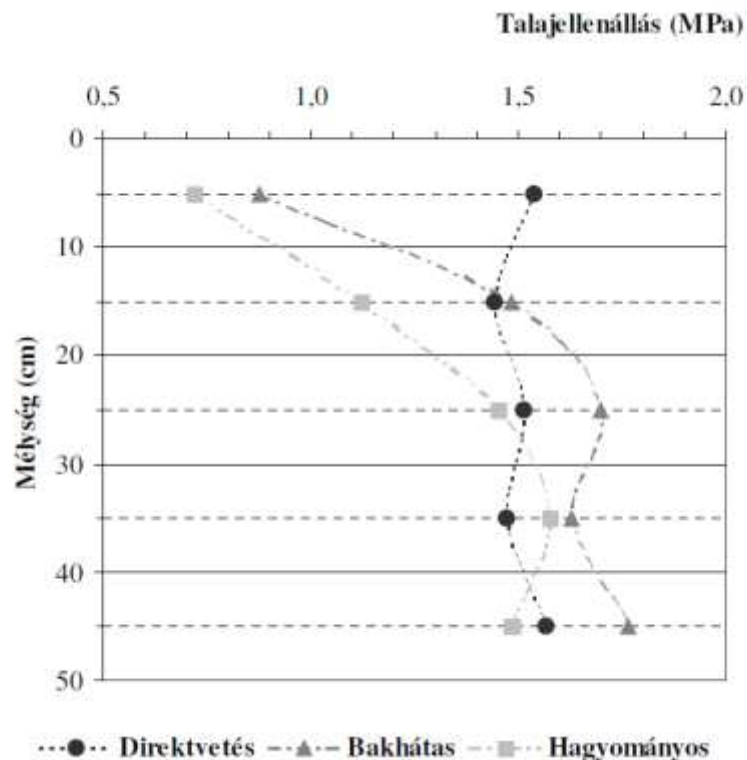
A térfogattömeg mindhárom mélységben a direktvetés alatt volt a legnagyobb. Az 5-10 cm rétegben a bakhátas, a 15-20 cm és a 40-45 cm rétegben a hagyományos kezelésben mértük a legkisebb térfogattömeget. A talajszelvényben a mélységgel együtt növekszik a térfogattömeg és a 40-45 cm rétegben mindhárom kezelésben viszonylag nagy értéket mértünk (2. ábra).



2. ábra. Térfogattömeg értékek átlaga a talajszelvényben (Pyhra, 1997-2006)

A 0-10 cm rétegben a legnagyobb ellenállásúnak és a legtömörebbnek a direktvetés bizonyult, míg a legkedvezőbb értékeket a hagyományos művelésben mértük. A 0-10 cm rétegtől eltérően a többi rétegben nem a direktvetésben, hanem a bakhátas kezelésben mértük a legnagyobb talajellenállást. A 10-20 cm rétegben, ahol továbbra is a hagyományos művelésben mértük a legkedvezőbb talajellenállást, a direktvetésben és a bakhátas kezelésben közel azonosak az értékek. 20 cm alatt azonban már minden rétegben a direktvetésben jelentkezett a legkisebb talajellenállás, amelyet a hagyományos és végül a bakhátas

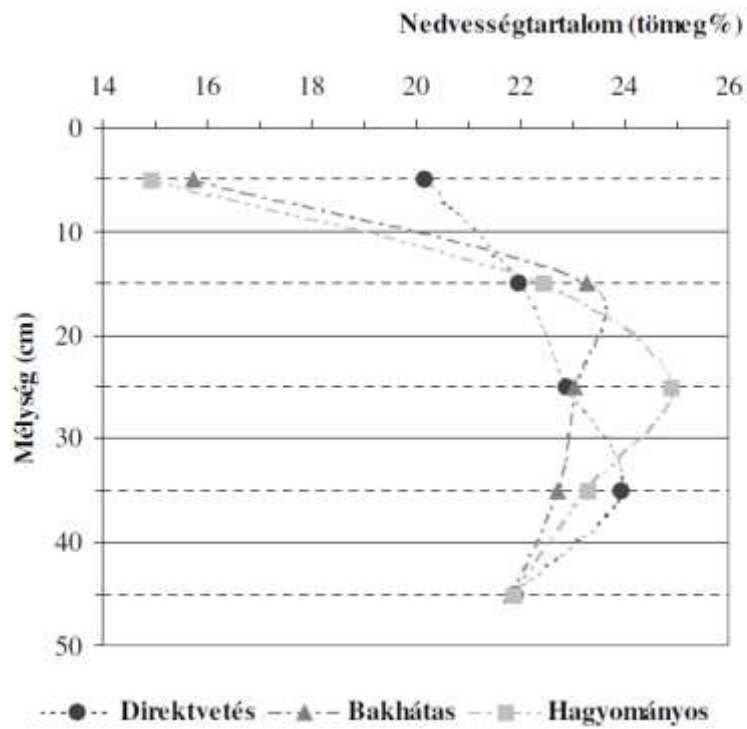
kezelésben mért érték következtek. A kezelések között azonban nem találtunk szignifikáns különbséget (3. ábra).



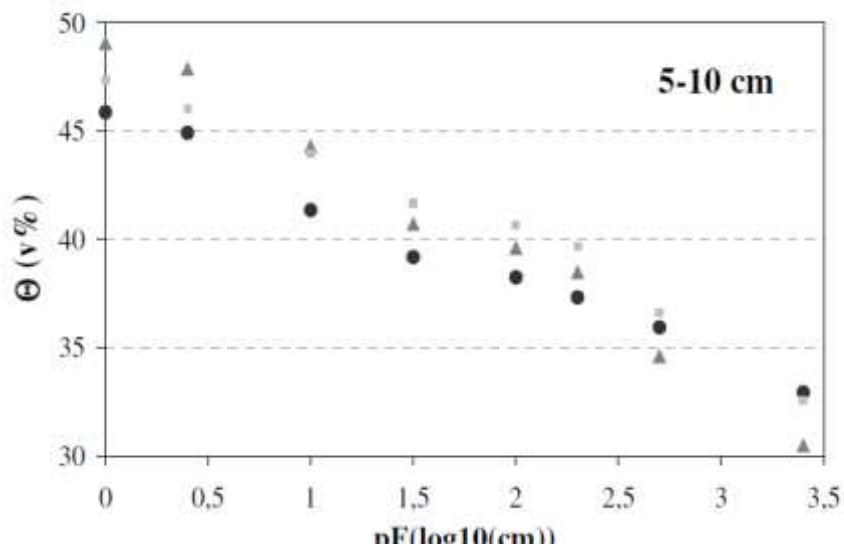
3. ábra. Talajellenállás értékek átlaga a talajszelvényben (Pyhra, 1997-2006)

A kezelésekben a talajellenállás mérésel párhuzamosan meghatározott nedvességtartalom közvetlenül a felszín közelében, a 20-30 cm és a 30-40 cm rétegben különbözik bizonyíthatóan egymástól. A felső 10 centiméteres réteg a direktvetésben sokkal nedvesebb volt, mint a bakhátas és a hagyományos kezelésben. A 10-20 cm rétegben kiegyenlítődtek a legfelső rétegben tapasztalt különbségek, de a mélyebb rétegekben már újra érzékelhető volt a kezelések eltérő hatása. A 30-40 cm réteget kivéve, ahol a direktvetésben volt a legtöbb nedvesség a hagyományos kezelés alatt mértünk nagyobb nedvességtartalmakat. A mérések alapján a nedvességtartalom a direktvetés feltalajában volt a legnagyobb, míg a bakhátas kezelésben jóval kisebb, közel azonos volt a hagyományoséval (4. ábra).

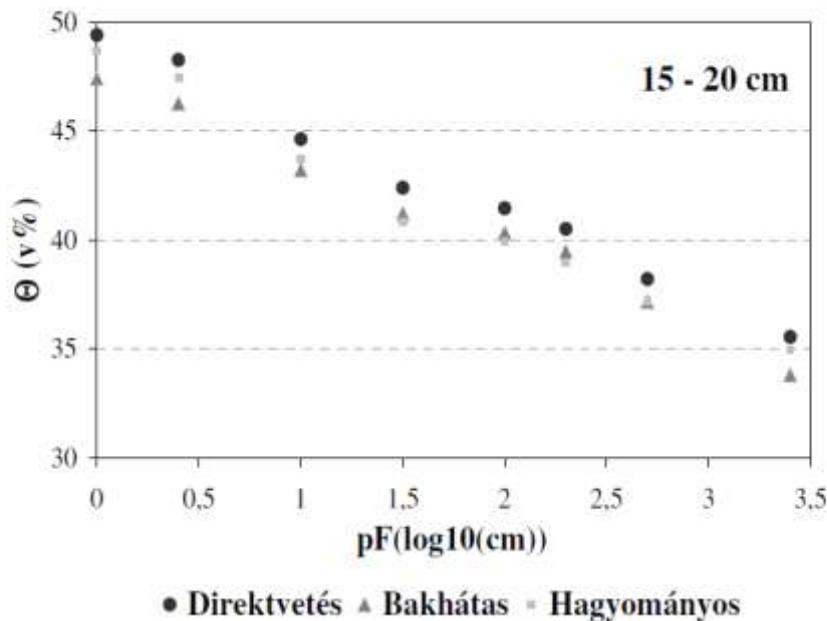
A talaj víztartó-görbéjének lefutása eltérően alakult a vizsgált kezelésekben. Az egyes szívásértékeken mélységenként meghatározott nedvességtartalmak alapján a művelésnek hatása van a talajban tárolt vízfomákra. A magas szívóerő-tartományban mindkét mélységben érzékelhető volt a kezelések közötti különbség. Az 5-10 cm rétegben alacsony szívóerő-tartományban közel azonos volt nedvességtartalom mindhárom kezelésben (5. ábra). Ezzel ellentétben a 15-20 cm rétegben a kezelések között némi különbség jelentkezett (6. ábra).



4. ábra. Nedvességtartalom átlagok a talajszelelvényben (Pyhra, 1997-2006)



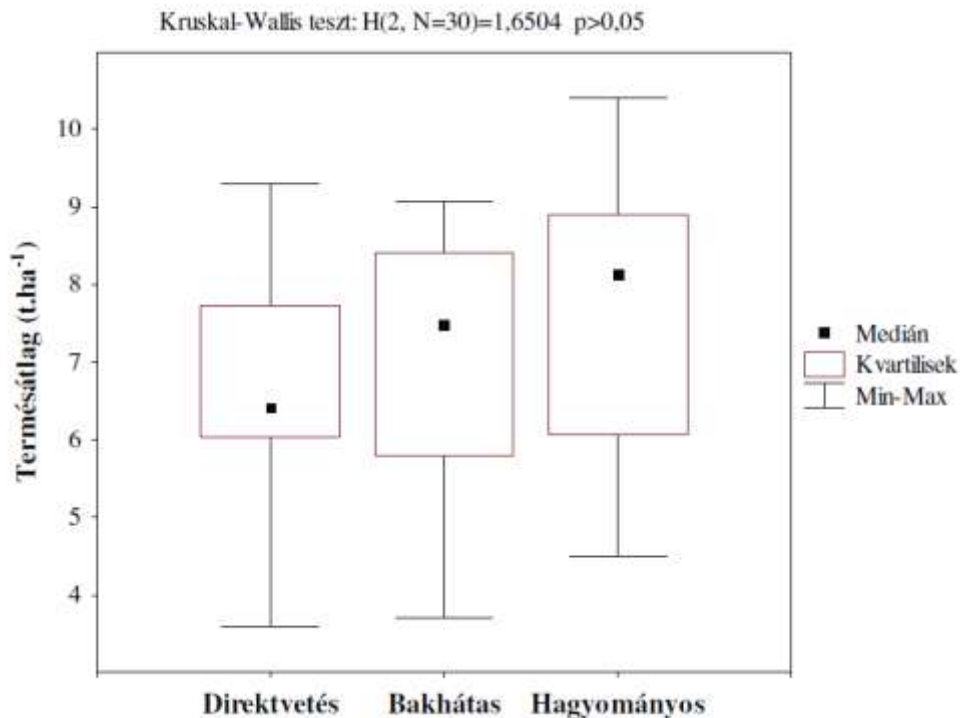
5. ábra. A talaj víztartó-görbéje az 5-10 cm rétegben (Pyhra, 1998-2006).



6. ábra. A talaj víztartó-görbéje a 15-20 cm rétegben (Pyhra, 1998-2006)

Az 5-10 cm rétegben a maximális/telítettségi vízkapacitás értékek között nem tapasztaltunk különbséget a kezelések között. A 15-20 cm rétegben a hagyományos művelésben nagyobb értéket kaptunk. A kapilláris és a minimális /szabadföldi vízkapacitás értékek mindkét mélységben a direktvetésben voltak a legnagyobbak. A bakhátas és hagyományos kezelésben közel azonos értékeket határoztunk meg. A talaj holtvíz tartalma mindkét mélységben szintén a direktvetés alatt volt a legnagyobb, de ellentétben a többi vízkapacitás értékkel a bakhátas kezelésben mért érték meghaladta a hagyományos művelés alatti értéket. A számított hasznos vízkészlet az 5-10 cm rétegben a direktvetésben, míg a 15-20 cm rétegben a hagyományosan művelt talajban volt a legnagyobb. A könnyen felvehető vízkészlet mindkét mélységben a bakhátas kezelésben volt a legkisebb.

A direktvetésben kevesebb volt a kukoricatermés, mint a művelt kezeléseknél. A hagyományos művelés termésátlaga meghaladta a bakhátas kezelés termésátlagát. A termés tekintetében összességében azonban nem találtunk jelentős különbséget a kezelések között (7. ábra).



7. ábra. Kukoricatermés a kezelésekben (Pyhra, 1997-2006)

Az irodalmi adatokkal összhangban a bolygatatlan direktvetésben a bolygatotthoz képest tömörebbé vált a talaj. A természetes ülepedés és a taposás hatására bekövetkezett változást a térfogattömeg mérés eredményei támasztották alá. A bakhátás kezelés művelt rétegében (5-10 cm) tapasztalt kis térfogattömeg érték annak köszönhető, hogy a tavaszi bakhát kialakítás lazította a talajt. A művelési mélység alsó határán, a 15-20 cm rétegben a bakhátás kezelés térfogattömeg értéke feltehetően azért nagyobb, mint a hagyományos kezelésben, mert a bakhát kialakításra és magasításra használt művelőeszköz tömöríti az altalajt. A 40-45 cm rétegben a hagyományos művelésben határozottan kisebb a térfogattömeg, mint a másik két kezelésben, amely az őszi szántás lazító hatásának tudható be.

A művelés, illetve annak hiánya a legfelső talajszintben (0-10 cm) nemcsak a térfogattömeg, hanem a talajjellenállás értékek alapján is kimutatható. A művelés és a talajjellenállás között kevésbé szoros összefüggést állapítottunk meg, mint a térfogattömegnél, és a kezeléseknek eltérő hatása volt az egyes mélységekben. A talajjellenállás alapján, összehasonlítva a művelt kezeléseket, talaj a direktvetésben csupán a felszíni, 0-10 cm rétegben volt tömörebb. A művelési mélység alsó határán a hagyományos művelésben mért talajjellenállás érték jóval kisebb, mint a bakhátás kezelésben. A 20 cm alatt a művelés nem okozott különbséget a talajjellenállás értékek között. A bakhátás művelésben a talajjellenállás érték is jelzi a

művelőtalp réteg kialakulását. A hagyományos művelés talajjellenállás profilja alapján egyenletesen kedvező a talajjellenállás a talajszelvényben. Összefoglalóan megállapítható, hogy a természetes ülepedés és a taposás hatására a direktvetésben enyhén tömörödött talajállapot alakult ki. Figyelembe véve a talaj mechanikai összetételét, és az aktuális nedvességtartalmat egyik vizsgált rétegben sem beszélhetünk káros talajtömörödéstről.

Eltérő eredményeket tapasztaltunk a talajművelés talajnedvesség tartalomra gyakorolt hatásával kapcsolatban a mélység függvényében. A nedvességtartalom közvetlenül a felszín közelében, a 20-30 cm és a 30-40 cm rétegben különbözik bizonyíthatóan egymástól. A 0-10 cm és 30-40 cm rétegekben a direktvetésben, 10-30 és 40-50 cm rétegekben a hagyományos kezelésben mértünk nagyobb nedvességtartalmat. A direktvetés nagyobb nedvessége egyrészt a felszíni növénymaradvány-borítottságból következő nedvességvisszatartásnak, másrészt a művelt kezelésekből az évenként elvégzett szántás nedvességvesztő hatásának eredménye. A hagyományos művelés mélyebb rétegeiben tapasztalt nagyobb nedvesség a talajszelvény kedvezően laza talajállapotából következik.

A 100 cm^3 bolygatatlan mintákból meghatározott vízkapacitás alapján a felvehető vízkészletre vonatkozóan nem mutatható ki egyértelműen szignifikáns különbség a direktvetés és a művelt kezelése között. Ebből következően a potenciálisan felvehető nedvességet a művelés közvetlenül nem befolyásolja. A mérések alapján a nedvességtartalom és a hasznosítható vízkészlet a direktvetés feltalajában volt a legnagyobb és a bakhátas kezelésben a legkisebb. A vízvezető képesség függvény alacsony és magas szívóerő tartományában jelentkezett csak szignifikáns különbség a kezelése között.

Annak ellenére, hogy a művelés elmaradása miatt a direktvetésben enyhén tömör a feltalaj a termésátlagok között nincs szignifikáns különbség. Méréseink alapján a direktvetésben tapasztalt kedvező termésmennyiség oka az lehet, hogy a növények számára könnyen felvehető víztartalmat a művelés nem befolyásolta. A direktvetésben minden esetben kisebb volt a kezdeti növekedés és a termésátlag, mint a művelt kezelésekből.

4.2. A talajművelés és a vetésszerkezet hatása a talajállapotra

A talaj nedvességtartalmát a 10-20 cm mélységben nem az évjárat befolyásolta, hanem az alkalmazott agrotechnika. A talajellenállás-vizsgálatok eredményei alapján a vizsgálat harmadik évére a művelés mélységében nem volt kimutatható súlyos ún. eketalp vagy tárcsatalp réteg. A növénytermesztés eredményességét befolyásoló csapadék talajba, és mélyebb rétegekbe történő jutását azonban befolyásolta adott réteg ülepedettsége. Kimutatható volt, hogy az évjárat nagymértékben befolyásolta a talajnedvesség- és talajellenállás-értékeket.

A talaj agronómiai szerkezetének vizsgálatakor káros mértékű rögzösödés nem volt megfigyelhető, ez feltehetően a jó minőségű szántásnak köszönhető, amely a művelés szempontjából optimális nedvességtartományban történt. Azonban az alkalmazott talajhasználat hosszabb időszak alatt befolyásolja a talajszerkezetet, a több éven keresztül azonos mélységben végzett művelés növeli a kockázatát a tömör rétegek kialakulásának. Ezért célszerű a talajszerkezet kímélő művelési módok alkalmazása és a művelési mélység évenkénti változtatása.

A hároméves kísérlet talajnedvesség adatait, a penetrométeres talajellenállás értékeit, valamint az agronómiai talajszerkezet frakciómegoszlását a *11.* a *12.* és a *13. táblázatok* foglalják össze.

dc_747_13

11. táblázat. A talajnedvesség változása az egyes kísérleteknél a 0-50 cm mélységben (2004-2006)

		Talajnedvesség (t %)						
Talajmélység (cm)	Kísérlet							
0-10	Mérés éve	A	B	C	D	E	F	SzD _{5%} kísérletek között
	2004	9,2	15,4	11,1	14,0	10,3	14,2	nsz
	2005	5,2	5,0	6,2	7,4	7,4	6,4	
	2006	6,2	6,2	6,7	7,5	6,7	7,5	
SzD _{5%} évek között	0,8							
10-20	Mérés éve	A	B	C	D	E	F	SzD _{5%} kísérletek között
	2004	11,8	13,3	16,5	16,1	11,5	16,6	1,7
	2005	13,7	10,9	15,7	15,6	15,6	15,5	
	2006	14,0	14,4	14,4	15,9	14,0	16,3	
SzD _{5%} évek között	nsz							
20-30	Mérés éve	A	B	C	D	E	F	SzD _{5%} kísérletek között
	2004	13,5	12,4	15,3	14,2	12,6	19,3	nsz
	2005	9,6	7,9	9,0	11,9	9,4	9,1	
	2006	12,5	12,1	11,3	9,8	7,7	13,0	
SzD _{5%} évek között	1							
30-40	Mérés éve	A	B	C	D	E	F	SzD _{5%} kísérletek között
	2004	11,8	12,3	16,8	15,4	12,6	16,2	nsz
	2005	16,0	13,2	15,3	18,1	16,6	16,0	
	2006	18,3	17,9	16,2	18,7	14,2	19,2	
SzD _{5%} évek között	1							
40-50	Mérés éve	A	B	C	D	E	F	SzD _{5%} kísérletek között
	2004	10,4	12,9	16,8	14,1	12,8	15,8	nsz
	2005	9,8	7,7	10,2	10,6	11,7	10,1	
	2006	13,2	12,9	13,0	13,5	10,8	14,8	
SzD _{5%} évek között	0,9							

12. táblázat. A talajellenállás alakulása az egyes kísérleteknél a 0-50 cm mélységben (2004-2006)

	Talajellenállás (MPa)							
Talajmélység (cm)	Kísérlet							
0-10	Mérés éve	A	B	C	D	E	F	SzD _{5%} kísérletek között
	2004	1,4	1,8	0,8	1,4	1,5	1,6	nsz
	2005	0,8	0,6	0,8	0,9	0,5	0,7	
	2006	0,6	0,4	0,8	1,6	0,8	1,0	
SzD _{5%} évek között	0,2							
10-20	Mérés éve	A	B	C	D	E	F	SzD _{5%} kísérletek között
	2004	1,8	2,5	1,0	1,7	2,0	1,7	nsz
	2005	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	1,1	
	2006	0,9	0,6	1,2	1,6	1,2	1,8	
SzD _{5%} évek között	0,2							
20-30	Mérés éve	A	B	C	D	E	F	SzD _{5%} kísérletek között
	2004	1,8	2,6	1,0	2,5	1,5	1,7	nsz
	2005	1,1	1,4	1,0	1,2	1,0	1,6	
	2006	1,7	1,6	1,4	2,0	1,5	2,5	
SzD _{5%} évek között	0,2							
30-40	Mérés éve	A	B	C	D	E	F	SzD _{5%} kísérletek között
	2004	2,5	3,4	1,8	2,8	2,8	2,1	nsz
	2005	1,5	2,1	1,2	1,6	1,5	1,3	
	2006	2,3	2,0	1,6	2,2	2,0	2,6	
SzD _{5%} évek között	0,2							
40-50	Mérés éve	A	B	C	D	E	F	SzD _{5%} kísérletek között
	2004	3,2	3,2	2,1	2,5	3,2	2,1	nsz
	2005	2,2	2,0	1,7	1,6	1,7	2,0	
	2006	2,2	2,4	2,5	2,7	2,0	2,6	
SzD _{5%} évek között	0,2							

13. táblázat. Az agronómiai szerkezet alakulása az egyes kísérleteknél a vizsgált években (2004-2006)

	Agronómiai szerkezet							
Frakciók (%)	Kísérlet							
Rög (> 10 mm)	Mérés éve	A	B	C	D	E	F	SzD _{5%} kísérletek között
	2004	17	31	14	35	17	33	nsz
	2005	16	17	17	18	16	20	
	2006	25	17	23	26	23	27	
SzD _{5%} évek között	nsz							
Morzsa (0,25-10 mm)	Mérés éve	A	B	C	D	E	F	SzD _{5%} kísérletek között
	2004	76	67	84	63	82	64	nsz
	2005	81	80	81	80	82	79	
	2006	73	81	75	72	75	71	
SzD _{5%} évek között	nsz							
Por (< 0,25 mm)	Mérés éve	A	B	C	D	E	F	SzD _{5%} kísérletek között
	2004	6	2	2	3	3	3	nsz
	2005	3	2	3	2	2	2	
	2006	2	1	2	2	2	2	
SzD _{5%} évek között	nsz							

4.3. Másodvetésű zöldtrágyanövények biomassza tömegének és tápanyagtartalmának vizsgálata kedvezőtlen adottságú termőhelyen

A zöldtrágyanövények biomasszájára a rendelkezésre álló talajnedvesség jelentős hatással bírt (14. táblázat). Különösen a műtrágyában nem részesült parcellákon volt kiemelkedő az évhatás. A műtrágyában nem részesült facélia 2009-ben csak 4,8 t/ha zöldtömeget ért el, ezzel szemben a csapadékos 2007. évben 18,4 t/ha-t. Facéliánál 2008-ban és 2009-ben N kiegészítés nélkül nem volt elérhető a minimálisan elvárt 10 t/ha zöldtömeg (KÉSMÁRKI és PETRÓCZKI 2003). A N fejtrágyázás hatására a zöldtömeg 1,91-3,95-szeresére nőtt, három év átlagában 3,11-szeres volt a növekedés. A 2009. évi aszályt a facélia rosszul viselte, ugyanakkor a N kiegészítés jelentősen növelte a növény stressztűrő-képességét és javította vízfelhasználását, így 16,7 t/ha zöldtömeget produkált.

14. táblázat. A zöldtrágyanövények zöldtömege (t/ha)
(Gödöllő, 2007-2009)

kezelések		2007	2008	2009	átlag	SZD _{5%}
facélia	műtrágya nélkül	18,4	9,7	4,8	11,0	2,2
	műtrágyázott (50 kg Nha ⁻¹)	35,2	38,5	16,7	30,2	
	termésnövekedés (%)	191%	395%	345%	311%	
	SZD _{5%}		2,9			
mustár	műtrágya nélkül	12,9	7,3	16,6	12,3	1,2
	műtrágyázott (50 kg Nha ⁻¹)	26,3	31,7	48,2	35,4	
	termésnövekedés (%)	204%	433%	291%	309%	
	SZD _{5%}		3,8			
olajretek	műtrágya nélkül	13,9	9,8	10,3	11,3	1,9
	műtrágyázott (50 kg Nha ⁻¹)	30,4	27,6	34,4	30,8	
	termésnövekedés (%)	219%	282%	333%	278%	
	SZD _{5%}		3,4			

Mustárnál N nélkül csak 2008-ban volt 10 t/ha alatt a zöldtömeg – 7,3 t/ha – az 50 kg/ha N hatóanyag ennél a növénynél 31,7 t/ha-ra, növelte a biomasszát. Három év átlagában a zöldtömeg-növekedés 3,09-szeres volt, így átlagosan 35,4 t/ha zöldtömeget ért el.

Olajreteknel kiegyenlített termésszinteket tapasztaltunk, az évjáratnak ennél a növénynél kisebb hatása volt. Műtrágya nélkül 9,8-13,9 t/ha, műtrágyával 27,6-34,4 t/ha volt a zöldtömeg. A kis dózisu N hatóanyag 2,19-3,33-szeresére növelte a zöldtömeget.

A hektáronkénti abszolút száraztömegnél a zöldtömegnél leírt tendenciák ismétlődtek, azonban N műtrágyázás hatására a szárazanyag növekedése facéliánál 94 %-kal, mustárnál 43

%-kal, olajreteknel 118 százalékkal elmaradt a zöldtömeg-növekedés mértéke mögött (15. táblázat). Ennek magyarázata, hogy a N kiegészítés hatására a zöldtrágyanövények víztartalma is nőtt.

15. táblázat. A zöldtrágyanövények száraztömege (t/ha)
(Gödöllő, 2007-2009)

kezelések		2007	2008	2009	átlag	SZD _{5%}
facélia	mútrágya nélkül	3,2	1,3	0,9	1,8	0,2
	mútrágyázott (50 kg Nha ⁻¹)	4,5	3,2	2,3	3,3	
	termésnövekedés (%)	141%	242%	267%	217%	
	SZD _{5%}			0,3		
mustár	mútrágya nélkül	3,0	1,1	2,1	2,1	0,3
	mútrágyázott (50 kg Nha ⁻¹)	4,9	3,6	6,7	5,1	
	termésnövekedés (%)	165%	310%	323%	266%	
	SZD _{5%}			0,6		
olajretek	mútrágya nélkül	2,8	1,3	1,6	1,9	0,3
	mútrágyázott (50 kg Nha ⁻¹)	4,0	2,8	4,8	3,9	
	termésnövekedés (%)	141%	212%	293%	215%	
	SZD _{5%}			0,4		

A hektáronkénti nitrogén tartalmat 2008-2009-ben határoztuk meg (16. táblázat). Facéliánál a két év átlagában 3,32-szeresére nőtt a hektáronkénti N tartalom 30,9 kg/ha értékről 102,1 kg/ha értékre. Az 50 kg/ha N műtrágya további 71,2 kg/ha nitrogén felvételét tette lehetővé.

Mustárnál két év átlagában 3,73-szeres volt a felvett hektáronkénti nitrogénnövekedés. Az 50 kg N műtrágya további 151,6 kg nitrogén hatóanyag hasznosulását biztosította.

Olajreteknel két év átlagában 3,54-szeres volt a felvett hatóanyag növekedése, azaz 50 kg N hatóanyag további 105,2 kg nitrogén felvételét tette lehetővé.

A hektáronkénti P₂O₅ tartalmat a 17. táblázat tartalmazza. Facéliánál a két év átlagában 2,89-szeresére, mustárnál 2,63-szeresére, olajreteknel 2,62-szeresére nőtt a P₂O₅tartalom. A N műtrágyázás két év átlagában a facéliánál 22,1 kg, a mustárnál 29,3 kg, az olajreteknel 28,4 kg plusz P₂O₅ felvételét tette lehetővé. A Liebig féle minimumtörvénnyel magyarázható a hektáronként felvett P₂O₅ növekedése.

A hektáronkénti K₂O tartalmat a 18. táblázat tartalmazza. Facéliánál a két év átlagában 2,63-szeresére, mustárnál 2,94-szeresére, olajreteknel 2,51-szeresére nőtt a K₂O tartalom. A N műtrágyázás két év átlagában a facéliánál 84,1 kg, a mustárnál 128,8 kg, az olajreteknel 91,2 kg plusz K₂O felvételét tette lehetővé.

16. táblázat. A zöldtrágyanövények N tartalma (kg/ha)
(Gödöllő, 2008-2009)

kezelések		2008	2009	átlag	SZD _{5%}
facélia	mútrágya nélkül	30,1	31,7	30,9	16,4
	mútrágyázott (50 kg Nha ⁻¹)	118,2	86,1	102,1	
	tápanyag-tartalom növekedés (%)	393%	271%	332%	
	SZD _{5%}		13,0		
mustár	mútrágya nélkül	33,6	85,2	59,4	43,7
	mútrágyázott (50 kg Nha ⁻¹)	138,8	283,2	211,0	
	tápanyag-tartalom növekedés (%)	413%	333%	373%	
	SZD _{5%}		25,4		
olajretek	mútrágya nélkül	31,1	57,4	44,3	26,4
	mútrágyázott (50 kg Nha ⁻¹)	127,0	172,0	149,5	
	tápanyag-tartalom növekedés (%)	409%	299%	354%	
	SZD _{5%}		17,5		

17. táblázat. A zöldtrágyanövények P₂O₅ tartalma (kg/ha)
(Gödöllő, 2008-2009)

kezelések		2008	2009	átlag	SZD _{5%}
facélia	mútrágya nélkül	13,9	8,7	11,3	5,5
	mútrágyázott (50 kg N/ha)	43,5	23,2	33,4	
	tápanyag-tartalom növekedés (%)	313%	265%	289%	
	SZD _{5%}		6,2		
mustár	mútrágya nélkül	12,7	22,7	17,7	11,8
	mútrágyázott (50 kg N/ha)	32,3	61,8	47,0	
	tápanyag-tartalom növekedés (%)	254%	272%	263%	
	SZD _{5%}		10,6		
olajretek	mútrágya nélkül	18,3	17,3	17,8	9,6
	mútrágyázott (50 kg N/ha)	34,1	58,4	46,2	
	tápanyag-tartalom növekedés (%)	186%	338%	262%	
	SZD _{5%}		9,1		

18. táblázat. A zöldtrágyanövények K₂O tartalma (kg/ha)
(Gödöllő, 2008-2009)

kezelések		2008	2009	átlag	SZD _{5%}
facélia	mútrágya nélkül	75,2	34,0	54,6	23,6
	mútrágyázott (50 kg N/ha)	179,5	97,8	138,7	
	tápanyag-tartalom növekedés (%)	239%	287%	263%	
	SZD _{5%}		23,9		
mustár	mútrágya nélkül	52,3	91,6	72,0	37,5
	mútrágyázott (50 kg N/ha)	183,2	218,4	200,8	
	tápanyag-tartalom növekedés (%)	350%	238%	294%	
	SZD _{5%}		24,6		
olajretek	mútrágya nélkül	58,0	62,1	60,0	40,8
	mútrágyázott (50 kg N/ha)	126,8	175,6	151,2	
	tápanyag-tartalom növekedés (%)	219%	283%	251%	
	SZD _{5%}		13,5		

Az egységnyi (1 kg) nitrogén hatóanyag hatására bekövetkező biomassza növekedés és az évjáráthatás között nem minden esetben volt kimutatható szignifikáns különbség (19. táblázat). Ugyanakkor az egységnyi nitrogén biomassza növelő hatása jelentős volt. Egy kg nitrogén hatóanyag facéliánál három év átlagában 455,9 kg-mal növelte a zöldtömeget és 31,8 kg a száraztömeget. Mustárnál a zöldtömeg-növekedés 377,9 kg, a száraztömeg-növekedés 43,5 kg volt. Olajreteknel a zöldtömeg 342,9 kg-mal a száraztömeg 26,6 kg-mal nőtt.

Az egységnyi hatóanyag hatására bekövetkező hektáronként felvett NPK tartalom növekedésre az évjáratnak – a facélia és az olajretek P_2O_5 tartalmát kivéve – nem volt hatása (20. táblázat). A felvett tápanyagok mennyisége a csapadékviszonyoktól függetlenül nőtt. Egy kilogramm nitrogén hatóanyag a 2008-2009. évek átlagában facéliánál további 1,4 kg, mustárnál 3,0 kg, olajreteknel 2,1 kg N felvételét tette lehetővé. Ez különösen annak ismeretében jelentős, hogy a termőhely nitrogén ellátottsága gyenge. A nitrogén a P_2O_5 felvehetőségét is növelte, nitrogén kg-onként facéliánál 0,4 kg-mal, mustárnál és olajreteknel egyaránt 0,6 kg-mal. A pótlólagos hatóanyag elősegítette a K_2O felvehetőségét, hatóanyag kilogrammonként facéliánál 1,7 kg-mal, mustárnál 2,6 kg-mal, olajreteknel 1,8 kg-mal (20. táblázat).

19. táblázat. 1 kg hozzáadott N hatóanyagra vetített biomassza növekedés (kg/ha)

növények	biomassza	2007	2008	2009	átlag	SZD _{5%}
facélia	zöldtömeg	336,1	575,8	238,0	455,9	167,3
	száraztömeg	26,2	37,4	28,0	31,8	nsz
mustár	zöldtömeg	268,5	487,3	632,0	377,9	90,1
	száraztömeg	38,9	48,1	92,0	43,5	20,6
olajretek	zöldtömeg	329,8	356,1	482,0	342,9	nsz
	száraztömeg	23,1	30,2	64,0	26,6	20,7

20. táblázat. 1 kg hozzáadott N hatóanyagra vetített NPK növekedés (kg/ha)

növények	NPK	2008	2009	átlag	SZD _{5%}
facélia	N	1,8	1,1	1,4	nsz
	P_2O_5	0,6	0,3	0,4	0,2
	K_2O	2,1	1,3	1,7	nsz
mustár	N	2,1	4,0	3,0	nsz
	P_2O_5	0,4	0,8	0,6	nsz
	K_2O	2,6	2,5	2,6	nsz
olajretek	N	1,9	2,3	2,1	nsz
	P_2O_5	0,3	0,8	0,6	0,4
	K_2O	1,4	2,3	1,8	nsz

Adott kedvezőtlen termőhelyi körülmények között mindhárom vizsgált növény alkalmas volt zöldtrágyázásra, betöltötte talajvédő és szervesanyag kímélő funkcióját. A hektáronkénti biomassa és a beltartalmi paraméterek, különösen a N felvétel figyelembevételével azonban a keresztesvirágú mustár és olajretek kedvezőbbnek bizonyult, mint a facélia.

Kisadagú (50 kg/ha) nitrogén hatóanyag a vizsgált években mindegyik növénynél jelentős mértékben elősegítette a biomassa és a beltartalmi paraméterek növekedését, míg ennek hiányában a pentozán hatástól szenvedő növényállományt kaptunk. Nitrogén műtrágyázás hatására mindhárom növénynél többszörösére nőtt a hektáronkénti nitrogéntartalom. A nitrogén hatóanyag jelentősen elősegítette a foszfor és a kálium felvételét is.

Kis mennyiségű 50 kg/ha nitrogén hatóanyag kijuttatásával stabil zöldhozamot, és jelentős felvett NPK mennyiséget adott mindhárom vizsgált növény, nitrogén-kiegészítés nélkül azonban a gyenge adottságú termőhelyen nem minden esetben volt elérhető az elégséges biomassa. A kapott eredmények alapján adott termőhelyen másodvetésű zöldtrágyázásnál lehetőség szerint minden esetben, de a kalászosok szalmájának helyben hagyásakor feltétlenül javasolandó a nitrogénkijuttatás.

A zöldtrágyázás környezetminőség javító szerepét egyrészt az aktív talajréteg mélyülés, másrészt a kijuttatott műtrágyák felvétele, és tárolása igazolta.

4.4. Rövid vágásfordulójú fűz (*Salix sp.*) energiaültetvény termesztésének tapasztalatai és életciklus-elemzésének eredményei

4.4.1. Fenológiai eredmények

Az 21. táblázat az energiafűz fajták fenológiai eredményeit mutatja közvetlenül az első betakarítás előtt mindhárom tápanyag-ellátottsági szinten. A betakarítás során a kétéves növekményt vágtuk le. Ez azt jelenti, hogy az első betakarításra a kísérlet beállítását követő harmadik évben került sor, ugyanis a telepítés évében a bokornövekedésű fűzek jellemzően kis növekedési erélyűek, a várható biomassa tömeg 2-3 t/ha (MOLA-YUDEGO és ARONSSON 2008). Az első vegetációs időszak utáni visszavágás a második évtől intenzív sarjképzésre készíti a növényeket, a kísérletben alkalmazott svéd klónok esetében 10-18 db

hajtás képződik, amelyekből a második évre 6-8 db erőteljes növekedésű hajtás marad, míg a többi vessző visszafejlődik, esetenként elhal (BEGLEY et al. 2008). A Csala fajta esetében eltérő a fejlődés üteme: statisztikailag igazolhatóan több hajtást (15-16 db) fejleszt a növény, azonban ezek 40-52 %-kal vékonyabbak és rövidebbek, mint a svéd fajták. Valamennyi fajta és növénytáplálási kezelés esetében a növény magassági növekedése volt jelentős, a második évre elért végleges magasság 80-85 %-a az első évben alakult ki. A második évben kevésbé a növények magassági növekedése volt megfigyelhető, sokkal inkább jellemző a hajtások megvastagodása.

21. táblázat. Fenológiai paraméterek alakulása különböző fűz fajtáknál eltérő növénytáplálási módok esetén két év fejlődés után (Gödöllő, 2010. február 25.)

Fajta	Hajtásszám (db/növény)			Hajtásátmérő (mm)			Növénymagasság (cm)		
	Ø	M	K	Ø	M	K	Ø	M	K
Csala	15,6	15,7	15,9	16,6	17,1	16,6	316	333	335
Tora	6,8	8,2	7,2	24,5	26,4	26,3	489	509	499
Tordis	6,0	6,8	6,8	26,1	26,6	24,7	515	540	513
Inger	6,8	7,6	7,0	26,5	28,0	26,2	547	555	492
Sven	15,6	7,0	7,0	24,7	24,0	23,9	470	501	456
SzD5% fajta	0,63			2,85			40,05		
SzD5% tápanyag	nsz			nsz			nsz		
Kölcsönhatás	nsz			nsz			nsz		

Jelmagyarázat: Ø=kontroll; M= nitrogén műtrágya, 50 kg/ha hatóanyag; K=komposzt, 40 t/ha

Az első betakarítás során mért frisstömeget és száraztömeget a 22. táblázat mutatja. Az adatok értékelése során tekintettel kell lenni arra, hogy a tőszám a Csala esetében 60.000 db növény/ha, ugyanakkor a többi fajtánál 12.000 db/ha. A telepített tőszám közötti jelentős különbséget a fajták eltérő növekedési erélye magyarázza. A szárazanyagban kifejezett biomassa mennyisége az Inger fajtánál a műtrágyázott és a komposzt kezelésben volt a legnagyobb, a többi fajta és növénytáplálási kezelés eredménye szignifikánsan kisebb biomassa mennyiséget eredményezett. A betakarított biomassa nedvességtartalma 46,7-54,7 % között volt, ebben a tekintetben sokkal inkább a fajtának, mint a növénytáplálásnak van jelentősége. A legnagyobb nedvességtartalmat a Csala aprítékában mértünk a betakarítás után.

A sok és vékony hajtás esetében a kéreg aránya nagyobb, mint a többi fajtánál, ennek következtében a nedvességtartalom valamennyi növénytáplálási szinten nagyobb volt.

22. táblázat. A biomassa tömeg és a nedvességtartalom alakulása különböző fűz fajtáknál eltérő növénytáplálási módok esetén – első betakarítás két éves vágásfordulóval (Gödöllő, 2010. február 25.)

Fajta	Frisstömeg (t/ha)			Száranyag (t/ha)			Nedvességtartalom (%)		
	Ø	M	K	Ø	M	K	Ø	M	K
Csala	39,1	46,6	44,0	17,7	21,9	20,5	54,7	52,9	53,4
Tora	42,0	54,4	42,9	19,9	28,0	20,9	52,7	48,5	51,5
Tordis	34,4	53,1	31,4	18,3	27,8	15,6	46,7	47,7	50,3
Inger	40,4	54,5	49,7	20,9	28,3	25,2	48,1	48,1	49,3
Sven	37,0	45,6	35,1	18,9	22,8	17,5	48,7	50,0	50,0
SzD5% fajta		5,71			2,84			1,73	
SzD5% tápanyag		7,94			4,61			nsz	
Kölcsönhatás		nsz			nsz			nsz	

Jelmagyarázat: Ø=kontroll; M= nitrogén műtrágya, 50 kg/ha hatóanyag; K=komposzt, 40 t/ha

Az LCA kalkulációkban a kétéves vágásfordulójú technológiát vizsgáltuk 40 t/ha kétévenkénti átlagos hozammal 49,5%-os betakarításkori nedvességtartalom mellett.

4.4.2. Az életciklus-elemzés eredményei

Az általunk vizsgált fűz energiaültetvény esetében a kétéves termesztéstechnológia alapján az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásának potenciálját, a savasodási potenciált és az energiahatékonyságot határoztuk meg a hatáselemzés során (23. táblázat).

Mivel a módszertan szigorú értelmezése szerint a növény által megkötött CO₂ mennyiségét is figyelembe kell vennünk, az ÜHG potenciál esetében a más szerzők számításaival való összehasonlíthatóság érdekében két adatot adunk meg. Egyrészt a fűz által megkötött CO₂-t is figyelembe vevő ÜHG potenciált („termény figyelembevétel”), illetve az ezt figyelmen kívül hagyó kalkulációt („termény figyelembevétele nélkül”), ahol – mivel a növény elégetésre kerül – CO₂ neutrálisnak vesszük a biomassa széndioxid megkötését.

23. táblázat. Életciklus-elemzés eredményei kétéves vágásfordulójú energiafűznél 1 t friss hozamra vonatkoztatva

Szállítási távolság	Mutatók	Fűz, 2 éves vágásforduló	
		termény figyelembe-vételével	termény figyelembe-vétele nélkül
50 km	kg CO ₂ eq/t	-854,64	73,9
	kg SO ₂ eq/t	0,55	
	Energia input, GJ/t	1,00	
	Termény energiatartalma, GJ/t	7,93	
	Energia O/I hányados	7,91	
100 km	kg CO ₂ eq/t	-847,04	81,53
	kg SO ₂ eq/t	0,58	
	Energia input, GJ/t	1,13	
	Termény energiatartalma, GJ/t	7,93	
	Energia O/I hányados	7,01	
150 km	kg CO ₂ eq/t	-839,44	89,15
	kg SO ₂ eq/t	0,62	
	Energia input, GJ/t	1,26	
	Termény energiatartalma, GJ/t	7,93	
	Energia O/I hányados	6,29	

Az ÜHG potenciál a kétéves vágásfordulójú technológia esetében -854,64 és -839,44 kg CO₂ ekvivalens/t biomassa érték között mozog, ha a növény CO₂ megkötését is figyelembe vesszük. Ha ezt nem vesszük figyelembe az értékek 73,9 és 89,15 kg CO₂ ekvivalens/t biomassa érték között alakulnak, vagyis a növény elégetése esetében a termelés, a betakarítás és a hasznosító üzemhez való szállítás ennyi plusz széndioxid kibocsátást jelent. Ebből 50 tkm szállítás mintegy 7,6 kg CO₂ ekvivalens/t értékkel növeli az ÜHG kibocsátást. Ez a teljes kibocsátás 8-10%-át teszi ki.

A savasodási potenciál tekintetében már nincs jelentősége a biomassza által megkötött CO₂ külön történő figyelembevételének, így itt csak egy értéket kalkuláltunk. A savasodási potenciál értéke 50 km szállítási távolság esetében 0,55 kg SO₂ ekvivalens/t biomassza, amely 0,04 SO₂ ekvivalens/t értékkel (azaz mintegy 7%-al) nő, ha a megtermelt biomasszát további 50 km-re szállítjuk.

Az energiahatékonyság számításakor mind a biomassza előállításához, betakarításához és szállításához szükséges energiát, mind pedig a biomassza által megkötött energiát figyelembe véve számoltunk energiahatékonyságot O/I hányados segítségével kifejezve azt. Eredményeink szerint egy GJ energiaráfordítással, amely már tartalmazza a biomassza betakarítását és az 50 km-re lévő hasznosító üzemhez való elszállítását is 7,9 GJ biomasszában között energia állítható elő. Ez az érték természetesen kedvezőtlenebb, ha messzebbre szállítjuk a biomasszát: 150 km esetében csupán 6,29 GJ, vagyis további 50 km szállítási távolság tonnánként 0,13 GJ-lal növeli meg az energiaigényt.

A következőkben a fent ismertetett kétéves vágásfordulójú fűz energiaültetvény adatait két hagyományos szántóföldi növény, a búza és a kukorica ugyanolyan szállítási távolságokat feltételező környezeti hatásaival hasonlítjuk össze (24. táblázat). A kalkulációt itt is az EcoInvent 2.2 adatbázis felhasználásával készítettük, felhasználva az adatbázisban meglévő adatsorokat. A számítás funkcionális egysége az egy év alatt megtermelt kukorica vagy búza, a referenciaáram pedig 1000 kg.

Kukorica esetében 14%-os nedvességtartalommal és 9279 kg/ha hozammal, míg búza esetében 15%-os nedvességtartalommal és 6425 t/ha hozammal számoltunk. A két növény esetében alkalmazott termesztéstechnológia integrált, tehát a konvencionálisnál kevesebb műtrágyát és növényvédő szert alkalmaz, továbbá az általános európai növénytermesztési gyakorlatot tükrözi. Fontos itt megjegyeznünk, hogy bár az eredményeket a termés mennyiségére vonatkoztatjuk, a számítás a teljes növényre vonatkozó anyagáramokat veszi figyelembe, tehát mind a kukoricaszár, mint a búzaszalma mennyisége és az abban megkötött anyagáramok a kalkuláció részét képezik.

dc_747_13

24. táblázat. Főbb életciklus-elemzési eredmények kukorica és búza esetében

Szállítási távolság	Mutatók	Kukorica		Búza	
		termény figyelembe- vételével	termény figyelembe- vétele nélkül	termény figyelembe- vételével	termény figyelembe- vétele nélkül
50 km	kg CO ₂ eq/t	-765,32	616,48	-731,02	601,58
	kg SO ₂ eq/t	5,22		4,32	
	Energia input, GJ/t	4,06		3,57	
	Termény energiatartalma, GJ/t	15,75		15,74	
	Energia O/I hányados	3,88		4,41	
	kg CO ₂ eq/t	-757,72	624,08	-723,42	609,18
	kg SO ₂ eq/t	5,25		4,35	
100 km	Energia input, GJ/t	4,19		3,70	
	Termény energiatartalma, GJ/t	15,75		15,74	
	Energia O/I hányados	3,76		4,26	
	kg CO ₂ eq/t	-750,12	631,68	-715,82	616,78
	kg SO ₂ eq/t	5,29		4,39	
	Energia input, GJ/t	4,32		3,83	
	Termény energiatartalma, GJ/t	15,75		15,74	
150 km	Energia O/I hányados	3,65		4,11	

A CO₂ kibocsátás a kukorica és búza esetében lényegesen magasabb, mint a fűz energiaültetvény eredményei: a kukorica esetében 616,48 CO₂ ekvivalens/t biomassa, míg a búzatermesztés esetén 601,58 CO₂ ekvivalens/t biomassa 50 km-es szállítási távolság esetén. Amennyiben a biomasszában megkötött CO₂-t is figyelembe vesszük a különbség jóval kisebb: kukorica esetében -765,32, búza esetében pedig -731 CO₂ ekvivalens/t biomassa, ami lényegesen közelebb áll a fűz értékéhez (-854,64 CO₂ ekvivalens/t biomassa). A különbség oka az, hogy bár a gabonák esetében nagyobb az egy tonnában megkötött CO₂ mennyisége a jóval alacsonyabb nedvességtartalom miatt (búza termesztésekor -1332,6 CO₂ ekvivalens/t biomassa, kukorica termesztésekor -1381,8 CO₂ ekvivalens/t biomassa), azonban az intenzívebb termesztés következtében – több műtrágya, növényvédő szer és munkaművelet – a kibocsátási oldal is jóval magasabb.

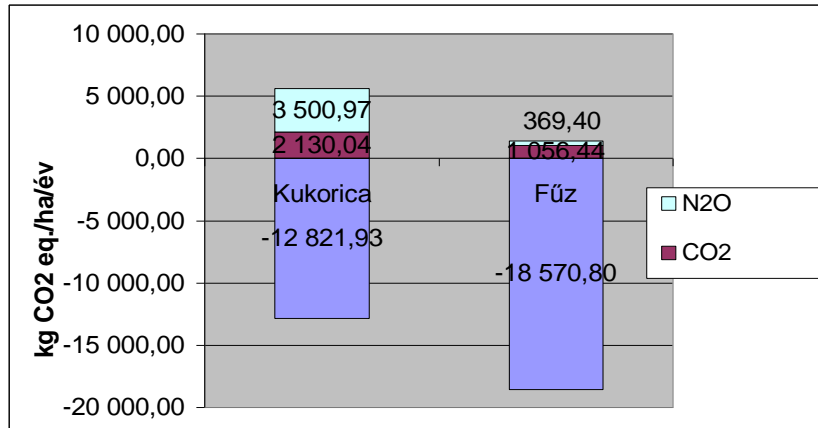
Sokkal kedvezőtlenebb azonban a kép a savasodási potenciál eredményeit illetően. Ebben az esetben a gabonák mintegy tízszeres értéket (4,3-5,2 SO₂ ekvivalens/t biomassa) mutatnak a fűzhöz (0,55 SO₂ ekvivalens/t biomassa) képest. Ez a magasabb műtrágya, növényvédőszer és üzemanyag-használat miatti ammónia és a nitrogén oxidok légköri emissziójával magyarázható. Az energiahatékonyság tekintetében közel kétszer hatékonyabbnak tekinthető a fűz a gabonáknál: búza és kukorica esetében 3,88-4,4 O/I hányadost kapunk, míg a fűz esetében 7,9 volt ugyanez az érték.

A területhasználat összehasonlíthatósága érdekében szemléletesebb adatokat kapunk, ha azokat egy hektárra vonatkoztatjuk. Ebben az esetben kukorica és búza termesztésekor hektáronként évente 7101 kg, illetve 4697 kg CO₂ nyelődik el - amelyben értelem szerűen a kukoricaszár és szalma széntartalma is benne foglaltatik - míg a kétéves vágásfordulójú fűz esetében 17.093 kg. Az egy hektárra vetített savasodási potenciál a kukorica esetében 48,43 SO₂ egyenérték, a búzánál 27,73 SO₂ egyenérték, a fűz esetében pedig mindössze 11 kg SO₂ egyenérték kibocsátást jelent.

A kukorica és a kétéves vágásfordulójú fűz esetében a legfontosabb kibocsátási tényezőket mutatja a következő két ábra az ÜHG potenciál (8. ábra) és a savasodási potenciál (9. ábra) esetén.

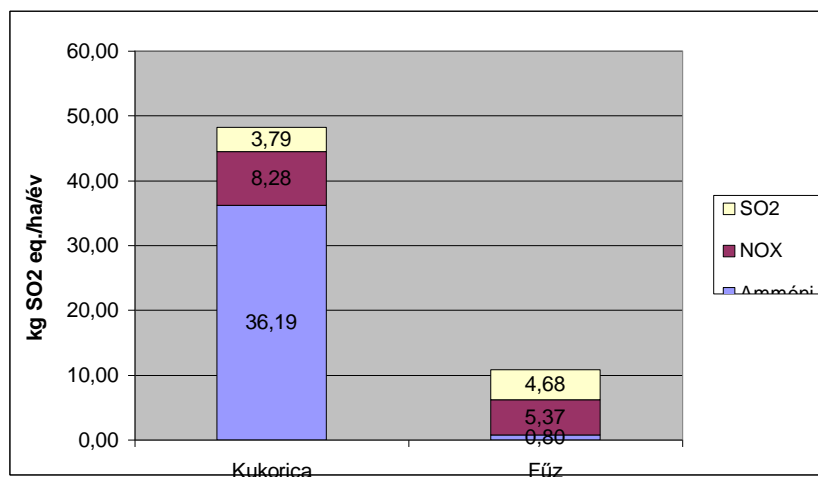
Az ÜHG potenciál vizsgálatokor egyrészt a nyelés oldalán a CO₂ megkötés jelentett kiemelkedő értékeket, másrészt a kibocsátási oldalon a műveléskor felszabaduló fosszilis eredetű CO₂, illetve N₂O. Az adatok alapján szembevetendő a különbség mindkét mutatónál. A

fűz kibocsátás oldali ÜHG potenciálja töredéke a kukoricáénak, azonban egy hektárra vonatkoztatott széndioxid nyelése jelentősen meghaladja a kukoricáét, ahol elsősorban a műtrágyázásból adódó N₂O kibocsátás jelentős.



8. ábra. ÜHG potenciál a kukorica és a kétéves vágásfordulójú fűz esetében 50 km-es szállítási távolság mellett.

A savasodási potenciál kialakulásában elsősorban az ammónia-emisszió, valamint a fosszilis eredetű nitrogén-oxidok és a kéndioxid játszik fontos szerepet. A kukoricatermelés során nagyságrendileg magasabb a savasodási potenciál, amely főképpen a műtrágyázásból származó ammóniának és NO_x-nek tulajdonítható.



9. ábra. Savasodási potenciál a kukorica és a kétéves vágásfordulójú fűz esetében 50 km-es szállítási távolság mellett

A környezeti hatások túlnyomó hányada az intenzív művelésből - műtrágyázás, vegyszeres növényvédelem és gépüzem – adódik. A növény biomassza hozama, talajtakaró hatása pedig tompíthatja e környezetterheléseket.

Eredményeink egyértelműen mutatják, hogy az intenzívebb művelés jelentősen rontja a növénytermesztés környezeti mutatóit és terheli a környezetet. Ennek következtében a hagyományos szántóföldi gabonafélék az energiahatékonyság, és a környezetterhelés szempontjából sokkal kedvezőtlenebbek, mint a fás szárú energiaültetvények. Az energiahatékonyság tekintetében mintegy kétszeres, az ÜHG potenciált illetően több mint nyolcszoros, a savasodási potenciál esetében pedig több mint tízszeres a különbség a szántóföldi gabonák és a fűz energiaültetvény kibocsátásai között 1 t terményre vonatkoztatva. Ha az eredményeket 1 ha területre vetítjük, az energiafűz előnye mérséklődik: az ÜHG potenciál esetében mintegy két-háromszoros, a savasodási potenciált illetően több mint 2-4-szeres.

További fontos vizsgálati terület lenne az energiaültetvények összehasonlítása hasonló alapanyagot előállító földhasználatokkal, mint például a hagyományos erdőgazdálkodás során történő tűzifatermelés, illetve más technológiával megvalósuló fás vagy lágyszárú energianövény-termesztés.

4.5. Talajállapot vizsgálatok energetikai faültetvényben

4.5.1. Talajjellenállás vizsgálatok eredményei

A talajjellenállás a talaj tömörödését kifejező jelzőszám, egyszersmind a termőhely fizikai állapotát általánosan jellemző paraméter. A kezelések 0-50 cm mélységében mért talajjellenállás értékek a 25. táblázatban láthatók.

A méréseket minden évben két alkalommal végeztük, úgymint a vegetációs időszak elején (áprilisban), valamint végén (szeptemberben). A táblázatban közölt értékek a két mérés átlagát mutatják. A kísérleten belül a növénytáplálási kezelésekben külön végeztük a méréseket.

25. táblázat. A talajellenállás (MPa) értékei eltérő növényápolási kezelésekben fűz energiaültetvényben (Gödöllő, 2007-2010)

Mélység (cm)	Kezelés			
	Kontroll	Mútrágya	Komposzt	SZD _{5%}
2007				
0-10	0,5±0,1	0,6±0,1	0,6±0,2	nsz
10-20	0,4±0,1	0,6±0,3	0,8±0,3	nsz
20-30	1,2±0,2	1,6±0,1	1,6±0,3	nsz
30-40	1,2±0,1	1,7±0,1	1,7±0,4	nsz
40-50	1,0±0,1	1,2±0,1	1,2±0,2	nsz
2008				
0-10	1,3±0,1	1,3±0,1	1,2±0,1	nsz
10-20	1,7±0,1a	1,6±0,1b	1,6±0,1b	0,1
20-30	2,6±0,4	2,2±0,1	2,2±0,1	nsz
30-40	3,0±0,3a	2,6±0,1b	2,8±0,1ab	0,3
40-50	3,3±0,3a	2,8±0,2b	3,1±0,1ab	0,4
2009				
0-10	2,8±0,2	2,7±0,3	2,9±0,3	nsz
10-20	3,5±0,2	3,5±0,5	3,6±0,3	nsz
20-30	4,6±0,1	4,5±0,6	4,4±0,5	nsz
30-40	5,1±0,4	4,7±0,7	4,7±0,5	nsz
40-50	4,9±0,4	4,6±0,8	4,6±0,4	nsz
2010				
0-10	3,1±0,1	3,1±0,2	2,8±0,2	nsz
10-20	2,8±0,3	2,6±0,1	2,6±0,2	nsz
20-30	3,1±0,5	2,8±0,3	2,8±0,2	nsz
30-40	3,4±0,6	2,8±0,3	3,1±0,3	nsz
40-50	3,4±0,6	2,9±0,2	3,0±0,3	nsz

nsz= nem szignifikáns

A kísérlet beállításának évében elvégzett mérések során kapott alacsony talajellenállás a művelt talajra jellemző kedvező lazultságot mutat. A fás szárú energianövények telepítését megalapozó talajművelés legalább 15 éves ültetvény élettartamot feltételez (MOLA-YUDEGO és ARONSSON 2008), ezért különösen fontos, hogy az alapozó művelés a dugványok számára kedvező talajállapotot hozzon létre. A felső talajréteg tömör záróréteget nem tartalmazhat, mert ellenkező esetben a telepítés minősége esetlegessé válik, a dugványok talajba helyezési mélysége egyenetlen, illetve egyes esetekben jelentős töréskárral kell számolni.

A 2008. évi mérések a talajellenállás kiinduláskori értékhez képest jelentős növekedését tapasztalhattuk, aminek oka a talajművelés hiánya. A sorközökben végzett mechanikai ápolás a legfelső néhány centiméter talajréteg lazultságát segíti elő, azonban a mélyebb rétegekben

sem érte el a talaj ellenállása a kritikus, adott termőhelyi viszonyokra jellemző káros tömörséget jelző értéket. A mérések alapján megállapítható volt, hogy a növénytáplálási kezelések között a talajellenállás értékében statisztikailag igazolható különbségek nem voltak kimutathatók, azonban ebben a mérési időszakban 5 % hibavalószínűség mellett három mélység szintben állapítottunk meg különbséget a kezelések között: a legtömörebb a kontroll kezelés talaja volt. Mivel több év átlagában azt tapasztaltuk, hogy a növénytáplálási módoknak nincs közvetlen hatása a talajellenállásra, ezért a 2008. év relatíve kis különbségeivel részletesebben nem foglalkoztunk. Az energiaültetvények talajának vizsgálatakor sokkal fontosabb szempont a tartamhatás értékelése, vagyis az, hogyan változik hosszútávon, művelés nélkül a talaj fizikai, biológiai állapota (LAUREYSENS et al. 2004). A harmadik kísérleti évben végzett mérések során 80-120 %-kal nagyobb ellenállást mértünk a megelőző évhez képest. Ezeknek az eredményeknek az értékeléséhez figyelembe kell venni, hogy ez az év rendkívül száraz, csapadékhiányos volt, ami a talajellenállás értékeket alapvetően befolyásolta. BIRKÁS et al. (2004) kutatásai azt igazolják, hogy az aszályos időszakban mért nagy ellenállás nem értékelhető egyértelműen a visszatömörödés jeleként, pontosabb képet kaphatunk, ha az évek közötti tendenciát követjük.

A vizsgálat negyedik évében végzett mérések során azt tapasztaltuk, hogy a talajellenállás értékek egyik rétegben sem mutattak szignifikáns különbséget, ugyanakkor a talajrétegek közötti kiegyenlítődés is megfigyelhető volt: a felső és az alsó talajrétegek közötti ellenállás nem mutatott különbséget. Ez a jelenség részben magyarázható a nem művelt talajok bolygatás hiányában bekövetkező kedvező állapotának kialakulásával, a biológiai tevékenység felélénkülésével, és ezzel a talaj ellenállásának csökkenésével (BEESE 1990). Másrészt a vizsgált év sokéves átlagot meghaladó csapadékmennyisége, és ebből adódó talaj nedvességtartalom növekedése a talajellenállás csökkenés irányába hatott. A mérések időpontja rendkívül intenzív csapadékesemények utánra esett, ami magyarázza a legfelső talajréteg nagyobb talajellenállás értékeit. Összevetve a vizsgált évek termőhelyre jellemző talajellenállás értékeit, illetve azok évek közötti lefutását, a rendszeres bolygatás nélküli direktvetéshez hasonlítható. Adott termőhelyi körülmények között GYURICZA (2000), BIRKÁS és GYURICZA (2004), és LÁSZLÓ (2007) egyaránt direktvetéses talajművelési rendszerekben mért hasonló talajellenállás értékeket. LIEBHARD (2009) ugyanakkor felhívja a figyelmet arra, hogy már középtávon kedvező hatás figyelhető meg energetikai faültetvények talajának fizikai állapotában, azonban a további vizsgálatok elkerülhetetlenek az egyértelmű elbírálás érdekében.

A 26. táblázat a különböző talajhasználati rendszerekben a vegetációs időszak során öt alkalommal elvégzett mérések átlagértékeit mutatja. Az őszi búza és a napraforgó legfelső talajrétegében statisztikailag kisebb talajellenállást mértünk, mint a negyedik éve csak időnként a sorközökben bolygatott energiaültetvényben. Ugyanakkor a 10-20 cm talajrétegben mért különbséget statisztikailag nem tudtuk igazolni. A mélyebb rétegek ellenállása különbözött a kezelésekben, azonban egyik esetben sem érte el a kritikus tömörséget. A további vizsgálatok célja annak megállapítása, hogy a talaj ellenállással jellemezhető állapota hogyan változik az ültetvény élettartama során, illetve milyen további kölcsönhatások befolyásolják a talaj fizikai, biológiai és kémiai tulajdonságait.

26. táblázat. Talajellenállás (MPa) különböző talajhasználati rendszerekben (Gödöllő, 2010, 5 mérés átlagértékei)

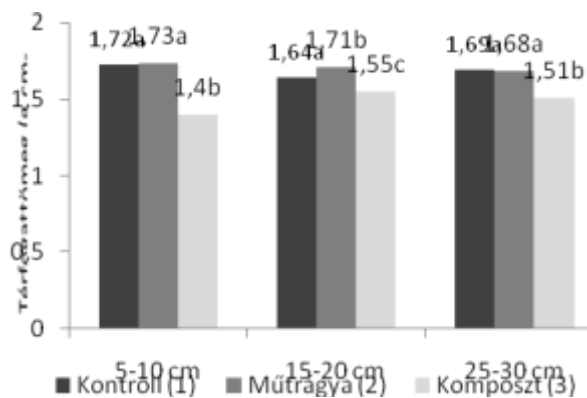
Mélység (cm)	Kezelés		
	Energianövény	Napraforgó	Őszi búza
0-10	2,1±0,2a	1,7±0,1b	1,7±0,1b
10-20*	2,8±0,7	2,1±0,4	2,1±0,3
20-30	3,6±0,1a	2,2±0,2b	2,2±0,1b
30-40	3,4±0,3a	3,1±0,6a	1,9±0,1b
40-50	3,4±0,1a	3,3±0,1b	1,7±0,1c

*nem szignifikáns

4.5.2. Térfogattömeg vizsgálatok eredményei

A térfogattömeg a talaj fizikai állapota minősítésére egyik leggyakrabban használt paraméter. Az 10. ábrán a kísérlet negyedik évében mért térfogattömeg értékei láthatók három különböző mélységszintben. A bolygatatlan talajmintákat a vegetációs időszak vége után, november elején vettük. Valamennyi mélységszintben a legkisebb értékeket a komposzttal borított kezelésben kaptuk. A felső talajszintben (5-10 cm) a legnagyobb a különbség, ami részben azzal magyarázható, hogy az év során egy alkalommal sekély sorközművelést végeztünk, másrészt a komposzt szerkezete kedvezőbb, mint az eredeti talajszint. Szembetűnő ugyanakkor a mélyebb rétegek közötti különbség, ami $P < 5\%$ hibavalószínűség mellett a 15-20 cm mélységben a kezeléspárok között statisztikailag igazolható, míg a 25-30 cm rétegben a komposzttal kezelt parcella különbözik a kezelésektől szignifikánsan.

dc_747_13



10. ábra. Térfogatfőmög értékei a fás szárú energianővény kísérlet negyedik évében (Gödöllő, 2010)

Korábbi kutatásaink alapján feltételezzük (GYURICZA 2000), hogy a komposzttal kezelt parcellákon a kisebb térfogatfőmög (különösen a mélyebb rétegekben), amely egyúttal nagyobb összpórozitással párosul, az élénkebb biológiai aktivitásra vezethető vissza. A talajlakó élőlények közül elsősorban a földigiliszták tevékenysége fokozódik, amely a pórustérfogaton belül nagyobb gravitációs pórus részarányt, egyúttal kisebb térfogatfőmög értékeket eredményez (BIRKÁS et al. 2004).

4.5.3. Talaj nedvességtartalom vizsgálatok eredményei

A művelés egyik legfontosabb feladata olyan talajállapot kialakítása, hogy a termesztett növény számára elegendő nedvesség hozzáférését tegye lehetővé, másrészt a kedvező fizikai és biológiai kultúrállapot kialakulását és fenntartását segítse elő. Fás szárú energianövények termesztése során a talaj nedvességtartalom megítélése a termőhely függvénye, ezért vizsgálatunk eredményeit is ennek tükrében mutatjuk be. A 27. táblázat a felső 50 cm talajréteg nedvességtartalmát mutatja be két évben elvégzett két-két mérés átlagában. Mindkét év mérései alapján eltéréseket figyelhettünk meg a talaj nedvességtartalomban. A legnagyobb nedvességet a szennyvíziszap komposzttal takart felszínű kezelésekben mértünk (2008-ban 20,9 %, 2010-ben 18,9 %). A felszíni komposztborítás tápanyagot szolgáltat a növényeknek, mulcsréteggként viselkedve akadályozza a gyomok csírázását, illetve csökkenti az evaporációt, így a talaj hosszabb időn keresztül képes a nedvességet megőrizni (LAUREYSENS et al. 2004). A komposztos kezelésben valamennyi mérési időpontban nagyobb nedvességtartalmat mértünk a felső 10 cm talajrétegben. Rövid vágásfordulójú fű energetikai célú termesztésére elsősorban a magasabb vízállású termőhelyek jöhetnek számításba, ahol elegendő nedvesség áll a növények rendelkezésére. Ugyanakkor Magyarország időjárási viszonyai között egyre

gyakoribbak a szélsőségek, azon belül is a száraz, aszályos évjáratok gyakorisága nőtt meg, ezért a nedvesség helyben tartása, a párolgási veszteség csökkentése alapvető jelentőségű.

28. táblázat. A talaj nedvességtartalom (tömeg%) értékei eltérő növénytáplálási kezelésekben fűz energiaültetvényben (Gödöllő, 2008, 2010)

Mélység (cm)	Kezelés			
	Kontroll	Műtrágya	Komposzt	SZD _{5%}
2008				
0-10	16,1±0,6a	19,9±0,8b	20,9±0,6b	1,3
10-20	17,3±0,3a	21,6±0,7b	22,9±0,3c	0,9
20-30	18,9±0,5a	22,4±0,7b	24,0±0,4c	1,0
30-40	21,1±0,3a	24,1±0,7b	25,2±0,2c	0,9
40-50	23,1±0,6a	25,8±0,5b	26,7±0,1b	1,0
2010				
0-10	16,8±0,9a	17,2±0,7a	18,9±0,3b	1,3
10-20	18,4±0,6	19,3±0,5	19,3±0,4	nsz
20-30	20,0±0,4a	20,8±0,1b	20,2±0,1a	0,5
30-40	20,8±0,4	21,5±0,3	21,2±0,2	nsz
40-50	21,3±0,5	22,3±0,2	21,9±0,4	nsz

nsz= nem szignifikáns

A kevésbé csapadékos 2008. évben a két mérés átlagában valamennyi vizsgált talajrétegben statisztikailag igazolható nedvesség különbséget mértünk a kezelések között 40 cm mélységig. A műtrágyával kezelt parcellákon ugyancsak nagyobb nedvességtartalmat tapasztaltunk a kezeletlen területhez képest. Ennek oka feltételezésünk szerint csak közvetve van összefüggésben a növénytáplálással. A kedvezőbb tápanyag-ellátottság a növényzet gyorsabb fejlődését, ezzel hamarabbi felszíni borítást tesz lehetővé, ami az evaporáció csökkenését váltja ki.

A 2010. évben a vegetációs időszakban több csapadék hullott, mint sok év átlagában egész naptári évben. Ebben a mérési időszakban is igazoltuk a komposztkezelés nedvesség veszteséget csökkentő hatását, 15-22 %-kal nagyobb talajnedvességet határoztunk meg a kontroll és a műtrágyával kezelt parcellákhoz képest. A mélyebb rétegekben a különbségek elmosódtak, a 20-30 cm mélységen kívül szignifikáns különbséget nem mértünk a kezelések között. A nedvesség veszteséget csökkentő módszerek jelentősége elsősorban száraz évjáratokban értékelődik fel, azonban csapadékos évjáratokban tartalékolt talajnedvesség egy része elraktározható.

A fás szárú energianövények gyökereinek legnagyobb része a feltalajban (5-40 cm) helyezkedik el, ugyanakkor a vízfelvétel szempontjából jelentősek a mélyebb rétegekbe lehatoló gyökerek. Ez utóbbiak szerepe aszályos évjáratban növekszik meg, amikor a felső talajréteg hiányzó vízkészlete a mélyebb rétegekből pótolható. A 2010. év vegetációs időszakában július és október között két hetes intervallumokban hét alkalommal végeztünk 90 cm mélységig talajnedvesség vizsgálatokat a talajjellenállásnál leírt módon fűz, napraforgó és őszi búza talajában. A hét mérés átlagértékeit mutatja a 28. táblázat.

28. táblázat. Talaj nedvességtartalom (tömeg%) különböző talajhasználati rendszerekben (Gödöllő, 2010, 7 időpontban végzett mérés átlagértékei)

Mélység (cm)	Kezelés			
	Energianövény	Napraforgó	Őszi búza	SzD _{5%}
0-10	11,6±0,2a	11,1±0,3a	12,4±0,5b	0,7
10-20	11,3±0,6a	12,8±0,7b	12,5±0,3b	1,1
20-30	11,2±0,6a	12,7±0,7b	13,2±0,7b	1,3
30-40	12,3±0,1a	13,9±0,8b	14,1±1,0b	1,4
40-50	14,5±0,8	16,5±0,8	15,7±1,0	nsz
50-60	15,1±1,0	17,1±1,7	16,8±1,0	nsz
60-70	16,5±0,4	16,6±1,0	16,9±0,5	nsz
70-80	16,7±0,5	17,5±0,6	17,5±0,5	nsz
80-90	16,6±0,6a	18,3±0,4b	17,3±0,2a	0,9

nsz=nem szignifikáns

Kezeléshatás kizárólag a felső 40 cm talajrétegben figyelhető meg, ez alatt a legkisebb nedvességet minden esetben a fűz talajában mértük, azonban a különbség a 80-90 cm réteg kivételével nem szignifikáns. A napraforgó talajához képest a legfelső talajrétegben nem mutattuk ki a nedvességtartalom csökkenését, ugyanakkor az őszi búza talajában 0,8-1,1 tömeg %-kal nagyobb volt a talajnedvesség értéke. Ebben szerepet játszott az, hogy az őszi búza betakarítását követően a talajt nem fedte kultúrnövény, amely a vizet felhasználta volna, kizárólag evaporációból származó nedvesség veszteséggel kellett számolni. A fás szárú energianövények (elsősorban fűz) vízigénye jelentős, ugyanakkor a betakarítást követően is néhány hónapon belül zár az állomány, továbbá az évente felszínre kerülő 1-3 t/ha lombtömeg védő hatást fejt ki a felszínen (VERWIJST és MAKESCHIN 1996). A levélmaradványok nedvesség veszteséget csökkentő hatása egész évre kiterjed, mert legfeljebb 60-70 %-os lebomlási rátával számolhatunk (SAUERBECK, 1992).

A fás szárú energianövények ökológiai szempontú értékelése tárgyában hazai viszonyok között kevés megbízható eredmény született az elmúlt években. Az ültetvények hosszútávú

hatásának vizsgálatát akadályozza, hogy kevés 5-6 évesnél régebbi energetikai faültetvény található az országban. Jelen dolgozatban a rozsdabarna erdőtalajon fás szárú energianövény kísérletben végzett kutatások első négy éves mérései alapján megállapítható, hogy középtávon ülepedésre hajlamos termőhelyi feltételek között a talajjellenállás növekedést regisztráltak, azonban annak mértéke nem érte el a kritikus, káros mértékű tömörödési szintet. A további kutatások feladata, hogy választ kapjunk arra a kérdésre, hogy az ültetvény későbbi időszakában várható-e a talajjellenállás értékének kedvező változása kedvező körülmények között alkalmazott direktvetéshez hasonlóan.

A talajjellenállás értéke az energetikai faültetvény kísérletben meghaladta a hagyományos forgatásos és forgatás nélküli művelésben mért szintet, azonban ezek az értékek a több nemzetközi közleményben leírt korábbi eredményeket erősítik meg, amelyek alapján középtávon fás szárú energiaültetvényekben a fizikai és biológiai talajállapot javulása érhető el.

Magyarországon több százezer tonna mennyiségben képződik szennyvíziszap, amely komposztálva energianövények tápanyag-visszapótlására használható fel. A komposzttal kezelt parcellákon bizonyítottuk, hogy nedvességvesztés csökkenés érhető el, amely segíti a növényeket az esetleges szárazabb periódusok átvészelésében, továbbá megőrzi vagy javítja a talaj kedvező fizikai, biológiai állapotát.

4.6. Biomassza vizsgálatok egy energiafűz ültetvényben

A 2009. évi kétéves növekménynél a tápanyagkezeléseket összehasonlítva (SZD_{5%} 4,4) a műtrágyázás bizonyult a legjobbnak, 50,8 t/ha frisstömeggel (29. táblázat). A kontroll 38,6 t/ha és a komposzt 40,6 t/ha frisstömege között nem volt statisztikailag igazolható különbség. A kedvezőtlen termőhelyi körülmények között kétéves vágásfordulóban betakarított energetikai faültetvény hozama 2009-ben a tápanyag nélküli kontroll parcellákon is elérte (CANNEL et al. 1987, KOWALIK és RANDERSON 1994, LABERCQUE 1997, AYLOTT 2008) illetve meghaladta a nemzetközi kísérletekben mért adatokat (BULLARD 2002a, 2002b). A műtrágyázott parcellák átlaga 31,6 %-kal haladta meg a kontrollét, de a komposzt is 5,2 %-kal felülmúlta azt.

A száraztömegnél a műtrágyás kezelés 25,8 t/ha hozama szignifikánsan különbözött (SZD_{5%} 2,3) a kontroll (19,1 t/ha) és a komposzt (19,9 t/ha) eredményeitől, amelyek között nem volt

statisztikai különbség kimutatható. Ennek oka, hogy a komposztban jelenlévő tápanyagok, csak később, annak lebomlását követően váltak felvehetővé.

A nedvességtartalomnál nem találtunk szignifikáns eltérést a kezelések között. A komposzt volt a legnedvesebb (50,9 %). A kontroll 50,2 %, a műtrágyázott kezelés 49,5 % vizet tartalmazott.

29. táblázat. A 2009. évi 2 éves növekmény tápanyagkezelések szerint (t/ha)

Kezelés	Frisztömeg (t/ha)	SZD _{5%}	Száraztömeg (t/ha)	SZD _{5%}	Nedvesség tartalom (%)	SZD _{5%}
Kontroll	38,6a±1,6		19,1a±0,6		50,2±0,6	
Műtrágya	50,8b±6,4	4,4	25,8b±3,3	2,3	49,5±0,1	nsz
Komposzt	40,6a±0,5		19,9a±0,6		50,9±1,2	

A 2009. évi kétéves növekménynél a fajtákat összehasonlítva az Inger fajta adta a legnagyobb frisztömeget 48,2 t/ha-t. 40 t/ha feletti biomasszát szolgáltatott a Tora (46,4 t/ha) és a Csala (43,2 t/ha) fajta, míg a Tordis (39,6 t/ha) és Sven (39,2 t/ha) fajták biomassza-hozama nem érte el ezt az értéket (30. táblázat).

A száraztömegnél szintén igazolható volt a statisztikai különbség (SZD_{5%} 1,8). Az Inger rendelkezett a legnagyobb, 24,8 t/ha száraztömeggel. A Tora 22,9 t/ha, a Tordis 20,6 t/ha, a Csala 20,0 t/ha, a Sven 19,7 t/ha száraztömeget adott. Bár LABECQUE és TEODORESCU (2005) Kanadában fűzklónokkal éves vágásfordulóval nagyobb 2 éves szárazanyag-tömeget takarított be, esetünkben figyelembe kell azt is venni, hogy a 2009. év aszályos (392,2 mm) volt.

A fajták nedvességtartalmában szignifikáns különbség mutatkozott (SZD_{5%} 1,0). A Csala volt a legnedvesebb 53,7 % víztartalommal, míg a Tordis a legszárazabb 48,3 % nedvességtartalommal. Bár a két fajta biomasszatömege (43,2 t/ha; 39,6 t/ha) és nedvességtartalma között szignifikáns különbség volt, száraztömegük között (20,0 t/ha; 20,6

t/ha) már nem volt statisztikailag igazolható különbség kimutatható, mert a tömeg és nedvességkülönbség kiegyenlítette egymást, közel azonos száraztömeg-értéket adva.

30. táblázat. A 2009. évi 2 éves növekmény fajták szerint (t/ha)

Kezelés	Frisstömeg (t/ha)	SZD _{5%}	Száraztömeg (t/ha)	SZD _{5%}	Nedvesség tartalom (%)	SZD _{5%}
Csala	43,2a±3,8		20,0a±1,4		53,7a±1,0	
Tora	46,4ab±2,2		22,9b±0,9		50,9b±0,8	
Tordis	39,6c±4,4	3,9	20,6a±2,1	1,8	48,3c±1,2	1,0
Inger	48,2b±1,4		24,8c±1,1		48,5c±1,1	
Sven	39,2c±5,3		19,7a±2,5		49,6d±0,7	

A 2011. évi 2 éves növekmény friss tömegénél a műtrágyás kezeléstől (51,0 t/ha), alig marad el a komposztos kezelés (49,2 t/ha). A két kezelés szignifikánsan (SZD_{5%} 3,5) különbözik a kontrolltól, ahol csak 37,5 t/ha frisstömeg volt betakarítható (31. táblázat). A komposztos kezelés 2009-hez képest 21,2 %-os növekedése azzal magyarázható, hogy eddigre a benne lévő tápanyagok lejutottak a gyökérszónába. A műtrágyázásnál 0,4 %-os termésvnövekedést mértünk 2009-hez képest. A kontrollnál, mivel nem történt tápanyag kijuttatás a kísérlet teljes időtartama alatt 2011-ben 2,8 %-kal csökkent a biomassza mennyisége 2009-hez képest. 2011-ben a műtrágyázás 36,0 %-kal, a komposzt 31,2 %-kal mutatkozott jobbnak a kontrollnál.

A száraztömegnél a tendencia hasonló volt. A műtrágyás kezelés 23,6 t/ha és a komposzt 22,2 t/ha tömege statisztikailag igazolhatóan magasabb volt (SZD_{5%} 2,5), mint a kontroll 17,0 t/ha tömege.

A kezelések nedvességtartalmában nem volt szignifikáns különbség, a műtrágyás kezelés fűzfajtái 46,1 %, a kontrollé 44,9 %, míg a komposzté 44,6 % nedvességet tartalmaztak. A 2009-hez képest alacsonyabb nedvességtartalom oka a 2011. második felében fellépő aszály.

31. táblázat. A 2011. évi 2 éves növekmény tápanyagkezelések szerint (t/ha)

Kezelés	Frisztömeg (t/ha)	SZD _{5%}	Száraztömeg (t/ha)	SZD _{5%}	Nedvesség tartalom (%)	SZD _{5%}
Kontroll	37,5a±2,3		17,0a±1,6		44,9±2,8	
Műtrágya	51,0b±4,1	3,5	23,6b±3,1	2,5	46,1±2,6	nsz
Komposzt	49,2b±2,5		22,2b±1,2		44,6±0,7	

A 2011. évi 2 éves növekmény fajtáit összehasonlítva a Csala fajtánál volt a legnagyobb frisztömeg (53,6 t/ha). Az Inger 51,5 t/ha, a Tora 49,2 t/ha, a Sven 39,3 t/ha, a Tordis 35,8 t/ha biomassza-tömeget adott. (32. táblázat).

A legnagyobb száraztömeg, 24,7 t/ha a Csala fajtából volt betakarítható. A Tora száraztömege 24,0 t/ha, az Ingeré 23,3 t/ha, a Svené 17,1 t/ha, a Tordisé 15,5 t/ha volt.

A fajták nedvességtartalma között nem volt statisztikailag igazolható különbség kimutatható. A Sven volt a legszárazabb 42,9 % nedvességtartalommal, a Tora a legnedvesebb 48,8 % víztartalommal. A fajták alacsony nedvességtartalmát az aszályos 2011. év okozta. Két fajta 45 % alatti nedvességtartalommal rendelkezett – a Sven 42,9 %, a Tordis 43,1 % – ezeknél a vízhiány következtében helyenként a hajtásvég elszáradása volt megfigyelhető.

32. táblázat. A 2011. évi 2 éves növekmény fajták szerint (t/ha)

Kezelés	Frisztömeg (t/ha)	SZD _{5%}	Száraztömeg (t/ha)	SZD _{5%}	Nedvesség tartalom (%)	SZD _{5%}
Csala	53,6a±2,3		24,7a±1,6		46,0±1,2	
Tora	49,2b±3,7		24,0a±2,0		48,8±0,3	
Tordis	35,8c±5,6	4,3	15,5b±3,1	2,6	43,1±2,1	nsz
Inger	51,5ab±3,0		23,3a±1,5		45,2±2,7	
Sven	39,3c±4,9		17,1b±3,4		42,9±4,3	

A 2008. és 2010. évek csapadékosak (688,2 mm, 757,4 mm), a 2009. és 2011. évek szárazak (392,2 mm, 272,8 mm) voltak, így a 2-2 éves betakarított növekmény jól összehasonlíthatóvá vált. 2009-ben a 3 éves ültetvény 2 éves növedékének biomassza átlaga 43,3 t/ha volt, 2011-ben az 5 éves ültetvény 2 éves növedéke átlag 45,9 t/ha biomasszát biztosított. A 2010-2011. évek biomassza-tömege 6,0 %-kal haladta meg a 2008-2009. évek frisztömeget.

2009-ben a fajták átlagai között 22,9 %-os, 2011-ben 49,7 %-os hozamkülönbség mutatkozott. A Tordis és Sven fajták sem 2009-ben, sem 2011-ben nem érték el a 40,0 t/ha kétéves biomasszát, míg a Csala, Inger, Tora fajták meghaladták azt. Hasonló fajták közötti tendencia érvényesült JUREKOVÁ et al. (2011) kísérleteiben is.

A kedvezőtlen, növénytermesztés számára más módon gazdaságosan nem hasznosítható termőhelyek többsége alkalmas energetikai faültetvények telepítésére. A beruházás költséges, ezért lényeges, hogy minden termőhelyre az adott viszonyok között legnagyobb produkttal rendelkező faj, illetve fajta kerüljön. Bár a téma nemzetközi szakirodalma részletes, kevés a hazai viszonyokra adaptált kísérleti eredmény.

Vizsgálataink szerint a Gödöllői dombság kedvezőtlen termőhelyi körülményei közé telepített fűz energetikai faültetvény az aszályos évek ellenére is képes a nemzetközi kísérletekben leírt biomassza-termékumra. A vizsgált svéd fajták (Tora, Tordis, Inger és Sven) a Kárpát-medencében is a géncentrumukban mért terméseredményeket adták.

A magyar Csala fajta 2009-ben a svéd fajták átlagához hasonló biomasszát, kétéves vágásfordulóban 43,2 t/ha átlagtermést adott, a különösen aszályos 2011-es évjáratban pedig a legjobbnak bizonyult 53,6 t/ha kétéves hozamával.

50 kg/ha nitrogén műtrágya mindkét évben szignifikáns módon növelte a biomassza-tömeget. Kijuttatását a betakarítást követően tavasszal javasoljuk a területre.

A komposzt termésmenővelő hatása statisztikailag igazolható módon csak 2011-ben jelentkezett. Ennek oka, hogy tápanyagtartalma csak lassan jut le a gyökérszónába, de talajvédő funkciója miatt minden esetben javasolt a felhasználása már a telepítéstől kezdve.

A vizsgált 2-2 éves betakarítási periódusban (2008-2009, 2010-2011) mindkétszer nedves és száraz évek váltották egymást, ezért az évjáráthatások figyelembevétel további vizsgálatok szükségesek az adott termőhelynek leginkább megfelelő fűzfajta kiválasztásához.

5. Következtetések, javaslatok

A kutatási célok három fő témakört ölelnek fel, a következtetések ezt a logikát követik.

Környezet minőség javító talajművelés

Lejtős termőhelyen kialakított talajminőség javító kísérletben sajátos, korábban nem vizsgált művelés hatásokat mutattunk ki.

Megegyezően az irodalmi adatokkal, a bolygatatlan talajú direktvetésben a művelt talajokhoz képest a környezet minőséget nem veszélyeztető tömörebb állapotot mutattunk ki. A korábban rendszeresen művelt, majd a direktvetés alkalmazása során csak a vetősorban bolygatott talaj ülepedése természetes jelenség, amely a talaj új körülményekhez alkalmazkodása után folyamatosan csökken.

Az ülepedés minden bolygatott talajon bekövetkezett, de mértéke kisebb maradt, mint a nem bolygatott direktvetésben. Ugyanakkor a hosszú távú direktvetésnél talajállapot javulás várható, míg bolygatott talajon a javulás legfeljebb egy tenyészidő.

A kevésbé ismert és elterjedt bakhátas kezelésben kedvező lazultságot állapítottunk meg a felső (5-10 cm) rétegében, amely egyrészt a tavaszi bakhát kialakításnak, másrészt a kora nyári bakhát magasításnak tudható be. Ugyanakkor a művelési mélység alsó határán, a 15-20 cm rétegben nagyobb térfogattömeg értékeket mértünk, mint a hagyományos kezelésben. A tömörödés okát a bakhát kialakításra és magasításra használt művelőeszköz nyomán alakult ki. A 40-45 cm rétegben a hagyományos művelésben a direktvetésnél és a bakhátas kezelésnél határozottan kisebb térfogattömeg értékek arra utalnak, a talajkímélő módok közé esetenként az őszi szántás is besorolható.

A legfelső talajsztintben (0-10 cm) észlelt ülepedettebb állapotot a térfogattömeg mellett a talajjellenállás értékek alapján is igazoltuk. Ugyanakkor a művelés és a talajjellenállás között kevésbé szoros összefüggést állapítottunk meg, mint a művelés és a térfogattömeg értékek között, továbbá a kezeléseknél a mélység függvényében eltérő hatása volt.

A művelés talajnedvesség tartalomra gyakorolt hatásával kapcsolatban a mélység függvényében eltérő eredményeket kaptunk. A nedvességtartalom közvetlenül a felszín

közelében, a 20-30 cm és a 30-40 cm rétegben különbözött bizonyíthatóan egymástól. A 0-10 cm és 30-40 cm rétegekben a direktvetésben, a 10-30 és 40-50 cm rétegekben a hagyományos kezelésben mértünk nagyobb nedvességtartalmat. A direktvetés nagyobb nedvességtartalma egyrészt a felszíni növénymaradvány-borítottságból következő nedvességmegőrzésnek, másrészt a művelt kezelésekből az évenként elvégzett szántás nedvességvesztő hatásának valószínűsíthető eredménye. A hagyományos művelés mélyebb rétegeiben tapasztalt nagyobb nedvesség a talajszelvény kedvezően laza talajállapotából következhetett.

A bolygatatlan mintákból meghatározott vízkapacitás alapján a felvehető vízkészletben nem volt kimutatható szignifikáns különbség a direktvetés és a művelt kezelések között. Ennek megfelelően a potenciálisan felvehető nedvességet a művelés közvetlenül nem befolyásolja. Méréseink alapján a nedvességtartalom és a hasznosítható vízkészlet a direktvetés feltalajában volt a legnagyobb és a bakhátas kezelésben a legkisebb.

A terméseket változó években, és adott nedvesség mellett a talaj lazultabb állapota alakította. A direktvetésben elért termés a termőhelyet tekintve kedvezőnek minősült, ugyanakkor elmaradt a nagyobb talajbolygatással jellemezhető bakhátas és szántásos kezelésektől.

Az elért eredmények a környezet minőség javító talajművelési változatok kipróbálását, objektív értékelését segítik. A direktvetés alkalmazása ott javasolható, ahol a hosszú távú talajállapot javulást tűzik ki célul. A bakhátas művelés lejtős termőhelyek védelmét szolgálja széles sorközü növény termesztésekor. Ezért állandó bakhát kialakítását kivételes esetekben javasoljuk.

Gazdaságokban végzett három éves szántóföldi vizsgálataink alapján megállapítottuk, hogy a talaj nedvességtartalmát a 10-20 cm mélységben az alkalmazott agrotechnika, s nem az évjárat befolyásolta. A talajellenállás értékek kedvező talajnedvesség tartományban megbízhatóan mutatták a talaj lazult vagy tömörödött állapotát. A harmadik évben a művelés mélységében nem volt kimutatható súlyos ún. eketalp vagy tárcsatalp réteg.

Zöldtrágyázás, mint talajminőség javító tényező kedvezőtlen termőhelyen

Zöldtrágyanövény vizsgálataink, a növények vízfelhasználásának ellenére, a káros rögzösödés csökkenését igazolták.

Bizonyítottuk az alkalmazott talajhasználat talajszerkezet módosító hatását hosszabb időszak alatt, továbbá a szokásos művelés kedvezőtlen hatását a talaj mélyebb rétegeinek állapotára.

Adott kedvezőtlen termőhelyi körülmények között a vizsgált zöldtrágya növények (fehér mustár, olajretek, facélia) betöltötték az elvárt talajvédő és szervesanyag kímélő funkciót. A hektáronkénti biomassa és a beltartalmi paraméterek, különösen a N felvétel figyelembevételével a termőhelyre kevésbé érzékeny keresztesvirágú mustár és olajretek kedvezőbbnek bizonyult, mint a facélia.

Környezetkímélő, kisadagú (50 kg/ha) nitrogén trágyázás a vizsgált években mindegyik zöldtrágyanövényénél jelentős mértékben elősegítette a biomassa és a beltartalmi paraméterek növekedését, míg ennek hiányában a pentozán hatástól szenvedő növényállományt kaptunk. A nitrogén műtrágyázást mindhárom növény jól hasznosította, a biomasszában többszörösére nőtt a hektáronkénti N-tartalom. A nitrogén hatóanyag jelentősen elősegítette a foszfor és a kálium felvételét is.

Eredményeink alapján az adott termőhelyen másodvetésű zöldtrágyázásnál lehetőség szerint minden esetben, de a kalászosok szalmájának helyben hagyásakor feltétlenül javasolandó a nitrogénkijuttatás.

A környezet és gazdálkodás minőség javító energianövény termesztés

Energianövény-termesztési kísérleteinkben a környezeti terhelések jelentős része az intenzív művelésből - műtrágyázás, vegyszeres növényvédelem és gépüzem – adódik. A növény biomassa hozama, talajtakaró hatása azonban tompíthatja e környezetterheléseket.

Eredményeink egyértelműen mutatják, hogy az intenzívebb művelés jelentősen rontja a növénytermesztés környezeti mutatóit és terheli a környezetet. Ennek következtében a hagyományos szántóföldi termesztett növényfajok mind energiahatékonyság, mind környezetterhelésük szempontjából kedvezőtlenebbek, mint a fás szárú energiaültetvények.

Az energiahatékonyság tekintetében mintegy kétszeres, az ÜHG potenciált illetően több mint nyolcszoros, a savasodási potenciál esetében pedig több mint tízszeres a különbség a szántóföldi gabonák és a fűz energiaültetvény kibocsátásai között 1 t terményre vonatkoztatva.

Eddigi kutatási eredményeink alapján javasolható az energiaültetvények összehasonlítása hasonló alapanyagot előállító földhasználatokkal, például a hagyományos erdőgazdálkodás során történő tűzifatermeléssel, valamint más technológiával megvalósuló fás vagy lágy szárú energianövény-termesztéssel.

A kedvezőtlen, növénytermesztés számára más módon gazdaságosan nem hasznosítható termőhelyek többsége alkalmas energetikai faültetvények telepítésére. A beruházás költséges, ezért javasoljuk, hogy minden termőhelyre az adott viszonyok között legnagyobb produkttal rendelkező faj, illetve fajta kerüljön.

Vizsgálataink szerint a Gödöllői dombság kedvezőtlen termőhelyi körülményei közé telepített fűz energetikai faültetvény az aszályos évek ellenére is képes a nemzetközi kísérletekben leírt biomassza-produktumra. A vizsgált skandináv fűz fajták a Kárpát-medencében is a géncentrumukban mért terméseredményeket adták. A vizsgált magyar energiafűz fajta a svéd fajták átlagához hasonló biomasszát adott, azonban aszályos évjáratban a legjobbnak bizonyult.

A komposzt termésmenővelő hatása statisztikailag igazolható módon nem minden vizsgálati évben volt tapasztalható. Ennek oka, hogy tápanyagtartalma csak lassan jut le a gyökérszónába, ugyanakkor a talajvédő funkciója miatt minden esetben javasolt a felhasználása már a telepítéstől kezdve.

Kutatásaink során a vizsgált 2-2 éves energiafűz betakarítási periódusban mindkét évben nedves és száraz évek váltották egymást, ezért az évjárathatások figyelembevétel további vizsgálatok szükségesek az adott termőhelynek leginkább megfelelő fűzfajta kiválasztásához.

6. Új tudományos eredmények

Környezet minőség javító művelési kutatások új tudományos eredményei:

Lejtős termőhelyen, tízéves művelési tartamkísérletben a bolygatatlan talajú direktvetésben a művelt talajokhoz képest a környezet minőséget nem veszélyeztető tömörebb állapotot igazoltunk. A direktvetésben a feltalaj tömörödése 66-114 %-kal haladja meg a bolygatott talajokét. Bizonyítottuk, hogy a korábban rendszeresen művelt, majd a direktvetés alkalmazása során csak a vetősorban bolygatott talaj ülepedése természetes jelenség, amelynek mértéke a talaj új körülményekhez alkalmazkodása után folyamatosan csökken.

Megállapítottuk, hogy a bolygatott talajon bekövetkezett ülepedés a lazító műveléseket követően a csapadék mennyiségétől függetlenül bekövetkezik, és a mértéke kisebb a nem bolygatott direktvetésben tapasztaltnál. A talajnak a művelés utáni és tenyészidei lazultság különbsége adja azt a természeti előnyt, amellyel a direktvetésre jellemző állapot nem rendelkezik az első években. Igazoltuk a direktvetésre jellemző talajon a hosszabb időszak alatt bekövetkezett állapot javulást, továbbá a bolygatott talajon a lazult állapot legfeljebb egy tenyészideig tartó hatását.

A kevésbé ismert és elterjedt bakhátas kezelésben műveléshatásnak betudható kedvező lazultságot igazoltunk a felső (5-10 cm) rétegben. A művelési mélység alsó határán, a 15-20 cm rétegben nagyobb térfogattömeg értékek a bakhát kialakítása és magasítása révén alakultak ki, amely a módszer kritikus pontja lehet. A 40-45 cm rétegben a hagyományos művelésben a direktvetésnél és a bakhátas kezelésnél kisebb térfogattömeg értékek a szántás nem általánosítható, és esetenkénti kedvező hatását bizonyítják.

A talajállapot jellemzésére az általánosan alkalmazott térfogattömeg értékek mellett a nemzetközi szakirodalomban mind elterjedtebb talajellenállás értékek alkalmazása bizonyítást nyert. A talajellenállás értékek a talajnedvesség értékekkel együtt használhatók objektív állapot jellemzésre.

Csernozjom barna erdőtalajon három év folyamatos mérései alapján igazoltuk a szántásos művelés talpképző hatását. Mivel a tömörödés mértéke a művelt réteg alatt az egyes években, és a harmadik év végén sem érte el a kritikus szintet, e tipikus állapothiba kockázata hagyományos művelési rendszer alkalmazása esetén is megbízhatóan csökkenthető.

Agronómiai szerkezetvizsgálatokkal a hagyományos művelésről általánosan megfogalmazott előnyök igazolhatók. Adott, közép-kötött talajon a vetésváltás morzsavedelemre gyakorolt kedvező hatása igazolható volt.

Talajművelési kísérleteinkben az évhatás vizsgálatok során igazolódott a legfelső talajréteg klíma-kitettsége, amelyet talajnedvesség- és talajjellenállás vizsgálatok eredményei támasztottak alá. A fizikai talajállapot vizsgálati eredmények nyomán megállapítást nyert, hogy a talaj kímélése a hagyományos talajművelés szakszerű végrehajtása esetén is biztosítható a rendszerre jellemző szintig.

Zöldtrágyázással kapcsolatos kutatásaink új tudományos eredményei:

Megállapítottuk, hogy a zöldtrágyázás talajra gyakorolt hatása a klímával összefüggésben szélsőséges. A talajállapotra gyakorolt hatás különösen csapadék hiányos tenyészidőben kritikus. A nagyobb talajjellenállás miatt a növényekkel borított parcellák művelése nehezebb, mint a vetetlen kontrolé.

A zöldtrágyanövények kedvező hatása valójában kedvező utóhatás, amely azt jelenti, a talajba dolgozásakor fennálló tömörebb talajállapot 3 hónap elteltével megszűnik, és a feltáródásnak köszönhetően igazolhatóan kedvezőbbé válik a lazultság és talajnedvesség a vetetlen kontrolhoz képest.

Bizonyítottuk, hogy kedvezőtlen termőhelyi körülmények között az egyszeri zöldtrágyázásnak, a képződő nagymennyiségű 30-60 t/ha zöldbiomassza ellenére nincs az utónövényre termésmnövelő hatása, pozitív hatás csak többszöri alkalmazásával érhető el.

A fő- és másodvetésű zöldtrágyanövényekre eltérően hatnak a hasonló környezeti paraméterek. A szárazanyag-tömeg szoros korrelációt mutat a csapadék-hőviszony, és a bioklimatikus indexszel, illetve a hidrotermikus koefficienssel. Az évjárathatás ismeretében jól modellezhető a várható biomassza.

Környezetkímélő, kis mennyiségű – 50 kg/ha nitrogéntrágyázás – jelentősen elősegíti a másodvetésű zöldtrágyanövények fejlődését, és nagymértékben 1,9-4,0-szeresére növeli

produktumukat. Kimutattuk, hogy 1 kg többlet nitrogén jelentős fajlagos biomassa és NPK tartalom növekedést biztosít. Igazoltuk, hogy nitrogén-kiegészítés nélkül gyenge adottságú termőhelyen nem érhető el az elégséges biomassa.

Az energianövény-termesztési kutatások új tudományos eredményei:

Kutatásaink szerint a fás és lágyszárú energianövények telepítésével bővíthető az energetikai biomassa kínálat, amely tehermentesítheti az erdészeti forrású biomasszát, valamint lehetővé teszi a szántóföldi növénytermesztés melléktermékeinek ökológiai rendszeren belüli visszaforgatását.

Megállapítottuk, hogy az energetikai faültetvények ökológiai szempontból közel állnak a telepített egyfajú fiatal erdőhöz. Környezetterhelésük alacsony, mivel a legintenzívebb faültetvény bármely más mezőgazdasági használathoz képest extenzívnek minősül.

Bizonyítottuk, hogy termőhelytől függően a szennyvíziszap eredetű komposztok felhasználásával a fás szárú energianövények tápanyag-visszapótlása 80-100 %-ban biztosítható, nedvességvesztés csökkentő hatású, gyomnövekedést korlátozó hatású.

Az energetikai faültetvények jelentős környezeti, ökológiai hatással bírnak, mivel az évenként változó szántóföldi kultúrákkal szemben 15-20 évre stabilitást jelentenek az adott táblának. Kutatási eredményeink az ültetvények kedvező hatását bizonyították a környező területek ökoszisztémájára.

Kutatásaink során meghatároztuk a fontosabb fásszárú rövid vágásfordulójú növények fajkiválasztásának módszereit, valamint optimális termesztéstechnológiáját. Meghatároztuk a termesztés talajminőségre gyakorolt hatásait, valamint esetleges ökológiai és gazdasági kockázatát.

7. Irodalomjegyzék

- ABAWI, G. S. – WIDMER, T. L. (2000): Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. *Applied Soil Ecology*. 15. 37-47.
- AHMAN, I. – WILSON, F. (2008): Symptoms of pests rust and other disorders on leaves of willow fertilised with wastewater, urine or sewage sludge. *Biomass and Bioenergy* 32. 1001-1008.
- AJTAY Ö. (1957): A homok javítása és hasznosítása. *Magyar Mezőgazdaság*. 12. 12-13. 10-11.
- AJTAY Ö. (1959): A csillagfürt zöldtrágyázás agrotechnikája. *Magyar Mezőgazdaság*. 14. 6. 8.
- AKI (2009): Tájékoztató jelentés a nyári mezőgazdasági munkákról (2009. augusztus 10-i operatív jelentések alapján). AKI. Budapest.
- ALLISON, M. F. – ARMSTRONG, M. J. – JAGGARD, K. W. – TODD, A. D. (1998a): Integration of nitrate cover crops into sugarbeet (*Beta vulgaris*) rotations. I. Management and effectiveness of nitrate cover crops. *Journal of Agricultural Science*. Cambridge. 130. 53-60.
- ALLISON, M. F. – ARMSTRONG, M. J. – JAGGARD, K. W. – TODD, A. D. (1998b): Integration of nitrate cover crops into sugarbeet (*Beta vulgaris*) rotations. II. Effect of cover crops on growth, yield and N requirement of sugarbeet. *Journal of Agricultural Science*. Cambridge. 130. 61-67.
- ANDRASKI, T. W. – BUNDY, L. G. (2005): Cover crop effects on corn yield response to nitrogen on an irrigated sandy soil. *Agronomy Journal*. 97. 1239-1244.
- ANTAL J. (1964): Zöldtrágyázás alföldi homokon. *Magyar Mezőgazdaság*. 19. 47. 6-7.
- ANTAL J. (2000): Növénytermesztők zsebkönyve. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- ASTIER, M. – MAASS, J. M. – ETCHEVERS-BARRA, J. D. – PENA, J. J. – LEÓN GONZALES, F. (2006): Short-term green manure and tillage management effects on maize yield and soil quality in an Andisol. *Soil and Tillage Research*. 88. 1-2. 153-159.
- AULAKH, M. S. – KHERA, T. S. – DORAN, J. W. – BRONSON, K. F. (2001): Managing crop residue with green manure, urea, and tillage in rice-wheat rotation. *Soil Science Society of America Journal*. 65. 820-827.
- AYLOTT, M. J. – CASELLA, E. – TUBBY, I. – STREET, N. R. – SMITH, P. – TAYLOR, G. (2008): Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short-rotation coppice in the UK. *New Phytologist*. 178. 358-370.
- BAI A. – LACKNER Z.- MAROSVÖLGYI B. – NÁBRÁDI A. (2008): A biomassza felhasználása. Szaktudás Kiadó. Budapest.
- BALLENEGGER R. – BITTERA M. – CSIKY J. – DICENTY D. – HALÁCS Á. – VILLAX Ö. – ZUCKER F. (1936): A talaj termőerejének fenntartásáról és a műtrágyázásról. Az Országos Mezőgazdasági Kamara Talajtani és Műtrágyázási Osztályának Kiadványai. 8. szám. Budapest.
- BARÁTH CS-NÉ. – ITTÉS A. – UGRÓSDY GY. (1996): *Biometria*. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- BARCZI, A. – JOÓ, K. – PETŐ, Á. – BUCSI, T. (2006): Survey of the buried paleosoil under the Lyukas-mound in Hungary. *Eurasian Soil Science*, 39, Suppl. 1., 133-140.
- BARKÓCZY ZS. – CSERNYI R.- IVELICS R. (2007): Energetikai faültetvények tervezése és kivitelezése. Kézirat. Sopron.
- BAUER F. (1973): Tarlónapraforgó zöldtrágyázási kísérletek vetésforgóban Duna-Tisza közeli lepelhomok talajon. *Növénytermelés*. 22. 2. 157-172.

- BAUER, P. J. – ROOF, M. E. (2004): Nitrogen, aldicarb, and cover crop effects on cotton yield and fiber properties. *Agronomy Journal*. 96. 369-376.
- BEESE, F. (1990): Bodenbewirtschaftung aus ökosystemarer Sicht. *Landwirtschaftliches Jahrbuch* 67. Jhrg. – Sonderheft, 18-32.
- BEGLEY, D.–MCCRACKEN, A. R.– DAWSON, W. M.– WATSON, S. (2008): Interaction in Short Rotation Coppice willow, *Salix viminalis* genotype mixtures. *Biomass and Bioenergy*, 28. 57-66.
- BEKE D. (2006): Talajtömörödés és nedvességtartalom vizsgálat szántóföldi tartamkísérletekben. Doktori (PhD) értekezés. Keszthely
- BELÁK S. (1953): Kettőstermesztési kísérletek. *Agrártudomány*. 5. 6. 165-169.
- BENCSIK K. (2009): Talajhasználati módszerek értékelése talajvédelmi szempontból. Doktori (PhD) értekezés. Gödöllő
- BERZSENYI Z. (2002): Az agrotechnikai kutatások szerepe a jövő multifunkcionális mezőgazdaságában. Ötven éves az *Acta Agronomica Hungarica*. A növénytermesztés szerepe a jövő multifunkcionális mezőgazdaságában. Ed.: Sutka J., Veisz O. MTA MGKI, Martonvásár. 9. 39-47.
- BERZSENYI Z. (2003): Crop Production Research in Multifunctional Agriculture. *Acta Agronomica Hungarica* 51:(1) 91-99.
- BIRKÁS M. – GYURICZA CS. (2004): A talajhasználat és a klimatikus hatások kapcsolata. 10-46. p. In: Birkás M. – Gyuricza Cs. /Eds./: Talajhasználat – Műveléshatás – Talajnedvesség. Quality-Press Nyomda & Kiadó Kft
- BIRKÁS M. – STINGLI A. – FARKAS CS. – BOTTLIK L. (2009): Összefüggés a művelés eredetű tömörödés és a klímakárok között. *Növénytermelés* 58. 3. 5-26.
- BIRKÁS M. (1995): Energiatakarékos, talajvédő és kímélő talajművelés. GATE KTI Egyetemi jegyzet, Gödöllő
- BIRKÁS M. (1997): A talajhasználat és talajművelés EU-konform fejlesztésének területei, rövid és hosszú távú teendői, “ZöldBelépő: EU-csatlakozásunk környezeti szempontú vizsgálata”, MTA Stratégiai kutatási program, Budapest, 34 p.
- BIRKÁS M. (2000): A talajtömörödés helyzete Magyarországon. Következményei és enyhítésének lehetőségei. MTA Doktori Értekezés, Budapest
- BIRKÁS M. /Ed./ (2002): Környezetkímélő és energiatakarékos talajművelés. Akaprint Nyomdaipari Kft.
- BIRKÁS M. /Ed./ (2006): Földművelés és földhasználat. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- BIRKÁS M.– JOLÁNKAI M.– GYURICZA CS.– PERCZE A. (2004): Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. *Soil Till. Res.*, 78. 185-196.
- BIRKÁS M. /Ed./ - ANTOS G. – NEMÉNYI M. – SZEMŐK A. (2008): Environmentally-sound adaptable tillage. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- BIRKÁS M. (2001): Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban. Akaprint Kiadó, Budapest, 106-108.
- BIRKÁS M. (2008): Kinek fontos, mi lesz a talajainkkal? *Agrofórum*. 19- 9. 33-35.
- BITTERA M. (1924): Szerves trágyák. Az istállótrágya, zöldtrágya és a komposzt. *Gazdasági Tanácsadó*. 23. szám. Atheneum Irodalmi és Nyomdaipari Rt. Budapest.
- BITTERA M. (1935): A talajerő fenntartása a mezőgazdasági válság idején. *Magyaróvár*.
- BLANCO-C, H. – LAL, R. (2007): Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. *Soil & Tillage Research* 95: 240-254. p.
- BLASKÓ L. – BALOGH I. – ÁBRAHÁM É. B. (2008): Possibilities of sweet sorghum production for ethanol on the Hungarian plain. *Cereal Research Communications*, 36. Suppl. 1251-1254 pp.

- BOHOCZKY F.(2005): Megújuló energiaforrások magyarországi felhasználása. Előadás. In: BME Kiegészítő Képzés, Bp.
- BROWN, R. E. – VARVEL, G. E. – SHAPIRO C. A. (1993): Residual effects of interseeded hairy vetch on soil nitrate-nitrogen levels. *Soil Science Society of America Journal*. 57. 121-124.
- BULLARD, M. J. – MUSTILL, S. J. – CARVER, P. – NIXON, P. M. I. (2002b): Yield improvements through modification of planting density and harvest frequency in short rotation coppice *Salix* spp. – 2. Resource capture and use in two morphologically diverse varieties. *Biomass and Bioenergy*. 22. 27-39.
- BULLARD, M. J. – MUSTILL, S. J. – MCMILLAN, S. D. – NIXON, P. M. I. – CARVER, P. – BRITT, C. P. (2002a): Yield improvements through modification of planting density and harvest frequency in short rotation coppice *Salix* spp. – 1. Yield response in two morphologically diverse varieties. *Biomass and Bioenergy*. 22. 15-25.
- BURKET, J. Z. – HEMPHILL, D. D. – DICK, R. P. (1997): Winter cover crops and nitrogen management in sweet corn and broccoli rotations. *HortScience* 32. 664-668.
- CAMBELL, P. G. C. – STOKES, P. M. – GALLOWAY, J. N. (1983): The effect of atmospheric deposition on the geochemical cycling and biological availability of metals. In: *Heavy Metals in Environment*. Heidelberg International Conf. CEP Consultants, Edinburgh, 2. 760-763.
- CANNELL, M. G. R. – MILNE, R. – SHEPPARD, L. J. – UNSWORTH, M. H. (1987): Radiation interception and productivity of willow, *Journal of Applied Ecology*. 24. 261–278.
- CATO, M. P. (Kr. e. II. sz. – 1966): *De Agri Cultura* (A földművelésről). Akadémiai Kiadó. Budapest.
- CAVIGELLI, M. A. – THIEN, S. J. (2003): Phosphorus bioavailability following incorporation of green manure crops. *Soil Science Society of America Journal* 67. 1186-1194.
- CHERR, C. M. – SCHOLBERG, J. M. S. – MCSORLEY, R. (2006): Green manure as nitrogen source for sweet corn in warm-temperate environment. *Agronomy Journal*. 98. 1173-1180.
- CLARK, A. J. – DECKER, A. M. – MEISINGER, J. J. – MCINTOSH, M. S. (1997a): Kill date of vetch, rye, and a vetch-rye mixture: I. Cover crop and corn nitrogen. *Agronomy Journal*. 89. 427-434.
- CLARK, A. J. – DECKER, A. M. – MEISINGER, J. J. – MCINTOSH, M. S. (1997b): Kill date of vetch, rye, and a vetch-rye mixture: II. Soil moisture and corn yield. *Agronomy Journal*. 89. 434-441.
- CLARK, A. J. – DECKER, A. M. – MEISINGER, J. J. (1994): Seeding rate and kill date effects on hairy vetch-cereal rye cover crop mixtures for corn production. *Agronomy Journal*. 86. 1065-1070.
- COLUMELLA, L. I. M. (Kr u. 62 – 2005): *A mezőgazdaságról* (De Re Rustica). Lectum Kiadó. Szeged.
- CREAMER, N. G. – BENNETT, M. A. – STINNER, B. R. (1997): Evaluation of cover crop mixtures for use in vegetable production systems. *HortScience*. 32. 866-870.
- CSAPÓ L. (1895): Zöldtrágyázási célokra mely növények a legajánlatosabbak? *Köztelek*. 5. 7. 149.
- CSATHÓ P. (2003): Investigation of factors influencing in winter wheat responses to P application obtained in the database of Hungarian field experiments published between 1960 and 2000. *Növénytermelés*. 52. 6. 679-701 pp.
- CSERHÁTI S. – KOSUTÁNY T. (1887): *A trágyázás alapelvei*. Országos Gazdasági Egyesület Könyvkiadó Vállalata. Budapest.
- CSERHÁTI S. (1892): A zöldtrágyázás. *Mezőgazdasági Szemle*. 10. 8. 354-360.
- CSERHÁTI S. (1896): *Az okszerű talajművelés alapelvei*. Pátria Rt. Nyomdája, Budapest

- CSERHÁTI S. (1897): Ujabb tapasztalatok a trágyázás köréből. Czéh Sándor-féle Könyvnyomda. Magyar-Óvár.
- DACHLER, M. – KÖCHL, A. (2003): Effects of long-term crop rotations, preceding crops, N-fertilization and crop residue incorporation on yield and protein content of winter wheat and following spring barley. *Die Bodenkultur*. 54. 1. 23-24.
- DARÓCZI S. (2005): Talajtömörségmérő műszer. Szarvas. Kézirat. 4.
- DARÓCZI S. – LELKES J. (1999): A szarvasi PENETRONIK talajvizsgáló nyomószonda alkalmazása. *Gyakorlati Agroforum* 10. 7. 16-18.
- DECKER, A. M. – CLARK, A. J. – MEISINGER, J. J. – MULFORD F. R. – MCINTOSH, M. S. (1994): Legume cover crop contributions to no-tillage corn production systems. *Agronomy Journal*. 86. 126-135.
- DEGREGORIO, R. (1995): Bigflower vetch and rye versus rye alone as a cover crop for no-till sweet corn. *Journal of Sustainable Agriculture*. 5. 7-18.
- DEMO, M. – FAZEKAS, A. – HAUPTVOGL, M. – SKLADAN, B. – TÓTHOVÁ, M. (2011): Produkčný a anergický potenciál švédskych odrôd rýchlorastúcej enrgetickej dreviny rodu *Salix* pestovanej v suchších pôdno-klimatických podmienkach juhozápadného Slovenska. *SPU Nitra*. 110.
- DEXTER, A. R. – BIRD, N. R. A. (2001): Methods for predicting the optimum and the range of water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil & Tillage Research* 57: 203-212.
- DEXTER, A. R. (2002): Soil structure: the key to soil function. *Adv. GeoEcology* 35: 57-69.
- DOBÓ, E. – FEKETE-FARKAS, M. – KUMAR SINGH, M. – SZŰCS, I. (2006): Ecological-economic analysis of climate change on food system and agricultural vulnerability: a brief overview. *Cereal Research Communications*, 34:1. 777-781.
- FABRIZZI, K. P. – GARCÍA, F. O. – COSTA, J. L. – PICONE, L. I. P. (2005): Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil & Tillage Research* 81: 57-69. p.
- FARKAS CS. (2001): A talajnedvesség-forgalom modellezése a talajfizikai tulajdonságok területi változatosságának és szezonális dinamikájának tükrében. Doktori (Ph.D) értekezés, Budapest.
- FARKAS, C. – RANDRIAMAMPINANINA, R. – MAJERCKA, J. (2005): Modelling impacts of different climate change scenarios on soil water regime of a mollisol. *Cereal Research Communication*, 34: 1. 185-188.
- FENYVES T. (1996): A fenntartható gazdálkodás néhány agronómiai feltétele, különös tekintettel a művelés hatásra, a gyomosságra és a trágyázásra. Doktori (PhD) értekezés. Gödöllő
- FILEP GY. (1986): A talajszerkezet fenntartása és javítása. In: DALOCSA I. /Ed./: Talajtermékenység javítása. Nemzetközi Tudományos Tanácskozás, Szolnok. 263-283. p
- FISCHLER, M. – WORTHMANN, C. S. – FEIL, B. (1999): *Crotalaria* (*C. ochroleuca* G. Don.) as a green manure in maize-bean cropping systems in Ugand. *Field Crops Research*. 61. 97-107.
- FÖLDESI P. (2013): Alkalmazkodó, környezetkímélő talajművelés feltételeinek megteremtése szántóföldi körülmények között. Doktori (PhD) értekezés. SZIE, Gödöllő.
- FRISCHNECHT, R. – JUNGBLUTH, N. /Eds./ (2007): Overview and Methodology. *Ecoinvent Report No. 1*. Ecoinvent Centre, Dübendorf, 77.
- FÜLEKY GY. (1999): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- GECSE M. (2005): Művelés-hatások értékelése fizikai paraméterekkel tartamkísérletekben és szántóföldi körülmények között. Doktori (PhD) értekezés. Gödöllő
- GRIFFIN, T. S. – HESTERMAN, O. B. (1991): Potato response to legume and fertilizer nitrogen sources. *Agronomy Journal*. 83. 1004-1012.

- GYÁRFÁS J. (1916): A zöldtrágyázás. A „Mosonvármegye” könyvnyomdája Magyaróvárott. Mosonmagyaróvár.
- GYÁRFÁS J. (1922). Sikeres gazdálkodás szárazságban. Magyar dry farming. Pátria Nyomdai Rt. Budapest
- GYÁRFÁS J. (1929): A zöldtrágya és alkalmazása. „Pátria” Irodalmi Vállalat és Nyomdai Részvénytársaság. Budapest.
- GYÁRFÁS J. (1953): A zöldtrágyázás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- GYARMATI Á. (2005): A fenntartható fejlődés fogalmától az agrár-környezetgazdálkodási támogatásokig. Agrártudományi Közlemények 16. (különszám) 354-361.
- GYÖRFFY B. (1958): A zöldtrágyák használatáról. Agrártudomány. 10. 6. 9-15.
- GYÖRFFY B. (2001): Javaslat a precíziós agrárgazdaság kutatási programjának indítására. A Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztályának 2000. évi Tájékoztatója. Budapest, pp. 17-22.
- GYÖRI Z. – KÓNYA É. (2012): Food safety – Water management. Növénytermelés, 61. Suppl. 427-430.
- GYURICZA CS. (2000): Az értékörző és hagyományos talajművelés egyes fizikai és biológiai hatásainak értékelése. Doktori (Ph.D) értekezés, SZIE Gödöllő.
- GYURICZA CS. (2001b): A fenntartó talajművelés talajfizikai és biológiai alapjai. 71-98. IN: Birkás M. /Ed./: Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban. Akaprint Nyomdaipari Kft. Budapest. 292.
- GYURICZA CS. (2004): A szántóföldi talajhasználat és az üvegházhatás összefüggései mért adatok alapján. 47-60. In: Birkás M. – Gyuricza Cs. /Eds/: Talajhasználat – Műveléshatás – Talajnedvesség. Quality-Press Nyomda & Kiadó Kft.
- GYURICZA CS.–FARKAS CS.–BARÁTH CS.–NÉ, –BIRKÁS M. – MURÁNYI A. (1998): A penetrációs ellenállás vizsgálata talajművelési tartamkísérletekben gödöllői barna erdőtalajon. Növénytermelés 47. 2. 199-212.
- GYURICZA CS.-HEGYESI J. – KOHLHEB N. (2011): Rövid vágásfordulójú fűz (*Salix sp.*) energiaültetvény termesztésének tapasztalatai és életciklus-elemzésének eredményei Növénytermelés 60. 2. 45-65.
- GYURICZA, CS. (2007): Cultivating woody energy crops for energetic purposes. Biowaste. 2. 4. 25-32.
- HAKANSSON, I. (1990): A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. Soil & Tillage Research 16: 105–120.
- HAMZA, M. A. – ANDERSON, W. K. (2005): Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. Soil & Tillage Research 82: 121–145.
- HELLER M.C. – KEOLEIAN G. A. –VOLK T. A. (2003): Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system. Biomass and Bioenergy 25: 147-165.
- HERMAVAN, B. – CAMERON, K. C. (1993): Structural changes in a silt loam under long-term conventional or minimum tillage. Soil & Tillage Research 26: 139-150.
- HONEYCUTT, C. W. – CLAPHAM, W. M. – LEACH, S. S. (1996): Crop rotation and nitrogen fertilization effects on growth, yield and disease incidence in potato. American Potato Journal. 73. 45-61.
- HUNTINGTON, T. G. – GROVE, J. H. – FRYE, W. W. (1985): Release and recovery of nitrogen from winter annual cover crops in no-till corn production. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 16. 193-211.
- IVELICS R. (2006): Minirotációs energetikai faültetvények termesztés-technológiájának hasznosításának fejlesztése Sopron, doktori értekezés
- JAHN-DESBACH, W. (1965): Aufgaben und Probleme der Gründung im modernen Ackerbau. Boden und Pflanze. 12. Ruhr-Stickstoff Aktiengesellschaft. Bochum. 27-58.

- JOLÁNKAI M. – NYÁRAI H.F. – KASSAI K. (2009): A tartamkísérletek szerepe a növénytermesztési kutatásban és oktatásban. In: Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében. Eds: Berzsényi Z. – Árendás T. MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete. Martonvásár. 31-36.
- JOLÁNKAI M. (2009): Energetikai növénytermesztés környezet- és talajvédelmi aspektusai, MTA SZIE Agronómiai Kutatócsoport. AKAPRINT Kiadó. Budapest
- JONES R. J. A. – MONTANARELLA, L. /Eds./ (2003): Land Degradation. EC JRC. Ispra.
- JÓZEFACIUK, G. – MURÁNYI, A. – SZATANIK-KLOC, A. – FARKAS, CS. – GYURICZA, CS. (2001): Changes of surface, fine pore and variable charge properties of a brown forest soil under various tillage practices. *Soil Till. Res.* 1573, 1-9.
- JUREKOVÁ, Z. – DRAZIC, G. – KOTRLA, M. – MARISOVÁ, E. – MILOVANOVIC, J. – TÓTHOVÁ, M. – KONCEKOVÁ, L. (2011): Biological factors influencing the growth and biomass production of willows planted in Southern Slovakia. *Acta Regionalia et Environmentalica.* 2. 47-52.
- KÁDÁR, I. – RAGÁLYI, P. (2012): Atmospheric precipitation as plant nutrient source. *Növénytermelés.* 61. Suppl. 187-190 pp.
- KAHNT G. (1986): Zöldtrágyázás. Mezőgazdasági kiadó. Budapest.
- KÄNKÄNEN, H. – ERIKSSON, C. (2007): Effects of undersown crops on soil mineral N and grain yield of spring barley. *European Journal of Agronomy.* 27. 25-34.
- KARA, E. – PENEZOGLU, M. (2000): The effect of green manuring on soil organic content and soil biological activity. *Anadolu.* 10. 1. 73-86.
- KÁTAI J. (1992): Kölsönhatások a talajtulajdonságok, néhány agrotechnikai eljárás és a mikrobiológiai aktivitás között. Kandidátusi értekezés. Debrecen.
- KÁTAI J. (1999): Talajmikrobiológiai jellemzők változása trágyázási tartamkísérletben. *Agrokémia és Talajtan.* 48. 3-4. 348-359.
- KELLER, T. – ARVIDSSON, J. – DEXTER, A. R. (2007): Soil structures produced by tillage as affected by soil water content and the physical quality of soil. *Soil & Tillage Research* 92: 45-52. p
- KELLOGG, C. E. (1957): We seek, we learn. In: *Soil. Ed.: I.* Stafford. USDA, Washington D.C. 1-10 pp.
- KEMENESY E. (1959a): Talajerőgazdálkodás. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- KEMENESY E. (1959b): A műtrágyázás újabb biológiai irányai. *Nemzetközi Mezőgazdasági Szemle.* 6. 46-53.
- KEMENESY E. (1964): Talajművelés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 164 p.
- KERPELY K. (1895): A zöldtrágyázásról. *Köztelek.* 5. 103-104. 2055-2056.
- KÉSMÁRKI I. – PETRÓCZKI F. (2003): Komposztálás-zöldtrágyázás. *Agro Napló.* 7. 7. 11-13.
- KIM, S. J. – GUTIERREZ, J. – KIM, P. J. (2012): Considering winter cover crop selection as green manure to control methane emission during rice cultivation in paddy soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 161. 130-136.
- KINYANGI, J. M. – SMUCKER, A. J. M. – MUTCH, D.R. – HARWOOD, R. R. (2001): Managing cover crops to recycle nitrogen and protect ground-water. *Bulletin E-2763.* Michigan State University Extension. East Lansing.
- KIRKEGAARD, J. A. – SO, H. B. – TROEDSON, R. J. – WALLIS, E. S. (1992): The effect of compaction on the growth of pigeonpea on clay soils. I. Mechanisms of crop response and seasonal effects on a Vertisol in a sub-humid environment. *Soil & Tillage Research* 24: 107-127. p.
- KISMÁNYOKY T. (1993): A zöldtrágya. In: Nyíri L. *Földműveléstan.* 225-229. Mezőgazda Kiadó. Budapest.

- KISS ZS. P. (2002): Mezőgazdasági gumiabroncsok talajfizikai hatásainak vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen
- KOHLHEB N. – PATAKI GY. – PORTELEKI A. – SZABÓ B. (2010): A megújuló energiaforrások társadalmi hasznosságának értékelése. Tanulmány. ESSRG Kft. 48.
- KORMOSNÉ K. K. (2008): Környezettudatosság és a támogatások szerepe az ökológiai gazdálkodást folytató egyéni gazdaságokban. Doktori (PhD) értekezés, Debrecen.
- KOWALIK, P. J. – RANDERSON, P. F. (1994): Nitrogen and phosphorus removal by willow stands irrigated with municipal waste water – a review of the polish experience. *Biomass Bioenergy*. 6.133–139.
- KUO, S. – SAINJU, U.M. – JELLUM, E. J. (1997): Winter cover cropping influence on nitrogen in soil. *Soil Science Society of America Journal*. 61. 1392-1399.
- LABARTA, R. – SWINTON, S. M. – BLACK, J. R. – SNAPP, S. – LEEP, R. (2002): Economic analysis approaches to potato-based integrated crop systems: Issues and methods. Staff Paper 02-32. Department of Agricultural Economics. Michigan State University. East Lansing.
- LABRECQUE, M. – TEODORESCU T. I. (2005): Field performance and biomass production of 12 willow and poplar clones in short-rotation coppice in southern Quebec (Canada). *Biomass and Bioenergy*. 29. 1-9.
- LABRECQUE, M. – TEODORESCU, T. I. – DAIGLE, S. (1997): Biomass productivity and wood energy of *Salix* species after 2 years growth in sric fertilized with wastewater sludge. *Biomass and Bioenergy*. 12. 6. 409-417.
- LADHA, J. K. – DAWE, D. – VENTURA, T. S. – SINGH, U. – VENTURA, W. – WATANABE, I. (2000): Long-term effects of urea and green manure on rice yields and nitrogen balance. *Soil Science Society of America Journal*. 64. 1993-2001.
- LADHA, J. K. – KUNDU, D. K. – ANGELO-VAN COPPENOLLE, M. G. – PEOPLES, M. B. – CARANAGEL, V. R. – DART, P. J. (1996): Legume productivity and soil nitrogen dynamics in lowland rice-based cropping systems. *Soil Science Society of America Journal*. 60. 183–192.
- LAL, R. – STEWART, B.A. (1990): Soil degradation. A global threat. *Adv. Soil Sci.*, 11. 13-17.
- Láng I. – Csete L. – Jolánkai M. /Eds./ (2007): A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A VAHAVA Jelentés. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- LANGMAACK, M. (1999): Earthworm communities in arable land influenced by tillage, compaction, and soil. *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz* 8: 11-21.
- LÁSZLÓ P. (2007): A direktvetéses és bakhátas gazdálkodási rendszerek hatása a talaj fizikai és biológiai állapotára. Doktori (Ph.D) értekezés, Gödöllő, 107.
- LAUREYSENS, I. – BOGAERT, J. – BLUST, R. – CEULEMANS, R. (2004): Biomass production of 17 poplar clones in a short rotation coppice culture on a waste disposal site and its relation to soil characteristics. *Foresyt Ecology and Management*. 187. 295-309.
- LEHOCZKY, É. – BENKOVITS, E. – DOBOZI, M. (2002): Sensitivity of some oil squash varieties against pre-emergence herbicides. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz – Journal of Plant Diseases and Protection*. 18. 949-954.
- LIEBHARD, P. (2009): Energetikai faültetvények. Cser Kiadó. Budapest.
- MANNINGER G. A. – FEHÉR D. – MELANIE, F. (1940): Talajbiológiai vizsgálatok a hengernek, különösen mint nyári talajművelő eszköznek a jelentőségéről. Különlenyomat a Tiszántúli Öntözésügyi Közlemények V-VIII. füzetéből. 28.
- MAROSVÖLGYI B. (2001): Energetikai faültetvények mezőgazdasági művelésből kivont területen. *Agrárinfo*. 6. 9. 12-16.
- MAROSVÖLGYI, B. – IVELICS, R. (2004): Research Report on wood-chips and energy wood production experiments. In: Energy Forest Project, Hungarian Experiments, Budapest. (In.:www.energyforest.com/szovegek/tata_exp.pdf)

- MÁTÉ A. (2005): Növénytermesztési Tanüzem. Tanulmány. Gödöllő.
- MCVAY, K. A. – RADCLIFFE, D. E. – HARGROVE, W. L. (1989): Winter legume effects on soil properties and nitrogen fertilisation requirements. *Soil Science Society of America Journal*. 53. 6. 1856-1862.
- MÉSZÁROS, E. – JAKAB, E. – VÁRHEGYI, G. – TÓVÁRI, P. (2007): Thermogravimetry/Mass Spectrometry analysis of energy crops. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 88 2. 477-482.
- MIHÁLYFALVY I. (1959): A talajerő visszapótlásának lehetősége másodvetésű zöldtrágyanövényekkel. *Magyar Mezőgazdaság*. 14. 14. 7-8.
- MIHÁLYFALVY I. (1960a): A másodvetésű zöldtrágyanövények jelentősége az öntözőgazdaságokban. *Kísérletügyi Közlemények* 54/A. 1. 53-73.
- MIHÁLYFALVY I. (1960b): A másodvetésű zöldtrágyanövények öntözéses agrotechnikájának alapjai. Kandidátusi értekezés. Kisújszállás.
- MIHÁLYFALVY I. (1962a): A zöldtrágyának termesztett másodvetésű napraforgó vízigénye. *Növénytermelés*. 11. 2. 101-108.
- MIHÁLYFALVY I. (1962b): Az öntözött talajok zöldtrágyázásának jelentősége. *Agrokémia és Talajtan*. 11. 257-270.
- MIKÓ, P. – KOVÁCS, G. – BALLA, I. – VASA, L. – GYURICZA, CS. (2012): Investigation of the Biomass and Nutrient Content of Green Manuring Plants as Second Crops in Hungary. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 40. 1. 47-52.
- MIKÓ P. (2009): A zöldtrágyázás talajállapotra és utóveteményre gyakorolt hatásainak vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés. Gödöllő
- MOLA-YUDEGO, B. – ARONSSON, P. (2008): Yield models for commercial willow biomass plantations in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 32: 829-837.
- NAGY J. /Ed./ (2003): Kukorica hibridek adaptációs képességének és termésbiztonságának javítása. DE-ATC, Debrecen.
- NÉMETH T. – JOLÁNKAI M. (2002): A precíziós növénytermesztés elemei. In: EU konform mezőgazdaság és élelmiszerbiztonság. Ed.: Nagy J. DE-ATC, Debrecen, 12-21 pp.
- NEMZETI FEJLESZTÉSI MINISZTERIUM (2010): Magyarország Megújuló Energiahordozó Cselekvési Terve (NCsT). A 2020-ig terjedő megújuló energiahordozó felhasználás alakulásáról.
- ODHIAMBO, J. J. O. – BOMKE, A. A. (2007): Cover crop effects on spring soil water content and the implications for cover crop management in south coastal British Columbia. *Agricultural Water Management*. 88. 92-98.
- OLDEMAN L.R. (1994): The global extent of soil degradation. In: *Soil Resilience and Sustainable Land Use*. (Eds.: GREENLAND, D.J. & SZABOLCS, I.). 99-118. Wallingford, CAB International.
- PAGLIAI, M. – VIGNOZZI, N. – PELLEGRINI, S. (2004): Soil structure and the effect of management practices. *Soil & Tillage Research* 79: 131-143. p
- PAPPNÉ VANCSÓ J. (2005): A biomassza hasznosítási lehetőségei a Nyugat-Dunántúli Régió kistérségeiben. Trefort Kiadó, Budapest pp. 107-120.
- PAPPNÉ VANCSÓ J. (2008): A biomassza energia. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. pp. 87-96.
- PASSIOURA, J. B. (2002): Soil conditions and plant growth. *Plant Cell Environ*. 25: 311-318. p.
- PELLEGRINO, E. – DI BENE, C. – TOZZINI, C. – BONARI, E. (2011): Impact on soil quality of a 10 year-old short-rotation coppice poplar stand compared with intensive agricultural and uncultivated systems in a Mediterranean area. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 140. 245-254.

- PEPÓ P. (2012): Fajta- és hibridspecifikus technológia jelentősége a gabonatermesztésben. In: Talaj-víz-növény kapcsolatrendszer a növénytermesztési térben. Ed.: Lehoczky É. MTA ATK TAKI, Budapest. 157-160 pp.
- PERCZE A. (2002): A művelési rendszerek hatása a talajállapokra és a gyomosodásra őszi búzában. Doktori (PhD) értekezés. Gödöllő
- POPAY, A. I. – STIEFEL, W. – DALY, M. (1993): Green manures – benefits for weed control? Proceedings 46. New Zealand Plant Protection Conference. New Zealand. 344-347.
- POSNER, J. L. – CASLER, M. D. – BALDOCK, J. O. (1995): The Wisconsin integrated cropping systems trial: Combining agroecology with production agronomy. American Journal of Alternative Agriculture. 10. 98-107.
- PÓTI P. – PAJOR F. – BODNÁR Á. – ABAINÉ H. E. – BÁRDOS L. (2010): Legeltetett anyajuhok és bárányaik húsának és egyes szerveinek ólom és kadmium tartalma. Magyar Állatorvosok Lapja, 132. 10. 667-672.
- RADFORD, B. J. – BRIDGE, B. J. – DAVIS, R. J. – MCGARRY, D. – PILLAI, U. P. RICKMAN, J. F. – WALSH, P. A. – YULE, D. F. (2000): Changes in the properties of a Vertisol and responses of wheat after compaction with harvester traffic. Soil & Tillage Research 54: 155–170. p.
- RAMOS, M. G. – VILLATORO, M. A. A. – URQUIAGA, S. – ALVES, B. J. R. – BODDEY, R. M. (2001): Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using ¹⁵N-isotope techniques. Journal of Biotechnology 91. 105–115.
- RASMUSSEN, K. J. – ANDERSEN, A. (1994): 13 years experiments with soil tillage and incorporation of straw and catch crop on a marsh soil. Statens Planteavltsforsoeg. Lyngby (Denmark). 13. 22.
- RÁTONYI T. (1999): A talaj fizikai állapotának penetrométeres vizsgálata talajművelési tartamkísérletben. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen
- RÁTONYI T. (2006): Termőhelyi tényezők szerepe a szántóföldi növénytermesztésben. 22-74. p. In: Birkás M. /Ed./: Földművelés és földhasználat. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- RICHARDS, I. R. – WALLACE, P. A. – TURNER, I. D. S. (1996): A comparison of six cover crop types in terms of nitrogen uptake and effect on response to nitrogen by a subsequent spring barley crop. Journal of Agricultural Science. Cambridge. 127. 441-449.
- ROSZIK P. (1993): Zöldtrágyázás. In: Sárközy P., Seléndi Sz. Biogazda 1. Az árutermelő biogazdálkodás alapjai. Biokultúra Egyesület. 137-139.
- SAINJU, U. M. – SINGH, B. P. – RAHMAN, S. – REDDY, V. R. (2000): Tillage, cover cropping, and nitrogen fertilizer influence tomato yield and nitrogen uptake. HortScience 35. 217-221.
- SÁRA B. (2010): Az élelciklus felmérés lépései. FEBE ECOLOGIC, 10.
- SAUERBECK, D. (1992): Funktion und Bedeutung der Organischen Substanzen für die Bodenfruchtbarkeit – ein Überblick. Berichte über Landwirtschaft, 206. Sonderheft: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Band 4, Humusgehalt, 13-29.
- SCHMIDT R. – SZAKÁL P. – KERÉKES G. – BENE L. (1998): A talajtömörödöttségi viszonyok vizsgálata művelőutas cukorrépa termesztési technológia alkalmazása esetén. Cukorrépa 16: (1) 8-14. p.
- SCHNEIDEWIND, W. (1915): Die Ernährung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Lehrbuch auf der Grundlage wissenschaftlicher Forschung und praktischer Erfahrung. Verlag Paul Parey. Berlin.
- SENERATNE, R. – RATNASINGHE, D. S. (1995): Nitrogen fixation and beneficial effects of some grain legumes and green manure crops on rice. Biology and Fertility Soils. 19. 49-54.

- SIMON L. – SZABÓ B. – VARGA CS. – URI ZS. – BÁNYÁCSKI S. – BALÁZSY S. (2010): Energianövények hozamának és toxikus-elem felvételének vizsgálata. In: Farsang A. – Ladányi Zs. (szerk.). Talajvédelem (különszám). 421-430.
- SOANE B. D. – OUWERKERK C. VAN (1994): Soil compaction problems in world agriculture. In: Soil Compaction in Crop Production. Developments in Agricultural Engineering 11, (Eds.: B.D. Soane –C. van Ouwerkerk). 1-26. Elsevier, Amsterdam.
- STEFANOVITS P. (1992): Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- STEFANOVITS P. (1999a): Főtipusok, típusok és altípusok In: Stefanovits P., Filep Gy. Füleky Gy. Talajtan. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- STEFANOVITS P.(1999b): A tájak talajviszonyai In: Stefanovits P., Filep Gy. Füleky Gy. Talajtan. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- STIVERS-YOUNG, L. (1998): Growth, nitrogen accumulation, and weed suppression by fall cover crops following early harvest of vegetables. HortScience 33. 60-63.
- STIVERS-YOUNG, L. J. – TUCKER, F. A. (1999): Cover cropping practices of vegetable producers in western New York. HortTechnology. 9. 459-465.
- SURÁNYI J.(1951): Kettőstermesztés. Mezőgazdasági kiadó. Budapest.
- SURÁNYI J.(1952): A szántóföldi kettőstermesztés módszerei és növényei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- SVÁB J. (1981): Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- SZAJKÓ G. /Ed./ (2009): Erdészeti és ültetvény eredetű fás szárú biomassza Magyarországon. Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont, Műhelytanulmány, 99.
- SZALAI T. – NYÁRAI H. F. – HOLLÓ S. – BIRKÁS M. (1995): Különböző növénytermesztési és talajművelési rendszerek hatása a talaj néhány kémiai és mechanikai jellemzőjére. Agrokémia és Talajtan 44: (3-4). 374-380. p
- SZŐLLŐSI I. (2003): Talajok tömörödöttségi állapotának jellemzése penetrométeres vizsgálatokkal. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen
- TAMÁS R. (1997): A felszabaduló mezőgazdasági területek racionális hasznosítási lehetőségei. Kézirat. Sopron.
- TAR F. (2008): Fenntartható földhasználati stratégia kialakítása Magyarországon, Doktori (PhD) értekezés. Gödöllő
- TEJADA, M. – GONZALEZ, J. L. – GARCÍA-MARTÍNEZ, A. M. – PARRADO, J. (2008): Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. Bioresource Technology. 99. 1758-1767.
- THÖNNISSEN, C. – MIDMORE, D. J. – LADHA, J. K. – HOLMER, R. J. – SCHMIDHALTER, U. (2000a): Tomato crop response to short-duration legume green manures in tropical vegetable systems. Agronomy Journal. 92. 245-253.
- THÖNNISSEN, C. – MIDMORE, D. J. – LADHA, J. K. – OLK, D. C. – SCHMIDHALTER, U. (2000b): Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. Agronomy journal. 92. 253-260.
- TOSTI, G. – BENINCASA, P. – FARNESSELLI, M. – PACE, R. – TEI, F. – GUIDUCCI, M. – THORUP-KRISTENSEN, K. (2012): Green manuring effect of pure and mixed barley – hairy vetch winter cover crops on maize and processing tomato N nutrition. European Journal of Agronomy. 43. 136-146.
- TÓTH Z. (2001): A talajtermékenység vizsgálata vetésforgóban és monokultúrában. Doktori (Ph.D) értekezés. Keszthely
- TÓTH Z. (2006): A zöldtrágya. In: Birkás M. Földművelés és földhasználat. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- UJJ A. (2004): A rozs köztes védőnövényként történő termesztése és hatása a talajállapotr. 113-125. p. In: Birkás M. – Gyuricza Cs. /Eds./: Talajhasználat – Műveléshatás – Talajnedvesség. Quality-Press Nyomda & Kiadó Kft.

- UJJ A. (2006): A talajállapot- és az elővetemény-hatás javítása köztes védőnövényekkel és kímélő műveléssel. Doktori (PhD) értekezés. Gödöllő
- VÁRADI SZABÓ J. (1915): A zöldtrágyázás. Köztelek. 25. 35. 1263-1264.
- VÁRALLYAY GY. (1996): Magyarország talajainak érzékenysége szerkezetromlásra és tömörödéssre. Környezet- és tájgazdálkodási füzetek. II. 1. 15-30.
- VÁRALLYAY, GY. (2006): Soil degradation processes and extreme soil moisture regime as environmental problems in the Carpathian Basin. *Agrokémia és Talajtan* 55. 1-2. 9-18.
- VARGA K. – HOMONNAI G. (2009): Munkahelyteremtés zöldenergiával – A megújuló energiaforrások munkahelyteremtő hatásának nemzetközi tapasztalatai. *Tanulmány, Energia Klub*. 17.
- VAUGHAN, J. D. – EVANYLO, G. K. (1998): Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management. *Agronomy Journal*. 90. 536-544. Wilson, P. W. (1957): On the sources of nitrogen of vegetation etc. *Bacteriological Review*. 21. 4. 215-226.
- VERWIJST, T. – MAKESCHIN, F. (1996): Environmental aspects of biomass production and routes of European energy supply. Concerted action Air 3-94-2466, Report form the working group on chemical soil and water issues.
- VIRÁG S. (2005): A művelés hatása a talajok rögzéződésére és a rögzítés energetikai összefüggései. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen
- WAGGER, M. G. (1989a): Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. *Agronomy Journal*. 81.236-241.
- WAGGER, M. G. (1989b): Cover crop management and nitrogen rate relation to growth and yield of no-till corn. *Agronomy Journal*. 81. 533-538.
- WAIRIU, M. – LAL, R. (2006): Tillage and land use effects on soil microporosity in Ohio, USA and Kolombangara, Solomon Islands. *Soil & Tillage Research* 88: 80-84. p.
- WESTSIK V. (1923): Zöldtrágyázás a homokföldeken! *Köztelek*. 33. 49. 549-580.
- WESTSIK V. (1927): Az alföldi futóhomoktalajok okszerű mezőgazdasága. „Pátria“ Irodalmi Vállalat és Nyomdai Részvénytársaság. Budapest.
- WESTSIK V. (1928): A fehér somkóró termesztése futóhomokon. *Köztelek*. 38. 72-73. 1486.
- WESTSIK V. (1932): A tarlózöldtrágyázás. *Köztelek*. 42. 57-28. 517.
- WESTSIK V. (1936): Homoki gazda. „Pátria“ Irodalmi Vállalat és Nyomdai Részvénytársaság. Budapest.
- WESTSIK V. (1956): A napraforgó mint zöldtrágya. *Agrártudomány*. 8. 7. 295-298.
- WESTSIK V. (1957): A napraforgó-zöldtrágyázás tanúságai. *Agrártudomány*. 9. 8. 28-34.
- WESTSIK V. (1960): Zöldtrágyázási kísérlet csillagfűrttel és napraforgóval. *Agrártudomány*. 12. 11. 4-8.
- WILSON, D. O. – HARGROVE, W. L. (1986): Release of nitrogen crimson clover residue under two tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*. 50. 1251-1254.
- WIVSTAD, M. (1998): Nitrogen mineralization and crop uptake of N from decomposing ¹⁵N labelled red cover and yellow sweetclover plant fractions of different age. *Plant and Soil*. 208. 21-31.
- ZHANG, M. K. – FANG, L. P. (2007): Effect of tillage, fertilizer and green manure cropping on soil quality a tan abandoned brick making site. *Soil and Tillage Research*. 93. 87-93.

EURÓPAI UNIÓS ÉS HAZAI JOGFORRÁSOK:

1600/2002/EK határozat (2002): Az Európai Parlament és a Tanács 1600/2002/EK határozata (2022. július 22.) a hatodik közösségi környezetvédelmi cselekvési program megállapításáról. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002D1600:HU:NOT>

1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól. http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=99500053.TV

96/2009. (XII.9.) OGY határozata a 2009-2014 közötti időszakra szóló Nemzeti Környezetvédelmi Programról http://www.kvvm.hu/cimg/documents/96_2009_OGY_határozat_NKP_3.pdf

EURÓPAI BIZOTTSÁG (2010): A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak, az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának – A KAP jövője 2020-ig: az élelmezési, a természetes erőforrásokat érintő és a területi kihívások kezelése (Brüsszel, 2010. 11. 18. COM(2010) 672 végleges). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0672:FIN:hu:PDF>

EURÓPAI BIZOTTSÁG (2011): A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak, a Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának – Az Európa 2020 stratégia költségvetése (COM(2011) 500 végleges, 2011.6.29.). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52011DC0500:HU:NOT>

8. Függelék

Fás- és lágyszárú energiaültetvények szerepe a talajvédelemben

Az energianövények Magyarország teljes biomassza-készlete 350–360 millió tonnára becsülhető, amelyből az évente újratermelődő elsődleges biomassza tömege eléri a 110 millió tonnát. Ennek a mennyiségnek a bruttó energiatartalma mintegy 1185 PJ, amely meghaladja Magyarország egész éves energiafelhasználását. Nyilvánvaló azonban, hogy az évente újratermelődő biomassza teljes mennyiségben nem használható fel energiatermelésre.

Magyarország agro-ökológiai adottságai, a szántóföldi területek és az erdősítési arányok lehetővé teszik, hogy a megújuló energiaforrások közül a biomasszából nyert energiahányad legyen a legnagyobb. Erre a célra elsősorban az energetikai céllal létesített ültetvények lehetnek alkalmasak.

Az energianövények tárgykörébe olyan növénykultúrák tartoznak, melyeket kifejezetten energetikai (valamilyen energia termelési/előállítási) célból termeszt a mezőgazdaság. Az energianövények viszonylag gyors növekedési rátával rendelkeznek (rövid idő alatt relatíve nagy biomassza produkció), általában kultúrnövényeinkhez viszonyítva igénytelenebbek az agro-ökológiai feltételekkel szemben, ezért termesztésük olyan kedvezőtlen adottságú területeken is racionális, ahol gazdasági növényeink csak nehezen és nagy ráfordítás mellett termeszthetők. Az energetikai célra termesztett növények felhasználása kétféle lehet: a szántóföldön megtermelt biomasszát közvetlenül felhasználhatjuk energiatermelésre (tüzelés), vagy valamilyen eljárás során anyaguk átalakítható egy másik energiahordozóvá (bioetanol, biodízel, biogáz). A fás szárú energiaültetvények kétféle technológiával hasznosíthatók:

Újratelepitéses technológia

E technológia szerint a területet gyorsan növő fajokkal telepítik be, amelyet 8–15 éven keresztül tartanak fenn, majd ezt követően erdészeti módszerekkel takarítanak be, illetve készítenek elő üzemi felhasználásra. A végvágást követően a területet rekultiválják, alapos talaj-előkészítést végeznek, majd újra történik a telepítés. Ennek a módszernek előnye, hogy nagy az alkalmazható fajok köre, hátránya ugyanakkor, hogy rendkívül hosszú idő után nyerhető belőle alapanyag, ami előre tervezést tesz szükségessé. A technológia sík- és dombvidéki területeken egyaránt alkalmazható, és évente mintegy 10–15 t/ha frisstömeg-gyaparádással lehet kalkulálni.

Sarjztatásos technológia

Alkalmazásakor gyorsan növé, jól sarjadó, nagy hozamú fafajokat telepítenek kis térállásba. A hektáronkénti tőszám a technológiától függően széles határok között mozoghat (10 000–50 000 tő), ami meghatározza a kitermelést is. A kisebb tőszám többnyire 2-3 éves, míg a nagyobb tőszám 1 éves vágásfordulót (letermelési gyakoriságot) tesz lehetővé. Ennél a módszernél 15–25 éves élettartammal és 15–35 t/ha/év frisstömeeggel lehet számolni. Az utolsó betakarítás után a terület rekultiválásra szorul, ami a gyökér- és szármadaradványok eltávolítását, valamint a mélyművelést (lazítás és szántás) jelenti. Ennek a módszernek előnye, hogy rendszeresen ad nagy mennyiségű biomasszát (tüzelőanyagot), termesztési és betakarítási rendszere illeszthető a szántóföldi növénytermesztés technológiájához, széles körben alkalmazható hagyományos szántóföldi kultúrák termesztésére kevésbé alkalmas gyenge termőképességű talajokon.

8.1. Lágyszárú energianövények

Kínai nád (*Miscanthus sp.*): az energetikai célból termesztett kínai nád rendkívül nagy hektáronkénti hozamával, hosszú életidejével, az agro-ökológiai feltételekkel szemben támasztott mérsékelt igényeivel, valamint a betakarított termés sokrétű felhasználhatóságával a lágyszárú energianövény-termesztés egyik legfontosabb növényfaja. Erőteljes növekedésű évelő, rizómás növény, a fényt és a tápanyagokat kiválóan hasznosítja (C4-es fotoszintetikus út, évelő). Évente egy alkalommal aratják a mezőgazdasági holt szezonban, télen vagy kora tavasszal (január-március). A növény magassága elérheti a 3-3,5-4 métert is, és mivel évelő növény, hosszú időn keresztül, legalább 15 éven át (az állomány élettartama ideális esetben a 20 évet is meghaladhatja) ültetvényként egyhelyben termeszthető. A telepítését a fagyok elmúltával, tavasszal végzik. Kedvező körülmények között termésátlaga elérheti a 30 t/ha-t (légszáraz állapot), a nagyjából 12-20 t/ha-os átlagtermés az eddigi adatok szerint hosszú időn keresztül fenntartható. Műtrágya kijuttatását csak a kifejezetten tápanyagszegény talajokon igényli, mert a vegetációs időszak végén a növény a tápanyagok jó részét visszashállítja a rizómájába, illetve a lehulló levelek plusz tápanyagforrást jelentenek. Betakarításának javasolt időszaka kora tavasz vagy késő tél, amikor alacsony a növény kálium ill. klór tartalma és a nedvességtartalma is lecsökken (15% körülire) így kedvezőbb tüzeléstechnikai tulajdonsággal bír. Az ültetés évében a posztemergens gyomirtás segít elkerülni a gyomosodást, melyre később már nincs szükség. Ismert kórokozójáról a

szakirodalomban nem találunk utalást. Termőhelyi igény szempontjából nagy toleranciájú, főleg a laza, homokos helyeken gyorsabban ered meg, de a jó vízgazdálkodású, kötöttebb talajon nagyobb hozamot produkál. Energetikai felhasználás szempontjából értékes tulajdonságai a 17-19 MJ/kg fűtőértéke és az alacsony hamutartalma (2,5%). Más ipari célú alkalmazása is lehetséges, pl. préselt építőanyag, papíripari alapanyag, alom, stb.

Olasznád (*Arundo donax* L.): Bizonytalan földrajzi eredetű, környezetileg jól alkalmazkodó, évelő fűféle, amely Magyarországon terjedőben van. Átlagosan 3,5-5 m magasra nő. Több ezer éve termesztik, hajtásait kosár, szőnyegfonás, hangszerkészítés, stb., céljaira használják, illetve cellulóz alapanyag a papír és viszkóz előállításban. Termesztése jelentős műtrágyabevitelt igényel (80 kg N, 100 kg P₂O₅/ha/év) és 650-800 mm éves csapadék mellett az első évben 10,6 atrotonna/ha (szárazanyag t), a második évtől 22 atrotonna/ha hozamot is eredményezhet. Tápanyagszegény talajoknál foszfor, nitrogén és kálium műtrágyázás mindenképp szükséges telepítés előtt. Gyors növekedése és nagy levéltömege miatt gyomirtás csak a telepítés évében szükséges. Dél-európai ültetvényeken átlagosan 15-30 atrotonna/ha biomassa termelhető. A növény életciklusa az eddigi tapasztalatok alapján 20 évnél is többre tervezhető, ezen idő alatt a telepítés költségei, és a talaj-előkészítés jelenti a legnagyobb munkát, költséget. A következő években az olasz nád nem igényel talajművelést, lombja fedi a talajt, a száruk összeérnek és záródnak, a talajt sűrűn áthálózó gyökérzet megköti annak felületét az erózióval szemben, és kitűnő víztartó, vízfelvevő, vízmegőrző réteget képez a hirtelen lezuhanó, nagy mennyiségű csapadék idején is. A hatalmas gyökértömeg következtében a beállt állomány kitűnően bírja az átmeneti és hosszabban tartó szárazságot is. Fűtőértéke 14,8-19 MJ/ kg között változik, a szár/levél aránytól függően.

Szarvasi-1 energiafű (*Elymus elongatus* cv. Szarvasi-1): Egyszikű, évelő, bokros szálfű. Nagy tömegű, mélyre hatoló, bojtos gyökérrzel rendelkezik, melynek köszönhetően kiválóan hasznosítja a mélyebb talajrétegekben található vízkészletet is. Szára 160-200 cm magas, szürkészöld, üreges, gyéren levelezett. A kicsi asszimiláló felület miatt nem szárítja ki a talajt. 10-15 évig termeszthető egy helyen. Termése: 15-23 t/ha szárazanyag. Évente kétszer kaszáljuk. Kiváló energetikai és takarmányozási tulajdonságokkal rendelkezik. Azon gyengébb termőhelyi tulajdonságokkal rendelkező területek növénye, ahol más szántóföldi növény termesztése már nem gazdaságos. Mivel jól tolerálja a gyengébb termőhelyi adottságokat, szikes, sós területeken is eredményesen termesztendő. Elviseli a rövid ideig tartó vízborítást is. Mint a szántóföldi növények általában, érzékeny a talaj fizikai állapotára. Vetése ideális esetben tavasszal, március 20. és április 15. között történik. Gabona

vetőgéppel, gabona sortávra vetjük, majd hengerezzük. Vetőmag mennyisége 40 kg/ha. Ez kb. 6 millió csírának felel meg. A vetésmélység 2-2,5 cm legyen. Egyszikű gyomok ellen kémiai úton leghatékonyabban az előveteményben, illetve a tarlókezelés alkalmával, magágykészítés előtt tudunk és kell védekezni. Az energiafű állományban a vegyszeres egyszikű irtás még nem megoldott, szelektív szerek még nem állnak rendelkezésre. A telepítés évében kb. 50%-os mennyiségű betakarítható széna, magszalma várható. Betakarítása virágzás fenofázisában történik július elején. Nem igényel drága célgépeket, a hagyományos szalastakarmány betakarító gépekkel betakarítható. Ilyenkor 12-15% nedvességtartalommal rendelkezik. Betakarításkor fontos megfelelő tarlómagasság hagyása. Augusztus végén még egy kaszálására kerülhet sor. Fontos, hogy az energiafű ne túl buján menjen a télbe, mert ekkor az esetleges vastag hótakaró alatt „kipállhat”.

Vesszős köles (*Panicum virgatum* L.), Switchgrass: a vesszős köles egy évelő C4-es fotoszintézisű lágyszárú növény, ami Észak-Amerikában őshonos. Az 55. szélességi foktól egészen közép Mexikóig termesztik. Könnyen, kevés ráfordítással és kis rizikóval termesztendő, akár kedvezőtlen talaj- és klímaviszonyok között is. 3,5 m mély gyökérzete lehet, és maga a növény 3 m magasra is megnőhet. Könnyen és gyorsan megtelepszik, a gyomokat kizárja állományaiból. Az optimális telepítési idő április végétől késő májusig tart. A vetés évében nagy odafigyelést igényel a gyomok elleni védekezés. Egyszikű gyomok ellen szinte lehetetlen állományban védekeznünk, ezért vetés előtt ajánlott megoldani. A kétszikű gyomok elleni védekezés könnyen megoldható állományban. Az első év helyes gyomszabályozása nagymértékben javíthat az állomány beállottságán, éves hozamán, valamint növelheti az életidejét is. A betakarítást két-három héttel az utolsó fagyok utánra időzítsük, amikor napi hőmérséklet legalább 4-5 órán keresztül eléri a 11-12°C-ot. A betakarításkori nedvességtartalom akkor megfelelő, ha 15 % alatti. Betakarításnál nagy odafigyelést igényel a tarlómagasság. Az eddigi kutatások alapján a 15 cm-nél rövidebb tarlónál az állomány hajlamos a kiritkulásra, valamint a vontatott fejlődésre. Vetést követő első évben nem érdemes betakarítani, a második évtől eléri a teljes hozam 2/3-ad részét, a harmadik évtől már 16-22 atonna /ha is lehet. Fűtőértéke (5-10%-os hamutartalom mellett) 17MJ/kg. Évenként egyszeri kaszálás mellett 30-60 kg/ha nitrogén hatóanyagot von ki a talajból. Nitrogén-műtrágya kijuttatására a vesszős köles jelentős többlettermással reagál.

Zöld pántlikafű (*Phalaris arundinacea* L.), Reed canarygrass: a zöld pántlikafű egy magas növésű, dús lombosított, nagy hozammal rendelkező évelő lágyszárú növény. Magyarországon őshonos, nádra emlékeztető, 3 m-t is elérő évelő növény. Szélsőséges

vízgazdálkodású talajokon is kitűnően termesztendő, hiszen jól bírja akár az időszakos vízállást, de akár az aszályt is. Tavaszi telepítése vált általánossá, viszont ebben az esetben a gyomok elleni védekezésre fokozottan oda kell figyelni. A nyár végi telepítésnél ez a probléma könnyebben orvosolható. Az ültetvény telepítésénél az egyik legnagyobb hiba, ha a gyom kompetíció már kezdetben magas, ilyenkor a kezdeti fejlődés vontatottá válik, az állomány ritka és egyenetlen lesz. A vetéssel egyidőben hengerezés, a talajfelszín lezárása javasolt a nedvesség megőrzése és a csírázás elősegítése miatt. A legnagyobb hozamot akkor produkálja, ha bugahányás idején takarítjuk be. A betakarításnál vigyázni kell a tarlómagasságra, ami ne legyen rövidebb, mint 10-12 cm. A legjobb hozamot a második, őszi betakarításnál hozza (9 atotonna), az ültetvény életideje 10-12 év. A növényi anyag égetése komoly korróziós és mechanikai problémákat okoz a hamu alacsony olvadáspontja és magas klór- és kéntartalma miatt.

Cukorcirok (*Sorghum bicolor* L. Moench) a pázsitfűfélék családjába tartozó egyéves növény. Hazai klimatikus viszonyok között nem telet át, viszont meleg éghajlati övben évelő növény. Jellemzője a nagy zöldtömeg a lédús szár és a kifejezetten dús levélzet. Etiópia és Szudán sztyeppe és szavanna területein őshonos, innen származik kitűnő szárazságtűrő képessége. A legnagyobb területen Indiában, az Amerikai Egyesült Államokban és Ázsia számos országában (Kína, Pakisztán, Jemen, Thaiföld) termesztik. Népszerűségét sokoldalú felhasználásának köszönheti. Szemtermése gluténmentes, ezért a belőle készült termékeket a lisztérzékenyek is szabadon fogyaszthatják. Trópusi és szubtrópusi területeken a cukorban gazdag szárból préselés és mosás után alkoholt állítanak elő. Mérsékelt égövi területeken tömegtakarmánynak termesztik, elsősorban silózásra alkalmas. Zöldetetésre nem ajánlott hidrogén-cianid tartalma miatt. Magyarországon az 1930-as években kezdett teret hódítani a termesztése. Ebben az időben „méznád” néven vált ismerté a termesztők körében. Az első sikeres fajta, az amerikai eredetű Sumac volt, amely Szerbián keresztül jutott el hazánkba. Jelenleg a hazai vetésterülete eléri az 5 000-10 000 hektárt. Hazai viszonyok között a cukorciroknak két fő energetikai felhasználása képzelhető el. A nagy genetikai termőképességének köszönhetően a legjobb genotípusok akár 4 000 l/ha etanol kihozatalra is képesek, és jó minőségű cellulóz is kinyerhető a szárból, ezért nem csak az elsőgenerációs, hanem a második generációs cellulóz alapú erőművek perspektivikus alapanyagául is szolgálhat. A nagy biomassza hozama és jó biogáz termelő képessége lehetővé teszi, hogy a létesülő biogáz üzemek számára alapanyagot szolgáltatson.

8.2. Fás szárú energetikái ültetvények

A fás szárú energetikai ültetvények létesítéséhez alkalmazható fajok és fajták körét Magyarországon az FVM 45/2007. számú rendelete határozza meg. Eszerint sarjaztatásos technológia csak fűz, nyár és akác esetén alkalmazható, míg az újratelepítési módszer kiegészül más fajokkal is (éger, kőris, tölgy, juhar, feketedió). A rendelet értelmében védett természeti területeken, valamint a védett természeti területnek nem minősülő Natura 2000 területen a fehér akác telepítése nem engedélyezhető. Fás szárú energetikai ültetvény telepítése minden esetben engedélyhez kötött, az ezzel kapcsolatos bejelentést a területileg illetékes Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatalhoz kell benyújtani (71/2007. számú kormányrendelet).

Környezeti feltételek

Magyarország területének mintegy felén, kb. 4,5 millió hektáron folyik szántóföldi növénytermesztés. Több százezer hektárra tehető azon szántóterületek nagysága, ahol a jelenlegi támogatási rendszer mellett is nehezen garantálható a jövedelmezőség hagyományos növényekkel. Ezek a gyakran vízjárta, belvíz kialakulására hajlamos területek, továbbá a szélsőséges víz- és tápanyag-gazdálkodású, többnyire homok- vagy homokos vályog talajok. A gyorsnövésű fajok termesztésére viszont valamennyi mezőgazdasági művelésre használt talaj megfelelő. Egyes növények (pl. akácfa) a kifejezetten száraz, aszályra hajló körülmények között is biztonsággal termesztethők. Magyarország szántóterületének mintegy 60 százaléka erózióra vagy deflációra hajlamos, ezeken a területeken rövid vágásfordulójú ültetvények telepítésével kiváló talajvédő hatást, csaknem egész éves talajfedettséget érhetünk el. A talaj pH értéke lehetőleg 5,5 és 7,2 közé essen.

Az energetikai célra termesztett fás szárú növények általában a szélsőséges időjárást is elviselik. A legkritikusabb időjárási elem a hőmérséklet – ebből a szempontból a hazai feltételek megfelelőek –, valamint a csapadékmennyiség. Többnyire 500–600 mm csapadékra van szükség a növények kiegyenlített fejlődéséhez, azonban már 300–400 mm csapadékú évjáratokban is nagy tömeget produkálnak. Különösen fontos azonban a telepítés évében a kiegyenlített vízellátás, mert a növények a kezdeti fejlődés során érzékenyebbek az aszályos időszakokra. A második évtől kezdődően már a mélyebb rétegekből is képesek a nedvesség jó hatásfokú hasznosítására, mivel gyökérszámjuk egészen más, mint a lágyszárú szántóföldi növényeké.

Gazdasági feltételek

A környezeti feltételek mellett elengedhetetlen a gazdasági környezet alapos ismerete, vagyis a felvevőpiac feltérképezése. Biztonsággal ott érdemes e növények termesztésével foglalkozni, ahol legfeljebb 50–80 km-es körzetben az aprítékot igénylő energia-előállító szektor is megjelenik. A betakarítás során keletkező apríték térfogatmége relatíve alacsony, ezért a gazdaságilag racionális maximális szállítási távolság nem túl nagy (70-80 km). Nehezíti a helyzetet, hogy a termelő az erőmű megépülésére vár, illetve meglévő fűtőművek esetén nehezen jön létre a megállapodás, ugyanakkor az erőművek már az engedélyeztetés fázisában szeretnék az alapanyag előállítását megszervezni.

A gazdaságosság megítélése szempontjából a támogatások sem elhanyagolhatók. A következő évi telepítési támogatást minden évben lehet igényelni, amely összességében akár 200 000 Ft/ha vissza nem térítendő forrást jelenthet a termelőnek. Ez az összeg az első évi költségek kb. 40 százalékát fedezi. A telepítési támogatás mellett a termelő jogosult a területalapú támogatásra is az ültetvény teljes időtartama alatt, valamint ún. energianövény prémium igénybevételére, amelynek összege további csaknem 10 000 Ft évente.

Növényválasztás szempontjai

Rövid vágásfordulójú energetikai faültetvények létesítése során az egyik legfontosabb feladat a termőhelyre alkalmas faj és fajta kiválasztása. A fás szárú energianövények lehetséges köre viszonylag széles, azonban a gyakorlatban csak néhány faj elterjedésére lehet számítani. Az energia alapanyag előállítás céljából termesztett növényekkel szembeni legfontosabb követelmények az alábbiak:

- intenzív növekedés, erőteljes növekedési erély, nagy biomasz-képződés,
- jó fagyűrő képesség,
- egyszerű szaporíthatóság, lehetőleg vegetatív úton,
- kiváló újrasarjadzó képesség visszavágás után,
- hosszú vegetációs időszak, késői lombhullás,
- nagy nettó asszimilációs ráta,
- konkurenciatűrő képesség sűrű állományban,
- tág termőhely-tolerancia – lehető legváltozatosabb környezeti feltételek melletti termesztetőség,
- termőhelyi alkalmasság élelmiszer- és takarmánynövények számára kedvezőtlen adottságú feltételek esetén (komplementer jelleg)

- átmeneti aszálytűrő-képesség,
- betegségekkel, kártevőkkel szembeni nagyfokú ellenálló-képesség,
- kismértékű vadkár veszély,
- csekély allergizáló hatás,
- könnyű betakaríthatóság,
- a termesztett faanyag kis nedvesség- és hamutartalma, kedvező kémiai összetétele,
- intenzív nedvességleadó képesség,
- nagy térfogattömeg.

A fenti feltételeknek teljes egészében egyetlen növényfaj és fajta sem felel meg, azonban rövid vágásfordulójú ültetvények létesítésénél arra kell törekedni, hogy olyan növényt válasszunk, amely a legtöbb elvárásnak eleget tesz. Magyarország klimatikus adottságai a kontinentális, változatos időjárási feltételeknek köszönhetően lehetővé teszi, hogy számos növényfaj és -fajta fás szárú energianövényként eredményesen termeszthető legyen. A rövid vágásfordulójú energianövényekkel szembeni kritériumoknak hazánkban a fehér akác (*Robinia pseudo-acacia* L.), a nyár (*Populus* sp.), valamint a fűz (*Salix* sp.) felel meg leginkább, ezért a fás szárú energianövények termesztésével foglalkozó fejezet e növényekkel foglalkozik részleteiben.

Fűz (*Salix* sp.)

A fűz (*Salix* sp.) világszerte elterjedt növényfaj, a fűzfafélék (*Salicaceae*) családjába tartozik, mintegy 400 faja él a trópusoktól a mérsékelt égövön. Európában is őshonos, mintegy 60 különböző fajtát tartják nyilván. A növény elsősorban a csapadékosabb termőhelyeken érzi jól magát, de egyes fajtái a száraz klímához is kiválóan alkalmazkodtak. Magyarországon mintegy 23 faj tekinthető honosnak, számos keresztezett változattal. A növény hazai népszerűségét jól példázza, hogy Mária Terézia helytartótanácsa az Alföld homokos területeire is füzeket akart telepíttetni. Felismerve azonban a fűz nagy vízigényét, később az akác mellett döntöttek. Hazánkban a patak- és folyóvölgyek jellemző kísérő növénye. Természetes állománya a 19. századi folyószabályozások idején csökkent le az árterületek visszaszorulásával, de napjainkban egyes fajtáit (pl. *Salix alba*, *Salix carnea*) díszkertekben is szívesen ültetik.

Alaktani jellemzők

A fűz fás szárú cserje- vagy fátermetű, lombhullató, kétlaki évelő növény. A fa alakú fűzek előbb karógyökeret fejlesztenek, utána alakítja ki dúsan elágazó oldalgyökér rendszerét. A bokorfűzek gyökérzete kezdettől fogva rendkívül szerteágazó. A gyökérrendszer formáját a talajtulajdonságok és a termőhely klimatikus viszonyai határozzák meg. Különösen a fátermetű fűzeknél figyelhető meg, hogy ha a telepítés évében száraz vagy aszályos az időjárás a növény a mélyebb rétegek felé törekszik, ami későbbi időszakban kedvezőbb vízfelvételi- és hasznosítási tulajdonságokkal párosulhat. Csapadékosabb időszakban, illetve arid termőhelyeken a növény gyökérzete elsősorban a feltalajban helyezkedik el.

Kérge eleinte sima zöld vagy vöröses-zöld, később hosszanti barázdákkal felrepedezik. A fűzek lomblevelei csavarodottak, lándzsásak, általában fűrészszélűek, a levélnyel többnyire rövid, a levelek széle általában mirigyes. Virágzata fűzérben nyílik, kétlaki, az előző évi vesszők középső rügyeiből fakad. A virágok beporzását általában rovarok végzik. Termése toktermés, a magok körte alakúak, amelyek tartalék tápanyagot nem tartalmaznak, ezért csírázókéességüket csak néhány napig őrzik meg.

A fajok kialakulásában a hibridizáció és a kromoszómaszám módosulás jelentős szerepet játszott. E két tulajdonság nagy szerepet játszik az energetikai célra alkalmas, gyors növekedésű, széles termőhelyi tűrőképességű fajták és klónok létrehozásában. A fűzek rendkívül változatosak, a nagyszámú hibridek jelentősen megnehezítik a faji szintű elhatárolást.

Ökológiai igények

Pionír jellegű növények, jellemzőjük a nagy nedvesség- és fényigény. A legtöbb fűzfaj igényli a folyamatos és jó vízellátottságot, sőt az időszakos vízborítást (belvíz) is elviseli. A hosszú időn keresztül pangóvizet, illetve oxigénhiányos állapotot nem viseli el, ilyen körülmények között állománya rövid idő után megritkul, illetve kipusztul. Rövid vágásfordulójú ültetvényként történő telepítése elsősorban mély fekvésű öntés, réti, kotu talajokra tervezhető. Azokon a talajokon érzi magát a legjobban, ahol a talajvíz 1-3 méter mélységben található. Természetesen jól fejlődik a mély termőrétegű mezőségi talajokon is, azonban ezeken a termőhelyeken élelmiszer- és takarmánynövények termesztése javasolható. Közepesen jó termőhelynek minősül a jó vízellátottságú barna erdőtalaj, azonban 6-8 %-nál nagyobb lejtésű területekre nem ajánlott az ültetése. A fűznek speciális igényei vannak a tengerszint feletti magassággal szemben, lehetőleg 400 méter fölé ne kerüljön. Kerülni kell a fűz telepítését olyan talajokon, amelyekben 1-2 méter mélységben, vagy fölötté mészkőpad, illetve egyéb

áttörhetetlen záróréteg található. Humuszos homok talajokon a kedvezőtlen vízellátottság miatt gyenge állományok alakulnak ki, illetve hamar kipusztul. A megfelelő vízellátottság mellett gondoskodni kell a kedvező fényviszonyok megteremtéséről, a félárnyékos-árnyékos területeket nem viseli el, ezért közvetlen erdőállományok közelébe nem ajánlott az ültetése. A hőigényben jelentős eltérések mutatkozhatnak. A fatermetű fajok (*Salix alba*) általában melegkedvelők, a mérsékelt égöv enyhébb tájain növekednek. A bokorfűzek mérsékelt melegkedvelők, Európában a skandináv országok déli részein is sikerrel termesztik ezek fajtáit, illetve klónjait.

Termesztett fajták és klónok

A rövid vágásfordulójú energetikai faültetvények létesítésére Európában a nagy terméshozamot elérő, magas növésű, tág tűrőképességű cserje- vagy bokor- (pl. *Salix viminalis* – kosárfonófűz, *Salix x smithiana* – szép barkájú fűz, *Salix x dasyclados* – molyhoságú fűz) és fatermetű (*Salix alba*) fajokat és fajtákat egyaránt termesztik. A külföldről (elsősorban Svédországból) behozott és honosított fajták egy részéről bebizonyosodott, hogy gyenge klímaadaptációs képességük miatt nem képesek hazánkban a származási helyükön elért biomassza produkcióra. A 90-es évek óta tartó hazai adaptációs kísérletek során (Nyugat-Magyarországi Egyetem, Szent István Egyetem) több, magyarországi agroökológiai feltételek között eredményesen termesztethető fajta került kiválasztásra. Ezzel egyidejűleg az intenzív nemesítői munkának köszönhetően egyre több hazai fajta veszi fel a versenyt a külföldi klónokkal. A nemesítői tevékenység elsősorban a fagy- és szárazságtűrésre, a tág ökológiai tűrőképességre, a betegség-ellenállóságra, valamint a nagy biomassza-hozam elérésére irányul.

Az energiafűz termesztésének előnyei és kockázatai

A fűz energianövényként történő termesztésének előnyei:

- Magyarországon őshonos növények, folyómenti galériaerdők, hullámterek természetes állományalkotói.
- Energetikai célra sok hazai és külföldi fajta, klón termesztethető eredményesen, ezek ökológiai tűrőképessége tág, a száraz és magasan fekvő hegy- és dombvidéki területek kivételével hazai viszonyok között valamennyi termőhelyre választható megfelelő fűzfajta.

- A szántóföldi élelmiszer- és takarmánynövények termesztésére kevésbé alkalmas területek gazdaságos hasznosítására kiválóan alkalmas.
- Sarjadzási képessége kiváló, gyökérsarjakat nem fejleszt, ezért az ültetvény egyszerűen tisztán tartható.
- Hazai viszonyok között a legnagyobb hektáronkénti biomassza mennyiséget fűz esetében érték el.
- Vadvédelemről rövid ideig kell gondoskodni, mivel a nyúl, és az őz előszeretettel fogyasztja, azonban gyors növekedése miatt a csersavképződés hamar megindul a növényben.
- Szaporítása egyszerű, vegetatív úton (simadugvánnyal, karódugvánnyal) megoldható, járulékos gyökérképződésre hajlamos.
- Valamennyi növényfaj közül a fűz eredése a legjobb, megfelelő időpontban és jó feltételek mellett telepítve 98-100 %.
- Betakarítás után tő- illetve tuskósarjról jól regenerálódnak, egyes fajták akár 20-25 éven keresztül gazdaságosan termeszthetők.
- A talajfelszínre kerülő avar lebomlása gyors, az évi 2,0-2,5 t/ha száraanyag tápanyagforrás, védi a talajfelszínt a szél- és vízeróziótól, valamint a párolgástól.

A fűz energianövényként történő termesztésének kockázatai:

- A termőhelyi viszonyoknak leginkább megfelelő fajta kiválasztása nagy szakértelmet és odafigyelést követel meg.
- Hosszantartó száraz periódus, illetve aszály során állománya megritkulhat, ezért a termőhely vízgazdálkodásának megítélése elengedhetetlen feladat.
- Elsősorban a külföldi fajták, klónok termesztése során a betegségek és kártevők fokozott fertőzésével kell számolni.

Fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.)

A fehér akác a pillangósvirágúak (*Fabaceae*) családjába tartozik, világviszonylatban az egyik legelterjedtebb fafaj. Észak-Amerikában őshonos, Európába 1620 körül hozta be Jean Robin francia botanikus, akiről a tudományos nevét kapta a növény. Az 1700-as évek elején került Magyarországra – valószínűleg német közvetítéssel – parkfának, illetve szegélyfának. Az első akácfaerdőt hadászati célból a komárom-herkályi erődítmény köré 1750-ben ültette a katona kincstár. A 290 hektáros telepítés nagy érdeklődést váltott ki az akácfa iránt. Tömegesen az

1700-as évek végétől kezdték telepíteni. Ültetését nemcsak központilag szorgalmazták, de a földbirtokosok és köztisztviseltekben álló polgárok is terjesztették. Közéjük tartozott Tessedik Sámuel, aki szarvas környékén tett sokat az akác elterjesztéséért. Az Alföld-fásítás legfontosabb növénye volt, az 1800-as években indult program alapvetően változtatta meg az akkoriban már fátlan pusztaságnak ismert Alföld képét. Jelenleg Magyarországon található Európa legnagyobb akácállománya, összterülete meghaladja a 350 000 hektárt 16 százalékos területarányal, és azon kevesek közé tartozik, amit a falusi kertekben a gyümölcsfákon kívül megtúrtek, sőt ültettek is. Népszerűségét sokoldalú felhasználhatóságának köszönheti: virága illatos, kiváló mézet ad, fája alkalmas szőlőkarónak, parkettának, szerszámnyélnek, cölöpnek, oszlopnak, hordókészítésre és még számos egyéb célra. Biomasszaként pedig nagyon fontos tulajdonsága, hogy szárítás nélkül, "nyersen" is ég.

Alaktani jellemzők

Az akác törzse zárt állásban egyenes, hengeres, koronája laza, vékony ágú. Szabad állásban törzse erős ágakra bomlik, gyakran villásodó. Gyökérszeme a laza talajon horizontálisan szétterül, ugyanakkor mélyre hatoló vertikális gyökereket is képez. A többi pillangósvirágúak családjába tartozó növényhez hasonlóan nitrogén szükségletének jelentős részét a gyökerein szimbiózisban élő *Rhizobium*-baktériumok nitrogénkötése révén fedezi. Kérge fiatalon szürkésbarna, sima paraszemölcsös, de már korán hosszanti irányban repedezik. Rügyei késő tavasszal indulnak fejlődésnek az addig takaró levélripacsokból. Virágai 10-15 cm hosszú, lelógó fehér fürtöket alkotnak. A kellemes illatú virágok kiváló mézelők. Termése 5-10 cm hosszú lapos, barna hüvely, amely 4-8 magot tartalmaz. Magja vastag héjú, ezért vetés előtt forrázni kell. A levelek, a virágok és a magvak, valamint a faanyag és a kéreg egyaránt mérgező fehérjéket tartalmaz.

Az akác eredeti termőhelyén közepes méretű fa, fejlődése az első években rendkívül gyors, de 20-25 év után erősen visszaesik. Rövid vágásfordulójú energianövényként termesztve szaporítása magról vagy vegetatív úton gyökérsarjról történik. Csemetenevelése nagyon könnyű, az átültetést jelentősebb visszaesés nélkül viseli. Természetes úton magról nem újul.

Ökológiai igény

Az akác kifejezetten fényigényes, magja kicsírázásához is fényre van szüksége. A növény kiegyensúlyozott fejlődéséhez legalább 170-180 vegetációs napot igényel. Ahol ez nem áll rendelkezésre, ott nincsenek meg az akác számára szükséges feltételek. Klimatikus szempontból az akác számára a legkedvezőbb termesztési körzet a Délnyugat-Dunántúl, a

legmostohabb pedig az Északi-középhegység. A növény termőhely térése széles, azonban a talaj szellőzöttégére különösen igényes, ezért a laza talajokat részesíti előnyben. Bár eredetileg elsősorban a rossz termőképességű futóhomok talajok megkötésére használták, azonban ezeken a termőhelyeken nem tudjuk kielégíteni az akác igényeit, ezért inkább a humuszos homoktalajra kell a telepítést koncentrálni. A rozsdabarna erdőtalaj kiváló akác termőhelynek minősül, energiaültetvényként történő telepítése is leginkább itt javasolható. Az üledék- és hordaléktalajokon, valamint szikeseken az akác telepítését kerülni kell.

Rövid vágásfordulójú energiaültetvényként történő telepítés esetén arra kell figyelni, hogy a talaj kellően levegőzött legyen, továbbá belvíz, pangóvíz kialakulására ne legyen hajlamos. Ez utóbbi feltételek között az akác nemcsak gyenge növekedésű, de gyakran ki is pusztul. Magyarországon energetikai célú akác ültetvények létrehozása elsősorban a Dél-Dunántúl homoktalajain, a Duna-Tisza közti szárazulatokon, valamint a Tiszántúl laza, száraz termőhelyein javasolható.

Az energiaakác termesztésének előnyei és kockázatai

Az akác energianövényként történő termesztésének előnyei:

- Termőhellyel szemben támasztott igényei alacsonyak, száraz, meleg éghajlatú területeken nagy mennyiségű biomasszát ad. Ilyen termőhelyen az akác abszolút szárazanyag-termelésben a legnagyobb hozamot adó hazai fafaj.
- A szántóföldi élelmiszer- és takarmánynövények termesztésére kevésbé alkalmas területek gazdaságos hasznosítására alkalmas.
- Sarjadzási képessége kiemelkedő.
- Az akácavar lebomlása gyors, évente mintegy 60-80 kg nitrogén kerül a körforgalomba. Az akáclomb nagy kalciumtartalma a talaj bázisegyensúlyának fenntartásában játszik jelentős szerepet.
- Kevés betegség, kártevő támadja meg, ami a termesztés biztonságát fokozza.
- Fája igen nagy sűrűségű, ezért térfogatra vonatkoztatott energiatartalma nagy. Élőnedvesen is közvetlenül felhasználható energetikai célokra.

Az akác energianövényként történő termesztésének hátrányai:

- Szaporítása közvetlenül magról vagy gyökeres dugványokról történik, ami a simadugvánnyal történő vegetatív szaporításhoz képest bonyolult és körülményes, továbbá költségesebb.
- Invazív növényfaj, természetvédelmi szempontból kérdéseket vet fel a további felszaporítása és elterjesztése.
- A gyökérzete akár több tíz méterre elterjed a talajban, ami gyökérsarjról kihajthat, emiatt nehezen tartható tisztán az ültetvény, a környezetét is elszennyezheti, illetve felszámolása bonyolult.
- Biomassza hozama az első években kisebb, mint a nyár és a fűz esetén.
- A hajtásrészeken található tüskék a betakarítógépet igénybe veszik, élettartamát lerövidítik, felhasználhatóságát korlátozzák.

Nyár (*Populus sp.*)

A nyár (*Populus*) nemzetség tagjai a fűzfafélék (*Salicaceae*) családba tartoznak. Mintegy 35-40 faja az északi mérsékelt égöv lombhullató vegetációjának tagja. Jellemzően a folyópartok kísérőnövénye, a hullámterek napos, világos partján tenyészik. Ezek a közepestől nagyon nagy méretben megtalálható lombhullató fák 15-50 méteresre is megnőnek, akár 2,5 méteres törzsátmérővel. A kérgük sima, a fehértől zöldesig vagy sötétszürkéig terjedő színnel, ami néhány fajnál öregkorára elveszíti simaságát, és mély barázdákat kap. A levelek mérete még az egyes fákon is nagyon eltérő lehet, a kis levelek főként az oldalágakon, míg a nagyobbak az erősebb törzsi ágakon nőve. A levelek sok faj esetében őszi sárga vagy világos aranyszínűvé válnak.

A magyarországi „tisza” és keverék nyárfafajok első monográfiáját Gombocz Endre állította össze 1908-ban „A *Populus*-nemzetség monográfiája” címen.

Alaktani jellemzők

A nyárfélék fatermetű, lombhullató többnyire kétlaki növények, bár ritkán az egylakiság is előfordul. Hajtásnövekedésük az egész vegetációs időszakon keresztül folyamatos. Hajtásaik hengeresek vagy bordásak, a rügyeket különböző nagyságú rügypikkelyek fedik. Leveleik szórt állásúak, hosszú nyelűek. Jellemző rájuk a heterofillia, ami abban nyilvánul meg, hogy a hosszúhajtásokon és a rövidhajtásokon lévő levelek, alakja, nagysága különbözik. Virágaik csüngő barkákban vagy füzérekben jóval a rügyfakadás előtt nyílnak. Termésük néhány- vagy

sokmagvú tok, amelyek a virágzás után néhány héttel már beérnek. A magok kevés tartalék tápanyaggal rendelkeznek, ezért csírázókéességüket rövid idő után elveszítik.

Ökológiai igény

A nyárfajok termőhellyel szemben támasztott igénye lényegesen nagyobb, mint a fűznek. Az egyenletes és folyamatos vízellátás alapkövetelménye a rövid vágásfordulójú energianyár termesztésének. A fagyűrőkéessége viszonylag gyenge, ami különösen a mediterrán éghajlatú ültetési alapanyag telepítése esetén jelenthet tőpusztulást. Termesztésére a mélyfekvésű, síkvidéki területek a legalkalmasabbak. A nemesnyárok növekedésének mértékét elsősorban a termőhely víz-, levegő- és tápanyag-ellátottsága határozza meg. Olyan termőhelyeken is sikerrel termesztendő, ahol átmenetileg tartós felszíni vízborítás (belvíz) alakul ki. A többletvízhatástól független termőhelyeken csak a mély termőrétegű réti erdőtalajokon, az öntés csernozjom, a mészlepedékes csernozjom, a réti csernozjom és a lejtőhordalék talajokon lehet rövid vágásfordulójú energiaültetvényt sikerrel termesztetni. Egyes nyárfajokkal, mint például a szürkenyár (*Populus x canescens*) szárazabb termőhelyeken, valamint szolonyec szikes talajokon is biztató kísérletek folynak, azonban a nagyterületű energiaültetvények telepítése előtt még további vizsgálatokra van szükség.

Termesztett fajták és klónok

Diploid jellegű nemzetség, az egymáshoz közel álló fajok könnyen kereszteződnek, így számos természetes és mesterséges úton létrehozott hibrid ismert. Ezt a tulajdonságát az energianövényre történő nemesítés során tudatosan kihasználják. A rövid vágásfordulójú energetikai ültetvények létrehozásához a *Populus x euramericana* (nemes nyár hibridek), a *Populus nigra* (fekete nyár), a *Populus tremula* (rezgőnyár) és a *Populus balsamifera* (balzsamos nyár), illetve ezek különböző hibridjei a legalkalmasabbak. A nemesnyár hibridek hazánkban nem tekinthetők őshonosnak, ugyanis ezek többnyire külföldi fajok keresztezése során jöttek létre. A 18. században behozott amerikai fekete nyár spontán módon kereszteződött a Nyugat-Európában élő, európai fekete nyárral, amelynek leggyorsabb növekedésű egyedeit vegetatív úton szaporították tovább. Hasonló folyamat játszódott le Dél-Európában, ahol a 19. század második felében a 'missouriensis' típusú nyárok kereszteződtek a különböző feketenyár változatokkal. A jelenleg energiaültetvények telepített fajták többsége Olaszországból került Magyarországra, de több hazai államilag elismert hibrid is a termesztők rendelkezésére áll. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy a hazai nemesítésű fajták jelenleg nem versenyképesek biomassza hozam tekintetében a külföldi klónokkal. Ezek az

intenzív hasznosítású fás szárú energianövények kevésbé fényigényesek, mint a feketenyár, ugyanakkor a telepítés során kerülni kell a szomszédos táblákon lévő erdők árnyékoló hatását. Az energiaültetvény telepítéshez használt fajták melegigényesek, ott adnak nagy mennyiségű biomasszát, ahol az éves átlaghőmérséklet eléri vagy meghaladja a 8,5 °C-ot.

Az energianyár termesztésének előnyei és kockázatai

A nyárfa energianövényként történő termesztésének előnyei:

- Számos fajta Magyarországon őshonos, folyómenti területek, illetve szárazulatok gyakori növényei.
- Energetikai célra sok hazai és külföldi fajta, klón termeszthető eredményesen, ezek ökológiai tűrőképessége tág, a száraz és magasan fekvő hegy- és dombvidéki területek kivételével hazai viszonyok között valamennyi termőhelyre választható megfelelő nyárfajta.
- A szántóföldi élelmiszer- és takarmánynövények termesztésére kevésbé alkalmas területek gazdaságos hasznosítására kiválóan alkalmas.
- Nemesítése viszonylag egyszerű, az egymáshoz közel álló fajok könnyen kereszteződnek, intenzív növekedésű, nagy biomassza tömeget adó hibridek, klónok hozhatók létre.
- Szaporítása egyszerű, vegetatív úton (simadugvánnyal, karódugvánnyal) megoldható, járulékos gyökérképződésre hajlamos.
- Betakarítás után tő- illetve tuskósarjról jól regenerálódnak, egyes fajták akár 20-25 éven keresztül gazdaságosan termeszthetők.
- A talajfelszínre kerülő avar lebomlása gyors, az évi 2,0-2,5 t/ha szárazanyag tápanyagforrás, védi a talajfelszínt a szél- és vízeróziótól, valamint a párolgástól.

A nyárfa energianövényként történő termesztésének kockázatai:

- A termőhellyel szembeni igénye sokkal nagyobb, mint a fűznek, egyes hibridek különösen melegigényesek, a kései és korai fagyok hatására elfagyhat a termés.
- A nyárklónokról származó dugványok eredési aránya lényegesen kisebb, mint a fűznél, mindössze 80-90 %.
- A nemesnyárok gyökérszeme nagyrészt a feltalajban található, ezért a gyenge víz- és tápanyag-ellátottság következtében csökkenhet a letermelhető biomassza mennyisége.

- Hosszantartó száraz periódus, illetve aszály során állománya megritkulhat, ezért a termőhely vízgazdálkodásának megítélése elengedhetetlen feladat.
- A nyár érzékenyen reagál a talajban lévő korábbi szántóföldi termelésből származó növényvédőszer-maradványokra, kedvező termőhelyi körülmények között is kiegyenlítetlen állománnyal kell számolni.
- Elsősorban a külföldi fajták, klónok termesztése során a betegségek és kártevők fokozott fertőzésével kell számolni.

Energetikai faültvények létesítésére alkalmas egyéb fafajok

Magyarország változatos természeti adottságai akác, fűz és nyár mellett számos egyéb növényfaj fás szárú energianövényként történő termesztését lehetővé teszi. Rövid vágásfordulójú ültvényként telepítve kevés hazai gyakorlati tapasztalat áll rendelkezésre, mivel többnyire kisebb biomassza tömeg elérésére képesek és lassabban növekednek, mint az előző fejezetben ismertetett fajok, azonban regionálisan lehet szerepük a jövőben.

Enyves éger (Alnus glutinosa). Kimondottan fényigényes, fiatal korában gyorsan nöövő sudaras fafaj. Hazája Eurázsia, Észak-Afrika. Fatermelésre kijelölt erdőterületeink kb. 1 százalékát foglalják el az égeresek, azonban faanyaguk értéke és sokoldalú felhasználhatósága miatt jelentőségük nagyobb, mint térfoglalásuk. Nálunk dombvidéki patakok mentén, a síkvidéken pedig égerlápokban, ligeterdőkben gyakori. Nagyobb tömegben a Szatmár-beregi síkon, a Hanságban és Dél-Somogyban található. A nedves, vizes termőhelyekre való, a pangó vizet jól hasznosítja, hosszabb idejű többletvíz hatása sem veti vissza a növény fejlődését. A vegetációs időszakban az erős vízszintingadozást nem viseli el, ezért elsősorban patakpart közelében lévő szántókra telepíthető, ahol gyökereit a folyamatosan átáztatott talajban növesztheti. Jól sarjadzik, azonban állomány-felújítása, illetve telepítése magról történik.

Kőris (Fraxinus sp.). Fiatalon a félárnyékot is elviseli, később azonban inkább fényigényes növényfaj. Fás szárú energianövényként a gyors kezdeti növekedésű és intenzív sarjadzási képességű magas kőris (*Fraxinus excelsior*) és a keskenylevelű kőris (*Fraxinus angustifolia*) jöhet számításba. A talaj nedvesség-ellátottságával szemben magas igényeket támasztanak.

Juhar (*Acer sp.*). A juhar nemzetségbe mintegy 150, az északi féltekén elterjedt fa- és cserjefajok tartoznak. Morfológiájuk rendkívül változatos, széles az ökológiai toleranciájúak. A tápanyagban gazdag, üde talajokat kedvelik, közepes vízigényűek. Energetikai célra néhány gyors növekedésű fajjal folynak kísérletek. Sarjaztatásos technológiára kevésbé alkalmas, azonban a zöld juharral (*Acer negundo*) folytatott technológiafejlesztési munkák eredményei biztatóak (Ausztria).

Fekete dió (*Juglans nigra*). A diófafélék (*Juglandaceae*) családjába tartozó lombhullató, egylaki növényfaj. Kifejlett állapotban a kedvező termőhelyen nevelt állomány akár 50 méteres magasságot is elérheti. A magoncok az első évben 50-60 cm magasságot érnek el, azonban a második évtől növekedése fokozódik. Szárvastagodása intenzív és hosszan tartó. Fája kiváló minőségű, fatömeg produkciója lényegesen nagyobb, mint a vele azonos termőhelyen növekvő kocsányos tölgyé vagy magas kőrisé. Termőhelyével szemben viszonylag igényes, nagy biomassa tömeget csak tápanyagban gazdag, üde, oxigénben gazdag talajon képes előállítani. A levegőtlen, kötött, erősen tömörödött talajokon nem érzi jól magát. Kiválóan alkalmas árterületek hasznosítására, de eredményesen termeszthető mély termőrétű humuszos homoktalajokon is.

Energetikai ültetvények létesítésére a fentiekben ismertetett növényfajokon és nemzetségeken kívül a jelenlegi jogszabályok a tölgy (*Quercus sp.*) telepítését teszik lehetővé, azonban számos kísérlet folyik egyéb növényfajokkal is mind hazai, mind külföldi kutatóhelyeken.

8.3. Termőhelyi feltételek jellemzése

Területválasztás

A fás szárú energianövények termesztése a szántó művelési ágba tartozik, ezért a termőhellyel kapcsolatos valamennyi jellemző ismertetésénél a szántóföldi növénytermesztésben alkalmazott módszereket, eljárásokat, valamint termőhelyi felosztásokat alkalmazzuk. Energiaültetvény létesítésére csaknem valamennyi szántóföldi hasznosítás alatt lévő termőhely alkalmas lehet. Részben a jelenleg gyepléves művelési ágba tartozó területek is szóba jöhetnek. Fás szárú energianövény termesztésének azonban azokon a termőhelyeken lehet létjogosultsága, ahol a várható jövedelmezőség meghaladja a hagyományos, (élelmiszer-alapanyag, takarmányozási, ipari, stb.) növények termesztésének eredményességét. A jól

átgondolt területválasztás alapja a termőhely adottságainak, valamint a természetű növényfajok és fajták igényének és várható hozamának ismerete. A terület kiválasztásánál több szempontot figyelembe kell venni, amelyek a gazdaságos gépkihasználás és termesztés elengedhetetlen feltételei:

Ökológiai feltételek

- A magas talajvízszint (1-2 m mélységben) egyes növények esetében kifejezetten kedvező lehet, de a pangóvizes, folyamatos vízállású talajokat kerülni kell.
- Az energiaültetvény területének kiválasztásánál kerülni kell a folyamatos árnyékolást (pl. szomszédos táblákon erdők), mivel az jelentős biomassza csökkenést eredményez.
- A talaj kémhatása enyhén savanyú, illetve semleges kémhatású legyen. Ha a pH érték kevesebb, mint 5,5, illetve magasabb, mint 7,5, nem alkalmas energetikai ültetvény létesítésére.
- Az éves átlaghőmérséklet legalább 8-8,5 °C legyen.
- A csapadék mennyisége a termőhelytől és a növény igényétől függően legalább 400-500 mm legyen. Az eredményességet elsősorban a telepítés évének időjárása határozza meg. A csapadékmennyiség mellett fontos annak eloszlása, különösen a kezdeti fejlődés megindulásához, valamint a megfelelő gyökeresedéshez van szükség elegendő nedvességre.

Műszaki feltételek

- A 15%-nál nagyobb lejtésű területeket lehetőleg kerülni kell. Ennél nagyobb lejtésnél a vízgazdálkodási tulajdonságok kedvezőtlenek, illetve a gépek mozgása is nehezkessé válik.
- A jó gépkihasználás és költségtakarékos gazdálkodás érdekében a táblaméret legalább 2 ha legyen. Gazdasági szempontból előnyösebb a nagyobb táblaméret, ugyanakkor környezeti szempontok (élőhely változatosság, biodiverzitás növelése) a kisebb táblaméret mellett szólnak.
- A szállítás megkönnyítése és a költségek csökkentése érdekében célszerű burkolt út közelében, továbbá az átvevőhelyhez lehető legközelebbi területet kiválasztani.

Magyarország szántóföldi termőhelyei hat kategóriába sorolhatók. A termőhely a mező- és erdőgazdaság által hasznosított föld. A szántóföldi növények igénye szerint a közel azonos

termékenységu és tulajdonságu talajtípusokból képezett egységet nevezzük szántóföldi termőhelynek.

I. szántóföldi termőhely: *középkötött mezősegi talajok*. Ide tartoznak azok a csernozjomok, többnyire középkötött vályogtalajok, amelyek az ország legjobb és legtöbbet termő szántóföldjei. Humuszban gazdagok, a termőréteg mély, víz-, levegő- és hógazdálkodásuk kiváló, jó a tápanyag-szolgáltató és tápanyag-közvetítő képességük. Könnyű művelhetőségük és szerkezettartó tulajdonságuk következtében a legigényesebb szántóföldi növények is sikerrel termeszthetők rajtuk. Energiaültetvények telepítését ezeken a termőhelyeken kerülni kell!

II. szántóföldi termőhely: *középkötött erdőtalajok*. Ide tartoznak Dunántúl és Észak-Magyarország azon középkötött erdőtalajai, amelyek termőképessége alig marad el a csernozjom talajétól. A víz-, levegő- és hógazdálkodásuk jó. Tápanyag-szolgáltató képességüket befolyásolja, hogy a termőrétegben és az alatta lévő rétegben kevesebb a mész. A termeszthető növények száma kevesebb. Termésbiztonságuk nagymértékben függ az időjárási körülményektől. Ezen a termőhelyen az eróziós károk műszaki talajvédelem nélkül, alkalmazkodó műveléssel és eljárásokkal megakadályozhatók. A mélyebben fekvő területeken a vízgazdálkodási tulajdonságoktól függően energiaültetvények telepítésére alkalmasak.

III. szántóföldi termőhely: *kötött réti talajok, öntéstalajok*. Az ide sorolt talajokat jó tápanyagkészlet, de gyenge tápanyag-feltáródás jellemzi. Vízartó képességük nagy, vízvezetésük viszont kedvezőtlen. A növénytermesztést, valamint a tápanyagok érvényesülését az évszakonkénti, főleg a tavaszi magas talajvízállás vagy belvíz, valamint a nagyobb esők utáni gyors túltelítődés befolyásolhatja. A tápanyagok érvényesülése és a termés az évhatás miatt nagymértékben ingadozhat. A talajok művelhetősége a nagy agyagtartalmuk miatt nehéz, a művelhetőség nedvességtartománya szűk. A degradáció megelőzése érdekében túl száraz vagy túlzottan nedves körülmények között a művelést kerülni kell. Megfelelő talaj-előkészítés és átszellőztetés után energiaültetvény létesítésére alkalmassá tehetők.

IV. szántóföldi termőhely: *laza és homoktalajok*. Jellemzőjük a könnyű mechanikai összetétel, a szervetlen és a szerves kolloidok kis mennyisége. Emiatt vízgazdálkodásuk, vízartó képességük kedvezőtlen. Könnyen művelhetők, ugyanakkor deflációra hajlamosak. Termőrétegük összetétele és vastagsága heterogén. A biztonsággal termeszthető növények száma kevés, és a termés ingadozó. A deflációnak kitett futóhomok talajokon és tőzeges talajokon a lehető legrövidebbre kell csökkenteni a művelési időnyt. Biztonsággal akár ültetvények létesítésére alkalmas.

V. szántóföldi termőhely: *szikes talajok*. Ide soroljuk a szántóföldi művelés alatt álló szikes talajokat, amelyekre szélsőséges víz- és tápanyag-gazdálkodás, nagy tápanyag tőke, de kis hasznosítható tápanyagkészlet, és nehéz művelhetőség jellemző. A termesztendő növényfajok száma korlátozott, a termésingadozás nagy. Kémiai javítás hatására a termékenység, a termés szintje is javul, de a szikesedés okai nem enyhülnek. A kémiai hibákat fizikai talajhibák (gyors ülepedés, tömörödés, száraz állapotban rögzösödés) fokozzák, de ez fordítva is igaz. E talajokat művelhetőség szerint perctalajoknak nevezik. A legtöbb energetikai célra alkalmas növény a szikességet nem tolerálja, ezért kerülni kell. Ugyanakkor egyes nyár fajták telepítésére alkalmas lehet, azonban az ezzel kapcsolatos kutatások még folyamatban vannak.

VI. szántóföldi termőhely: *sekély termőrétegű, sík vagy lejtős, erodált ésheterogén talajok*. A sekély termőréteg oka lehet az erodáltság (lejtős területen), vagy a köves, kavicsos rétegen 50 cm-nél vékonyabb termékeny talaj kialakulása. E talajok kevés vizet tárolnak, emiatt csak kis vízigényű, rövid tenyészidejű, extenzív körülményeket tűrő növények termesztendők viszonylag biztonsággal. A lejtős területek a vízerózióval szembeni talajvédelem, a sík és közel sík földek pedig a kímélésszabályai szerint művelendők. A sekély termőréteg korlátozza a forgathatóságot, a köves vagy kavicsos altalaj pedig a forgatás nélküli lazítást is. Energetikai ültetvények létesítésére nem alkalmasak.

A termőhely vizsgálata

A termőhely vizsgálata a teljes technológia szempontjából meghatározó jelentőségű, és a későbbi költségeket befolyásoló munkafolyamat. Céljai az alábbiakban fogalmazhatók meg:

- ***a termőhely minősítése, valamint a talaj fizikai és biológiai állapotjellemzőinek meghatározása.*** A termőhely elbírálása a megfelelő faj és fajta kiválasztásához nyújt információt, valamint a talajművelés módjának és mélységének környezetkímélő és energiatakarékos tervezésének elengedhetetlen feltétele. A termőhely vizsgálata állandó és változó termőhelyi tényezőkre terjedhet ki.

A jelenlegi növénytermesztési gyakorlatban kevésbé alkalmazott módszer a talaj fizikai és biológiai állapotának jellemzése, azonban számos termesztéstechnológiai döntés megalapozásához segítségünkre lehet. A termőhelyi jellemzők elbírálása történhet talajszelvényből (termőréteg vastagsága, talaj típusa, tömör réteg jelenléte, biológiai tevékenység, stb.), Görbing-féle ásópróbával vagy műszeres vizsgálattal (talajjellenállás, nedvességtartalom)

- ***a talaj tápanyagtartalmának meghatározása.*** A terület hasznosítható tápanyagtartalmának és a természeti kívánt növény igényének ismeretében tervezhető a kijuttatandó tápanyagok mennyisége. A tápanyagtartalom meghatározása céljából legalább 50 cm mélységig kell talajmintákat venni két mélységszintre lebontva (0-25 és 25-50 cm). A tápanyagvizsgálatok esetében javasolt az 5 hektáronkénti átlagminta vétele, azonban heterogén termőhely esetén a mintavételi egységek területe csökkenthető (2-3 ha), illetve az átlagmintához vett talajminták száma növelhető. A laboratóriumi vizsgálat során meg kell határozni a pH, a CaCO₃ tartalmat, a fizikai talajféleséget, az összes só tartalmat, a humusztartalmat, valamint a legfontosabb makroelemek (nitrogén, foszfor, kálium) mennyiségét.
- ***a termőhelynek megfelelő faj és fajta kiválasztása.*** Helyes faj – és fajtaválasztással akár 40-45 %-os hozamnövekedés is elérhető. Ugyanakkor termőhely-idegen növények telepítése rövid időn belül az ültetvény pusztulását okozhatja. A fás szárú energianövények termesztése céljából Magyarországon három növényfaj (akác, fűz, nyár) jöhet számításba. Egyéb növények termesztésének részben jogi, részben ökológiai, illetve fiziológiai akadályai vannak. A fafaj és a fajta kiválasztása a termőhelyi leírás, valamint a talaj helyszíni és laboratóriumban történő vizsgálata alapján történik.

8.4. Fontosabb technológiai munkák leírása

Lágyszárú energianövények

A lágyszárú energianövények esetében – mint minden ültetvényként kezelt kultúránál – nagyon fontos a telepítés előtti talaj-előkészítés. Mivel a növényállomány több vegetációs perióduson keresztül (nem ritkán 10 évnél is hosszabb ideig) a területen marad, az alpművelésnek, valamint az azt megelőző tarlómunkáknak és -ápolásnak rendkívül nagy szerepe van az ültetvény produktívitásának sikerességében. A jól időzített és kivitelezett talaj-előkészítés kedvezően hat a talaj víz-, levegő- és hőháztartására, tápanyag-szolgáltató képességére, valamint szerkezetére. Azért kell nagy hangsúlyt fektetni erre a műveletre, hiszen a növényállomány életteréül szolgáló közegre, a talajra – egy teljesen zárt ültetvény esetében – hatni csak a telepítést megelőzően van lehetőségünk. A tarlómunkák, valamint az alpművelés sikeressége pedig a megfelelő mag- vagy ültetőágy készítésére van döntő befolyással. Minden talajművelési munkát célszerű – amennyiben lehetséges egy menetben –

lezárni, a további nedvességvesztést elkerülendő. Az aprómagvú fűfélék nagyon igényesek a magágy minőségére. Ezen növények az aprómorzsás, kellően üledett, kellőképpen nyirkos, a vetés mélységében lazult magágyat igényelnek. A vegetatív úton, vagy palántával telepített fajok esetében is fontos a magágy-készítés, de mivel a szaporítóanyag nagyobb méretű, kevésbé. Az alaptrágyát érdemes az alapműveléssel a talajba dolgozni, tavaszi telepítésnél a nitrogén nagyobb részét a magágy-készítés előtt kell kijuttatni.

A magról történő telepítés könnyedén kivitelezhető gabonavetőgéppel szimpla vagy dupla gabona sortávval, kapás kultúra esetében (cukorcirok) pedig szemenként vető géppel a kívánalmaknak megfelelően. A vetést is érdemes, amennyiben lehetséges még ugyanabban a menetben lezárni, hogy csökkentsük a talaj nedvesség-veszteségét.

Lágyszárú energianövényekről beszélve – mivel főként egyszikű fajokról van szó – a gyomok elleni védekezést célszerű még az előveteményben, vagy annak lekerülése után megoldani. A kétszikű gyomok elleni védekezés egyszerű és könnyen megoldható egyszikű kultúrák esetében, viszont az egyszikű gyomok ellen kevés a hatásos készítmény. Rovarkártevők, betegségek e fajokat kevésbé támadják ezért csak indokolt esetben lehet szükség az ellenük történő védekezésre.

Attól függően, hogy milyen a talaj tápanyag-szolgáltató képessége, hányszor takarítunk be biomasszát évente, valamint mennyi növényi maradványt hagyunk a területen a tápanyag-visszapótlás jelentősége nem elhanyagolható. Erre használhatunk különböző műtrágyákat, egyes esetekben szerves trágyát és komposztot is.

A lágyszárú energianövények betakarításánál a tarlómagasság helyes megválasztása nagyban befolyásolja az növényállomány életidejét, valamint a későbbiekben betakarítható hozamokat. A betakarítás eszközei a különböző kaszák (alternáló és rotációs), valamint a járva szecs-kázó gépek. A kaszálást követően a levágott biomasszát bálázhatjuk, növelve annak térfogattömegét és megkönnyítve a szállítást és a kezelhetőséget. A járva szecs-kázók aprítékot állítanak elő, melyet egyből a szállítójárműre halmoznak, viszont a keletkező anyagnak alacsony a térfogattömege. Az apríték vagy a bálák darálásával kapott alapanyag pelletálható vagy brikettálható, ami jelentősen megnöveli a biomassza térfogattömegét. Figyelembe kell venni azonban, hogy az alapanyag feldolgozása során befektetett energia megtérülése nem biztos.

Fás szárú energianövények***A talajművelés célja és jelentősége energiaültetvények létesítése előtt***

Magyarország agroökológiai adottságai között a klímaváltozás felerősödése, illetve a szélsőséges időjárási jelenségek növekvő gyakorisága miatt a talajművelésnek a természetendő növény számára kedvező talajállapot mellett a talajnedvesség veszteség minimalizálására kell irányulnia. Bármely művelési beavatkozás a talaj állapotába a párologtató felület megnövekedésével jár együtt, azonban általános követelményként fogalmazható meg, hogy a szükséges mértékű bolygatásra kell törekedni. Egyes műveletek összevonása, míg a kevésbé hatásosak elhagyása révén szintén mérsékelhető a párologási veszteség. Az energetikai faültetvények létesítése során különösen nagy gonddal kell eljárni, ugyanis a műveléssel nem csak egy vegetációs időszakra készítjük elő a talajt, hanem 10-25 éves termelési ciklust alapozunk meg vele. Speciális helyzettel kell szembenézni a talaj művelőjének fás szárú energianövény termesztése előtt abban a tekintetben is, hogy esetenként olyan talajon kell telepítésre alkalmas kultúrállapotot kialakítani, ahol a megelőző években a hagyományos szántóföldi növények termelése nem volt jövedelmező (belvizes területek, aszályra érzékeny homoktalajok, stb.) vagy rendszeres művelés alatt nem állt (pl. parlagterületek, hullámtéri szántók, stb.).

A fás szárú energianövények termesztését megalapozó talajművelésnek az alábbi elvárásoknak kell megfelelnie:

- a szaporítóanyag géppel vagy kézzel történő akadálytalan bejuttatását elősegítő talajállapot,
- egyenletes, legfeljebb kissé rögös talajfelszín kialakítása,
- gyommentes, lehetőleg növényi maradványoktól mentes talajfelszín létrehozása. Ettől a követelménytől csak kivételes esetekben lehet eltérni pl. jól begyökeresedett dugványok ültetése, kellően átlazult talaj esetén.
- nedvesség- és szénvesztést csökkentő művelési beavatkozások alkalmazása.

Talajművelési rendszerek

Az energetikai faültetvények létesítése előtti talajművelés nagy odafigyelést igényel. Az alábbiakban áttekintjük különböző termőhelyi feltételek között a korán és későn lekerülő elővetemény utáni talaj-előkészítés rendszerét, illetve külön értékeljük a parlagterületek, valamint a gyepterületek talaj-előkészítését.

Talaj-előkészítés korán lekerülő elővetemény után

Ha a terület szántóföldi művelésben volt a megelőző években, célszerű fás szárú energianövények telepítése előtt korán lekerülő előveteményeket termesztetni. Nyár elejéig betakarítják az őszi káposztarepcét, a borsót, nyár közepéig lekerülnek az őszi és a tavaszi kalászos növények, az olaj- és rostlen, valamint a mának termesztett olajretek és mustár. Ebben az esetben elegendő idő áll rendelkezésre a talajmunkák elvégzésére, az energiaültetvény telepítéséhez szükséges kedvező talajállapot létrehozásához (11. ábra).

Tarlóhántás. A korai betakarítású elővetemények művelési rendszerében a talaj kulturállapotának kialakítását szolgáló legfontosabb talajmunkák közé tartozik, amely során az aprított szár és gyökérmaradványokat dolgozzuk a talajba. Mélysége nem haladhatja meg a 10-15 cm-t, mert az felesleges energiapazarlásnak minősülne.

A tarlóhántás céljai a talaj védelmével, kedvező kultúrállapotának kialakításával, illetve megtartásával összefüggésben határozhatók meg: a talajnedvesség veszteségének csökkentése, a gyomok elleni mechanikai védekezés, gyomszabályozás, a talaj hőforgalmának szabályozása, a talaj fizikai-biológiai beéredésének elősegítése, valamint a tarlómaradványok sekély talajba keverése.

A tarlóhántás elvégzésére a talaj kötöttségétől függően bármely sekélyen lazító és porhanyító eszköz (tárca, ásóborona, kultivátor, talajmaró) alkalmas. Az elmunkálást lehetőleg egy menetben végezzük a hántással, a kisebb taposás és a költségkímélés miatt. Erre a célra gyűrűs-, pálcás hengert, fogast, stb. szerelnek a hántó eszközhöz.

A tarlóhántás fentiekben leírt kedvező hatásai csak abban az esetben jutnak kifejezésre, ha néhány fontos szabályt betartunk.

- A tarlóhántást lehetőleg a betakarítást követően azonnal végezzük el. A talaj ún. beárnyékolási érettsége (a felső talajréteg nyirkos állapotban van) lehetővé teszi, hogy jó minőségű talajmunkát kapjunk.
- Száraz évjáratokban a hántás mellőzése, késői vagy rossz minőségű elvégzése (túl mély, túl rögzös) rontja az őszi alapozó művelés költségkímélő és talajkímélő végrehajtását.

- Lejtős területeken jobb, ha a talajt nem zárjuk le, a durva, érdes felszín alkalmasabb az eróziós és deflációs károk mérséklésére.
- Túlzottan nedves talajt ne hántsunk, mert ez további talajszerkezet romlást vetít előre. Kivételt jelent a laza homoktalaj.
- Fontos a fokozatos mélyítés elvének betartása. Az egymás után azonos mélységű talajmunka rontja a művelés minőségét, növeli a művelőtalp vastagságát. Különösen érvényes ez a tárcsára, amely a tarlöhántás legelterjedtebb eszköze.

A talajlazítás. A talajlazítás során az összeállt, üledett vagy tömörödött rétegek talaja minden irányban kisebb-nagyobb rögök képződésével szétválik. A lazítás a tömörítéssel ellentétes folyamat: csökken a talaj térfogattömege, nő a hézagtér, és benne a légtérfogat %-a. Javul a talaj vízbefogadó és víztároló képessége, csökken az összefolyás, és lejtős területen a vízfolyás. A lazítás nélkülözhetetlen a talaj kultúrállapota megőrzésében és javításában.

Attól függően, hogy a talaj mely rétegében szükséges a tömör talajállapot megszüntetése a talajlazításnak három típusa különíthető el. 1. Sekélyen lazítandó a talaj tarlöhántáskor, magágykészítéskor és kelés után, növényápoláskor. Sekély lazításra a kultivátorok, a tárcsák, az ásó- és fogasboronák, a kombinátorok alkalmasak. 2. Középmélylazítással a talaj 0-45 cm rétegének fizikai állapota javítható. Hatása jobb esetben 2-3 tenyészidőn át érvényesül, ezért alampéldésművelésimódszer. Eszközei a középmélylazítók. 3. Mélylazítással a rendszeresen művelt réteg alatt elhelyezkedő talaj fizikai állapota javítható. A funkciója szerint alapozó, elsődlegesen pedig melioratív mélyművelésmélylazítókkal végezhető.

A gyakorlat számára nagyon fontos kérdés, hogy milyen mélységben végezzük a lazítást, és ez hogyan határozható meg? A lazítás mélységét a tömör réteg elhelyezkedése határozza meg. Mindig ügyelni kell arra, hogy a művelet után a fel- és altalaj között kedvező kapcsolat alakuljon ki. Ezért elengedhetetlen a lazítás mélységének megválasztása előtt a tömör záróréteg elhelyezkedésének feltárása. A lazítás mélységének megválasztásakor feltétlenül érdemes 5-10 cm-rel a feltárt tömör réteg alá menni. A lazítókések egymástól való távolságát úgy kell megválasztani, hogy a repesztő hatás révén a két kés között is kellő mélységben megtörténjen a lazítóhatás.

A lazítás idejének helyes megválasztása döntően befolyásolja a művelet sikerességét. Míg a szántás, a tárcsázás nyirkos talajon végezhető a legjobb minőségben, addig a lazítás kizárólag száraz talajállapot esetén lehet eredményes. A tömör réteget áttörő repesztő hatás már nyirkos talajon sem érvényesül, ezért a nyári hónapok a leginkább megfelelőek a talajlazítás

tervezésére. Mivel ezekben az időszakokban jelentős lehet a talajnedvesség veszteség, ezért a műveletet követő (kapcsolt vagy külön menetes megoldással) felszínlezárás nélkülözhetetlen. A talajlazítás során felmerülő probléma lehet az erőteljes rögzösödés, amely a tömörödés kísérő jelenségének tekinthető. Minél tömörebb a talaj, és minél szárazabb a legfelső rétege, annál nagyobb mértékű rögzösödés várható. A rögzösödést a talaj nagy agyagtartalma is fokozhatja, de a jelenség a kis humusztartalmú homoktalajokon is gyakori. A rögzösítő hatás agronómiai fogásokkal mérsékelhető: kalászosok betakarítása után, ha a lazítást rögtön a növény lekerülése után az ún. beárnyékolási érettség időszakában végezzük el, még kisebb energiaigénnyel és rögzösítő hatással számolhatunk. Ugyancsak hatásos módszer, ha nyári betakarítású növények lekerülése után meghántott és lezárt felszínű tarlón végezzük a lazítást. Ez a módszer azonban csak abban az esetben lehet hatásos, ha a tarlóhántást időben végezzük el.

Energetikai faültvények telepítése előtt korábban belvízjárta, illetve időszakos vízborítás kialakulására hajlamos talajokon a középmedéylazítás elvégzése kihagyhatatlan eljárás az őszi szántás előtt. Homoktalajon a talaj pillanatnyi állapota, illetve a korábbi évek művelési rendszerei alapján kell dönteni. Összeállt, ülepedett réti talajon különösen fűz és nyár telepítése előtt a talajlevegőzöttség javulását segíti elő a 40-45 cm mélyen elvégzett lazító talajművelés. Kötött talajokon abban az esetben is javasolt a középmedéylazítás, ha tömör zárórég nem akadályozza az ültetvény telepítését, azonban a fel- és altalaj közötti zavartalan kapcsolat javítása érhető el.

Őszi mélyszántás. Alapművelésen Magyarországon leggyakrabban ma még az ekével végzett forgatásos művelést értik, amelynek előnyei, hátrányai egyaránt ismertek. Végrehajtása többnyire szükséges, ha

- a talaj felső rétege lepusztult szerkezetű,
- a tápanyagok az alsóbb rétegekbe mosódtak,
- mésztartalmú réteget kívánunk felhozni a felső elsavanyodott helyére,
- a növényi maradványok, istálló- és zöldtrágyák aláforgatása a cél,
- a gyomok irtását elősegíti.

Ezen előnyök mellett azonban feltétlenül szólni kell a hátrányokról is, amelyekről sajnos gyakran megfeledkeznek.

- A talajszerkezet leromlásának egyik oka éppen a gyakori forgatás és különösen az elmunkáló műveletek mechanikai károsítása. Nem lehet elégszer hangsúlyozni, hogy kultúrnövényeink nem a mély és rendszeres forgatást igényelik, hanem a kedvező fizikai, kémiai és biológiai talajállapotot, amely kialakításának adott esetben legkedvezőbb eszköze lehet az eke, de nem minden évben és minden növény alá.
- A trágyák és aprított tarlómaradványok talajba munkálásának legegyszerűbb módszere kétségtől a talajba forgatás, de ezen anyagok eke nélkül is hatékonyan kijuttathatók.
- A gyomok irtásában más módszerek kellő odafigyeléssel nagyobb eredményességgel alkalmazhatók (pl. a növényi sorrend).
- Nem mellékes szempont az sem, hogy a forgatás energiaigénye a hasonló mélységű forgatás nélküli módszerekhez viszonyítva 5-25 %-kal nagyobb. A hetvenes években többek között az energiaárak rohamos növekedése készítette a földhasználókat a rendszeres szántás más eljárásokkal történő időnkénti kiváltására.
- A talajnedvesség veszteség szántáskor tetemes lehet. Különösen érvényes ez abban az esetben, ha a művelés után elmarad a felszín elmunkálása többnyire költségtakarékossági szempontok miatt. Magyarországon elsősorban a korai elővetemények (borsó, kalászosok) után végzett nyári alpművelés során okozhat nagy károkat a felszín nyitva hagyása az intenzív párolgás, az aszályra hajló időjárás miatt.
- A forgathatóság mélysége a talajhibákat tartalmazó termőhelyeken korlátozott.

Fás szárú energianövények telepítését megelőzően a lazítás utáni alpművelés többnyire elhagyhatatlan módszere a szántás. A hagyományos szántóföldi növények termesztési rendszerében – a talaj állapotától függően – bevett gyakorlat a 20-25 cm mélységű forgatásos művelés, addig ebben az esetben célszerű gyökeres növények és sima dugványok telepítése előtt is legalább 30-35 cm mélységig végezni a szántást. Ügyelni kell arra, hogy a művelés mélységtartása egyenletes legyen, ellenkező esetben mind a kézi, mind a gépi telepítés minősége kedvezőtlen lehet, a nem kellően átmunkált talajba juttatott dugványok eltörhetnek. Fás szárú energianövények telepítése előtt kivételes esetekben jöhetnek számításba a forgatás nélküli eljárások, amelyek eszközei a kultivátor, a tárcsa, a talajmaró, a lazító. Ezek az eszközök kíméletesebb beavatkozást tesznek lehetővé, többnyire keverő hatásuknak köszönhető a növényi maradványok talajba juttatása. Az energetikai ültetvények első évének

egyik legkritikusabb eleme a hatékony gyomszabályozás, ezért forgatás nélküli módszerek csak abban az esetben jöhetnek számításba, ha a talaj kultúrállapota (pl. enyhe gyomfertőzöttség) lehetővé teszi.

Az őszi szántással egy menetben – kivételes esetben külön menetben – a talajt el kell munkálni. Az újabb ekekonstrukciók már lehetővé teszik az a műveléssel egymenetes felszínegyengetést, amely javítja a kovatavaszi kedvező talajállapot kialakulásának az esélyét. Az ültetőágyat közvetlenül a dugványok ültetése előtt készítsük elő. Erre a célra kiválóan alkalmasak a szántóföldi növények termesztésére használt eszközök, amelyekkel aprómorzsa, egyenletes felszínű, gyommentes talajt lehet készíteni kb. 20 cm mélyen.

Talajelőkészítés későn lekerülő elővetemények után

Későn lekerülő előveteménynek minősülnek azok a növények, amelyek augusztus végén, illetve a szeptember és október hónap folyamán kerülnek le a területről. Ide soroljuk a napraforgót, a kukoricát, a későn feltört lucernát. Energetikai faültetvény létesítésére kivételes esetben jöhetnek számításba, feltétel a talaj kedvező fizikai és biológiai állapota (talajlazításra már nincs lehetőség), a növényi maradványok hatékony kezelése, az őszi talajmunkák szervezett és szakszerű elvégzésének lehetősége (12. ábra). A szárazúzást követő alpművelés ebben az esetben a legalább 30-35 cm mélységű forgatásos művelés, amelynek módszere, elmunkálása megegyezik a korán lekerülő elővetemények esetében leírtakkal.

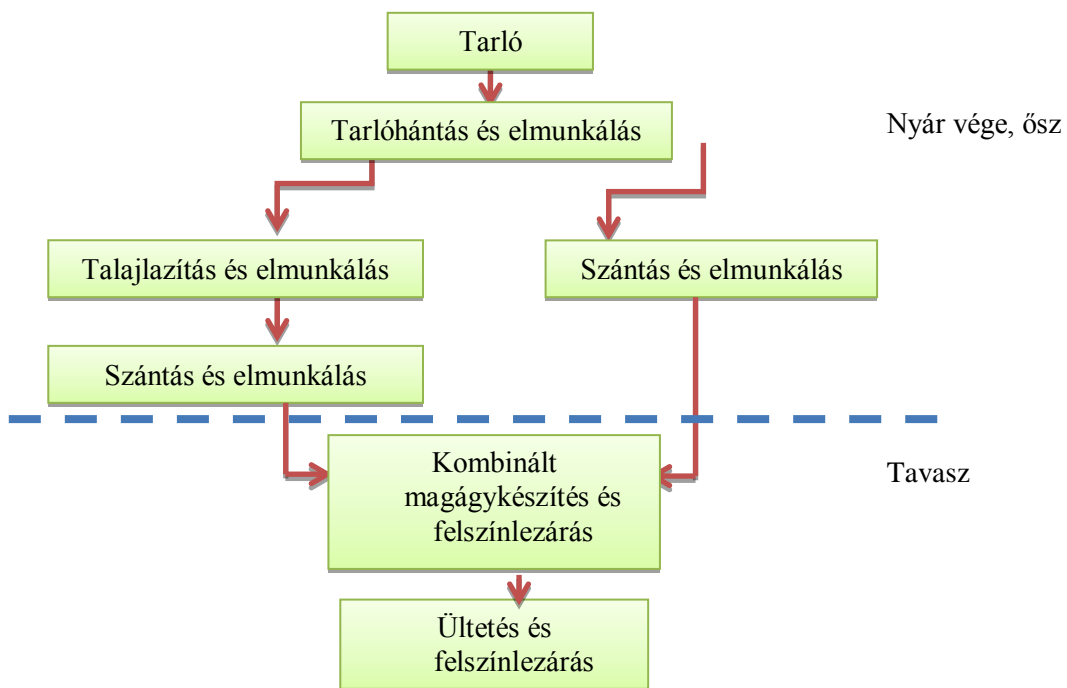
Talajelőkészítés nem művelt területeken

Magyarországon több százezer hektárra tehető azoknak a területeknek a nagysága, amelyeken évek óta nem folyik szántóföldi talajhasználat, ugyanakkor energetikai ültetvények létesítésére és gazdaságos hasznosítására alkalmasak lehetnek. Ide tartoznak az alábbi szántó vagy gyepterületi művelési ágba tartozó területek:

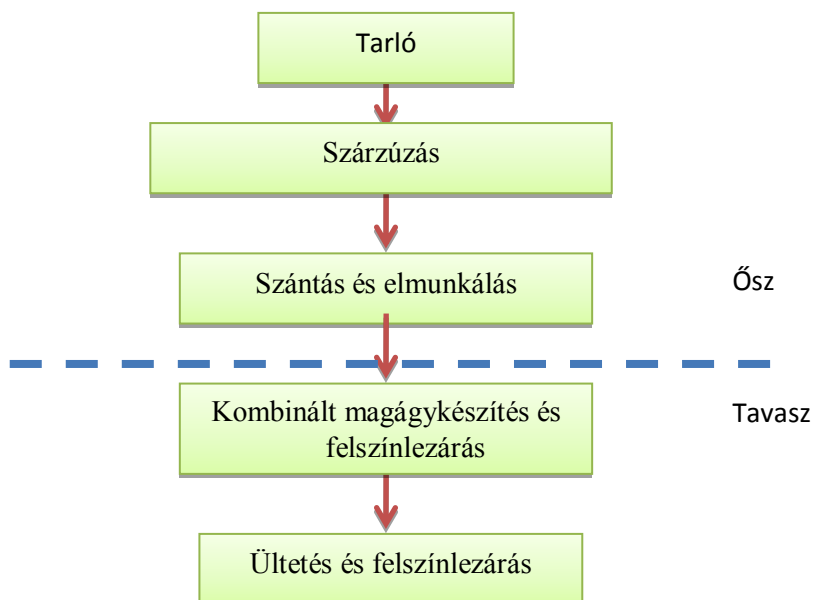
- gyenge termőhelyi adottságú parlagterületek,
- szántó vagy gyepterületi művelési ágba tartozó rét és legelő,
- elhanyagolt cserjés, csaltos területek.

Ezek a termőhelyek megfelelő felmérés és előkészítés után alkalmassá tehetőek fás szárú energianövények telepítésére. Amennyiben a termőhelyfeltárás alapján teljesíthető valamely növény igénye, az első munkafázis a terület művelésre történő előkészítése. Ez jelentheti a növényi részek (pl. nagy tömegű száraz növényi rész, cserje, gyom) zúzását, eltávolítását.

Szükséges lehet a művelést megelőzően totális hatású gyomirtószer kijuttatására is, ugyanis ilyen termőhelyeken a gyomnövények későbbi fokozott megjelenésével számolni kell. A talaj művelése során nem mellőzhető ebben az esetben a közép mélylazítás és az azt követő őszi mélyszántás és elmunkálás. A talaj állapotától függően a talajmunkákat követő évet a termőhely gyommentesítésére, illetve a kedvező kultúrállapot kialakítására kell fordítani, majd ezt követően kerülhet sor az ültetőágy kialakítására és az ültetésre. Speciális helyzetet jelent, amikor fűz és nyár esetén a telepítéshez nem a 20-22 cm hosszúságú simadugványokat használjuk fel, hanem 150-180 cm hosszúságú egyéves karódugványokat helyezünk a talajba. Ebben az esetben talajelőkészítés nélkül (pl. rét, legelő) 50-60 cm mélységbe történik a dugványok lehelyezése. Erről a módszerről részletesebben az ültetési módokat ismertető cikkünkben szólunk.



11. ábra. Talajművelési rendszer korán lekerülő elővetemények után
 Forrás: saját szerkesztés



12. ábra. Talajművelési rendszer későn lekerülő elővetemények után
 Forrás: saját szerkesztés

Ültetési alapanyag

A fás szárú energiaültetvények létesítéséhez kizárólag a fajtulajdonos vagy engedélyes termelő által központi vagy üzemi törzsültetvényen előállított minősített szaporítóanyagot lehet felhasználni. Az energetikai faültetvények létrehozása *telepítési engedélyhez* kötött, amely megszerzésének feltétele a szaporítóanyag eredetét bizonyító fajtulajdonosi igazolás. A csemetének minden esetben egészségesnek, sérülésmentesnek kell lennie.

Az energiaültetvények létesítésére különböző típusú szaporítóanyagok használhatók fel. Fűz és nyár fajok telepítése esetén leggyakrabban a 20-22 cm hosszúságú gyökér nélküli, egyéves hajtásokról származó simadugványokat használják. Egyes ültetőgépek lehetővé teszik a hosszabb dugványokkal (30-35 cm) történő telepítést is, ezeket elsősorban nyár fajtáknál alkalmazzák. A simadugványokkal szembeni minőségi követelmény, hogy *átmérője érje el legalább az 1 cm-t*, az ennél vékonyabb dugványok a talajba helyezés során sérülhetnek, gépi és kézi telepítésnél egyaránt könnyen eltörnek. A dugványok egyenes, görbülésmentes hajtásokról származzanak, ellenkező esetben szintén nagy lehet a törésveszély.

Az energetikai faültetvények létesítésének másik módszere a karódugványokkal történő szaporítás. A karódugvány *1-4 méter hosszúságú gyökér nélküli, egyéves vagy többéves* (általában két, legfeljebb három éves) növényi részekből vágott ültetési alapanyagot jelent. Ebben az esetben a dugvány átmérője 1-5 cm között változhat a dugvány korától és méretétől függően. Az *egyéves karódugvány* (hosszú dugványnak is nevezik) hosszmérete általában nem haladja meg a 2-2,5 métert, ugyanakkor a hagyományos többéves növényi részekből vágott karódugvány mérete elérheti a 4 méter hosszúságot is. A dugványok végződhetnek *csúcsrügyben* (egyéves hajtások), ugyanakkor a *többéves növényi részből vágott karódugványok többnyire fejezetek*.

A nagy területen létesítendő energiaültetvényekhez általában a simadugvány használatos, ugyanakkor speciális esetekben a karódugvány használata is szóba jöhet. *Csalitos, nehezen művelhető termőhelyen* a talaj előkészítése nélkül speciális fúróval készített ültetőgödörbe akár 80-100 cm mélységbe is behelyezhető a szaporítóanyag. Ugyanezen módszerrel *ár- és belvíz által veszélyeztetett termőhelyeken, rekultivációs területeken* létesíthető energiaültetvény karódugványokból. Ez a módszer lényegesen drágább, munkaigényesebb, mint a simadugvánnyal történő telepítés, ugyanakkor talajelőkészítés nélkül is alkalmazható, a gyomszabályozás kisebb költséggel, kevesebb növényvédőszer felhasználásával oldható meg, a növekvő hajtásokat kevésbé fenyegeti a növényesorokban fejlődő gyomnövények víz- és fénykonkurenciája, időszakos ár- és belvíz borításra kevésbé érzékeny.

Az akác esetében egyéves, jól meggyökeresedett 30-100 cm magas magági csemetét alkalmaznak. Sok esetben közvetlenül a telepítés előtt 10-15 cm hosszúságúra vágják vissza a gyökeres növényeket. Mivel az akác gyökérsarjakat fejleszt, ezért a telepítés történhet a nemesített fajtákból származó gyökérdugványokkal is.

Szaporítóanyag tárolása

A vesszők levágása a vegetációs időszakon kívül, a növény lombmentes állapotában történik. Dugvány előállítására csak az egyenes, egészséges, sérülésmentes kérgű növényi részek használhatók fel. A törzsültetvényről a több méter hosszúságú vesszőket fűrészsel vágják le, amely során ügyelni kell arra, hogy a vágás felszíne roncsolásmentes legyen. Ezt követően történik meg a dugványok méretre vágása speciális körfűrészsel vagy ollóval. A dugványokat kötegelve vagy ládába helyezve -2- -4 °C-ra hűtött helyiségben tárolják, majd a telepítés előtt a felhasználás helyére szállítják. Nagyon fontos, hogy a tárolás során *egyenletesen alacsony hőmérsékletet* lehessen biztosítani, mert ellenkező esetben a nedvkeringés megindulásával a dugványok kihajtanak, a képződő hajtások a telepítés során letörnek, ami a megeredés esélyét rontja, a képződő biomassa mennyiségét csökkenti. Magyarországon még kevésbé terjedt el, de Nyugat-Európában működnek olyan ültetőgépek, amelyek nem a 20-25 cm hosszúságú simadugványokat telepítik el, hanem az ültetés közben a gép a vesszőkből vágja méretre a dugványokat. Ilyen esetben a rövid simadugvány összevágása szükségtelen, a hűtőházakban kizárólag a szálvesszőket tárolják be. A gyökeres akácmaagoncok előkezelésére és tárolására nincs szükség, ezek közvetlenül kerülnek a csemetekertből a felhasználás helyére.

A simadugványokat felhasználás előtt *24 órán keresztül áztatni* szükséges, ami lehetővé teszi a talajba került dugványok fejlődésének gyors megindulását, valamint az esetleges szárazabb időszakok átvészelését.

Telepítés ideje

Az eredményes telepítés előfeltétele a gondosan előkészített talaj (kivéve a művelés nélküli telepítés esetén). A magági egyenletes felszínű, aprómorzsás szerkezetű legyen, tömör záróréteget nem tartalmazhat. *Az ültetés ideje többnyire tavasz, de egyes esetekben ősszel is történhet.* A *tavaszi telepítés* a simadugványok használatakor a leggyakrabban alkalmazott módszer. Azzal lehet számolni, hogy a fagyok elmúltával, a talaj felengedése után, ha rá lehet menni a talajra, magági-készítést követően el lehet kezdeni a telepítést. Minél korábbi időpontban sikerül a dugványokat a talajba juttatni, annál biztosabb eredményre lehet számítani,

ugyanis a vegetációs időszak beindultával a növények intenzív fejlődésnek indulhatnak. Száraz, aszályos telet követően, amennyiben a tavasz is csapadékmentes a korai telepítés kockázatos is lehet: ha több hétig, hónapig nem kap nedvességet az eltelepített állomány a dugványok eredése után, de még a gyökérképződés megindulása előtt, a növények jelentős része károsodhat. Ilyen időjárási körülmények között a későbbi (áprilisi) ültetéssel nagyobb eredési arányt lehet elérni. A túlzottan csapadékos időjárás késleltetheti a dugványok talajba juttatását, azonban ebben az esetben is ügyelni kell arra, hogy *legkésőbb április végére, május első napjaira* a telepítést befejezzék. A karódugványok kevésbé kitettek az időjárás viszontagságainak, mivel nagyobb a tartalék nedvesség és tápanyag a növényekben, továbbá mélyebb rétegekből is hozzáférnek a vízhez.

Az *őszi telepítés* a gyökeres csemetéknél kedvezőbb, tavaszra beállt, a szárazabb időszakot is könnyebben elviselő állományt kapunk. A gyökér nélküli dugványok esetében a szakirodalom kizárólag a tavaszi telepítést ajánlja, azonban vannak biztató kísérletek az őszi telepítéssel is. A hideg tél többnyire nem károsítja a dugványokat, ugyanakkor tavasszal az időjárási feltételektől függetlenül a növények intenzív fejlődésnek indulnak, gyorsabban begyökeresednek, ami szárazabb időszakban is biztos növekedést és fejlődést eredményez. Az időszakosan enyhe tél során megindulhat a dugványokban a nedvkeringés, ugyanakkor újabb fagyok kárt tehetnek a dugványban.

Ültetési hálózat

A dugványozás előtt gondosan mérlegelni kell a tő- és sortávolság, valamint az ültetési hálózat (egysoros vagy ikersoros) megválasztását. Ebből a szempontból figyelembe kell venni a telepítendő faj ökológiai igényeit, de nagyon fontos tekintetbe venni a területi adottságok mellett a telepítés utáni munkaműveletek (vegyszerezés, növényápolás, betakarítás) agrotechnikai- és műszaki követelményeit, illetve az alkalmazható műszaki megoldásokat.

Az egysoros ültetési hálózat különböző változatai rövid és hosszú vágásfordulóban termelt fafajhoz és fajtához egyaránt javasolhatók. Egyes fűzfajták termesztése során az állomány besűríthető akár 50 000-55 000 db/ha növényre, ami 60-70 cm sortávolságot és 30-40 cm tőtávolságot jelent. Ilyen intenzív hasznosítás az *évenkénti vágást* teszi lehetővé. *Normál idejű vágásforduló (2-3 év) esetén egyes hengeres fa növekedésű fűz és nyár fajoknál, valamint akácnál javasolható az egysoros ültetés 150-200 cm x 40-50 cm térállásba. Hosszú vágásfordulójú (4-5 év) vagy újratelepítéssel technológiák esetén elsősorban nyárfajoknál és akácnál nagy térállásba történik az ültetés: minél hosszabb a rotáció, annál nagyobb a sor- és*

tőtávolság. Ebben az esetben a tőszám a hasznosítás formájától függően 2000-8000 között változik.

Az ikersoros ültetési hálózat a gépi betakarítás hatékonyságának javítása miatt terjedt el. A technológia kizárólag a rövid, két-hároméves vágásfordulójú ültetvények telepítése esetén alkalmazható. Az ikersorok közötti távolság általában 70-75 cm, a soron belül a növények közötti távolság 40-50 cm. Rugalmasabban tervezhető ugyanakkor a művelőutak távolsága, amely 150-300 cm között változik. A művelőút szélességét befolyásolják a termőhely ökológiai adottságai (nedvesség), a növény faja és fajtája, valamint a sorok mechanikai ápolására rendelkezésre álló művelőeszközök munkaszélessége.

Az ültetési hálózattól függően az eltelepített növények, illetve dugványok száma hektáronként tág határok között változhat (2 000-55 000 db/ha), azonban a leggyakrabban alkalmazott rövid vágásfordulójú fűz és nyár energiaültetvények esetén *12 000- 15 000 db/hektár simadugvánnyal* lehet számolni. A két-hároméves rotációjú ültetvényekben az egysoros hálózatban az első évben kevesebb mechanikai ápolásra van szükség, ugyanakkor az ikersoros technológia hatékonyabban illeszkedik az egymenetes betakarítás gépeihez.

Telepítés

A telepítés történhet géppel és kézzel. A telepítés módját meghatározzák a termőhelyi adottságok, az időjárási feltételek, az ültetési alapanyag, az ültetvény létesítéséhez rendelkezésre álló munkaerő, stb. Túl száraz területen vagy időszakos vízborította körülmények között csak a kézi telepítés jöhet számításba. Simadugvány telepítésénél gépi és kézi módszer egyaránt alkalmazható, ugyanakkor karódugványok telepítésénél elsősorban a talaj előfúrását követő kézi ültetés végezhető. Az energiaültetvény létesítése révén nagyszámú képzetlen munkaerő köthető le, ezért a közmunka programokba jól illeszthető, ami szintén a kézi telepítést helyezi előtérbe.

Gépi telepítés

A gépi telepítésre használhatók az erdészeti csemeteültetők, a mezőgazdaságban, kertészeti ültetvényekben használatos ültetőgépek, valamint a speciális dugványozó gépek. Valamennyi eszköz félautomata, az emberi munkától csak részben függetleníthető. Az erdészeti és kertészeti gépek konstrukciójukat tekintve függesztett vagy féligfüggesztett gépek, amelyek nyitó csoroszlója hasítékot készít, ebbe juttatják bele a dugványt. Ezt követően a tömörítő szerkezet a talajt a dugványhoz tömöríti. A tömörítés hatékonyságát minden esetben ellenőrizni kell, és szükség szerint utólagos tömörítést kell végezni. A dugványokat kezelő

személyzet az ültető elemeken helyezkedik el. Ezek egymástól való távolsága állítható az alkalmazott sortávolság szerint. A csemeteültető gépek előnye, hogy könnyen kezelhetők, olcsón beszerezhető eszközök, hátránya ugyanakkor, hogy a dugványok hasítékba helyezése után nem garantálható a szaporítóanyag függőleges elhelyezkedése. A tőtávolság közvetlenül nem állítható, a munkasebesség és az ültető személy függvénye, hogy a dugványok közötti állandó távolság tartható-e. A nyitó csoroszlya vagy tárcsa a dugvány környezetében fellazítja a talajt, ezért a telepítés után könnyebben kiszárad, aszályos időben kevesebb nedvesség tartható helyben a dugványok fejlődésének elősegítéséhez. *Sima dugványok telepítését úgy kell elvégezni, hogy a dugványok az ültetést követően a talajjal szintbe kerüljenek.* Erdészeti csemeteültető gépekkel ez a követelmény csak részben teljesíthető, a dugványok utólagos kézi takarására és környezetének tömörítésére van szükség. E gépek hátránya, hogy nem kezelőszemély-barát, a telepítés a dolgozót nagyon igénybe veszi.

A szorítóujjas megfogó elemmel működő gépeknél a kezelőszemély a dugványt a szorító csipeszekbe helyezi, amelyek a kívánt tőtávolságnak megfelelően állíthatók. A tárcsa körbefordulásával a nyitó ütközőnek ütközve a csipesz kinyílik, és a tárcsa a talajba helyezi a dugványt. Ez az eszköz lehetővé teszi a pontos tőtávolság állítását, ugyanakkor az előző típusok további hátrányai megmaradnak.

A kifejezetten energetikai ültetvények létesítésére tervezett nagyteljesítményű félautomata hidraulikus ültetőgépekkel lehet a legprecízebben és legeredményesebben dolgozni. A dugványokat megfogó csipeszek nagy átmérőjű fémkerekeken vannak elhelyezve, darabszámuk a kívánt tőtávolságnak megfelelően állítható be. A kezelőszemély a szabványos 20 cm hosszúságú dugványokat behelyezi a szorítóhüvelybe. A kerék körbe fordulásával a dugvány függőleges helyzetét fotocella érzékeli, és a fotocella által vezérelt munkahenger a dugványt a talajba nyomja. A kerék mellett haladó henger a talajt a dugvány jobb oldalán, maga a kerék pedig a bal oldalán betömöríti. A hidraulikus ültetőgép előnye, hogy a talajt nem bolygatja, ültetőágy készítése nélkül egyenletes, állítható sor- és tőtávolságra juttatja a dugványt a talajba. Területteljesítménye 3-4 ha/nap. Ezeknél a gépeknél nagyon oda kell figyelni a dugvány minőségére (átmérő, egyenesség, sérülésmentesség), valamint a talaj állapotára. Az ültetés mélységéig tömör záróréteg nem lehet a talajban, ellenkező esetben a dugvány eltörhet, a telepítőegység a tömör rétegbe ütközve megemelkedhet, és a szaporítóanyag részlegesen kerül a talajba.

A vesszővágó – dugványültető gépekbe a hosszú dugványokat helyezik be, majd a talajba juttatás után a föld felszíne felett vágja el a dugványt a beállított 20-22 cm hosszúság felett. E gépek területteljesítménye négysoros kivitelben elérheti a 8-10 ha/napot.

Kézi telepítés

A telepítés speciális módszere a kézi ültetés, amely többféleképpen végezhető. Ha a talaj kedvezően lazult legalább 20-25 cm mélységig, a simadugványok közvetlenül a talajba juttathatók. Ez a módszer csak abban az esetben végezhető, ha a telepítés közben a dugványok kérge nem sérül meg. A sorok kijelölését és tartását segíti az ültetőzsinór. A lazítókéssel előzetesen meghúzott talajba szintén könnyen végezhető a kézi telepítés. Ügyelni kell arra, hogy a dugványok oldalirányból tömörítve legyenek, a visszamaradó légzárványok a szaporítóanyag kiszáradását okozhatják. Elsősorban akác csemeték telepítésére szolgálhat az ültetővas és az ékásó. A karódugványok kézi telepítése előtt a kijelölt sorokban a talajt elő kell fúrni, amely történhet kézi vagy gépi talajfúróval. Ez a folyamat különösen időigényes, mivel a dugványok lehelyezése legalább 50 cm mélységbe történik. Az előkészített furatokba többnyire kézzel helyezik az egy- vagy többéves növényi részeket, ügyelve arra, hogy a telepítés végén a talajt a dugványokhoz tömörítsék.

A kézi telepítés speciális módja, amikor a simadugványokat előre meghúzott barázdákba vízszintesen ültetik el. A talajba helyezés 6-10 cm mélységbe történik, amely után visszatemetik a termőföldet. Tapasztalatink szerint ezzel a módszerrel nem növekszik a megeredési arány, ugyanakkor aszályos időszakban a dugványok hamarabb kiszáradhatnak, a magágy minőségére érzékenyebb a szaporítóanyag, rögös vagy intenzív esők után visszacserepedett talajban a dugványok befulladhatnak.

Növényápolás***Gyomszabályozás***

A fás szárú energianövények telepítését követően az első évben elvégzett ápolási munkák és különösen a gyomszabályozás határozzák meg a teljes ültetvény sikerességét. Amennyiben egészséges, beállt állomány jön létre az első év végére, a későbbiekben kevés időráfordítással és költséggel tartható fenn az ültetvény a teljes életciklus végéig. A telepítés évének legfontosabb munkálatai az állományművelés mechanikai módszerekkel, valamint a kémiai gyomszabályozás.

A növények kezdeti fejlődése gyorsnak tekinthető, ugyanakkor az első évben a gyomszabályozástól nem lehet eltekinteni, mert a magról kelő egy- és kétszikű gyomnövények a legnagyobb odafigyelés és technológiai fegyelem betartása mellett is intenzívebben fejlődhetnek. A védekezés mechanikai és kémiai módszerek kombinálásával oldható meg.

A jól begyökeresedett növényegyedek növekedési intenzitása olyan mértékű, hogy gyommentes állományban legfeljebb a sorközök mechanikai ápolására van szükség, az állomány korai záródása és gyors fejlődése miatt a gyomokkal szembeni konkurencia minimálisra csökken.

A gyomszabályozás tehát kiemelkedő fontosságú az ültetés évében, a második vegetációs évben, a visszavágás után, valamint a betakarításokat követően. A gyomnövények gyors és erőteljes fejlődésükkel elszívják a vizet, a tápanyagokat, valamint esetleges árnyékoló hatásukkal elzárják a fényt az ültetvény egyedeitől. A gyomirtás elmulasztása, vagy helytelen kivitelezése nagymértékben csökkenti a biomassza produkciót.

Fás szárú energiaültetvények esetében az egyik legáltalánosabb és legolcsóbb módszer a mechanikus szabályozás. Ebben az esetben a sorközöket már telepítésnél úgy kell kialakítani, hogy valamilyen talajművelő eszköz állományban történő alkalmazásával lehessen gyomirtást végezni. Ikersoros telepítés esetén az ikersorok közei kapálással tarthatók gyommentesen.

Betegségek

Egyes esetekben (pangó víz, legyengült növényállomány) az ültetvény fogékony lehet bizonyos gombás, vírus- és baktériumfertőzésre, ami ugyancsak hozamcsökkentő hatással bír. Ilyen esetekben a vegyszeres védekezés indokoltá válik.

Kártevők

Az állati kártevők közül elsősorban a levélbogárra és –molyra, a nyárfacincérre és a földibolhára kell odafigyelni. Abban az esetben ha jelentős mértékben elszaporodnának a rovar kártevők, vegyszeres védekezéshez kell folyamodni.

A legnagyobb kártételt a vadak károsításai jelentenek az ültetvények esetében. A nyulak, pockok és a nagyvadak ellen sokszor a megelőző védekezés jelenti a biztonságos megoldást. Ezen állatok a hajtás és hajtáscsúcsi rágásaikkal nagy károkat okozhatnak az állományban. Ezek megelőzhetőek vagy csökkenthetőek rágáskár ellen védő, vadriasztó szerek alkalmazásával. A legjobb megoldás a vadkár ellen napjainkban is a kerítés használata, ez viszont nagyban megdrágítja az ültetvény telepítési költségeit.

Visszavágás

Egyes fajok és fajták (pl. bokorfűz és akác) esetében az első év után a talajfelszín közelében visszavágásra lehet szükség. Ezt a műveletet azokban az esetekben célszerű elvégezni, ha a visszavágást követően intenzívebb növekedésre lehet számítani. Keléshányos állomány esetén

a visszavágás a pótlás elvégzését könnyíti meg, illetve a pótoltt dugványok számára kisebb mértékű fénykonkurenciát jelenthet. Ha az első év végére *kiegyenlítően az állomány szintén* szükség lehet az elsőéves növekmény eltávolítására. A visszavágás elvégzése esetén számolni kell azzal a körülménnyel, hogy teljes értékű betakarításra kétéves vágásfordulóval számolva is csak a harmadik év végén kerülhet sor. Az első év növekménye többnyire elmarad a későbbi években várható mennyiségtől (legfeljebb 2-3 atrotonna/ha), ezért a visszavágott biomasszát a területen hagyják, vagy szilárd biomassza alapanyagként hasznosításra (aprítás mobil aprítóval, pelletálás, brikettálás, stb.) kerülhet.

A visszavágás történhet géppel vagy kézi erővel. A gépi vágásra alkalmas a nádvágó gép, amely az első éves vékony vesszőket levágja és kötegelve a sorok közé helyezi. A kézi visszavágás motoros fűrészsel végezhető, lényegesen simább, roncsolásmentesebb felületet hagy vissza a gépi vágáshoz képest. Az első éves növekmény visszavágására a betakarításra használt egyéb célgépek - rendkívül nagy költségük miatt - nem jöhetnek számításba.

Elhalt dugványok pótlása

A telepítés előtti szakszerű terület-előkészítés (termőhely-feltárás, talajművelés, növénytaplálás, gyomszabályozás), valamint a jó minőségű szaporítóanyag feltételezi a legalább 90-95 % eredést, azonban rendkívüli körülmények miatt (pl. száraz időjárás a telepítést követően, jégkár, stb.) veszteségekkel is számolni kell. A kismértékű, *néhány növényegyedet érintő veszteség nem igényel beavatkozást*, mivel a szomszédos egyedek többé-kevésbé be fogják nőni az üresen maradt helyeket. *Amennyiben a dugvány vagy csemetepusztulás mértéke meghaladja a 15 %-ot, pótlásra lehet szükség.* A pótlás módját az alkalmazott fajta és technológia függvényében kell megválasztani. Ha az elsőéves növedéket visszavágták, és a telepítés a hagyományos simadugványokkal történt, a következő év tavaszán a hiányos részeket kézzel lehet pótolni. Első év végét követő visszavágás nélküli technológia esetén ez a módszer nem lesz célravezető, ugyanis az uralkodó állomány legkésőbb az év végére elnyomja a pótoltt növényegyedeket. Eredményre kizárólag a helyszínen erre a célra különálló sorban létesített növényegyedek földlabdás kitermelése és telepítése a hiányos helyekre vezet. Mivel a pótlásnak ez a módja idő- és munkaigényes, csak abban az esetben érdemes elvégezni, ha ezáltal a pusztulás miatt várható eredménykiesés ellensúlyozható. Az első betakarítást követő pótlás többnyire nem vezet eredményre, mivel a friss dugványok és a már többéves meggyökeresedett növények növekedési intenzitása között jelentős eltérés tapasztalható. A termőterület heterogenitása (kedvezőtlen talajfoltok) miatt

előfordulhat a mozaikszerű kipusztulás, ebben az esetben felesleges az ismételt ültetés elvégzése.

Az energianövények tápanyagigénye

A közvélekedés az energianövényeket – különösen a fás szárú energianövényeket – tápanyagigényes növényeknek tartja. Tudnunk kell ugyanakkor, hogy a tápanyag igény nem tér el lényegesen más szántóföldi kultúráktól. Valamennyi energetikai célra termesztett növény esetén érvényes az a megállapítás, hogy adott termőhelyi körülmények között *nagy mennyiségű biomassza kizárólag a talaj tápanyag-ellátottságát és a növény tápanyagigényét figyelembe vevő növénytáplálás esetén érhető el.* A termés betakarításával kivont tápanyag mennyisége a fafajtól, a termőhelytől, a termelési ciklus időtartamától és a termés hozamtól függően változik. *A fás szárú energianövények 1 tonna szárazanyag előállításához évente 3,7-5,5 kg N-t, 0,6-1,0 kg P-t, 2,6-4,0 kg K₂O-t 5,0-5,5 kg Ca-ot, valamint 0,5-0,8 kg Mg-ot használnak fel.* Ez összevetve a hagyományos lágyszárú szántóföldi növények által felvett tápanyag mennyiségével nem tekinthető kiemelkedőnek, de a sokévi egyoldalú tápanyagfelvétel miatt fontos odafigyelni a rendszeres visszaforgásra.

A termőhely tápanyag-ellátottsága

A növények tápanyagigényének ismerete mellett elengedhetetlen a termőhely tápanyag-ellátottságának a felmérése. Ezek alapján hozhat döntést a termesztő arról, hogy kell-e trágyáznia, illetve milyen mennyiségben juttassa ki a tápanyagot. A termőhelyfeltárás esetén célszerű akár *1-1,5 m mélységig talajvizsgálatot* végezni, azonban *a humusztartalmat és a legfontosabb tápanyagok mennyiségét elég a felső 40-50 cm-ben* meghatározni. Ezeket a talajvizsgálatokat először az ültetvény létesítése előtt kell elvégezni. A következő talajvizsgálatot az első betakarítást követően kell végrehajtani, amelynek segítségével meg tudjuk határozni az addig kivont és visszajuttatandó tápanyagok mennyiségét. Elvileg minden betakarítás után célszerű talajminta alapján meghatározni a tápanyagtartalmat, azonban az első vizsgálat adatainak és a területről lekerülő biomassza mennyiséggel kivont tápanyagok ismeretében az üzemelés közbeni növénytáplálás szükségessége jól felmérhető. Az ültetvény életciklusához kapcsolódó utolsó tápanyagvizsgálatot az utolsó betakarítást követően kell elvégezni, ami már az azt követő hasznosítás számára ad hasznos információkat.

A tápanyag visszaforgása történhet szerves trágyával (istállótrágya, komposzt), zöldtrágyával, műtrágyákkal, illetve részleges növénytáplálást jelenthet az erőművi hamu visszajuttatása. A

legkedvezőbb megoldást az jelenti, ha a tápanyagok pótlását több módszer kombinálása révén oldjuk meg.

Növénytrágyázás istállótrágyával és komposztal

A szerves trágyázás a talajerő-pótlás legkedvezőbb formája, azonban mennyisége az állatállomány drasztikus visszaesése révén korlátozott, ezért ültetvények telepítése esetén is számolni kell azzal, hogy a legkritikusabb esetben áll rendelkezésre. A legjobb szerves trágya az *érett istállótrágya*, amelyet megfelelő kezelést követően juttathatunk ki. Ez azért fontos, mert a trágyában lévő gyommagok előkészítő kezelés nélkül megfertőzhetik a talajt, és megnehezítik az ültetvény gyomszabályozását. Másrészt az éretlen istállótrágya a telepítést követően gyökéregesztést okozhat. A szerves trágyát az őszi talajművelést megelőzően kell a területre kijuttatni. A talajba dolgozása mélyszántással történik, amit legalább 25 cm mélységben kell elvégezni. Istállótrágya kijuttatására a telepítés előtt van lehetőség, 30-40 t/ha mennyiségben szórható ki. Az üzemelés közbeni kijuttatás és bedolgozás csak részlegesen oldható meg, hatékonysága pedig esetleges.

A szerves trágyázás másik módszere, amely energetikai ültetvények esetében alkalmazható a különféle, elsősorban szennyvíziszap eredetű *komposztok* kijuttatása. Magyarországon évente több millió tonna szennyvíziszap és szerves hulladék képződik, amelyekből komposztálással növények számára értékes tápanyag állítható elő. A szennyvíziszap komposztok szántóföldi felhasználásának egyik legkritikusabb pontja egyes nehézfémek jelenléte lehet, ami miatt az élelmiszer és takarmány célú termesztés esetén kerülni kell a közvetlen kijuttatást. Ugyanakkor energianövények esetében a komposzt kedvező hatásain túl a talaj tisztításában is közvetlen szerepe lehet: a fás szárú energianövények különösen nagy koncentrációban veszik fel a nehézfémeket.

Zöldtrágyázás

A zöldtrágyázás során a növényi részeket zöld állapotban dolgozzuk be a talajba, ami részben növénytrágyázási célokat szolgál, részben a talaj kedvező fizikai és biológiai állapotának javításához járul hozzá. Ezeken túlmenően a fontos szerepe van a gyomkorlátozásban is. Fás szárú energianövények telepítése előtt a zöldtrágyázás nagyon fontos kiegészítő eleme lehet a tápanyag-visszapótlásnak, azonban teljes értékű talajerő-pótlást nem jelenthet. A telepítés előtti zöldtrágyázásnak *három módszere* alkalmazható:

A telepítést megelőző évben fűvetésben termesztjük a zöldtrágya növényt. Ebben az esetben a zöldtrágyázás egy vegetáció kiesést jelent. Ennek az eljárásnak elsősorban azokon a

termőhelyeken lehet létjogosultsága, amelyek parlagon heverték, nagymértékben fertőzöttek gyommagokkal, vagyis jelentős kultúrállapot javításra szorulnak. A termesztendő növények köre széles, egyéves pillangós és nem pillangós növények, illetve keverékek egyaránt alkalmazhatók.

A telepítést megelőző évben lekerülő elővetemény után másodvetésű zöldtrágyanövény termesztése. Ebben az esetben a nyáron elvetett gyors növekedésű növényeket a fagyok előtt dolgozzuk a talajba, majd ezt követően végezzük el a mélyszántást. Nagy biztonsággal termesztendő hazai viszonyok között a facélia, a mustár és az olajretek, valamint ezek keverékei.

Az őszi talajművelések után kalászos növények (pl. rozs, tritikálé vagy keverék) vetése. A kikelt növényállomány védelmet nyújt a tél folyamán a fizikai talajromboló hatásokkal (erózió, defláció) szemben, megakadályozza a nitrogén kimosódását. Kora tavasszal az ültetőágy készítése során a zöld növényi részeket a talajba dolgozzuk, majd ezt követően történhet az energianövények telepítése. A növényi maradványok egy része a felszínen visszamaradva mérsékli a párolgást, illetve a gyommagok csírázását.

A zöldtrágyázás bármely módszerének alkalmazása esetén célszerű a bedolgozást követően legalább 30-50 kg nitrogén hatóanyag kijuttatása a feltáródási folyamatok elősegítése érdekében. Ez a tápanyag mennyiség azonban természetesen nem vész el, a későbbiekben az energianövény számára közvetlenül felhasználhatóvá válik.

Műtrágyázás

A szerves- és zöldtrágyázás a növénytáplálás, a talaj kedvező kultúrállapota megőrzésének legkedvezőbb eljárása, azonban a műtrágyák használata az esetek többségében elkerülhetetlen. A talajvizsgálatok eredményeit a legpontosabban műtrágyák alkalmazásával lehet figyelembe venni. A kiszórást az őszi alpművelés előtt kell elvégezni. A kálium és foszfor teljes mennyiségét, a nitrogén legfeljebb egyharmad részét kell kijuttatni. A visszamaradó hányadot a telepítés után szórjuk ki.

A talaj-előkészítés nélküli karódugványok (150-200 cm hosszúságú) telepítése a növénytáplálás speciális eljárását követeli meg. A műtrágyát a felszínre szórjuk ki, amelyet legfeljebb a sorközökben sekélyen tárcsával dolgozunk be.

Növénytáplálás az ültetvény üzemelése során

Az energetikai faültetvény telepítését követően további tápanyag-utánpótlásra a betakarításokat követően lehet szükség. A foszfor és kálium újbóli kijuttatása többnyire elkerülhető, azonban a nitrogént minden esetben pótolni kell. A tél végi, kora tavaszi betakarítás után a nitrogént különböző formában és módszerrel lehet kijuttatni. Amennyiben rendelkezésre áll *szennyvíziszap komposzt* teljes felületi vagy sorokba szórással adható ki. A kétévenkénti, betakarítást követő szórással (10-15 t/ha) a szükséges nitrogénmennyiség kioldódik, és a növény számára felvehető formává válik. Ellenőrzött körülmények között a *hígtrágya* sorokba juttatása is fedezi a nitrogén egy részét, vagy többszöri kijuttatás esetén a teljes mennyiséget.

A *nitrogénműtrágyázás megoldható szilárd és folyékony formában egyaránt*. Fontos, hogy a felszínre került *szilárd műtrágya* a csapadékkal rövid idő után a talajba mosódhasson. Célszerű a kijuttatást összekötni a mechanikai gyomkorlátozással, így a műtrágya a sorközök tárcsázásával sekélyen a talajba dolgozható. A műtrágya kijuttatás leghatékonyabb módszere, ha a *folyékony nitrogénműtrágyát* a növények gyökeréhez irányítottan juttatjuk ki. Ezzel a módszerrel lényegesen kevesebb hatóanyagra van szükség.

A vegetációs időszak folyamán kivételes esetben lehet szükség a *lombtrágyázásra*, amely csapadékhiány vagy a növényzet valamilyen károsodása esetén alkalmazható. A kijuttatás permetezőgéppel az esti vagy kora reggeli órákban történjék: a hatóanyagok csak addig tudnak a lombozaton felszívódni, amíg az oldat meg nem száradt. A lombtrágya mellé érdemes bekeverni felületaktív-, illetve tapadószert, hogy a növény minél nagyobb felületen, minél hatékonyabban tudja felvenni a tápanyagot, továbbá a levelekről történő lemosódást minél jobban megakadályozhassuk.

A *sorközökben létesített növényssáv* (egynyári vagy évelő) szintén szolgálhatja a növények részbeni tápanyag-ellátását. A pillangós virágú növények a légköri nitrogén megkötése révén növelik a talaj tápanyagtartalmát. A sekélyen bedolgozott növényi maradványok szerves anyagot és tápanyagot egyaránt szolgáltatnak.

A biomassa elégetése során 1-3 % *hamu* keletkezik, amelyet évszázadok óta használnak szántóterületek trágyázására. A hamu elsősorban káliumforrás, de kalcium, magnézium, foszfor és egyéb mikroelemek is találhatóak benne. Bizonyos hamuféleségek - pl. a fűz és a nyár hamuja - nagy nehézfém tartalmuk miatt csak korlátozott mértékben használhatók fel. Hagyományos trágyaszórókkal kijuttatása gyakran nem oldható meg, ezért ma még kevésbé elterjedt a nagy területen történő felhasználás.

Betakarítás

A fás szárú energiaültetvények betakarítását minden esetben lombmentes állapotban és lehetőleg a nyugalmi nedvkeringés idején kell végezni. A betakarításnál nagy odafigyelést igényel a vágóeszköz megválasztása, hiszen a vágási felület minősége, valamint talajhoz viszonyított magassága nagymértékben befolyásolja a termesztés sikerességét. A helyesen megválasztott betakarítási időben a biomassa nedvességtartalma nagyjából 50-55 %-os.

Kézi betakarítás

Kézi betakarításnál fűrészláncával felszerelt motoros kaszával vagy motoros fűrészszel történik az állomány levágása. Ez a módszer általában a kis területű ültetvények betakarításánál alkalmazható költséghatékonyan. A levágott hajtásokat kévékbe kötve lehet szállítani és tárolni.

Szakaszos gépi betakarítás

Ennél a betakarítási módnál a növényállományt ún. döntő kötegelő gép vágja el és kötegel. Az összekötött kévéket irányba helyezve hagyják a területen, amiket általában egy darus teherautó, vagy valamilyen közelítő gép szállít a tárolás, vagy a további feldolgozás helyszínére.

Egymenetes gépi betakarítás

Ennél az eljárásnál egyazon gép végzi egy a hajtások levágását és aprítását is menet közben. Ezek a gépek lehetnek önjáró kivitelűek és vontatott aktív hajtású járvaszecskázók is. A gép menet közben a keletkező faaprítékot szállítójárműre rakja. Az egymenetes betakarítás a nagy kiterjedésű ültetvények esetében indokolt, hiszen ezen gépek beszerzési és fenntartási költségei a legmagasabbak.

Szállítás, tárolás, szárítás

A szállítás módja és a távolság nagyban meghatározzák annak költségeit. Amennyiben a felhasználás helye 40 km-es távolságon belül található, a szállítás megoldható a gazdaság saját tulajdonú traktoraival. Ettől nagyobb távolságra célszerű teherautókkal szállítani az alapanyagot. Mivel kis térfogattömegű anyagról van szó érdemes nagy rakterű szállítójárműveket választani, valamint a rakodással egy időben az aprítékot tömöríteni.

A betakarítás után a letermelt biomasszát el kell szállítani a tárolás, a további feldolgozás vagy a felhasználás helyszínére. Mivel a folyamatban nagy mennyiségű relatíve kis térfogattömegű anyagot kell szállítani, a logisztikának kulcsfontosságú szerepe van a költséghatékonyág növelésében.

A levágott vesszők és fák tárolhatók laza szerkezetű prizmákban, ahol a faanyag szellőzése, ezáltal száradása akadálytalan. A kis térfogattömeg miatt a tárolásnak nagy a a helyigénye.

Az apríték formájában tárolt alapanyag kedvező időjárás mellett a szabadban is tárolható, komolyabb minőségromlás nélkül. Időszakos forgatással az apríték száradása segíthető, minőségromlása mérsékelhető.

Szélsőséges csapadékviszonyok miatt szükséges lehet az apríték fóliával történő fedése, viszont a csapadékvíz elvezetéséről gondoskodni kell.

Az apríték tárolható fedett helyen is, ennél a megoldásnál viszont mindenképpen gondoskodni kell az alapanyag időnkénti forgatásáról. A forgatás nélküli tárolás esetében a betakarításkori nedvességgel tárolt faanyag hőmérséklete elérheti a 80 °C-ot is, elméletileg az anyag öngyulladás is lehetséges.

A fás szárú energiaültvények betakarított faanyagának kb. 30 %-os nedvességtartalomra vagy légszárzra (kb. 20 %-os víztartalom) szárítása az elégetés szempontjából nemcsak előnyös, de szükséges is. A légszárz faanyag fűtőértéke jóval magasabb a betakarításkori nedvességgel rendelkező alapanyagénál. Amennyiben szárítjuk az aprítékot, csökkenthető a tárolás során jelentkező légzési veszteség mértéke, valamint a mikrobiális anyaglebontás során jelentkező veszteség, ami a 2 %-ot is elérheti egyes esetekben. A magas nedvességgel betárolt alapanyag penészedik, a gombák spórái pedig egészségkárosodást okozhatnak.

Szárítási módok:

- a prizmában ill. fedett tárolóban lévő alapanyag időszakonkénti átforgatása,
- a tárolt aprítékalmokba kis páratartalmú hideg levegőt fúvatnak,
- a prizmákba vagy tárolókba előmelegített levegőt fúvatnak, ezáltal gyorsítva a száradási folyamatot (a levegőt költséghatékonyság szempontjából hulladékhővel érdemes fűteni),
- a betárolt aprítékot száríthatják forró levegő (120 °C-os) bevezetésével, de ez igen költséges eljárás; a költségek hulladékhő használatával csökkenthetők.

8.5. Felhasználási lehetőségek

Napjainkban a lágy- és a fás szárú energiaültetvények betakarított biomasszáját majdnem teljes egészében energetikai célra, főként tüzelőberendezésekben történő elégetésre használják fel.

A betakarított termés apríték formájában történő felhasználási lehetőségei:

- térségi-kistérségi fűtőművekben tüzelőanyagként használható fel energiatermelés céljából,
- pelletálva az alapanyag térfogattömege, így fűtőértéke növelhető, csökkentve a szállítás és tárolás költségeit növelve a felhasználás hatékonyságát (az eljárás nagyon energiaigényes folyamat és az alapanyag szecskamérete és nedvességtartalma meghatározza a sikerességét),
- brikettálva az alapanyag térfogattömege, így fűtőértéke növelhető, csökkentve a szállítás és tárolás költségeit, növelve a felhasználás hatékonyságát (az eljárás nagyon energiaigényes folyamat és az alapanyag szecskamérete és nedvességtartalma meghatározza a sikerességét),
- metánt és szintetikus hajtóanyagot is előállíthatunk belőle (BTL-Biomass to Liquid),
- második generációs bioetanol üzemekben (lignocellulóz alapú technológia) felhasználható bioetanol előállítására.
- szigorú követelményeknek megfelelően az apríték alkalmas lehet ipari felhasználásra is (farostlemez-, rétegeltlemez-, papír-,karton- és cellulózgyártás)

Faanyag alternatív felhasználási lehetőségei:

- az energiafűz felhasználható kosárfonáshoz, vagy dísznövényként; pionír növényként partok és lejtős területek, árkok és rézsúk megkötésére és talajvédelemre is használható,
- az energianyár töveken a trópusokon laskagombát termesztene, de ennek a hasznosítási módnak viszonylag kicsi a jelentősége,
- egyes fűzfajok olyan szalicilátokat tartalmaznak, amik lázcsillapító hatásúak és reumás panaszok enyhítésére is használhatók; a szalicin hatásos egyes levélbogarak, mikrobák ellen (növény-védőszer alapanyag).

8.6. Energetikai faültetvények talajvédelemi és ökológiai szerepe

Az energetikai faültetvények ökológiai szempontból közel állnak az telepített egyfajú fiatal erdőhöz. Környezetterhelésük kedvező, még a legintenzívebb faültetvény is sokkal extenzívebb földhasznosítást jelent bármely más mezőgazdasági használatnál. A talajba a telepítés időszakától eltekintve gyakorlatilag nem kerül peszticid, emellett a műtrágyázás gyakorisága és mértéke sem számottevő. A korábban növényvédőszerrel terhelt talajokat a fák szervesanyaggal dúsítják, elősegítik a természetes talajfejlődési folyamatok újbóli beindulását. Az évek során nő a humusztartalom, javul a talaj abszorpciós képessége, végbemegy a talaj terhelését okozó vegyi anyagok megkötése, lebontása, illetve lebomlása.

A faültetvény felszámolása után a termőtalaj regenerálódva viszonylag egyszerű eszközökkel ismét mezőgazdasági termelésbe állítható, tehát a folyamat nem irreverzibilis, az idő folyamán akár ciklikusan ismételhető.

Az erdő és az állatvilág kapcsolata közismert, sok élőlénynek biztosít élő-, és táplálkozóhelyet. Az állatvilág genetikai sokféleségének, élőhelyének megőrzése az erdők szakszerű kezelésével, az erdőterület növelésével segíthető elő. A védett állatok, hasznos szervezetek mellett az ültetvény természetes élőhelye a vadászható vadnak is. A bérvadásztatás pedig fontos idegenforgalmi tényező és jövedelemforrás is lehet.

Az energetikai faültetvények jelentős környezeti, ökológiai hatással bírnak, mert az évenként változó szántóföldi kultúrákkal szemben 15-20 évre stabilitást jelentenek az adott táblának. Emellett az ültetvények hatással van a környező területek ökoszisztémájára is. Számos állat, amely életfeltételei többségét a mezőgazdasági táblákon találja meg táplálkozó-, búvó-, illetve telelőhelynek alkalmi, vagy gyakori jelleggel felkeresi az energetikai faültetvényeket.

Fizikai és biológiai állapotjellemzők

A fás és lágyszárú energianövények ökológiai szempontú értékelése tárgyában hazai viszonyok között kevés megbízható eredmény született az elmúlt években. Az energetikai ültetvények hosszútávú hatásának vizsgálatát akadályozza, hogy kevés 5-6 évesnél régebbi ültetvény található az országban. Az energetikai ültetvényekben elvégzett kutatások legfőképpen az eltérő fajták és klónok biomassza hozamára és azok növekedési erélyére koncentrált. Ezenfelül lényegesen kevesebb kutatás folyt az energetikai faültetvényeknek a talaj fizikai, biológiai és kémiai állapotára gyakorolt hatásáról. LIEBHARD P. (2009) megállapította, hogy a jelentős talajfizikai jellemzőknél, mint a porozitás, a pórustérfogat, a

pórusméret-eloszlás, a térfogattömeg, a szerkezeti stabilitás, a talajellenállás, továbbá az infiltrációs ráta középtávon kedvező hatás figyelhető meg, ugyanakkor a jelenleg rendelkezésre álló eredmények nehezen teszik lehetővé az egyértelmű megítélést.

A hagyományos szántóföldi növénytermesztés talajfizikai és biológiai állapotra vonatkozó hatásait már részletesen vizsgálták számos kutatásban és ezen eredmények kiterjeszthetők az energetikai faültetvényekre, azonban a technológia sajátosságai miatt a konkrét kutatások nem nélkülözhetők.

Talajellenállás

A talajellenállás a talaj tömörödését kifejező jelzőszám, egyszersmind a termőhely fizikai állapotát általánosan jellemző paraméter. A tömörödés következtében nő a talaj térfogattömege és a penetrációs ellenállása, csökken a porozitása és romlik a víz-, levegő- és hőgazdálkodása. A talaj károsan tömör, ha a penetrométerrel mért ellenállás a szabadföldi vízkapacitásnak megfelelő nedvességtartalomnál meghaladja a 3,0 MPa értéket, a talaj térfogattömege nagyobb, mint a 1,5 g/cm³ és az összporozitás 40% alá csökken (BIRKÁS 2006). Az energetikai faültetvényekben kezdetben a talajellenállás értékei meghaladhatják a hagyományos forgatásos (napraforgó) és forgatás nélküli (őszi búza) művelésben mért szinteket, azonban ezek az értékek a nemzetközi kutatásokban leírt korábbi eredményeket erősítik meg, amelyek alapján a fás szárú energiaültetvényekben a fizikai és biológiai talajállapot javulása középtávon várható (33. táblázat).

33. táblázat. Talajellenállás (MPa) különböző növénykultúrák esetén (Gödöllő, 2010, 5 mérés átlagértékei)

Mélység (cm)	Kezelés		
	Energianövény	Napraforgó	Őszi búza
0-10	2,1	1,7	1,7
10-20	2,8	2,1	2,1
20-30	3,6	2,2	2,2
30-40	3,4	3,1	1,9
40-50	3,4	3,3	1,7

Talajnedvesség

Fás szárú energianövények termesztése során a talaj nedvességtartalom megítélése a termőhely függvénye. Rövid vágásfordulójú fű energetikai célú termesztésére elsősorban a magasabb vízállású termőhelyek jöhetnek számításba, ahol elegendő nedvesség áll a növények rendelkezésére. Ugyanakkor Magyarország időjárási viszonyai között egyre gyakoribbak a szélsőségek, azon belül is a száraz, aszályos évjáratok gyakorisága nőtt meg, ezért a nedvesség helyben tartása, a párolgási veszteség csökkentése alapvető jelentőségű. A szántóföldi növénytermesztésben a talajnedvesség megőrzés egyik módja a megfelelő alpművelés megválasztása és annak elmunkálása, lezárása. Energiaültetvények telepítésekor az alpműveléssel az ültetvény felszámolásáig megalapozzuk a növényállományunk termesztésének sikerességét.

34. táblázat. A talaj nedvességtartalom (tömeg%) értékei eltérő növénytáplálási kezelésekben fű energiaültetvényben (Gödöllő, 2008, 2010)

Mélység (cm)	Kezelés		
	Kontroll	Műtrágya	Komposzt
2008			
0-10	16,1	19,9	20,9
10-20	17,3	21,6	22,9
20-30	18,9	22,4	24,0
30-40	21,1	24,1	25,2
40-50	23,1	25,8	26,7
2010			
0-10	16,8	17,2	18,9
10-20	18,4	19,3	19,3
20-30	20,0	20,8	20,2
30-40	20,8	21,5	21,2
40-50	21,3	22,3	21,9

A talaj párolgásának szabályozását a talaj felszínén szétterített komposzttal érhetjük el. A komposztrágyázás különösen a szerves trágya hiánytól sújtott talajokban javítja a talaj

szerkezetét, életfolyamatait, víztartó képességét. A felszíni komposztborítás lassan feltáródó tápanyagot szolgáltat a növényeknek, mulcsréteggként viselkedve akadályozza a gyomok csírázását, illetve csökkenti az evaporációt (LAUREYSENS et al. 2004). Komposzttrágyázás esetén a talaj hosszabb időn keresztül képes a nedvességet megőrizni (34. táblázat).

A fás szárú energianövények gyökereinek legnagyobb része a feltalajban (5-40 cm) helyezkedik el, ugyanakkor a vízfelvétel szempontjából jelentősek a mélyebb rétegekbe lehatoló gyökerek. Ez utóbbiak szerepe aszályos évjáratban növekszik meg, amikor a felső talajréteg hiányzó vízkészlete a mélyebb rétegekből pótolható. A komposzttal kezelt parcellákon bizonyított, hogy a talaj nedvességveszteség csökkenése érhető el, ami segíti a növényeket az esetleges szárazabb periódusok átvészelésében, továbbá megőrzi vagy javítja a talaj kedvező fizikai, biológiai állapotát.

Talaj biológiai állapota

A talaj fizikai és biológiai állapota között szoros korreláció áll fenn. Csak szerkezetes, szerves anyagban gazdag, tömör rétegektől mentes talajban számíthatunk aktív talajéletre. A talaj biológiai aktivitása a talajban élő élőlények tevékenységének eredménye, amelybe beletartozik a mikro-, mezo-, makro- és megafaunával kapcsolatos összes tevékenység. Az aktív talajélet jelentős pufferkapacitást is jelent a talaj számára, sőt a talajlakó élőlények képesek a kisebb hibák „javítására” is. A talajművelés általában károsan befolyásolja a talajéletet, a talajban élő növény és állat szervezetek természetes életközösségeinek degradációját eredményezi. A talajállapot értékelés egyik tényezője a talajlakó élőlények alapján történő biológiai aktivitás minősítése. Ezek közül a földigiliszta tevékenységet meghatározó földigiliszta egyedszám, biomassza és járatszám – a talajmikrobiológiai mutatók mellett – gyakran használt indikátor a talajok biológia állapotának jellemzésére.

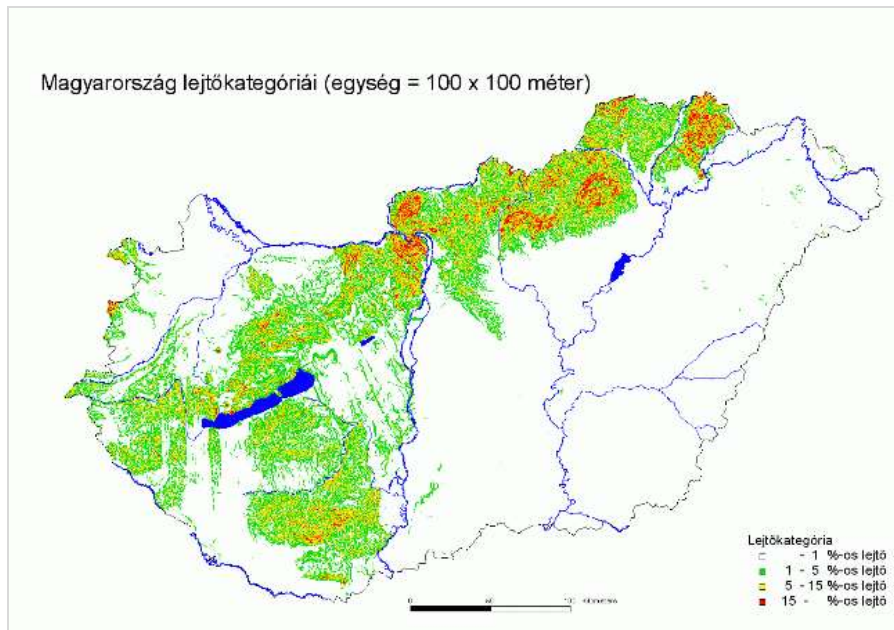
A földigiliszták a talajban élő makrofauna élőlényeihez tartoznak. A talajállapot minősítésénél mindennél többet mond, hogy a földigiliszták jól érzik-e magukat. Hazai talajainkban mintegy 40 faj – más vélemények szerint 60-80 – előfordulásáról tudunk. Művelt területeken a talaj típusától, fizikai féleségétől és a talajműveléstől függően 10- 20 fajt találhatunk. Szántóföldön gyakori földigiliszta fajok az *Allolobophora chlorotica*, az *Aporrectodea caliginosa* és a *Lumbricus terrestris*. A fajgazdagság jelentősége abban áll, hogy az egyes fajok élettere a talaj különböző mélységeiben van, illetve a járatok mérete és iránya különböző. A közönséges földigiliszta jelentősége, hogy a mélyebb rétegekbe (3 m) is lehatol és függőleges irányú, stabil járatrendszert készít. A földigiliszták járataikkal együtt jelentős szerepet játszanak a

talaj fizikai, kémiai és biológiai folyamataiban. A giliszták járatkészítés során lazítják, keverik a talajt, csökkentve ezzel a talajtömörödés veszélyét. A keverő hatás révén a növényi maradványok a felszínről a mélyebb rétegekbe kerülnek, illetve a szervesanyagok az alsóbb rétegekből a felszínre. A gilisztajáratok, mint megapórusok („biopórusok”) részt vesznek a talajok víz- és hógazdálkodási, illetve anyag- és gázcsere folyamataiban. A talaj felső rétegét behálózó járatok többnyire vízszintes lefutásúak és elsősorban a talaj levegőzését biztosítják, míg a függőleges, akár több méter mélységig is lehúzódó, vízátjárható, stabil gilisztajáratok gravitációs pórusként játszanak szerepet, például hirtelen lehulló nagy mennyiségű csapadék mélyebb rétegekbe történő gyors levezetésében. Lejtős termőhelyeken a talaj lepusztulását, az eróziót is mérséklék, mert a beszivárgás növekedése miatt a felszíni lefolyás csökken. A vertikális gilisztajáratok, mint pórusok a növények mélyebb rétegekbe történő begyökerezését és a fel- és altalaj átlevégését is elősegíti. A gilistaürülék egy speciális tulajdonságokkal rendelkező organo-minerális anyag, amely egyéb anyagokkal keveredve (urin, mucus) részt vesz az agyag-humusz komplexek, a talajaggregátumok és a talajszerkezet kialakításában.

Erózió elleni védelem

Magyarországon a gazdaságilag fejletlen térségeken belül legnagyobb kiterjedésűek a hegy és dombvidéki területek. A talajok legnagyobb része vízerózióknak kitéve, ennek következtében alacsony a termőképességük és a megfelelő csapadékmennyiség ellenére is vízhiányosságuk kiegyenlítetlen. Ez a gazdálkodást kockázatosabbá teszi, mint a síkvidékeken, s ezenkívül mezőgazdasági területek átlagos lejtése itt 5-25% között ingadozik (13. ábra).

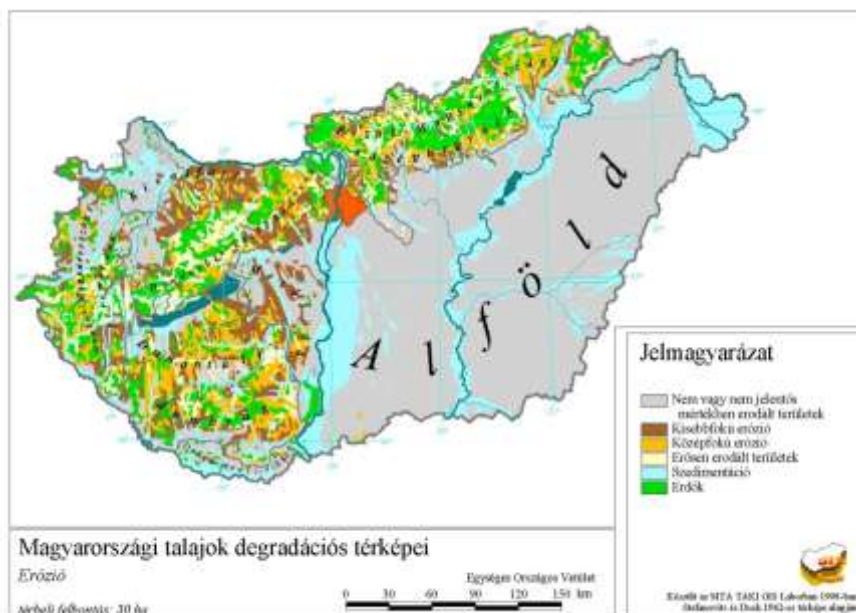
Több százezer hektárra tehető azon szántóterületek nagysága, amelyeken nehezen garantálható a jövedelmezőség hagyományos növényekkel (GYURICZA et al. 2011). A vízjárta, belvizes területek, valamint a szélsőséges víz- és tápanyag-gazdálkodású talajok általában az elmaradottabb térségekben találhatóak, ezért a jövőben a mezőgazdaságnak nagyobb figyelmet kell fordítania e területek termelésből való kivonására. (DOBÓ et al. 2006).



13. ábra. Magyarország lejtőkategóriái

(Forrás: <http://www.ktg.gau.hu/~podma/zona/images/map1.gif>)

A legnagyobb probléma mégis a talajerózió, amely jelentősen nehezíti a gazdaságos mezőgazdasági termelést (14. ábra). Az erózió évi átlagban több mint 80 millió tonna talajmennyiséget hord le, ennek az átlagos humusztartalma 1,5 – 2%. Ez körülbelül 1,6 millió tonna tiszta humusznak felel meg, ami 50 millió tonna istállótrágya szervesanyag tartalmával egyenértékű.



14. ábra. Magyarország talaj degradációs térképe

(Forrás: MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet (MTA TAKI) Környezetinformatikai Osztály)

Mezőgazdasági területeken a víz- és a szélrózsió gyakran károsító természetes folyamat. Az intenzív növénytermesztés, a gyakori talajmozgatás, a hosszú időn át fedetlen talajfelszín a károk mértékét meghatározza. A fás szárú energianövényekben végzett vizsgálatok alapján különbséget kell tenni az ültetvény termőtalajának megóvása érdekében végzett eljárások, valamint az energetikai ültetvények eróziócsökkentő hatása között.

A talajvesztéséget minden esetben a hagyományos szántóföldi növényekhez (búza, kukorica) célszerű viszonyítani, amelyek alapján a legnagyobb talajvesztéséget a kapások (kukorica) figyelhető meg. A kalászosok (őszi búza) korábban és hosszabb időn keresztül adnak talajborítottságot, ezért 30 %-kal kisebb eróziós károkkal számolhatunk esetükben (35. táblázat).

35. táblázat. Talajerózió mértéke különböző szántóföldi kultúrákban (Gödöllő, 2006-2009)

Talajerózió relatív mértéke (%)	Ültetvények állapota	Fűz	Nyár	Őszi búza	Kukorica
1.év	részleges borítás, év végén visszavágás	85	85	70	100
2.év	júliusra teljes borítás	45	45	-	-
3.év	teljes talajborítás, év végén betakarítás	30	30	-	-
4.év	júliusra teljes borítás	40	45	-	-

A mérések 2-3%l ejtőszögnél történt. A kukorica területén mért talajvesztéség a legnagyobb, 100%-kal lett figyelembevéve.

A fás szárú energianövények erózió elleni védelmét elsősorban az agrotechnikai megoldások jelentik. A talajvédő talajművelésnek számos eleme ismert, ezek közül az energetikai ültetvényekben figyelembe veendő leglényegesebb szabályok a következők.

1. Enyhe lejtésű tábla esetében a művelés a lejtő irányára merőlegesen, illetve azt megközelítően történjék. Ennek csak abban az esetben lehet eleget tenni, ha a táblák hossziránya a lejtőre merőlegesen helyezkedik el.

2. Lejtős területen nem ajánlott ugyan a forgatás, mélyebb művelésre inkább lazítót célszerű alkalmazni, azonban ültetvények létesítése előtt legtöbbször elkerülhetetlen, ezért a szántást szintvonalakkal megegyezően kell végezni, illetve lejtőre felfelé kell forgatni.

3. Szántás esetén alapszabály, hogy a művelés mélységének igazodnia kell a tábla eróziós szakaszain bekövetkezett szelvénypusztulás mértékéhez. Amennyiben ennek figyelembevételével nem lehet legalább 25-30 cm mélyművelést végezni, kerülni kell energetikai faültetvény létesítését.

4. Kerülni kell a sima talajfelszín kialakítását, és törekedni kell a vízfolyást akadályozó talajfelszín megteremtésére és fenntartására.

5. A talajművelés ajánlott módszerei csak abban az esetben felelnek meg erózióveszélyes területeken az elvárásoknak, ha a többi agrotechnikai műveletet, amelyek közé a vetés, sorközművelés és ápolás is tartozik, a szintvonalakra párhuzamosan végzik el.

A szél által sújtott területeken a talajművelést az uralkodó szél irányára merőlegesen kell végezni. Minden lazítás és a talaj felszínét simára alakító művelet utáni tömörítésre soha nem a sima-, hanem a gyűrűshenger alkalmazandó a bordás talajfelszín kialakítása miatt. Kotu talajon a tarlóhántást el kell hagyni, és az esetleges forgatást csak tavasszal a vetés előtt kell elvégezni. Mivel a talajszárazság és a defláció megjelenése között szoros az összefüggés, ezért például a kis adagú kelesztő öntözés igen hatásos védekezési eljárás, amely a talaj megkötése mellett megakadályozhatja a friss telepítés teljes elpusztulását is. A telepítés tervezésekor célszerű figyelembe venni kis lejtési százalék esetén is, hogy a dugványokat a szintvonalakkal párhuzamosan ültessék. Ennek gyakorlati kivitelezhetőségét a kis táblaméret korlátozhatja. A telepítést követően a szél- és vízerózió ellen egyaránt hatékony védelmet jelent, ha a sorközöket pillangós virágú növények keverékével vetjük be. Erre a célra kiválóan alkalmasak a különféle herefélék, esetleg pázsitfűfélékkel is vegyítve. A zöld sorköz az első és esetleg a második évben védi a talajfelszínt, a növedék lekaszállva takarmányként hasznosítható, illetve a pillangós virágú növény légköri nitrogént megkötő képességének köszönhetően tápanyagban gazdagítja a talajt (15-16 ábra).



15. ábra. Zöld sorköz első éves állományban (ikersoros) Gödöllő (Fotó: Gyuricza Csaba)

A második évtől kezdődően az energianövény a betakarítás után rövid idő elteltével zárt állományt alkot, és a sorközökben védő növény fejlődését az árnyékoló hatás miatt elnyomja. A sorközök védő hatására kiválóan alkalmas lehet a telepítés utáni zab vagy árpavetés, amit 30-40 cm növénymagasság elérése után tárcsával lezúzunk, és a további időszakban a talajt beborító maradványok jelentik a védő hatást. A fenti megoldások alkalmazása esetén a sorközök gyomosodása is visszaszorítható.



16. ábra. Betakarítás utáni lombborítás fás szárú energetikai ültetvényben (Gödöllő)

(Fotó: Gyuricza Csaba)

Defláció elleni védelem

A defláció a talajrészecskék felszínről való elmozdításának, szállításának, és újbóli felhalmozásának folyamata; a lepusztítás ugyanúgy jellemzi, mint a felhalmozás. A kártétel a talaj szerves és szervesetlen kolloidokban és tápanyagokban gazdag, szerkezetességében legértékesebb felső rétegének szél általi elhordásában jelenik meg. A talajdegradációs folyamatok közül az egyik legjelentősebb a szélerózió, Magyarország szántóterületének mintegy 60 százaléka erózióra vagy deflációra hajlamos, a veszélyeztetett területek kiterjedése mintegy 2-2,5 millió ha (TAMÁS 1997). A több évtizedig alkalmazott sokmenetes talajművelési rendszerek következtében az eredetileg kedvező szerkezetű talajok is elporosodtak és érzékennyé váltak a szélerózióra. A defláció főbb következményei a talajszerkezet romlása, a talajszerkezet csökkenése, a talaj kisebb vízkapacitása és a fokozottabb aszályérzékenység. A defláció fokozottan nehezíti a szántóterületeken történő sikeres gazdálkodást. A defláció elleni védekezésnek számos eleme van, amelyek egyidejű alkalmazásával hatékonyan csökkenthetjük a szélerózió káros hatásait:

- mesterséges szélfogók kihelyezése
- földhasználat megváltoztatása
- talajművelési elemek helyes megválasztása
- optimális táblaméret kialakítása
- szervesanyagok pótlása
- talajtakarás és növényborítás
- mezővédő erdősávok telepítése

Technológia	Évek									
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Fűz (széles egysoros, ikersoros technológia)	red	orange	orange	green	orange	green	orange	green	orange	green
Fűz (keskeny egysoros technológia)	orange	green	green	green	green	green	green	green	green	green
Nyár (széles egysoros technológia)	red	orange	orange	green	orange	green	orange	green	orange	green
Akác (széles egysoros technológia)	red	orange	orange	green	orange	green	orange	green	orange	green
Erózió megjelenésének esélye	red	nagy		orange	közepes		green	kicsi		

17. ábra. Fásszárú energiaültetvények eróziós és deflációs megjelenésének esélye

Forrás: Saját szerkesztés

Különösen a szántóföldi növénytermesztésben élen járó alföldi megyékben jelentkezik problémaként, hogy a 60-as évek táblásításának eredményeként megszűntek a mezővédő erdősávok. Az energetikai faültetvény bár teljesen kiváltani nem tudja, részben helyettesítheti a mezővédő erdősávot. A szélesebb mérséklésével a faültetvények – különösen az erdőben egyébként szegény vidékeken – befolyásolják a mikro- és mezoklimát. A szélesebb csökkenés arányos a magassággal, és alacsonyabb evapotranspirációt, kiegyenlítettebb klímát és egyenletesebb csapadékeloszlást is eredményez. A szélmeéklő hatása már a sor előtt 4-40-szeres famagasságnál jelentkezett. A szélesebb mérséklés átlagosan 50%-os volt. Hatékonyak bizonyult nagy szélesebbégek (50-80 km/h) esetén is. A védő hatás a hőmérsékletben is megmutatkozott. A védett területen +0,4- -1,3 °C átlagos hőmérséklet különbség volt a kontrollhoz képest. Nagyrészt negatív előjelű volt a változás. A talajban 30 cm mélyen, a nappal és éjszaka mért hőmérséklet hasonló volt. A relatív légnedvesség a talaj feletti 50 cm-es rétegben 5-10 %-kal nőtt. A talaj nedvességtartalma 0,7-7,8 %-kal emelkedett a kontrollhoz képest. A környezeti hatások szintén a szélesebbégek csökkentéséhez kapcsolódnak. Laza, homokos talajon a deflációt, lejtős területen, megfelelően telepítve az eróziót mérsékli. Az energetikai faültetvények erózióra gyakorolt hatásának elbírálásakor figyelembe kell venni, hogy az ültetvények a környező termőhelyek védelmében is jelentős szerepet játszanak, mint talajvédő fasorok, illetve erdősávok (17. ábra). Egyes fűz és nyár

fajták már az első év során elérhetik a 4-5 m magasságot, amelyek szélérozíót csökkentő hatása magasságuk 25-30-szorosára, azaz 100-150 méterre terjed ki.

8.7. Jövőbeli kilátások lehetőségek Magyarországon

Magyarország kiváló agroökológiai adottságokkal rendelkezik a biomasszaversenyképes előállítására. Magyarország teljes biomassza készlete 350-360 millió tonnára becsülhető, ebből 105-110 millió tonna újraképződik és felhasználásra kerül. Az évenként keletkező elsődleges biomassza 54 millió tonna (száraz anyagban számítva), amelyből a mezőgazdasági termelés 46 millió tonna, az erdészeti termelés 8 millió tonna (BAI et al. 2008).

A fás és lágyszárú energianövények telepítésével bővíthető az energetikai biomassza kínálat, mely tehermentesítheti az erdészeti forrású biomasszát. A fás és lágyszárú energianövények hőenergia és/ vagy villamos energia hasznosítása az ország egész területén biztonságosan megoldható. Magyarország számára a legnagyobb lehetőséget a decentralizált erőművek jelenthetik, amelyek egy adott mezőgazdasági, ipari vállalkozás, egy település, közintézmények stb. számára termel energiát a térségre jellemző és gazdaságosan elérhető alapanyagokra építve. A Nemzeti Cselekvési Tervben Magyarország megfogalmazta azokat a legfontosabb feladatokat, amelyekkel teljesíthető az energiaforrások felhasználásában 2020-ra a 14,65 százalékos megújuló energiahordozói részarány. Jelenleg Magyarországon megközelítőleg 8-9 % a megújulók részaránya. Ez azt jelenti, hogy az elkövetkező hét éven belül a jelenlegi szint közel kétszeresére kell növelni a megújulók arányát, ha a vállalt kötelezettségünknek eleget kívánunk tenni. Jelenleg a biomassza hasznosítás egyeduralma figyelhető meg, a megújuló energiaelőállítás több mint 90 %-a valamilyen biomassza forrásból származik (SZAJKÓ 2009, NFM 2010).

A biomassza jelentősége, hogy fosszilis energiahordozók válthatók ki velük, így megvalósítható a fenntartható energiafelhasználás (fenntartható fejlődés). Rövid életciklusban akár 1 éven belül újból megtermelődnek (pl. rövid vágásfordulójú fás szárú energiaültetvények), használatuk esetén bányászott energiahordozók takaríthatók meg (kőszén, földgáz, kőolaj). Az így megtakarított fosszilis energiahordozók nem fokozzák a levegő szennyezettségét és a CO₂ tartalmának növekedését (üvegház-hatás, globális felmelegedés). A társadalom, az ipar és a közlekedés óriási energiaéhsége miatt azonban ilyen módon a gyakorlatban nem csökkenthető számottevő mértékben a CO₂ kibocsátás. Jelenleg szántóföldi növénytermesztés által hasznosított terület 4,3 millió hektár (36. táblázat). A

hasznosítási forma megváltoztatását az is indokolja, hogy az érintett szántóterületek egy része kedvezőtlen termőhelyi adottságú (17 AK alatti, belvízveszélyes stb.), amelyeken nem lehet rentábilisan 166 élelmiszeripari célú növénytermesztést folytatni, de energetikai termelésre gazdaságosan hasznosíthatóak (NFM 2010).

36. táblázat. Magyarország művelési ágai (KSH) (1995-2012)

Művelési ág	1995	2005	2009	2010	2011	2012
Szántó	4716	4513	4502	4322	4322	4323
Gyep	1148	1057	1004	763	759	759
Kert	90	96	96	82	82	81
Gyümölcsös	94	103	99	94	92	92
Szőlő	131	86	83	83	82	82
Mezőgazdasági terület	6180	5855	5783	5343	5338	5338
Erdő	1763	1775	1896	1913	1922	1927
Nádas	41	62	61	65	66	66
Halastó	27	34	36	36	35	37
Termőterület	8017	7726	7775	7356	7360	7368
Nem művelt	1293	1578	1528	1947	1944	1935
Összesen	9303	9303	9303	9303	9303	9303

Szintén fontos megemlíteni, hogy az 1995-ös évektől folyamatosan növekszik azon területek nagysága, amelyeken nem folyik mezőgazdasági termelés. 2010-re ezen területek nagysága elérte a 2 millió hektárt, amely közel fele a jelenleg művelés alatt álló szántóterületeknek. A művelési ágak közül legnagyobb mértékben a szántó- és gyepterületek csökkentek. Ezzel szemben az erdőterület jelentősen növekedett. A vetetlen szántóterületek nagysága 10 év átlagában megközelítőleg 150 ezer hektár. Ezen kihasználatlan területek ideálisak rövid vágásfordulójú energetikai ültetvények telepítésére.

Biztonságpolitikai kockázatokat is felvet, hogy a szénhidrogén-ellátási források koncentráltak, a potenciális ellátó térségek száma csekély. A megújuló energiaforrások terén azonban versenyképes lehetőségekkel rendelkezünk:

- a művelés alól kivont mezőgazdasági területek jelentős mennyiségű energianövény termesztését – s feldolgozásukkal növényi üzemanyagok előállítását – teszik lehetővé.
- geotermális készleteink nemzetközi szinten is jelentősek.
- számottevő szél és napenergia forrásokkal rendelkezünk.

E források hasznosítása azonban elsősorban nem energetikai kérdés, rövid távon ugyanis gazdaságosan nem képesek teljes körben kiváltani a gyakran olcsóbb hagyományos energiahordozókat. Hosszabb távon azonban vidékfejlesztési hatása jelentős, hozzájárul növénytermesztésünk szerkezetének átalakításához, az esetleges termékfeleslegünk értékesítéséhez, új munkahelyek teremtéséhez (JOLÁNKAI 2009).

9. Köszönetnyilvánítás

Az értekezés elkészültekor természetes, hogy a szerző köszönetet mondjon mindazoknak, akik hozzájárultak munkája sikeres elvégzéséhez.

Nem lenne célszerű, és egyben illendő sem, hogy bárkit is név szerint megemlítek. Ugyanakkor szeretnék mindannyiuknak köszönetet mondani.

Mindenekelőtt szeretném megköszönni tanárainknak, témavezetőimnek, mentoraimnak, hogy erre a pályára állítottak és mind a mai napig szakmai hozzáértéssel, gondoskodással támogatják munkámat.

Szeretném megköszönni munkatársaimnak, barátaimnak, tudós, gazdálkodó és vállalkozó kollégáimnak, a szántóföldi és laboratóriumi munkát végző alkalmazottaknak odaadó munkáját, amely nélkül ez az értekezés meg sem születhetett volna.

Végül, de nem utolsósorban szeretnék köszönetet mondani családomnak. Szüleimnek, akik elindítottak e pályán és mindmáig támogatnak, valamint feleségemnek és három kislányomnak, akik nagyon sokféle módon, de mind részesei ennek a munkának.