

Debreceni Egyetem
Természettudományi és Technológiai Kar
Földtudományi Intézet



**Talajok szénraktározó képessége és szerepe a
klímarezilienciában eltérő hasznosítási és felszínborítási
viszonyok mellett**

OTDK-dolgozat

Készítette:

Krusóczki Anikó

Geográfus MSc

Témavezetők:

Dr. Novák Tibor József

egyetemi docens

Dr. Tóth Tamás

adjunktus

A dolgozat lezárásának dátuma: 2024. május 24.

Debrecen, 2024

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS	3
CÉLKITÚZÉS	4
1. KLÍMAVÉDELEM	5
2. AZ ERDŐK HELYZETE MAGYARORSZÁGON	7
2.1. ENERGIAERDŐK, ENERGETIKAI CÉLÚ FÁSÍTÁSOK	9
2.1.1. Fás szárú energianövények	10
3. SZIKES TALAJOK.....	12
3.1. SZIKES TALAJOK KIALAKULÁSA	12
3.1.1. Másodlagos szikesedés.....	13
3.2. SZIKES TALAJOK FÁSÍTÁSA	14
4. A FÁSÍTÁS ÉS A TALAJ SZÉNTARTALMÁNAK KAPCSOLATA	17
5. ANYAG ÉS MÓDSZEREK	18
5.1. MINTAVÉTELI HELYSZÍN BEMUTATÁSA.....	18
5.1.1. Püspökladányi mintaterület.....	18
5.2. A VIZSGÁLAT SORÁN ALKALMAZOTT MÓDSZEREK BEMUTATÁSA	19
5.2.1. Terepi mintavétel	19
5.2.2. Laboratóriumi módszerek	20
6. EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE	23
6.1. TALAJMINTÁK KIÉRTÉKELÉSE	23
6.2. AVARMINTÁK KIÉRTÉKELÉSE	25
6.2.1. Avarfrakciók	26
6.2.2. Száraz tömeg.....	29
6.2.3. Szénkészlet.....	30
6.2.4. Nitrogén készlet.....	32
6.2.5. C/N arány.....	35
KONKLÚZIÓ	36
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	38
IRODALOMJEGYZÉK.....	39

Bevezetés

Pályamunkám témája az eltérő felszínborítás alatt álló talajok vizsgálata, illetve a gazdasági művelés váltást követő különböző talajtulajdonság változások vizsgálata, kitérve napjaink klímaváltozásának legfőbb okozójának tartott légköri szén megkötésének vizsgálatára. Kutatásom során külön figyelmet szeretnék fordítani a talajban- és a talajfelszínen megmaradt biomasszában tárolt szerves szén vizsgálatára. Melyhez egy mintavételi helyszínről a Püspökladányi NAIK ERTI területéről történt talaj- és avarminta vételek segítenek. Négy mintavételi területről vett minták segítségével lehetőségem adódott összehasonlítani a természetes felszínborítással rendelkező szikes gyepterületeket 1957-ben telepített tölgyerdőkkel borított területekkel, illetve 2008-ban telepített energetikai célú fásításokkal.

Dolgozatom első nagy részében szeretném bemutatni a klímaváltozással kapcsolatos főbb jogszabályi előírásokat és célértékeket, külön figyelmet fordítva országunk megújuló energetikai értékeire. Mely értékek alapján megállapítható, hogy a biomassza energetikai célú felhasználása rendelkezik a legnagyobb részesedéssel megújuló energiaforrásaink közül. Ezek alapján fontosnak tartom bemutatni a magyarországi erdőségek helyzetét és az energiaerdők, energetikai célú fásításokat, illetve ezen területeken alkalmazott állományalkotó fásszárúakat. A második nagy egységben szeretném bemutatni a mintavételi helyszínemre való tekintettel a szikes talajok kialakulását, főbb típusait. Majd ezen talajtípusokon folytatott fásítások, erdősítések történelmi előzményeit. Egy alfejezetben fontosnak tartom tisztázni a fásítások talaj szénmegkötő képességére gyakorolt hatását. Dolgozatom harmadik nagy egységében sor kerül az anyag és módszertanok bemutatására. Első körben a mintavételi helyszín leírására és a terepi mintavételezés bemutatására, majd a talaj- és avarmintákkal folytatott laboratóriumi módszerek, vizsgálatok bemutatására. Dolgozatom utolsó részében a kapott laboratóriumi eredmények kiértékelésével és összevetésével választ keresek dolgozatom kérdéseire, nevezetesen, hogy miként alakul a különböző gazdasági hasznosítás alatt álló szikes talajok szerves széntartalma fásítást követően a talajfelszínen és a felső talajrétegben.

Témaválasztásom indoka, napjaink két fontos problémájának összehangolt kutatása. A klímaváltozáshoz nagy mértékben hozzájáruló légköri szén megkötési lehetőségeinek vizsgálatának egyre inkább középpontba kerülése, valamint, hogy az Alföldünkön jelentős kiterjedésben előforduló problémának tekinthető a szikesedés és a szikesek gazdasági hasznosíthatósága.

Célkitűzés

Napjainkban egyre fontosabbá válik a klímavédelem, valamint az éghajlatváltozással szembeni ellenálló képesség fokozása. A már most is tapasztalható klimatikus változások hatásainak mérséklésére való törekvés, valamint az ahhoz történő alkalmazkodás kiemelt fontosságú. A talajok szénmegkötő képességükkel jelentős szénraktáraknak számítanak, ezért fontosnak tartom vizsgálatukat, monitoringukat. A talajban megkötött szén alakulására a felszínborítás jelentős hatással bír. Ezért dolgozatomban célként tűztem ki a felszínborítás megváltozását követő szervesszén-tartalom és további talajtulajdonság változások vizsgálata mellett a különböző avarfrakciók vizsgálatát. Az egyre gyakoribb és kiszámíthatatlanabb aszályos időszakok miatt növekvő fontosságúvá válnak a talajok és ökoszisztémák vízvisszatartó képességének növelését célzó vizsgálatok. Ezért dolgozatomban vizsgálni kívánom a különböző felszínborítással rendelkező területekről vett avarminták segítségével a talajfelszínen felhalmozott holt biomasszában tárolt nedvességtartalmat.

Célom egy eredeti vegetációval (szikes gyepek) rendelkező terület összehasonlítása hasonló élőhelyen létesített eltérő korú és állapotú fásított területekkel. Az összehasonlíthatóság kedvéért két fásított területtypust vizsgáltam, két idős faállományból álló erdőt és egy fiatal, energetikai célú faültetvényt. Azt vizsgálva és feltételezve, hogy a fásított területek magasabb szénkészlettel rendelkeznek, mint az eredeti gyepterület. A két fásított területtypuson belül továbbá azt feltételezem, hogy az idős állományú erdők nagyobb szénmegkötő és vízvisszatartó képességgel rendelkeznek, mint egy energetikai célú faültetvény.

1. Klímavédelem

Napjainkra egyre ismertebb fogalomná vált a fenntartható fejlődés, klímavédelem és a környezettudatosság fogalma. A klímaváltozás jelentős hatást gyakorol az emberiségre, ugyanakkor a társadalmi-gazdasági fejlődés ma már világszerte lehetőséget nyújt a klímaváltozás okozta negatív hatásokhoz történő alkalmazkodásra. Az éghajlatváltozás veszélyei világszerte megjelennek a természetes változékonyság fokozódásával (IPCC 2018). Az éghajlatváltozással szembeni küzdelem azonban csak globális összefogással lehetséges, amire az ENSZ 1992-es Éghajlatváltozási keretegyezményével (UNFCCC) szeretett volna megoldást találni. Az egyezmény keretében a fejlett országok megállapodtak az üvegházhatásúgáz-kibocsátások csökkentéséről, hogy 2000-re nem haladhatják meg az 1990-es szintet, valamint nyilvántartást vezetnek az üvegházhatású gázok kibocsátásáról. Az 1997-es Kiotói jegyzőkönyvvel, ezt tovább erősítették (Olajos – Szilágyi, 2013). A 2015-ben megrendezett Párizsi Megállapodásban a globális felmelegedés korlátozására irányuló cselekvési tervről tárgyaltak a világ vezető országai és hosszútávú célként azt tűzték ki, hogy az iparosodást megelőző szinthez képest a globális éves átlaghőmérséklet emelkedését $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatt tartják, és erőfeszítéseket tesznek, hogy az emelkedés mindössze $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ legyen. Az európai klímarendelemben az 1990-es éves szinthez képest 2030-ig az EU nettó üvegházhatásúgáz-kibocsátásának legalább 55%-os csökkentését tűzték ki célként, 2050-re pedig a klímasemlegesség elérését tűzték ki célul. Ezt első körben a szennyezőanyag kibocsátás mérséklésével majd teljes elkerülésével kívánják elérni (Kurcsik et al., 2021).

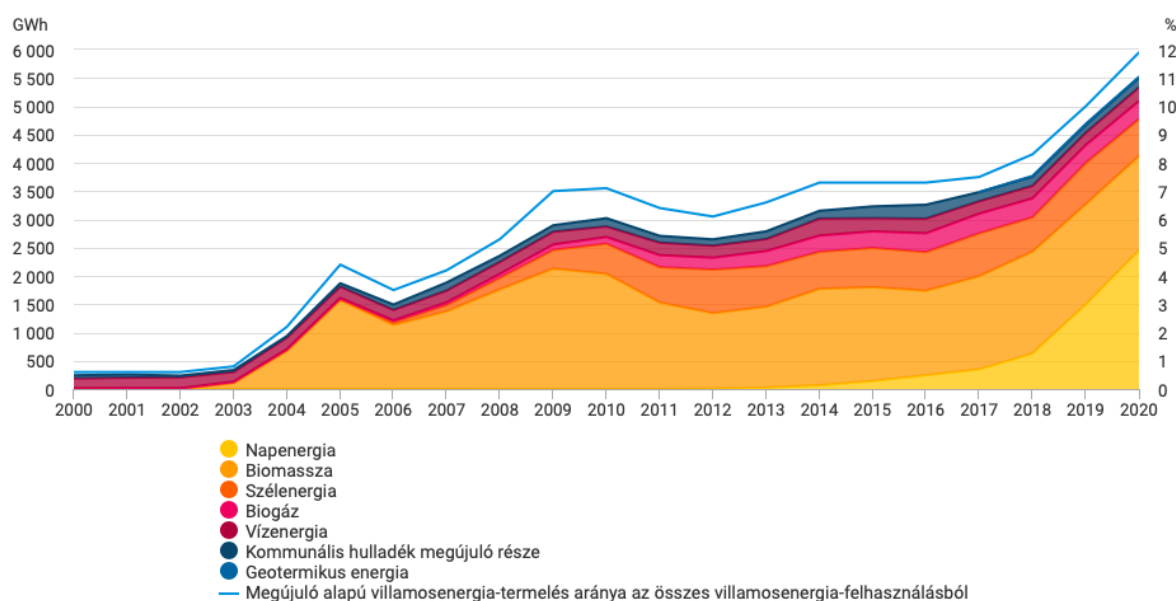
Új fogalomként jelent meg a klímareziliencia fogalma, amely társadalmi, ökológiai vagy társadalmi-ökológiai rendszer és összetevőinek képessége arra, hogy időben és hatékonyan megelőzze, csökkentse, alkalmazkodjon vagy helyreálljon a klímaváltozás okozta negatív hatásaira (Schleussner et al., 2021). Az országok éghajlatváltozással szembeni ellenálló képességének hatékonysága nagy mértékben összefügg a különböző társadalmi-gazdasági fejlődéssel és kibocsátási pályák alakulásával. Egy 2021-es tanulmány szerint csak egy inkluzív és fenntartható, szigorú mérséklési pálya teszi lehetővé az éghajlatváltozással szembeni ellenálló képesség hatékony fejlesztését. Tehát a Párizsi Megállapodás céljainak elérése kiemelkedően fontos az éghajlatváltozással szemben ellenállóképeség, valamint a fenntartható fejlődés lehetővé tétele érdekében. Az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye 2015. évi Párizsi Megállapodásának (UNFCCC 2015) 2. cikkének (1b) bekezdésében meghatározott éghajlat-politika egyik központi célkitűzése az éghajlatváltozással szembeni ellenálló képesség előmozdítása (IPCC 2018). Amely történhet mitigációval és adaptációval. A mitigáció során a

légkörbe kerülő ÜHG-k csökkentésével a klímaváltozás üteme mérsékelhető, míg az adaptáció során fokozódik a különböző rendszereknek képessége a fennmaradó hatásokhoz történő alkalmazkodása. Amennyiben jól tervezik meg és integrálják az éghajlatváltozás mérséklését és az ahhoz történő alkalmazkodást, lehetőség adódik a fenntartható fejlődés előmozdítására (Internet1).

A mitigációs célok elérése érdekében egyre fontosabbá válnak a fosszilis tüzelőanyagok (kőszén, kőolaj, földgáz) megújuló energiaforrásokkal történő felváltása. Felhasználásuk előtérbe került, hiszen a környezetvédelmi törekvésekkel és a fenntartható fejlődés alapelveivel egyaránt összhangban állnak (Kohlheb et al., 2015). Azonban a megújuló energiaforrásokból származó energiáról sem jelenthető ki, hogy teljes mértékben károsanyag mentesek, de nem szennyeznek olyan mértékben a környezetet káros melléktermékeikkel, mint a fosszilis tüzelőanyagok.

Az energiapolitika célul tűzte ki, hogy 2030-ra a teljes energiafogyasztáson belül 32%-ra növeli a megújuló energia részarányát (megújulóenergia-irányelv (2018/2001/EK), majd ezt az értéket 2023 őszén 42,5%-ra emelték.

Az Eurostat adatai szerint 2022-ben a megújuló energiaforrások részaránya a bruttó végső energiafogyasztásban uniós szinten elérte a 23 %-ot. Magyarországon a megújulók aránya 2022-ben 15%-os részesedéssel rendelkezett. A megújuló energiaforrásokon belüli részarányokat tekintve 2020-ban a legnagyobb értékkel a biomassza energia rendelkezett (1.ábra).



1. ábra. Megújuló energiaforrásokból és hulladékból termelt villamos energia mennyisége és aránya.

Forrás: Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, KSH (Internet2)

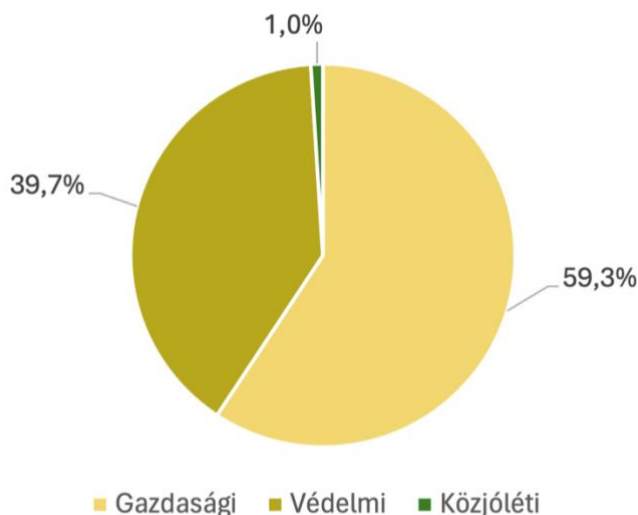
2. Az erdők helyzete Magyarországon

Magyarország erdősültsége az első világháborút követő Trianoni békeszerződés által elcsatolt területek hatására 11,8%-ra csökkent. Komoly ráfordítással és a fásítási programok eredményeképpen 2013-ra elérte a 20,8%-ot. Az ország adottságaihoz igazodva a 27%-os erdősültségi arányt tűzték ki távlati célként (2030-ra). A fásítások, erdősítések szerepe mára felértékelődött szinte már „divattá vált”. Az erdőket természeti kincsünknek tekinthetjük. A köztudatban is egyre inkább elterjedt, hogy milyen pozitív hatásokkal rendelkeznek. Ilyenek többek között, hogy csökkentik a levegő szennyezettségét, megkötik a port, javítják a talajok vízháztartását és zajcsökkentő hatásuk van (Standovár, 2006). 2020-ban az ország erdővel borított területeinek az aránya 20,9% volt (Internet3). Azonban a nem szakszerű telepítések többet ronthatnak a kialakult helyzeten, mint amennyit javíthatnának. Nem megfelelő művelési módok alkalmazása, adventív, invazív fafajokkal való erdősítést követően lecsökken a faji diverzitás, a korösszetétel pedig homogenizálódni fog, ami tovább fokozza az erdők sérülékenységet így lecsökkenti rezilienciáját a biotikus és abiotikus hatásokkal szemben (Standovár, 2006). Mindezek mellett pedig a tájképi jelleget is módosítja a nem megfelelő fajok alkalmazása. Az őshonos fák telepítését ezért előnyben kell részesíteni a tájidegen fajokkal szemben (Nagy, 2012).

Az Európai Unió átlagos erdősültség 39% (160 millió hektár, ami a világ összes erdőjének 4%-a). Az Unió nem rendelkezik közös erdészeti politikával, azonban erdőgazdálkodási stratégiát hozott létre és számos intézkedést támogat, amelyek jelentős hatást gyakorolnak az uniós és a nem uniós országokban található erdőkre. Az erdészeti politika elsősorban nemzeti hatáskörbe tartozik (Solymos, 2006). Az európai zöld megállapodás egyik kiemelt kezdeményezése, az Európai Bizottság által 2021-ben elfogadott 2030-ig tartó időszakra vonatkozó új uniós erdőgazdálkodási stratégia, amely a 2030-ra szóló uniós biodiverzitási stratégiára épül (3 milliárd fa ültetése az EU-ban 2030-ig). Kiemelt szerepet kapnak a városok, a vidéki települések és a mezőgazdasági területek fásítása. Továbbá fontos a városi, kertvárosi területek zöldítése. Az erdőgazdálkodási stratégiával az Unió biológiai sokféleséggel kapcsolatos céljainak eléréséhez kívánnak hozzájárulni, valamint az üvegházhatású gázkibocsátás 2030-ig kitűzött 55%-kal történő csökkentéséhez és a klímasemlegesség 2050-ig történő elérésére irányuló célkitűzésekhez (Internet4).

Az 1972-es Buenos Aires-i Erdészeti Világkongresszuson magyar javaslatra elfogadták az erdők több funkciójáról szóló tételt, amely szerint az erdők termelés szolgáló szerepük mellett védőhatással valamint szociális-, jóléti szereppel is rendelkeznek (Keresztesi, 1972).

Tehát megkülönböztethetünk gazdasági, védelmi és közjóléti (egészségügyi, oktatás/ kutatás, turizmus) elsődleges funkciójú erdőket. Ezeket a szerepeket egyidejűleg is betölthetik azonban az erdőállomány jellegétől, elhelyezkedésétől, valamint az adott térség társadalmi- gazdasági helyzetétől függ, hogy melyiket tekinthetjük elsődlegesnek (Szajkó et al., 2009).



2. ábra. Erdőrészek elsődleges rendeltetés szerinti megoszlása (%)
(Forrás: Nemzeti Földügyi Központ Erdészeti Főosztály, 2022)

Az erdők központi és multifunkcionális szereppel rendelkeznek, legfontosabb funkcióik közé sorolható a szénmegkötő képességük (fontos légköri szén-dioxid fogyasztó és oxigén termelő). A fa újratermelő nyersanyagforrás, az erdők a legnagyobb szervesanyag-termelők, a földi vízháztartás szabályozói, befolyásolják a mezo- és makroklímát, különböző védelmi funkciókkal rendelkeznek (pl. talajvédelem, vízvédelem, természetvédelem, partvédelem, településvédelem, tájképvédelem, örökségvédelem). Tehát jóléti, kulturális, esztétikai hatással is rendelkeznek. A Nemzeti Földügyi Központ oldaláról letöltött 2022-es adatok alapján elkészítettem az erdőrészek elsődleges rendeltetés szerinti megoszlását mutató ábrát (2.ábra).

A termőföldek jelentős részén nem tekinthető jövedelmezőnek és optimális területhasználatnak az intenzív mezőgazdasági művelés, ezért sokszor a mezőgazdasági művelésre alkalmatlan/ kevésbé alkalmas területeken (kiszáradt, tömörödött talaj, kedvezőtlen klímaviszonyok, szél- és vízerózió) agrár-erdészeti fásításokkal próbálják javítani mezőgazdasági területek mikroklímáját, enyhíteni a deflációs hatásokat, peszticid terhelést. A megfelelő fajokkal történő fásításokkal növelhető a biodiverzitás és a már légkörbe került üvegházhatású gázok is csökkenthetők. A teljes erdőalapú értéklánc hozzájárul a fenntartható és klímasemleges gazdaság 2050-ig történő megvalósításához, valamint munkahely teremtéssel a virágzó vidéki közösségek megőrzéséhez (Inetnet5).

2.1. Energiaerdők, energetikai célú fásítások

A biomassa az egyik legfontosabb szerves anyag bolygónk ökoszisztémájában, amely minden élő és elhalt szervezetet magában foglal, beleértve szerves melléktermékeiket is. Az elégetéséből származó hőenergia generátorok segítségével elektromos energiává alakítható, így fűtőértékének köszönhetően egy korlátozottan megújuló energiaforrásnak tekinthető (Bai et al., 2002). Hazánk agroökológiai adottságai lehetővé teszik, hogy a biomasszából nyert energia képviselje a legnagyobb arányt a megújuló energiaforrások közül. Magyarország biomassa energetikai hasznosítása során főként erdőgazdasági és mezőgazdasági melléktermékekre támaszkodik (Bartholy et al., 2013).

Magyarországon az 45/2007. (VI. 11.) FVM rendelet határozza meg a fásszáruak energetikai céllal történő ültetésének lehetőségeit; a rendelet kiterjed a telepítés, a művelés és a megszüntetés feltételeire egyaránt. A fás szárú energianövények származhatnak energetikai célú fásításokból és energiaerdőkből. Az energiaerdők a hagyományos erdők átminősítésével, illetve energiafa-termesztés céljára történő telepítéssel létrejövő speciális céllal létesített és üzemeltetett erdők, melyek az erdőgazdálkodási művelési ágba tartoznak. Olyan mezőgazdaságilag nem hasznosított/ nem hasznosítható, vagy termelésből kivont területekre telepíthetőek energetikai faültetvények, amelyekből a legrövidebb idő alatt, a legkisebb költséggel nagy mennyiségű és jól éghető tüzelőanyag nyerhető (Posza – Borbély, 2017).

Az erdőművelés és a fakitermelés a hagyományos erdészeti technológiákkal történik (Marosvölgyi, 1996). Az Erdőtörvény előírásainak meg kell felelniük, azonban a lehető legnagyobb tömeghozamok elérésére kell törekedniük, így a gyorsan nöövő, sarjzatható fafajokat kell előnyben részesíteni az üzemtervezésükkor. Ezen erdőkben csak energiafa (tűzifa, faapríték) termelésével foglalkoznak. A fás szárú növényekkel betelepített energetikai célú ültetvények több éven, vagy akár évtizedeken keresztül szolgáltathatnak alapanyagot az energiaipar számára. Az energiaerdők vágásfordulójának időtartalma lehet: mini (1 - 4 év), midi (5 - 10 év), rövid (10 - 15 év), közepes (15 - 20 év) és hosszú (20 - 25 év) (Zsuffa, 1995; Ivelics, 2006).

Az ültetvények üzemmódját tekintve két típus különböztethető meg, az újra telepítéses és a sarjzatható üzemmód. Az újra telepítéses technológia esetén az adott termőhelyi viszonyoknak megfelelő legnagyobb tömeget (t/ha) adó gyorsan nöövő fafajokkal telepítik be a területet monokultúrák formájában. Letermelése 8–15 év eltével történik különböző erdészeti módszerek alkalmazásával (tarvágás, szálaló vágás, lékvágás, szegélyes-, pásztás-, esernyővágás) (Mihályi, 1958). A letermelést követően a terület rekultivációja szükséges,

valamint a talajt előkészítése az újra telepítésre. A módszer előnye, hogy nagy az alkalmazható fafajok köre, ugyanakkor hátránya, hogy csak hosszú idő elteltével nyerhető belőle alapanyag.

Sarjasztatásos technológia esetében az ültetvényt kialakításakor fontos a jól sarjadó fajok kiválasztása. Olyan fajokkal célszerű kialakítani, amelyek kiválóan és többször sarjadnak. Betakarításuk általában 3-5 évenként történik. Az ültetvényt nagy tőszámmal telepítik be, majd 3-5 éves korban tarra vágják. A levágott ültetvény beavatkozás nélkül töről sarjad és 3-5 éves korban ismét vágható, a kitermelésre 5-7 alkalommal is sor kerülhet (Rédei et al., 2009).

2.1.1. Fás szárú energianövények

Az energetikai célra termesztett fás szárú növények általában a szélsőséges időjárást is elviselik, de többnyire 500–600 mm csapadékra van szükség kiegyenlített fejlődésükhöz. Hazánkban az energiaerdők telepítése során elsősorban a nyár, fűz, és akác fajokat alkalmazzák.

1.táblázat. Fás szárú energianövények csoportosítása
(Ivelics, 2006)

Fásszárúak						
Energiaerdők	Faültetvények					
Fa-alakúak	Fa-alakúak				Cserjefélék	
	Nyárfélék	Fűzfélék	Akác	Egyéb	Fűzfélék	Egyéb
	Nyárfajok	Fűzfajok	Akác	Bálványfa	Fűzfajok	Gyalogakác
	Nyár klónok	Fűz klónok	Akác fajták	Császárfa és egyéb	Fűzklónok	Egyéb

Fehér akác (*Robinia pseudoacacia*)

Ma az akác az egyik legjelentősebb fafajunk, Európa egyetlen országában sincs annyi akácerdő (320 ezer ha), mint Magyarországon (erdők 19,8%-a) (Internet6). Erdészeti célra nemesített egyenes törzsű, levegőszennyezést jól tűrő, gyorsan növő és kimondottan fényigényes fafajtának tekinthető. Kedveli a melegebb éghajlatot és tápanyagdús homoktalajokat. Szívós faj, ezért olyan helyekre is betelepítették, ahol más fafaj nem maradna életben.

Tüzeléses hasznosítása ennek a fás szárúnak a legelterjedtebb. Az akác energiaerdők esetében rövid (10-15 év) vágásfordulót javasolnak és ugyan az az akác maximum háromszor sarjastatható, ezt követően új csemetéket kell ültetni. A vágásfordulójuk kb. 2-5 év (Rédei – Veperdi, 2006).

Nyárfajok (Populus)– Fehér nyár, Fekete nyár, Rezgő nyár, Szürke nyár

Az energianyár fajták nemesített nyárfa fajták. Az elmúlt 15-20 év nyárnemesítésének célja első sorban iparifa előállítására alkalmas nemesnyárfajták szelektálása volt. A nemes nyarasok az európai fekete nyár és az amerikai fekete nyár keresztezésével létrejött nyárfák (*Populus x euramericana*). Telepítésük elsősorban víz közelébe, nyirkos talajra való, jól tűri az időszakos vízborítást is, azonban az átlagosnál szárazabb viszonyok között is megél, így a mezőgazdaság által gazdaságosan nem hasznosítható területeken is sikeresen telepíthető (Rédei et al., 2009).

A legmagasabb mennyiségű biomassza előállítása céljából az ültetésük nagy sűrűségben dugványokkal történik. A hozamtól és egészségi állapottól függően a nyárfa ültetvények 15-20 évig üzemeltethetők, vágásfordulójuk kb. 2-5 év (Vágvölgyi, 2013).

Energia fűz (Salix Viminalis Gigantea)– Fehér fűz (Salix alba), Kosárfonó fűz (Salix viminalis)

A husángfűz, kosárfonó fűz vagy bokorfűz a fűzfélék közé tartozó sövényyszerű megjelenésű fűzféle. Fás szárú energiaültetvények telepítésére kiváló sarjazási képessége, magas terméshozama, valamint magas fűtőértéke teszi alkalmassá. Szaporításuk legelterjedtebb formája fás dugványok ültetése. Általában kiválóan termesztethetők a magas vízkapacitású talajokon, kifejezetten kedvelik a belvizes területeket. A kinemesített fajták pedig képesek átvészelni a szárazabb periódusokat is. Telepítése mezőgazdasági művelésre alkalmatlan vizenyős, belvizes, árvíz veszélyeztetett területeken javasolt (Rédei et al., 2011).

A fűzfa ültetvények általában nem igényelnek intenzív művelést, hosszú és tömegre egyaránt a leggyorsabban növvő fának tekinthető. Az Innovációs Technológiai Központ szerint hajtásai naponta 3-3,5cm-t képesek növekedni és általában ez első év után vágható az állomány. Betakarítási ciklusa 2-5 év, de egyes fajták akár évente is letermelhetők, várható termesztési ideje pedig 20-30 év között változik (Rédei et al., 2009).

3. Szikes talajok

3.1. Szikes talajok kialakulása

A szikesedés sós talajok képződési folyamata, melynek elsődleges kiváltó tényezője a talajban, talajoldatban feldúsult sók megnövekvő koncentrációja, amely a talajban felhalmozódva elszikesítik a talajt (Tóth et al., 1972). Előfeltétele tehát a hidromorf talajképződés, a sókban gazdag talajképző kőzet és a felszínhez közel elhelyezkedő sós talajvíz. Hazánkban főként a talajvíz sekélyisége és az ebben levő oldható sók jelenléte a folyamat fő okozója. A jelenség fontos kapcsolatban áll a talajképző kőzettel és a talajok vízgazdálkodásával (Tóth et al., 2003).

Éghajlati szempontból főként a száraz, csapadékszegény arid, szemiarid területeket érinti, ahol a csapadékvíz mennyisége nem elegendő a talajban lévő káros sók mélybe juttatására. A talajban lévő megjelenésüket illetően pedig három formában lehetnek jelen (Stefanovits et al., 1999).

- a talajvízben oldott állapotban,
- a talajkolloidok felületén adszorbeálva,
- kristályos sók alakjában a talajban akár a felszínen kikristályosodva

A sófelhalmozódás jellegét a kationok és anionok (klorid/szulfát/karbonát) mennyisége és minősége nagy mértékben befolyásolja. Legkedvezőtlenebb a nátriumos, karbonátos felhalmozódás (Tóth et al., 1972).

A nátriumsók ionjai a talajkolloidok beépülését követően kedvezőtlen fizikai, kémiai, biológiai tulajdonságokat hoznak létre. A nátriumsók jelenléte és a nátrium ionok talajkolloidokba épülve együttesen rontják a talaj minőségét. Ez alapján két csoportba oszthatók a szikes talajok (Arany, 1944).

A nagy sótartalmú talajok a fiziológiai szikesek az ún. sós talajok. A másik csoportban viszont a talajban lévő sók a talajkolloidokkal kölcsönhatásban állnak, így a talaj abszorpciós komplexusa Na^+ ionnal telítődik. Szerkezetük rossz vízgazdálkodást és szellőzőtségi viszonyokat eredményez, gyakran fizikai szikességnak vagy szerkezetes szikességnak nevezik a szikesség ezen formáját (Tóth et al., 1972).

2. táblázat. Hazai szikes talajok osztályozása.

(Tóth – Szendrei, 2006; Szabari et al., 2015; Ábrahám, 1968; Pető – Barczy, 2011)

Talajtípus:	Területi kiterjedése (ha)	Előfordulás	Szerkezet
Szoloncsák	12,5 ezer	Fertő-mellék Duna völgy mellett	oszlopos <u>száraz körülmények:</u> tömött, repedező <u>nedves</u> <u>körülmények:</u> a felső talajréteg teljesen elfolyósodó
Réti szolonyec	217 ezer	Tisza mente Körösök mente Hortobágy	feltalaj gyengén vízáteresztő
Szoloncsák-szolonyec	80 ezer	Dunamenti- síkság	tömött, oszlopos
Sztyeppesedő réti szolonyec	260 ezer	Tiszántúl	A szint: szemcsés- morzsás B szint: oszlopos- hasábos

3.1.1. Másodlagos szikesedés

A másodlagos szikesedés az antropogén hatások következtében végbemenő szikesedés az eredetileg nem szikes talajok talajtani jellemzőinek megváltozásával. Végbe mehet bármilyen talajban, akár jó termékenységgű csernozjom, réti vagy öntéstalajokban is a nátriumsók megjelenésével (Szabolcs – Jassó, 1959). A kiváltó tényezők legtöbbször emberi hatásokra vezethetők vissza pl. folyószabályozások, helytelenül megtervezett öntöző rendszerek, sós vizek használatával történő öntözés, víztározók, halastavak létesítése. A Keleti-főcsatorna megépítését követően nagy kiterjedésű termőterület szikesedett el (Fekete, 1968).

A másodlagos szikesedés veszélye Magyarországon kb. 0,4 millió hektárt érint. Az Alföld számos területén potenciális szikesedés van jelen. Ezeken a területeken a sófelhalmozódás nem a talaj felső rétegeiben, hanem a mélyebb rétegekben nagy mennyiségben van jelen (Balog, 2011). Mivel az alföldi szikesek elterjedése folyószabályozások/vízrendezések alkalmával öltött a legnagyobb mértéket, ezeket az elszikesedéseket sokak szerint nem is lehet valódi másodlagos szikesedéseknek tekinteni. Hiszen úgy tartják, hogy már a vízrendezések előtt is szikes talajok borították volna ezeket a területeket, csupán azok víz alatt álltak (Magyar, 1960).

Tehát az országunk területén több ezer évig zajló egészen a pleisztocén végéig visszanyúló geoökológiai és hidrológiai folyamatok (Tisza ősfolyó) eredménye a szikesek jelenléte, az ármentesítések, majd a felszabadult területeken zajló legeltetések csupán tovább terjesztették vagy a típusát módosították (Mezősi, 2011). A korábbi ártéri növénytakaságok elkezdtek átalakulni, megkezdődött a sztyeppesedés, másodlagos szikesedés. Amelyeket napjainkban tovább fokoz a globális felmelegedés és a csapadék hiánya (Tóth et al., 1972).

3.2. Szikes talajok fásítása

Korábban az alföldi szikes területeinken előforduló erdőségekről csak a levéltárakban őrzött okmányok tanúskodnak olyan helység-, és dűlőnevekkel mint például a „Tölgyere”, „Sziles”, „Ültetés”. Azonban a túlzott legeltetés, a mesterséges kiszárítás hatására az erdei növénytakaró nagyrésze megsemmisült és a szikes területek teret hódítottak (Nagy, 1976). Az erdőségek aránya ezeken a területeken rendkívül lecsökkent az antropogén hatások és a természeti viszonyok tartósan beállt változása miatt (Bíró – Molnár, 2009).

A legkorábbi mesterséges fásítási kezdeményezések szikes talajokon a török, kuruc háborúk után voltak. Ezt követően Tessedik Sámuel szarvasi evangélikus lelkész kezdett kísérleti szikes fásításokba. Kezdetben fűzfákat és más gyorsan növvő fákat nevelgetett, majd tölgyeket ültetett, később akác- és gyümölcsfákkal kísérletezett. Az ő nevéhez fűződik az akácfa elterjesztése alföldi területeken (Tóth et al., 1972).

Mária Terézia 1769. évi erdőrendeletével előírta, hogy minden jobbágyporta évente 20 fát köteles ültetni. I. József 1780-ban a Helytartótanács útján fűzfa „botoló üzemek” létesítését rendelte el. Az alföldi fahiány enyhítésére megszületett erdőrendeletek hatására fűzfákat és más gyorsan növekvő fákat kezdtek ültetni. Célja a hazai fajok újbóli elterjesztése volt (Varga – Csízi, 2019).

Láng Gábor már a felső termőréteg vastagsága alapján értékelte a szikes talajokat és ez alapján meghatározta, hogy milyen fásszerűak tenyésznek a legnagyobb valószínűséggel az adott talajon (Tóth et al., 1972). Az 1800-as években folyamatosan kísérleteztek, hogyan lehetne javítani a szikes talajokat. Fligl Nándor megállapította, hogy a fehér/vad sziket, azaz a vakszikfoltokat lehetetlen javítani, ezért ezeket a területeket teljesen kihagyták az erdősítésből, főként kaszálóként hasznosították. A vakszikes legelők javítása ligetes fásítással történt. Viszont a fekete/ szelíd sziket termővé lehetett tenni (Prokopovics, 1881). Többnyire a szil- és tölgyfák ültetése zajlott, az akácfa ültetése pedig változó sikerű volt. A csemetéket, amelyeket a szikes vidékekre szántak ugyanolyan típusú talajon kellett hogy kineveljék, hogy az életben maradás biztosított legyen. A jobb részekre többnyire tölgyeket, a rosszabbakra pedig fehér nyarat ültettek (Tóth et al., 1972).

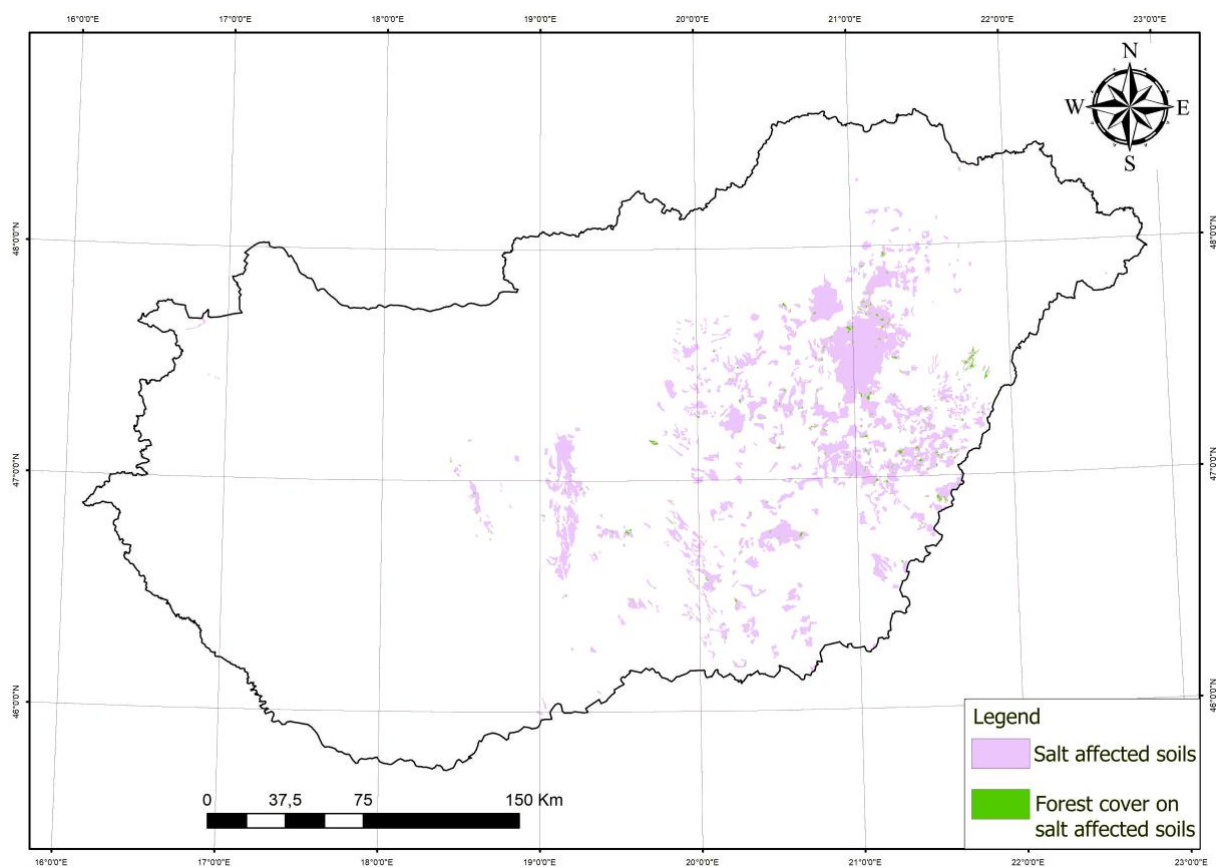
Az első világháború után erdőterületeink aránya 7,3 millió hektárról 1,1 millió hektárra csökkent (Lett, 2021). Így a szükségessé váló a faanyag utánpótlása eredményeképpen kezdtek el komolyabban foglalkozni a szikes alföldi területeink befásításával. Bár korábban folytak kutatások e témában, nagyobb kiterjedésű fásításokra nem került sor (Surányi, 2005).

Kaán Károly 1919-ben és 1920-ban felvetette a szikesek erdősítésére vonatkozó kísérleteket, nevéhez kötődik az Alföldfásítási törvény (1923. évi XIX. törvénycikk az alföldi erdő telepítéséről és a fásításokról) (Oroszi, 1990). Kezdeményezésére 1924 nyarán megalapították a Püspökladányi Szikkísérleti Telepet, majd október 1-én Magyar Pál (1924-1927) vezetésével megindultak a szikkfásítási kísérleti munkálatok. Kezdetben a cél csupán annak lehatárolása volt, hogy a különböző szikes talajokban milyen fafajok tenyésznek a legnagyobb eséllyel és milyen talajjavítási, talajelőkészítési munkálatok szükségesek a fák életben maradásához (Pászthory, 1935). Eleinte csak kis területek fásítására került sor. Magyar Pál kísérleti telepen folytatott munkássága alatt a talajelőkészítések előtt növénycönológiai vázlatokat készítettek, amiket összhangba hoztak a Sigmond-féle osztályozással. Így megtudták állapítani a természetes növénytakaró alapján, illetve a szikes területekre jellemző fajok segítségével, hogy a szikesség mértéke milyen fokú, fásításra alkalmas vagy sem (Magyar, 1956). A telepen folytatott munkássága során végig a vízgazdálkodási viszonyok kedvezőbbé tételén dolgozott, többféle fizikai, kémiai, biológiai talajjavítási kísérletekkel.

Magyar Pál után 1927-től 1928-ig Galambos József volt a kísérleti telep helyi vezetője majd őt követte Tury Elemér 1928-1944-ig. A korábbi kisparcellás kísérleti eredményekre alapozva, üzemi méretű és jellegű kísérleti telepítésekbe kezdett. Azonban a 1944-es hadi események hatására ideiglenesen megszűntek a kísérleti telepen folytatott munkálatok. 1949-ben újból kutató- kísérleti munka vette kezdetét és a Püspökladányi minta alapján az ország valamennyi táján nagyobb kísérleti telepítésekbe kezdtek az Erdészeti Tudományos Intézet keretein belül (Tóth et al., 1972).

Erdőn kívüli fásításokkal is ebben az időben kezdtek el komolyabban foglalkozni. Fasorok létesítése már a 18. századtól általánosnak tekinthető, ezek elsősorban vonalas létesítményeket, utakat, vasutakat, csatornákat kísérnek (Tóth, 1957). Az erdőn kívüli fásítások elterjedésében a tényleges fahiány mellett a szovjet természetalakításhoz kapcsolódó ideológiák is szerepet játszottak. Nyolc megyében erdőtelepítő állomást (ETÁLL) is alapítottak szovjet példa alapján. Újdonságnak számított, hogy az 1950-es években létesített erdősávokban több fafajt alkalmaztak. Ezeket az erdősávokat főként mezőgazdasági művelés érdekében telepítették, mint mezővédő erdősávok. 5-15 sorban ültették a fákat. Céljuk a terméshozam javítása volt, amit a mikroklima megváltoztatásával szerettek volna elérni így pedig akár 15-30%-os termésnövekedéssel számolhattak (Szarvas, 2010). Az erdősávok védelmi funkciója mellett sokszor füves vetésforgót használtak a talajszerkezet javítására, termővé tételére. Azonban a füves vetésforgó idővel elfelejtődött, de az erdősávok továbbra is fennmaradtak egészen az 1960-as évekig (Internet7).

Az 3. ábrán Magyarország szikes területei (lila) és az azokat borító erdőségek (zöld) láthatóak. Jelenleg Magyarország területének több mint 5,8%-án találhatóak szikes eredetű talajok, amelyeknek csupán 2%-át borítják erdőségek (Novák, 2022), ez körülbelül 11 ezer hektárt jelent. (2018-as CORINE felszínborítási térkép adatai alapján) A természetes erdők jelenléte nagyon ritkának tekinthetők ezeken a szikes területeken, viszont ebből adódóan jelentős természetvédelmi jelentőséggel bírnak. „*Erdészetileg leggazdagabbnak tekinthetők a Tisza menti ártéri ligeterdők növény- és állatvilága, legértékesebbek pedig a sziki tölgyesek*” (Nagy, 1976). Ilyen erdőkkel találkozhatunk pl. Ohat, Bélmegyer, Újszentmargita térségében.



3. ábra. Magyarország szikes területei és az azokat borító erdőségek. (Novák, 2022)

4. A fásítás és a talaj széntartalmának kapcsolata

Napjainkban az éghajlatváltozás kapcsán egyre többen foglalkoznak az erdősítés fontosságával. Hiszen az erdők több funkcióval is rendelkeznek pl. élőhelyként szolgálnak, csökkenthetik a szélrózsiót, javíthatják a vízháztartást, csökkenthetik a levegő szennyezettségét stb. Fontos szerepet játszanak továbbá a szén körforgásában így a klímaváltozás befolyásolásában is (Harta et al., 2018). Az erdei növények a levegőben lévő szén-dioxidot használják fel, mint szén forrást a szervesanyag termelésükhöz, ezzel pedig hozzájárulhatnak a levegőbe bocsátott legnagyobb mennyiségben jelenlevő üvegházhatású gáz csökkentéséhez (Gálos et al, 2012). A magyar erdők évente kb. 3 millió tonna szén megkötésére képesek (Internet8).

Azonban az erdők nem feltétlenül tekinthetők szén elnyelőknek és oxigén felszabadítóknak, hiszen a legtöbb természetes erdő majdnem szén egyensúlyban van. A talaj széntartalmát az ember jelentősen befolyásolhatja pl. fakitermeléssel vagy éppen új, fátlan területek beerdősítésével. *„Becslések szerint az erdőkben van lekötve a szárazföldi biomassza széntartalmának közel ¾-e, ami kevesebb mint a levegő széntartalmának a fele”* (Antal, 2012). Az erdők szénkészleteit azonban növelni lehetne azok megfelelő kezelésével (Führer – Mátyás, 2005).

Az erdők szénmegkötő képességének vizsgálatával az Országos Meteorológiai Szolgálat foglalkozott és megbecsülte az Erdőrendezési Szolgálat összesített adatai alapján, hogy Magyarország erdőségei élőfakészletének széntartalma 103,7 millió tonna, lomblevélzete 2,2 millió tonna, valamint, hogy a hazai erdőkben tárolt összes szénkészlet 57%-a található tölgyesek, cseresek és bükkösök dendromasszájában. Ezek lassan növekvő, hosszú vágásfordulójú fák. Tehát szénmegkötés szempontjából jelentős szempont a termőhely és az alkalmazott fafajok megválasztása (Farágó et al., 1991).

5. Anyag és módszerek

5.1. Mintavételi helyszín bemutatása

5.1.1. Püspökladányi mintaterület

A mintavételezések a püspökladányi NAIK ERTI területéről történtek. Korábbi nevén Püspökladányi Szikkísérleti Telep jelentős történelmi múlttal rendelkezik még 1924-ben alapították Kaán Károly hatására, a kedvezőtlen alföldi területek befásításának céljából. Főként a szikes és a mélyben sós talajok javítását, fásítását, illetve a fafajok tűrőképességének vizsgálatát célozták meg a kísérleti telep létrehozásával. Még 1920-ban Tuzsony János javasolta a Püspökladány közelében lévő szikes területek körül fásítását azt remélve, hogy a körülhatárolt szikeseken meg fog nőni a fűhozam (Pápai, 1999).

Területe mozaikosnak mondható, ami a mikrodomborzat változatosságával magyarázható. A helyszínen a tipikus szoloncsák talaj kivételével valamennyi szikes talajtípus megjelenik, a sófelhalmozódások tehát a talajszelvények eltérő pontjain jelennek meg. Ebből kifolyólag rendkívül sok fafajjal kísérleteztek. Eleinte csak kisparcellás, üzemi jellegű fásítási kísérletezések voltak, a zsombékos szikes laposokon korai nyárfát, kocsányos tölgyet, fekete fenyőt és akácfát ültettek. A gyengébb minőségű szikeseken ezüsfát és tamariskát. De az 1944-ben lezajló őszi események rendkívüli módon sújtották a szikkísérleti telepet, eltűnt a legtöbb feljegyzés és félbemaradtak a kísérleti telepítések is. Azonban 1949-ben újra indultak a szikfásítási kutatások a püspökladányi minta alapján az ország valamennyi táján az Erdészeti Tudományos Intézet keretein belül. 1953-ban vette kezdetét a Püspökladányi Szikfásító Kísérleti Állomás második működési szakasza, ekkor már üzemi jellegű és mértékű kísérleti telepítésekbe kezdtek és szélsőségesen rossz területeket is bevontak. 1963-ban az ERTI Tiszántúli Kísérleti Állomásává szervezték át, mely keretein belül a szikes területeken kívül már valamennyi síkvidéki, kötött talajú tájra kiterjedt a munkásságuk pl. a Nyírség erdészeti termőhelyeire, problémáira (Tóth et al., 1972).

Az Erdészeti Tudományos Intézet Püspökladányi Kísérleti Állomásán 2007-ben 20 db energetikai célra alkalmasnak tűnő fehér fűz egyedet szelektáltak ki. Az előzetes kutatás már 2003-ban megkezdődött, célja olyan egyedek szelektálása a hazai fűztelepeken és az ártéri fűz állományokban, melyek kiemelkedő fiatalkori növekedési erélyt mutatnak (Rédei et al., 2011). A kísérletbe vont egyedekből kiválasztották a legjobb szárazanyag produktót felmutató 5 fajtát, melyből a további kísérletek érdekében anyatelepet létesítettek. A 20 törzsfá utódaiból a

3 legjobb produkcióval rendelkezőt az ország különböző területein kísérletbe állították. 2008-ban megtörtént az első letermelés, amelynek dugványából létrehoztak egy másik anyatelepet a püspökladányi állomás területén (Csiha et al., 2010).

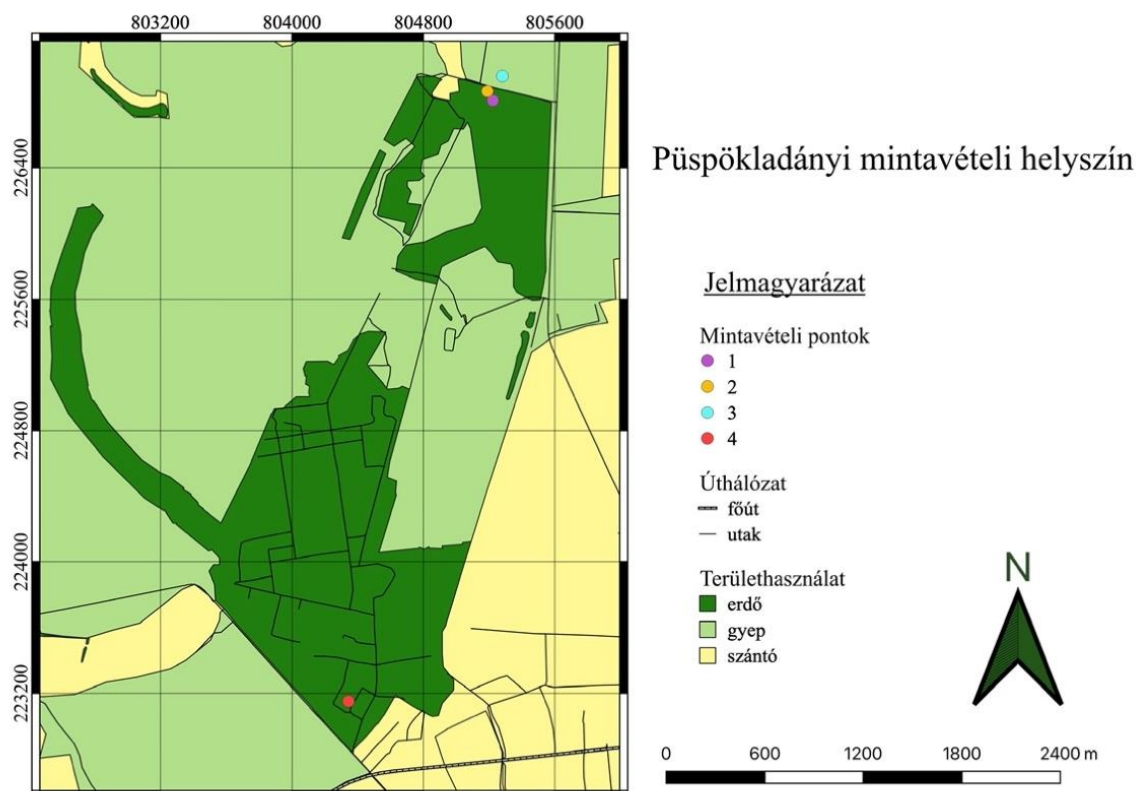
Mára a legkiválóbb tulajdonságokkal rendelkező klón számos kísérletben van telepítve, ahol folyamatosan figyelemmel kísérik a növekedés menetét, produkcióját, egészségi állapotát. A „82”-es fűz klón szabadalmi bejelentése 2013-ban történt meg. Energetikai célú biomassa előállításra az eddigi kísérleti eredmények alapján kiválóan alkalmas. Az éves biomassa-termelése: 1,5 m x 0,5 m-es hálózatban: 12,2-32,52 t/ha; 2,5x0,3 m: 55,36 t/ha (3 év); 2,5x0,6 m: 45,73 t/ha (3 év) (Rédei et al., 2014).

5.2. A vizsgálat során alkalmazott módszerek bemutatása

5.2.1. Terepi mintavétel

A terepi mintavételre 2021 nyarán került sor három területről. A vizsgálat célja az eredeti felszínborítási típus, esetünkben szikes gyepterület, erdőművelésbe/ fásítás alá vont területekkel történő összehasonlítása volt. Az első és második mintavételi helyszínként szolgáló erdőállományok dominánsan (92%-ban) kocsányos tölgyes (*Quercus robur*) fafajból álltak, illetve ezen fafaj mellett kis arányban megjelentek (4-4%-ban) magas kőrisek (*Fraxinus excelsior*) és amerikai kőrisek (*Fraxinus pennsylvanica*). Mindkét erdőrészlet azonos korúnak tekinthető, telepítésük 1957-re tehető. A harmadik mintavételi helyszínként egy száraz sziki ösgyep szolgált. Az első három mintavételi helyszín egymáshoz meglehetősen közel helyezkedik el (4. ábra), az összehasonlíthatóság kedvéért. A negyedik mintavételre 2023. októberében került sor, a mintavételi helyszín az ERTI Farkasszigeti bejárata és irodaháza között létesített energetikai célú fűzfa (*Salix Viminalis*) anyatelepről történt.

A talajmintavétel mind a négy terület esetében 3 mintavételi pontból történt, Eikelkapm fúrófej segítségével 40 cm-es mélységig. Minden mintavételi pontból talajmélység alapján négy mintát vettünk (0-10cm, 10-20cm, 20-30cm, 30-40cm). A talajmintavételek továbbá kiegészültek a talajfelszínen megmaradt avarminták begyűjtésével, amely területenként megint csak három mintavételt jelentett 1m²-es területekről, minden helyszínen háromszoros ismétlésben.



4. ábra. Püspökladányi mintavételi helyszín térképe (saját szerkesztés)

5.2.2. Laboratóriumi módszerek

A laboratóriumi munka során vizsgált talajtulajdonságok:

1. szervesanyag (SOM) és szerves szénttartalom (SOC)
2. szénsavas mésztartalom (CaCO_3)
3. kémhatás (pH)
4. elektromos vezetőképesség (EC)

A szervesszén- és humusztartalom meghatározása

A talaj szervesanyag-tartalma (soil organic matter=SOM) a biológiai folyamatok termékei. Növényi és állati maradványokból, valamint a lebomlás különböző fázisában lévő mikroorganizmusok által alakított anyagokból áll (Fülek, 1999). Nagy mértékben befolyásolja a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságait, sokféle módon hozzájárul a talaj termőképességéhez. Gyakran humusznak nevezzük, de ez nem egy kémiai meghatározott humuszvegyületet jelent, hanem a talaj bármilyen kötött és stabilizált szerves anyagainak összességét (Jurcsik, 1980). Különböző összetevőkből áll, melyek három típusba sorolhatók. Növényi maradvány és élő mikrobiális biomasszából, stabil szervesanyag csoportból és aktív

szervesanyag csoportból. Az aktív szervesanyag csoport lebomlásra, átalakulásra hajlamos csoport, ebbe tartoznak a talaj élőlényei is, a talaj morzsalékosságáért ez a csoport felelős. Számos talajfunkcióhoz hozzájárul pl. termőképesség, szénmegkötés, víztisztítás- és szabályozás, biológiai sokféleség (Madari et al., 1998). A talaj a legjelentősebb szárazföldi szénraktár. Szerves széntartalma leginkább a rajta élő és növekvő, valamint a már elpusztult növényi részek talajba jutásával gyarapodhat. A fizikai és kémiai talajtulajdonságok is megváltoznak a növényi maradványok talajba kerülésével, befolyásolva a termékenységet, vízgazdálkodást (Liu et al., 2006).

A szerves széntartalom (SOC) meghatározása az ún. Tyurin módszerrel, nedves oxidációs eljárással történt. A talajminták széntartalmát kénsavas káliumbikromát oldattal történő főzés során oxidáltuk el, majd ferroin indikátor jelenlétében Mohr-só oldattal megtitráltuk. A szerves széntartalmat az alábbi képlet alapján számítottam: $SOC\% = (a-b) \times k/g$

a: vakpróba fogyása (ml), b: talajra fogyott Mohr-só (ml), k: állandó (0,104), g: bemért talaj tömeg (g)

A humusztartalmat a széntartalomból a van Bemmelen faktorral történő szorzással számítottam ki.

A mintavételezés során begyűjtött avarmintákat a mérés és szárítást követően mintaterületenként frakcionáltam (lombavar, lágyszárú, holtfa). Újbóli mérésüket követően a minta mennyiségét csökkentettem, és kb 200 g-ot felaprítottam és por állagúra daráltam, majd sor kerülhetett a Skalar analizátor segítségével az összes szerves szén (TOC)/ összes nitrogén (TN) le mérésére. A kapott eredményekből (C tartalom %, N tartalom %) kiszámoltuk az összes szénkészletet és nitrogén készletet, valamint meghatároztuk a C/N arányt.

*szénkészlet (g/m^2): száraz tömeg (g) * C tartalom (%) / 100*

*nitrogén készlet (g/m^2): száraz tömeg (g) * N tartalom (%) / 100*

Szénsavas mésztartalom meghatározása

A mésztartalom ($CaCO_3$ %) fontos talajtulajdonság, kedvezően befolyásolja a víz, hő és levegőgazdálkodást. Jelentős hatása van a talajok kémhatására és befolyásolja a mikrobiológiai folyamatokat (Filep, 1995), meghatározása Scheibler-féle kalciméterrel történt.

Az alábbi egyenlet alapján számítottam: $(b-a) \times k/g = CaCO_3\%$

a: kiindulási kiegyenlített szint (ml), b: reakció végén kiegyenlített szint (ml), k: barométerállás alapján a táblázatból leolvasott állandó 100-szorosa, g: bemért talaj tömege (g)

Kémhatás (pH) meghatározása

A lisztfinomsáig porított talajmintákból a vizes (H_2O) és a kálium-kloridos (KCl) 1:2,5 szuszpenzióban 12 órás állás után mértem a pH értéket. A talajszuszpenzió készülhet desztillált vízzel vagy KCl-oldattal, 1:2,5 arányban (Bakacsi et al., 2012). A talajok pH értéke nagyban függ a talajképző kőzettől, éghajlattól, növényzettől, a talajban lejárló kémiai és biológiai folyamatoktól. Évszakonként ingadozásokat mutathat, értéke a mélységgel változhat (Internet9).

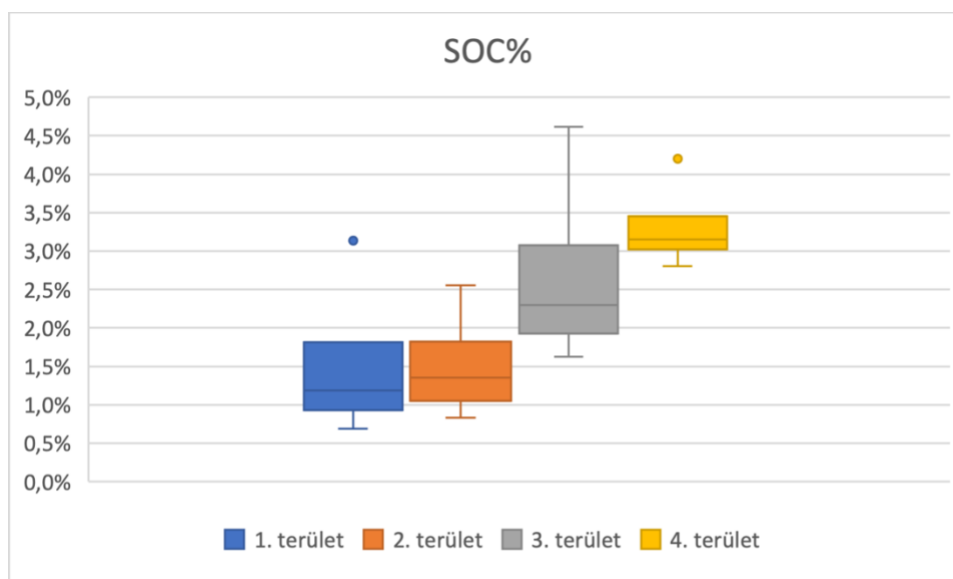
Elektromos vezetőképesség meghatározása (EC)

Az elektromos vezetőképesség (electrical conductivity= EC) más néven konduktancia elsősorban az oldható anyagok jelenléte esetén növekszik meg. Meghatározása vizes talajoldatból történik, melynek segítségével megadható a vízben oldható sótartalom mennyisége és ezáltal jellemzi a talajok minőségét (Kocsis et al., 2021). A vizes 1:2,5 arányú talajszuszpenzió pH mérését követően bekalibráltam az EC elektródát és lemértem a vizes oldatok vezetőképességét is. Az értékeket $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ben tüntettem fel.

6. Eredmények kiértékelése

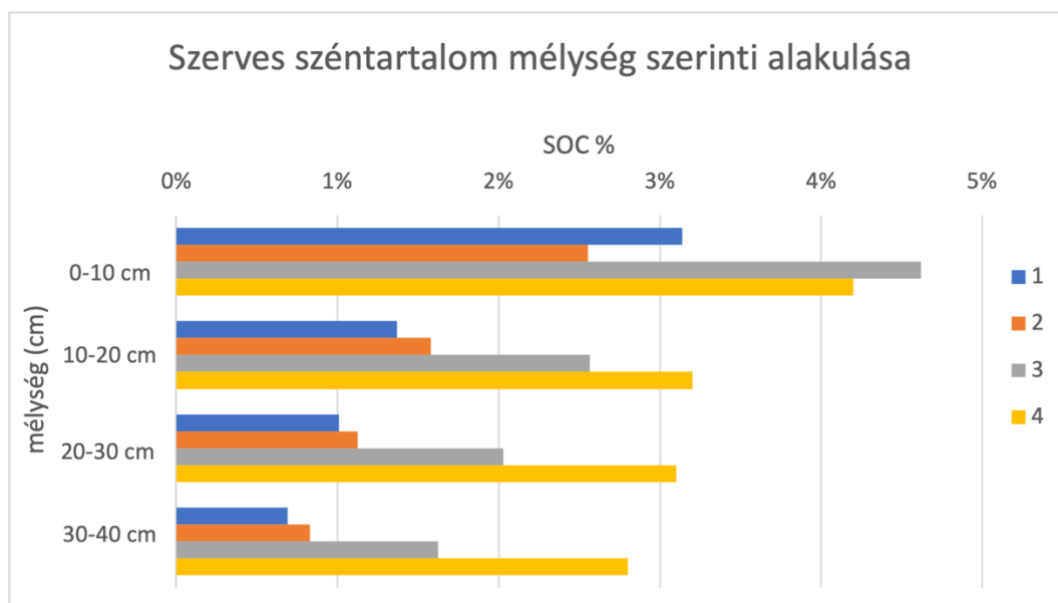
6.1. Talajminták kiértékelése

A szerves széntartalom (SOC) és a humusztartalom (SOM) vizsgálata a Tyurin módszerrel történt. A kapott eredményeket a 5. és 6. ábra segítségével szeretném bemutatni. A 5. ábra a mintavételi területek összehasonlítására szolgál. Az első két területről vett minták hasonló korú és fajösszetételű erdőkből származnak, a kapott szerves széntartalom eredmények is közel azonos értékeket vettek fel, szignifikánsan nem különböznek. A legnagyobb interkvartilis terjedelemmel a gyepterületről (3. terület) vett minták tanúskodnak, míg a legmagasabb medián értékkel az energetikai célú fásításból (4. terület) vett minták rendelkeznek. A 5. ábra négy mélységből vett talajminta átlagolt eredményeit reprezentálja.



5. ábra. A négy mintaterület szerves széntartalom alakulása (40cm-es mélységig)

A 6. ábra segítségével a vizsgált területek négy vizsgált talajmélységének átlagos szerves széntartalmát szeretném szemléltetni. Mind a négy mintaterület szerves széntartalom alakulásában megfigyelhető, hogy a mélység növekedésével csökkenő tendenciát mutatnak. A legmarkánsabb változás a 0-10 és 10-20 cm-es mélység között tapasztalható. A felső 0-10cm-es talajrétegben legnagyobb széntartalommal a gyepterületek mintái rendelkeznek, 10- 40 cm-es mélységig azonban az energetikai célú fásításból vett minták értékei mutatták a legnagyobb széntartalmat.



6. ábra. A mintaterületek (1,2,3,4) mélység szerinti átlagos szerves széntartalom alakulása

Laboratóriumban mélységenként továbbá vizsgáltam a talajminták pH és elektromos vezetőképességét, mely eredményeket a 3. táblázatban összesítettem. A mért kémhatás alapján megállapítható, hogy a mélység növekedésével nő a pH. Az elektromos vezetőképesség tekintetében az erdőterületek (1.,2.) kivételével ellentétes változások mutatkoztak.

3. táblázat. A négy mintavételi helyszínről vett talajminták pH, elektromos vezetőképesség és szénsavas mésztartalom értékei

Helyszín	mélység (cm)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	EC (μS/cm)	EC (mS/cm)	CaCO ₃ (m/m%)
1.	0-10	6,74	6,32	847	0,847	4,46
	10-20	7,14	6,38	619	0,619	7,53
	20-30	8,02	6,67	628	0,628	11,88
	30-40	8,69	6,93	755	0,755	17,09
2.	0-10	5,37	4,61	630	0,63	0,00
	10-20	6,02	5,16	554	0,554	2,09
	20-30	7,08	6,76	757	0,757	0,00
	30-40	8,21	7,14	802	0,802	6,34
3.	0-10	4,88	4,21	721	0,721	0,00
	10-20	5,22	4,49	556	0,556	0,00
	20-30	5,68	4,86	464	0,464	0,00
	30-40	6,09	5,14	387	0,387	0,00
4.	0-10	7,37	7,00	626	0,626	6,65
	10-20	7,59	7,10	466	0,466	7,69
	20-30	7,67	7,19	417	0,417	7,89
	30-40	7,71	7,14	376	0,376	6,68

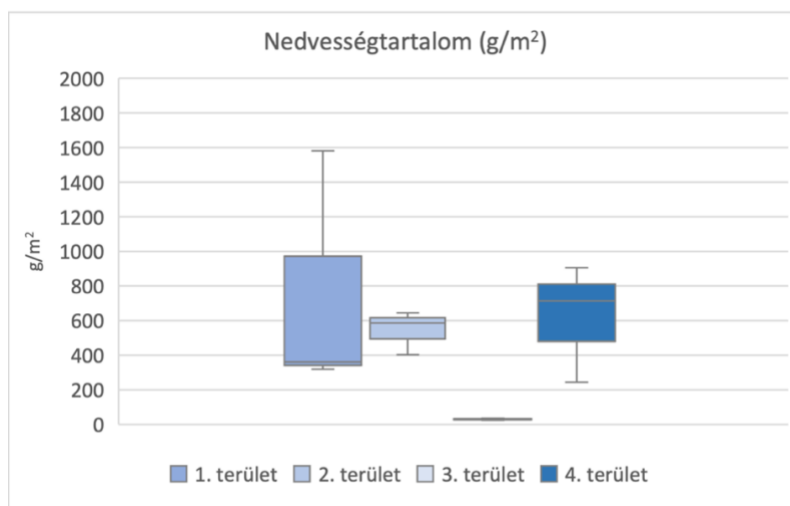
6.2. Avarminták kiértékelése

A 4. táblázatban mintaterületenként összesítettem az avarminták nedves és száraz tömegének alakulását, valamint a nedvességtartalmat, melyet részletesebben a 7. ábra segítségével szeretnék szemléltetni. Az avarminták nedves tömeg alakulását tekintve, legmagasabb értékkel az erdőterületekről (1.,2.,4. terület) vett minták rendelkeznek, hiszen ezeknek a területeknek nagyobb a biomassza produkciójuk. Megfigyelhető, hogy az idősebb elegy erdők (1.,2. terület) talajfelszínére több avar jut, mint az energetikai célú faültetvény (4. terület) területén. A száraz tömeg alakulását tekintve, az első erdőterület esetében figyelhető meg a legjelentősebb tömegcsökkenés, a gyepterület esetében nem figyelhető meg különösebb tömegcsökkenés, amely az avarfrakciók megoszlásával magyarázható.

4. táblázat. Az avarminták száraz- és nedves tömege, átlagos nedvességtartalom értéke

Terület	Összes nedves tömeg (g)	Összes száraz tömeg (g)	Átlagos nedvességtartalom (g/m ²)
1.	8040	5780	754
2.	7311	5678	544
3.	575	486	30
4.	5755	3891	621

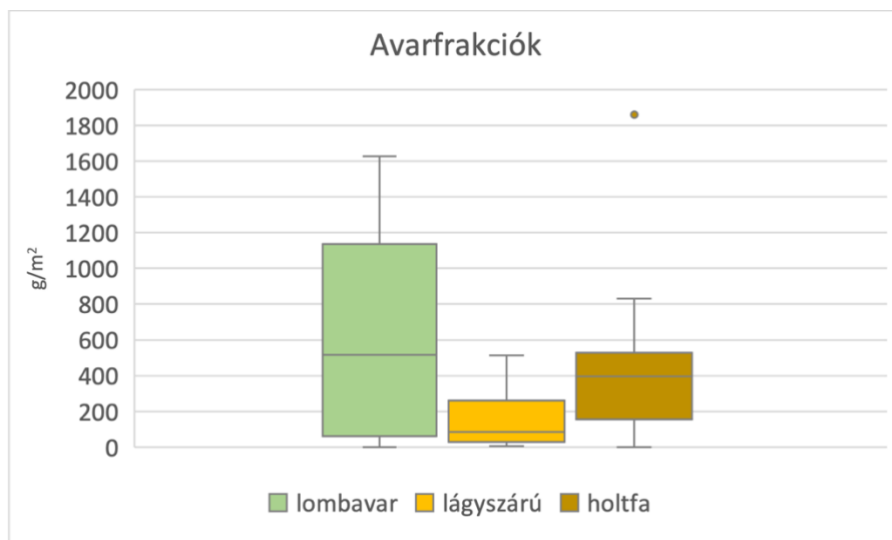
A nedves tömeg és a száraz tömeg különbségéből (vízvesztés) megkaptam a területre (m²) vetített nedvességtartalmat g-ban kifejezve. A 7. ábrán látható mintaterületenként hogyan alakult ez az érték. Az első erdőállományú mintaterület rendelkezik a legnagyobb értékkel, azonban nem különbözik a második erdőterülettől és az energetikai célú faültetvénytől szignifikánsan. A gyepterülethez (3.terület) képest az erdőkkel borított mintaterületek (1., 2., 4.terület) nagy értékei az ott jelen levő nedvesebb mikroklimával és nagyobb visszamaradt avertömeggel hozható összefüggésbe.



7. ábra. Avarminták nedvességtartalma

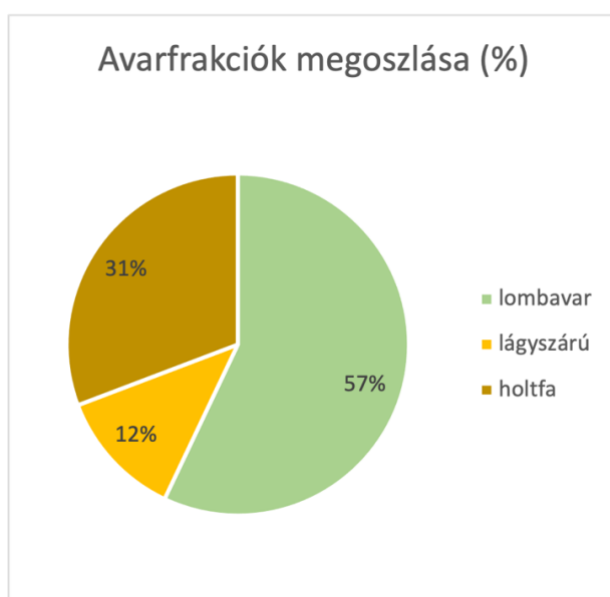
6.2.1. Avarfrakciók

A négy mintaterületről vett avarminták összesített frakciók szerinti megoszlását a 8. ábra mutatja be területre vetítve g-ban kifejezve. Összesített adatok alapján legnagyobb tömegaránnyal a lombavar rendelkezett, majd a holtfa és végül a lágyszárú avar típus. Szignifikáns különbség nem állapítható meg a három frakció között.



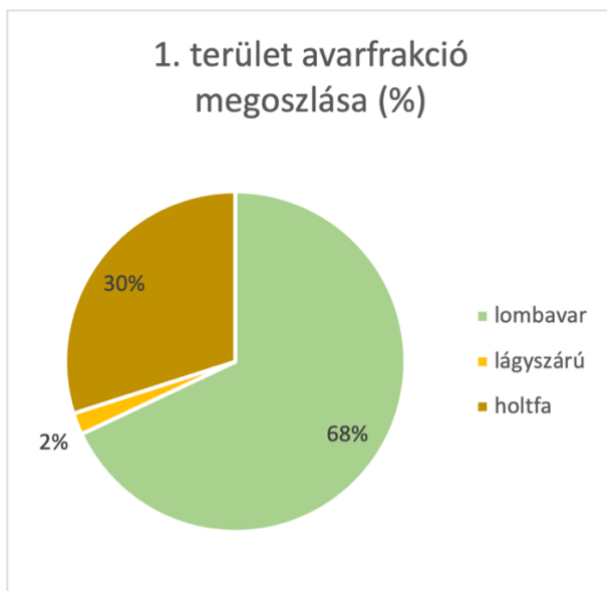
8. ábra. Az avarfrakciók alakulása

Az avarminták frakciók szerinti %-os megoszlását a 9. ábra szemlélteti. Az előző (8. ábra) ábrához hasonlóan megfigyelhető a lombavar frakció dominanciája (57%), valamint a lágyszárú minták csekély jelenléte. A továbbiakban mintaterületenként elkészített ábrák segítségével mutatom be az avarfrakciók megoszlását.

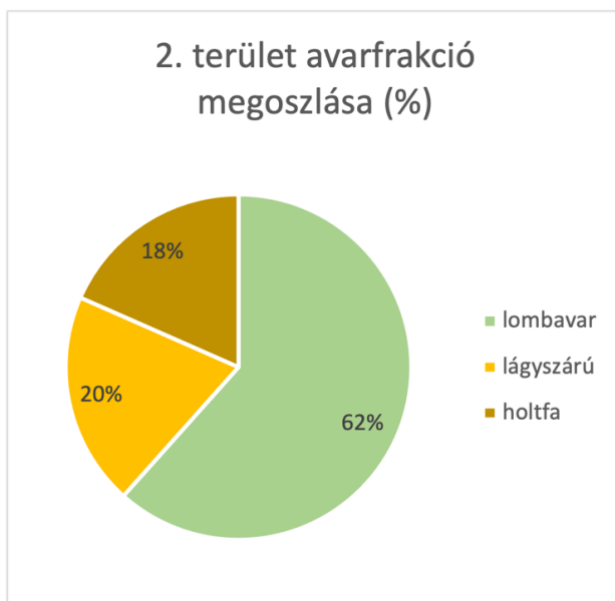


9. ábra. A három avarfrakció %-os megoszlása

Az első és a második terület idős erdőállományú mintaterület volt. Mindkét terület ábrájáról megfigyelhető, hogy az avarminták túlnyomóan (68%, 62%) lombavarból álltak. Az első mintaterület (10. ábra) esetében a lágyszárúak aránya minimális értékkel rendelkezett, míg a másodikonál (11. ábra) a holtfa frakciónál nagyobb arányban volt jelen.

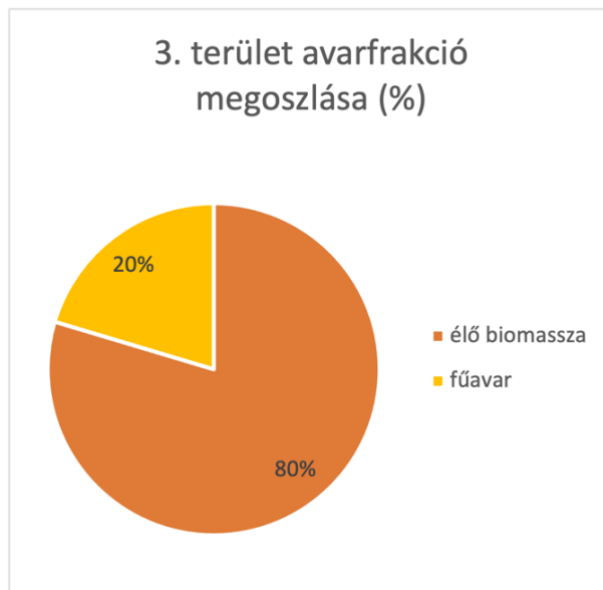


10. ábra. Az első mintaterület avarfrakcióinak megoszlása %-ban kifejezve



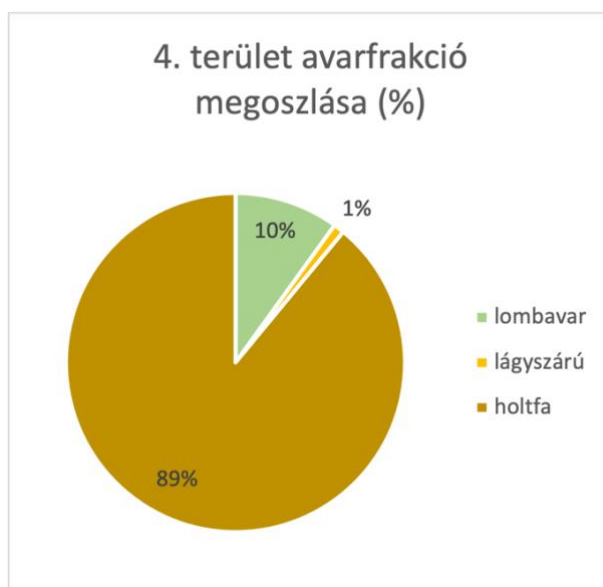
11. ábra. A második mintaterület avarfrakcióinak megoszlása %-ban kifejezve

A harmadik avarmintavétel gyepterületről történt, amely során két szervesanyag frakciót különíthettünk el, az élő biomasszát és a fűavart. A két frakció %-os megoszlását a 12. ábra szemlélteti, amely alapján megállapítható, hogy az avarminták uralkodóan az élő biomassza frakcióba tartoztak.



12. ábra. A harmadik mintaterület avarfrakció megoszlása %-ban kifejezve

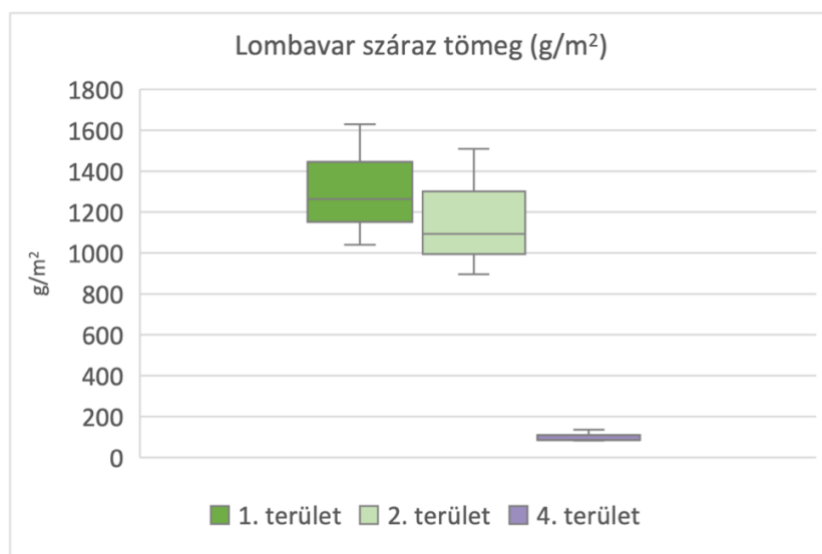
A negyedik mintavétel egy energetikai célú ültetvényről történt. A területről vett avarminták frakciók szerinti megoszlását mutató ábrát (13.ábra) amennyiben összevetjük az első két erdővel borított mintaterületek ábráival (10., 11.ábra) jelentős különbségek figyelhetők meg a két mintavételi területtípus avarfrakció megoszlása között. Az energetikai célú ültetvényről vett avarminták dominánsan (89%) a holtfa frakcióba tartoztak, míg az előző két erdőállományról vett minták esetében a lombavar frakció dominált, ami a negyedik mintaterületen éppen elérte a 10%-os arányt.



13. ábra. A negyedik mintaterület avarfrakcióinak megoszlása %-ban kifejezve

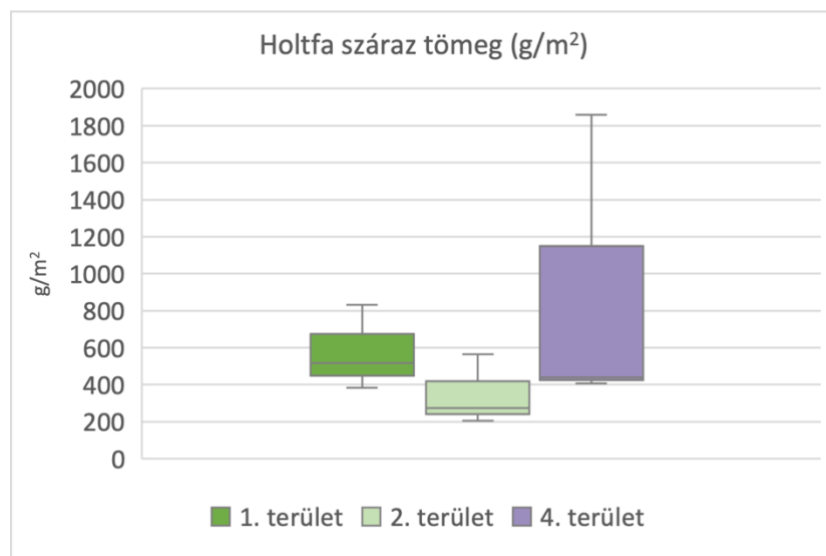
6.2.2. Száraz tömeg

A lombavar minták száraz tömegét mutató ábra (15.ábra) szoros összefüggés mutat az avarfrakciók megoszlását mutató ábrákkal (10., 11., 13.ábra). Az első két mintaterületről vett lombavar száraz tömege között nem mutatható ki szignifikáns különbség. Azonban a negyedik terület és az első két terület között kimutatható. Hiszen a negyedik területről vett avarmintáknak csupán 10%-a tartozott a lombavar frakcióba, amellyel szemben az első két erdőterületről vett mintáknak 68% és 62%-a lombavar volt.



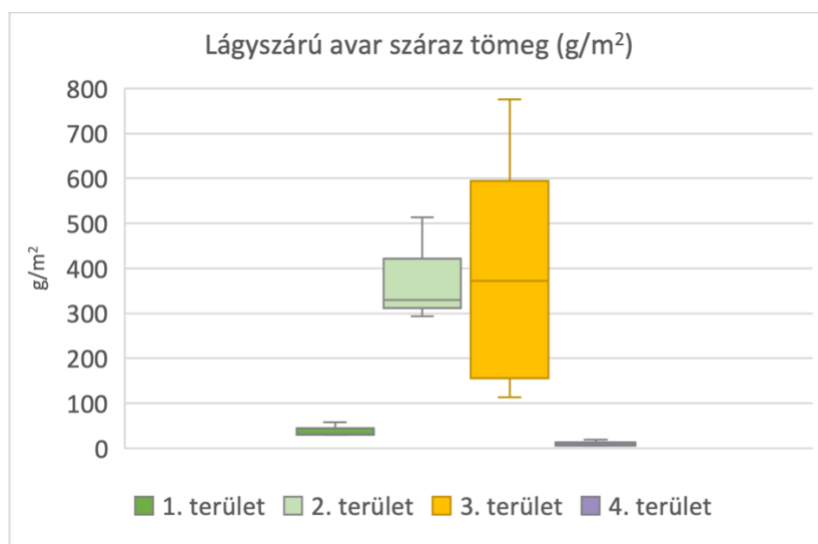
15. ábra. A mintaterületekről vett lombavar száraz tömege

A 16. ábrán megfigyelhető holtfa frakció szárazanyag tömegét mutató ábra, hasonlóképp párhuzamba hozható az avarminták frakciók szerinti megoszlását mutató ábrákkal. Ez esetben viszont a negyedik mintaterületről vett minták rendelkeznek a legnagyobb tömeg értékkel és legnagyobb interkvartilis terjedelemmel, míg a legkisebbel a második területről vett minták.



16. ábra. A mintaterületekről vett holtfa száraz tömege

A lágyszárú avarminták száraz tömegét mutató ábra (17.ábra) alapján a legnagyobb tömeggel a harmadik területről vett lágyszárú minták rendelkeztek. Fontosnak tartom kiemelni, hogy a gyepterületről (3.terület) vett avarminták esetében a fűavar mellett az élő biomassza mennyiségét mértem, amely jelentősen megnövelte a boxplot terjedelmét. Ugyanis ha csak a fűavar mintákat mutatná az 3. számú boxplot akkor a második mintaterület lágyszárú mintái rendelkeznének a legnagyobb értékekkel. A legkisebb tömegértékkel a negyedik mintaterület (fűültetvény) lágyszárú mintái rendelkeztek.

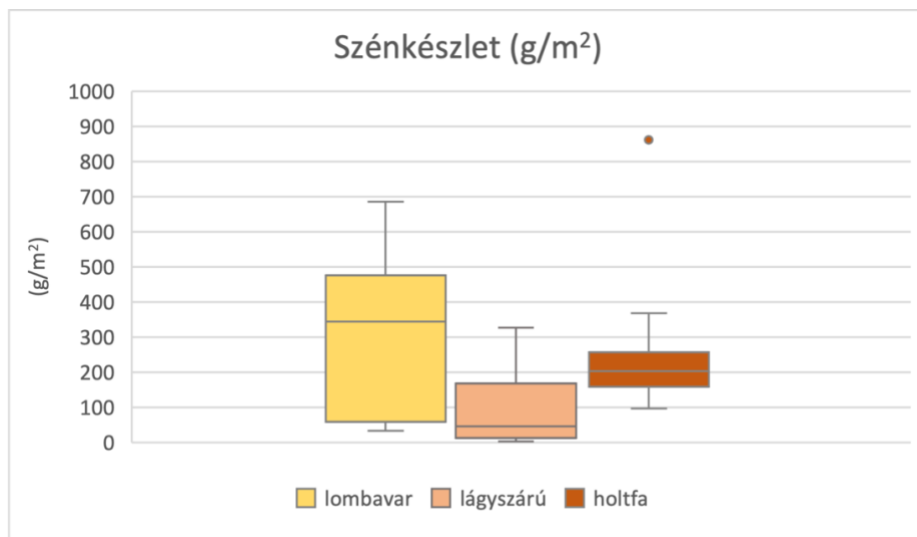


17. ábra. A mintaterületekről vett lágyszárú száraz tömege

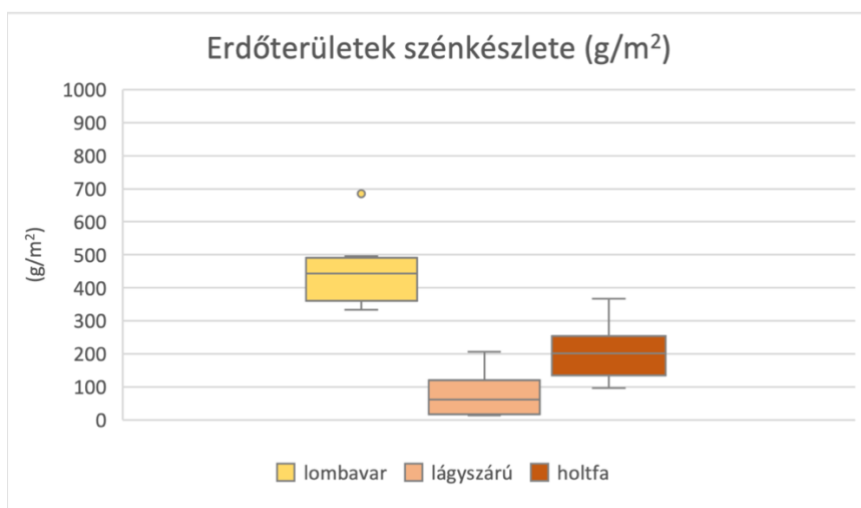
6.2.3. Szénkészlet

Az egyes avarfrakciók szénkészletét szemléltető ábráról (18. ábra) megállapítható, hogy négyzetméterenként a lombavar frakció rendelkezik a legnagyobb szénkészlettel. A legkisebb értéket a lágyszárú minták vették fel. A három frakció összehasonlításakor szignifikáns különbség nem állapítható meg.

A továbbiakban elkészítettem területtípusonként a szénkészletet avarfrakciók szerinti alakulását mutató ábrákat. A 19. ábrán látható erdőterületek szénkészlet alakulását mutató ábra adatai az első és a második mintaterület értékeiből tevődött össze. A 18. ábrával összevetve hasonlóság figyelhető meg a lágyszárú és a holtfa szénkészlet alakulása között. Ugyanakkor mivel a 18. ábra adatai között az energetikai célú fásítás értékei is megjelentek, a lombavar frakcióba tartozó értékek interkvartilis terjedelme jelentősen megnőtt. Hiszen a 20. ábrán jól látható, hogy az energetikai célú fásításból vett lombavarban tárolt szénkészlet minimális az erdőterületekhez képest. Ezen területen a legnagyobb szénkészlettel a holtfa frakcióba tartozó minták rendelkeztek, a lágyszárú minták értékei pedig teljesen elhanyagolhatóak. A holtfa minták szignifikánsan eltérnek a lágyszárú és lombavar mintáktól.



18. ábra. A különböző avarfrakciók szénkészlete

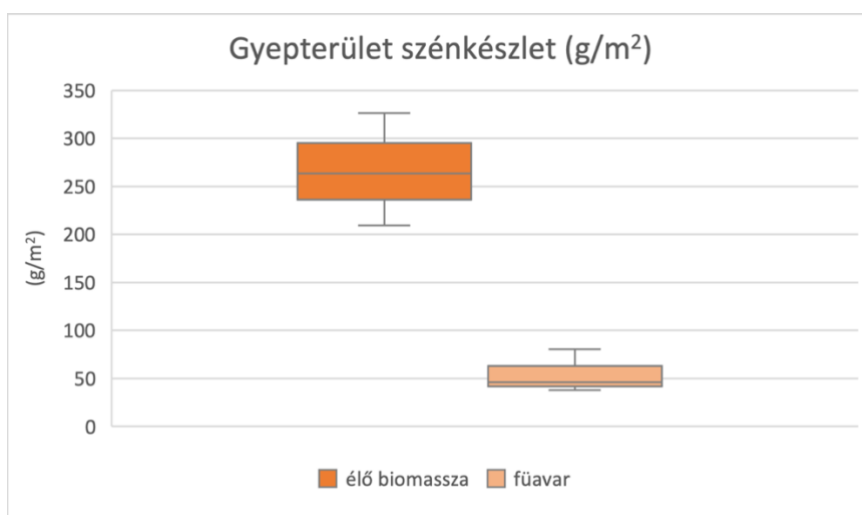


19. ábra. Az erdő területéről (1.,2. terület) vett avarminták szénkészlet alakulása



20. ábra. Az energetikai fásításból vett avarminták szénkészletét alakulása

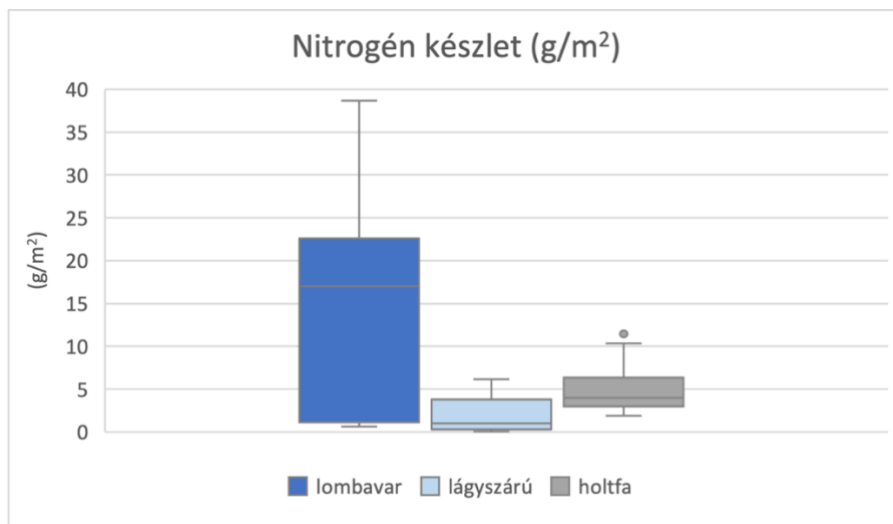
A 21. ábrán a gyepterületről vett két avarfrakció szénkészlet értékei szerepelnek, melyek közül az élő biomassza kiemelkedően nagy értékeket vett fel a fűavarhoz képest. Érdekesnek tartom megemlíteni, hogy a 18. ábra lágyszárú értékeibe mindkét gyepterületről származó avarfrakció értékei szerepelnek, így az élő biomassza eredményei növelik a boxplot interkvartilis terjedelmét, azonban ha csak a fűavar értékeit vettem volna a lágyszárú adatok közé, közel azonos terjedelemmel és felvett értékekkel rendelkezne a boxplot mint az erdőterületekről származó minták lágyszárú értékei. A két avartípus között szignifikáns különbség állapítható meg.



21. ábra. Szénkészlet alakulása gyepterületen

6.2.4. Nitrogén készlet

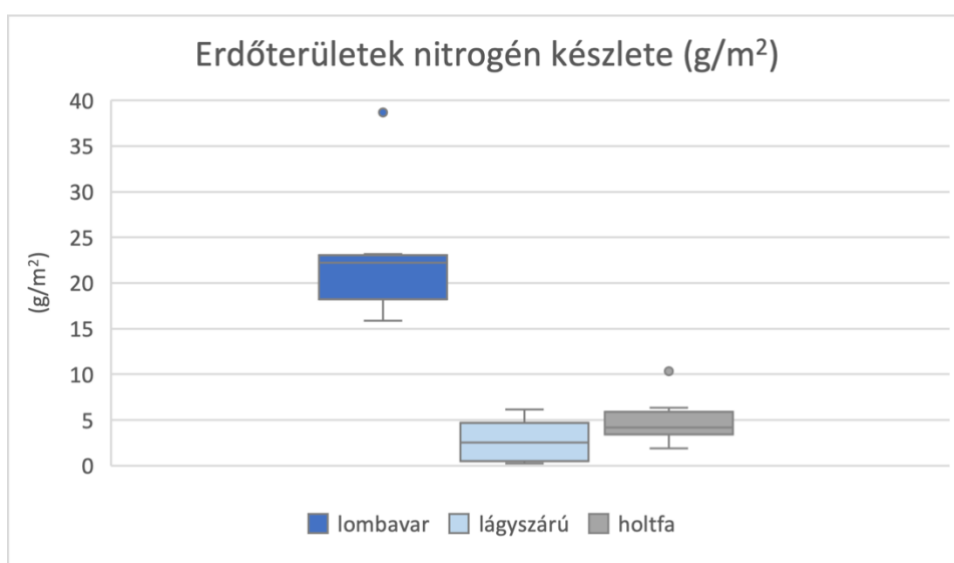
A nitrogén készletek hasonlóan alakultak avar frakciónként, mint a szénkészletek. A 22. ábra a négy mintaterület minden adatát ábrázolja, a gyepterületek avarminta értékeit ez esetben a lágyszárú frakcióba soroltam csakúgy, mint a szénkészletet szemléltető 18. ábrán. A legnagyobb nitrogén készlettel és legnagyobb interkvartilis terjedelemmel a lombavar minták rendelkeztek. A holtfa és a lágyszárú minták közel azonos terjedelemmel rendelkeztek, viszont a holtfában tárolt nitrogén készletek nagyobb értéket mutattak. A továbbiakban mintaterület típusonként elkészítettem a nitrogén készletek ábráit.



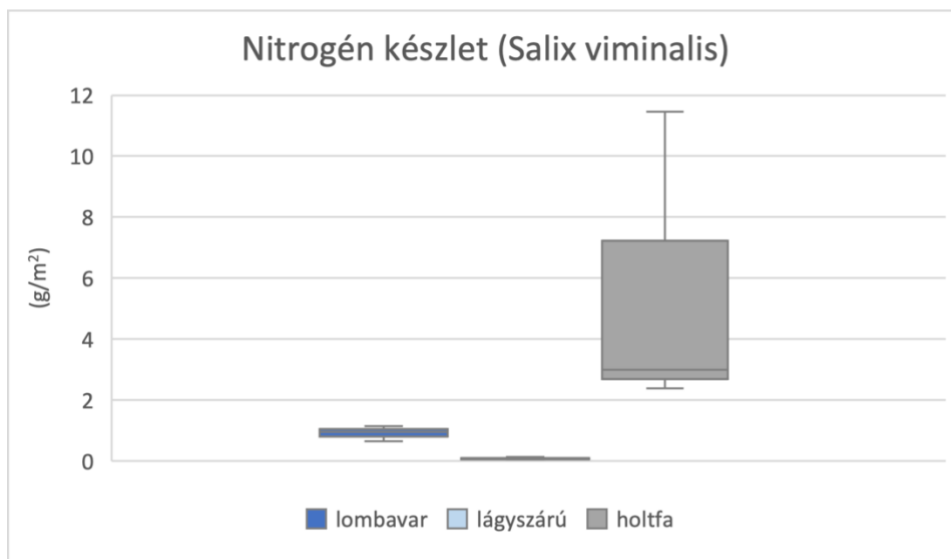
22. ábra. A három avarfrakció nitrogén készletének alakulása

A 23. ábrán az erdőterületekről (első és második mintaterület) vett avarminták értékeit szemléltetem. A lombavar minták között szereplő kiugró érték ($38,7\text{g/m}^2$) a második mintaterületről származott és az előző ábrán szereplő lombavar frakció boxplot-jának interkvartilis terjedelmét jelentősen megnövelte. Azonban a kiugró adat nélkül is a lombavarminták rendelkeztek a legnagyobb nitrogénkészlettel. A lágyszárú és holtfa mintákban jóval kisebb nitrogénkészlet volt kimutatható.

A 24. ábrán látható energetikai célú fásításból vett avarminták értékei a szénkészletekhez hasonlóan térnek el az erdőterületekről vett minták értékeitől. Legnagyobb nitrogén készlettel a holtfa frakció rendelkezett, melyhez képest a lombavarban és lágyszárú mintákban tárolt nitrogén készletek teljesen elhanyagolhatóak.

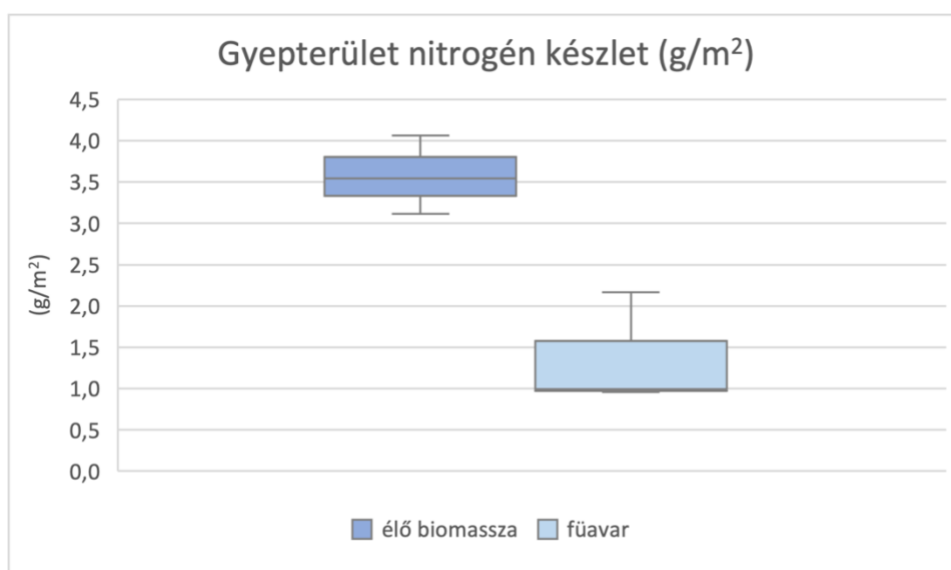


23. ábra. Erdőterületektől (1., 2. terület) vett avarminták nitrogén készlete



24. ábra. Energetikai fásításból (4. terület) vett avarminták nitrogén készlete

A gyepterületről vett minták nitrogénkészlet értékei alapján szerkesztett ábra (25. ábra) segítségével megállapítható, hogy az élő biomasszában nagyobb a tárolt nitrogén készlet, mint a fűavárban. Azonban az első és második erdőterületről vett lágyszárú avarminták nagyobb nitrogénkészlettel rendelkeznek (23. ábra), mint a gyepterületről vett lágyszárú minták.

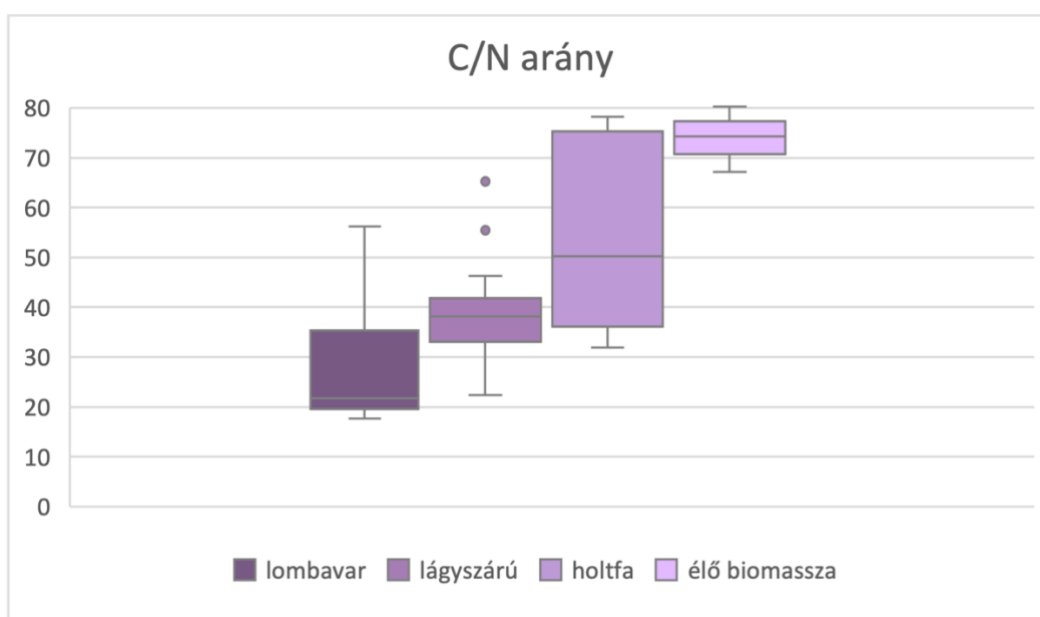


25. ábra. A nitrogén készlet alakulása gyepterületen (3. terület)

6.2.5. C/N arány

A lemért szén és nitrogén tartalmak (%) segítségével sor kerülhetett a minták C/N arányának kiszámítására, ami a nitrogén elérhetőségét fejezi ki. Minél kisebb a két érték közötti különbség, annál könnyebben szabadul fel a nitrogén és annál gyorsabb a lebomlás, így a talaj szervesanyag készletéhez nem adódik hozzá a széntartalma. Tehát minél kisebb a C/N értéke annál tökéletesebb lesz a lebontás és tápanyagellátás, ugyanakkor a széntartalom lekötés annál kisebb. Ezzel szemben a magas C/N arány alkalmas a szénmegkötésre, míg a lebontási folyamatok kisebb intenzitása következtében a tápanyagtartalom növekedés nem megoldott.

A 26. ábra alapján megállapítható, hogy a füves terület élő biomassza frakciója rendelkezett a legmagasabb medián értékkel, amely arra enged következtetni, hogy ez a terület a legalkalmasabb a szénmegkötésre. A legjobb lebontással és tápanyagellátással a lombavar frakció mintái rendelkeznek, ugyanakkor a C/N arány számuk alapján a szén növelésre kevésbé alkalmasak. A holtfa frakcióba tartozó minták C/N arányukat tekintve meglehetősen széles intervallumban mozognak, azonban magas értékekkel rendelkeznek, tehát a lebontási folyamatok meglehetősen lassúnak ígérkeznek, ugyanakkor jelentős szén kötődhet meg ezen avarfrakcióból.



26. ábra. A különböző avarfrakciók C/N aránya

Konklúzió

Dolgozatomban egy eredeti természetes gyepvegetációval rendelkező szikes területet hasonlítottam össze ugyan ezen területen létesített fásításokkal, és energiaültetvénnyel. Azt feltételeztem, hogy a fásítások hatására meg fog nőni a talajban és a talajfelszínen felhalmozódott avarmintákban tárolt szerves széntartalom. A fásítás alá vont területek esetében, az idős tölgyerdők területén nagyobb szerves széntartalmat és nedvességtartalmat vártam, mint egy energetikai célú fásítás területén.

A talajban tárolt szerves széntartalom alakulására tekintettel a kapott eredmények alapján megállapítható, hogy az energetikai célú ültetvények rendelkeztek a legnagyobb szerves széntartalommal. Az idős erdőkből vett talajminták a vizsgált gyepterülethez képest kisebb értékkel rendelkeztek. Így az első feltételezés, miszerint a gyepterületek befásítását követően meg fog nőni a szerves széntartalom hamisnak bizonyult. Továbbá az a feltételezés is, hogy az energetikai faültetvényeken kevesebb lesz a talajban tárolt szerves széntartalom, mint az idős erdőkben. Talajmélységenként vizsgálva a szerves széntartalmat megállapítható, hogy a legfelső talajrétegben (0-10 cm) a gyepterületről vett minták rendelkeznek a legnagyobb értékkel. Melynek oka a gyepvegetáció jelenléte a felső talajrétegben, illetve a száraz mikroklíma hatására lezajló tökéletlen lebomlás, és a szenesedési folyamatok. 10- 40 cm-es mélységben az energetikai célú fásításból vett minták mutatták a legnagyobb talajban tárolt széntartalmat. Ennek okát a talajfelszínen visszamaradt avarfrakciók megoszlásában kereshetjük. Az első két mintaterületről (idős erdők) vett avarminták túlnyomó részt lombavar frakcióba, míg az energetikai ültetvény esetében elsősorban holtfa (fás szárú) frakcióba tartoztak. A területeken felhalmozódott felesleges biomassza mivel nem kerül elszállításra a talajfelszínen maradvány lebomlását követően tápanyagokat, illetve szerves anyagot biztosít a talajnak. Amennyiben az avarfrakciók C/N arányát vizsgáljuk megfigyelhető, hogy az élő biomasszát leszámítva a holtfa frakció rendelkezik a legnagyobb értékkel, ami lassú lebomlási folyamatok mellett jelentős szénmegkötésre ad lehetőséget. Ezért is fontos figyelembe vennünk a talajfelszínen megmaradt avarfrakciók megoszlását, hiszen a holtfa frakcióba tartozó mintákból történő szénmegkötés nagyobb, mint a lombavar frakcióba tartozó minták esetében. Ezzel magyarázható az energetikai ültetvények talajából vett minták magasabb széntartalma. Harmadik feltételezésem miszerint a befásított területeknek magasabb a vízvisszatartó képessége, mint az eredeti gyepterületnek, igaznak bizonyult. Azonban nem mondható ki határozottan, hogy az idősebb erdőkből vett avarminták nedvességtartalma nagyobb, mint az energetika célú fásításokból vett mintáké.

A kapott eredmények alapján tehát az energetikai célú fásítás alá vont terület mintái kedvezőbb értékeket vettek fel, mint az idős állományú erdő területek mintái. Azonban fontosnak tartom kiemelni, hogy a területek összehasonlítása során komplex kiértékelésre célszerű törekedni. Az energia erdők, fásítások monokultúras jellegükből fakadóan jelentősen csökkentik a terület biodiverzitását, ezzel az ellenálló képességet a negatív külső hatásokkal szemben, mint pl. a klímaváltozás okozta éghajlati szélsőségek felerősödése vagy a felmelegedés okozta új kártevők megjelenése. Egy természetes erdő sokkal változatosabbnak tekinthető, így az ellenállóképessége is nagyobb.

A három erdőterületről vett minták is jól mutatják, hogy az erdőterületeken jelentős a szénmegkötés, azonban további vizsgálatok szükségesek. Ugyanis a szénmegkötés nem csak a talajban történik, hanem jelentős része a dendromasszában tározzák el. Az eredmények alapján az energetikai célú ültetvényben magasabb a szénmegkötés, azonban az idős állományú erdők jóval nagyobb fa térfogattal rendelkeznek, mint egy energiafűz állomány. Az energetikai célú fásítás területéről évente történik a letermelés, így a fák törzsátmérője nem tud megnőni, úgy mint egy természetes erdőben. A folyamatos letermelésből adódóan a visszamaradt nyesedékek nagy mennyiségben halmozódnak fel az avarszinten, mellyel a magas holtfafrakció aránya magyarázható. Az elszállított faanyag elégetésével pedig visszakerül a légkörbe a korábban megkötött szén.

A klímaváltozás hatására egyre gyakoribbá váló aszályos időszakok jelentős hatást gyakorolnak az élővilágra, a társadalmakra és a gazdaságra egyaránt, így egyre fontosabbá válik a csapadékvíz, felszíni víz és a talajban tárolt víz visszatartása és tárolásának lehetővé tétele. A gyepterületeken nehéz feladat a vízvisszatartás, hiszen a gyep vegetációk gyökérszónája a feltalajban található, így a felszín közelében jelentős a nedvesség elpárolgása. Ezeken a területeken párologtató talajtípusok alakulhatnak ki, ha az éves párolgás mértéke meghaladja az éves csapadék mennyiséget és a talajvíz közel van a felszínhez. Az erdőterületek esetében azonban jóval mélyebben található a gyökérszóna ezzel a talajvíz is mélyebben helyezkedik el, így a talajból történő elpárolgáshoz jelentős felszín felé irányuló vízmozgásra lenne szükség.

Tehát amennyiben a termőhelyi adottságok lehetővé teszik a fák ültetését vagy erdők telepítését a megfelelő fajok alkalmazásával a felszínen és a talajban is lehetőség nyílik a nedvesség visszatartásra, a légköri szén megkötésére a talajban és a dendromasszában, mellyel csökkenthető a légköri CO₂ koncentráció. Amennyiben hosszú távon fenntartjuk az ültetett/telepített erdőt és kezelésével a természetes állapotokra törekszünk kezelése, akár hozzá is járulhatunk a klímakonferenciákon tárgyalt célok eléréséhez.

Köszönetnyilvánítás

Mindenekelőtt szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek, egyrészt Dr. Novák Tibor Józsefnek, hogy egy 2021-ben felmerült kutatási témajavaslatát, pályamunkámban lehetőségem volt tovább kutatni. Köszönettel tartozom a sok segítségért, figyelemért, értékes szakmai tanácsokért, javaslatokért, a mintavételezések lebonyolításában történő hasznos támogatásért.

Köszönettel tartozom másrészt Dr. Tóth Tamás témavezetőmnek, a dolgozatom megújuló energetikai oldalának ötletet adó gondolatáért és hogy támogatta a pályamunkám megvalósulását.

Hálás köszönettel tartozom a Földtudományi Intézet laboratóriumában dolgozó munkatársaknak, különösen Sósné Mező Krisztinának és Tóth Csillának, hogy a labormunkáim során szakmai segítségükkel, folyamatos figyelmükkel és türelmükkel támogatták dolgozatom megvalósulását.

Köszönöm a Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Agrokémiai és Talajtani Intézetének, hogy egyes laboratóriumi vizsgálataimat ott végezhettem el és egyúttal köszönöm az ott dolgozó laboratóriumi munkatársak segítségét is.

Köszönettel tartozom az Erdészeti Tudományos Intézet püspökladányi munkatársainak, hogy lehetővé tették a terepi mintavételezéseket, valamint hogy értékes információkat biztosítottak számomra.

Irodalomjegyzék

- Ábrahám, L. (1968): A dunavölgyi szoloncsák-szolonyec talajok hasznosításának és javításának néhány kérdése. *Agrokémia és Talajtan*, 17(3), 283-296.
- Antal, R. (2012): A fás ökoszisztémák katasztrófamegelőző szerepe, avagy az általuk megkötött CO₂ piacosításában rejlő hazai lehetőségek. *Hadtudományi Szemle*, 5(3-4), 258-267.
- Arany, S. (1944): Szikes talajok vizsgálata. In. (szerk. Ballenegger, R. – Mados, L.) *Talajvizsgáló Módszerkönyv*. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 135-152.
- Bai, A., Lakner Z., Marosvölgyi, B., Nábrádi, A. (2002): A biomassza felhasználása. Szerk.: Bai Attila. *Szaktudás*, Budapest
- Bakacsi, Zs., Pásztor, L., Szabó, J., Őri, N., Karuczka, A., Krammer, Z. (2012): A Kreybig-féle felmérésből származó talajtani adatok módszertani elemzése. *Agrokémia és Talajtan*, 61(1), 29-40
- Balog, K. (2011): A használt hévíz szikkadás hatásai a talaj- talajvíz rendszerre, különös tekintettel a szikesedés részfolyamataira. Szegedi Tudományegyetem, Szeged
- Bartholy, J., Breuer, H., Pieczka, I., Pongrácz, R., Radics, K. (2013), Megújuló energiaforrások, Eötvös Loránd Tudományegyetem
- Bíró, M., Molnár, Zs. (2009): *Az Alföld erdei a folyószabályozások és az alföldfásítás előtti évszázadban*. Hantken Kiadó, Budapest
- Csiha I.; Rásó, J., Keserű, Zs., Kamandiné Végh Á. (2010): Energetikai faültetvények komplex termesztéstechnológiai rendszerének kidolgozása az Észak-Alföldi Régió területén. In: Szulcsán G (szerk.)(2010): Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói nap: Tudományos eredmények a gyakorlatban. Kecskemét: Alföldi Erdőkért Egyesület, pp 131-136.
- Faragó, T., Führer, E., Garbai, L., Iványi, Zs., Járó, Z., Jászay, T., Márkus, L., Mika, J., Molnár, Á., Nováky, B., Práger, T., Szalai, S., Szász, G., Szentimrey, T., Tóth, L. F. (1991): *Az éghajlat változékonysága és változása. II. Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium - OMSZ*, Budapest
- Fekete, J. (1968): Mélyben sós réti csernozjomok víz- és sóforgalma a Hajdúszoboszlói Állami Gazdaságban. *Agrokémia és Talajtan*, 17(1-2), 25-46.
- Filep, Gy. (1995): Talajtani alapismeretek I-II. DATE Mezőgazdaságtudományi Kar, Debrecen
- Führer E., Mátyás, Cs. (2005): A klímaváltozás hatása a hazai erdők szénmegkötő képességére és stabilitására. *Magyar Tudomány*, 7, 837-841.

- Fülek, Gy. (1999): Tápanyag -gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- Gálos, B., Mátyás, Cs., Jacob, D. (2012): Az erdőtelepítés szerepe a klímaváltozás hatásának mérséklésében. *Erdészettudományi Közlemények*, 2(1), 35-45.
- Harta, I., Winkler, D., Fülek, Gy. (2018): Újraerdősítés hatása a talaj tulajdonságaira, és a mezofaunára (collembola) egykori szántóföldi műtrágyázási tartamkísérleti területen. *Erdészettudományi Közlemények*, 8(2), 83-97.
- IPCC (2018): Global Warming of 1.5 °C: An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change ed V Masson-Delmotte et al (Geneva: World Meteorological Organization).
- Ivelics, R. (2006): Minirotációs energetikai faültetvények termesztés-technológiájának és hasznosításának fejlesztése. PhD értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron.
- Keresztesi, B. (1972): Az erdő, *Erdészeti Lapok*, 107. évfolyam, 529-531
- Kocsis, M., Menyhárt, L., Benő, A., Hermann, T. (2021): A talajelektromos vezetőképessége és a termőhelyi zónák talajtulajdonságai közötti összefüggések. *Agrokémia és Talajtan*, 70(1), 45-64.
- Kohlheb, N., Munkácsy, B., Csanaky, L., Meleg, D. (2015): A megújuló energiaforrások potenciáljai és hasznosításuk Magyarországo. Kovász, 2015. tavasz-tél, 19–50.
- Kurcsik, N., Mihály, Zs., Tóth, A. J. (2021): Az Európai Zöld Megállapodás (EU Green Deal) bemutatása. *Körforgásos Gazdaság és Környezetvédelem*, 5. évf., 4. szám.
- Lett, B. (2021): Amit a számok mutatnak– Az erdőtelepítések tapasztalatai 1920–2020. *Erdővagyon-gazdálkodási közlemények*, 15, Sopron
- Liu X., Herbert, S. J., Hashemi A. M., Zhang, X., Ding, G. (2006): Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation. *Plant Soil Environ*, 52(12), 531-543.
- Madari, B., Miché, E., Czinkota, I., Johnston, C.T., Graveel J.G. (1998): Soil Organic Matter as Indicator of Changes in the Environment. Anthropogenic Influences: Tillage, *Agrokémia és Talajtan*, 47(1-4), 121-132.

- Magyar, P. (1956): A szikes talajok fásítása. *Erdészeti Lapok*, 5(10), 393-403.
- Magyar, P. (1960): *Alföldfásítás I.* Akadémiai kiadó, Budapest
- Marosvölgyi, B. (1996): Az energetikai ültetvények létesítése és hasznosítása. In: Körmen di Péter – Pecznik Pál (szerk.): Megújuló energiaforrások hasznosítása. 1996. október 10. Gödöllő. FM Műszaki Intézet, Gödöllő, GATE, 49–55.
- Mezősi, G. (2011): Az Alföld természeti képének kialakulása. *A környezeti változások és az Alföld*, 7, 15-24.
- Mihályi, Z. (1958): A fakitermelés módszerei, különös tekintettel a felújításra. Országos mezőgazdasági könyvtár és dokumentációs központ, Témadokumentáció, Erdészeti sorozat
- Nagy, A (1976): Erdők a Hortobágyon. *Erdészeti Lapok*, 25.évf. IV.sz. 161-168.
- Nagy, D. (2012): Ültetvények és őshonos tölgyesek hollyvaegyüttese i (Staphylinidae). *Természetvédelmi Közlemények*, 18, 383-392.
- Novák, T. J. (2022): Afforestation affects vertical distribution of basic soil characteristics and taxonomic status of sodic soils. *Plant, Soil and Environment*. 68(5):245-252.
- Olajos, I., Szilágyi, Sz. (2013): A Megújuló energiaforrások Európai Unió s jogi szabályozása, különös tekintettel a megújuló energiaforrásokra vonatkozó irányelvekre. *Publicationes Universitatis Miskolcensis Sectio Juridica et Politica*, Tomus XXXI. (2013), pp. 441–450.
- Oroszi, S. (1990): A Kaán Károly féle Alföld-fásítási program tanulságai. In. (szerk. Rakonczai, J.) *Az Alföld- fásítás aktuális kérdései*. Püspökladány, 63-66.
- Oroszi, S. (1990): Az Alföld-fásítás a két világháború között Magyarországon. Budapest-Szolnok.
- Pápai, G. (1999): 75 éves a Püspökladányi Szikkísérleti Telep Kísérleti Állomása. *Erdészeti Lapok*, CXXXIV. évf. 7-8.sz., 234-236.
- Pászthory Ö. (1935): Fásítsuk az Alföldet. *Erdészeti Lapok*, 74(10), 759–765.
- Pető, Á., Barczy, A. (2011): A Magyarországon előforduló Meghatározó jelentőségű és gyakori talajtípusok fitolit profiljának katasztere IV. A Vizsgált csernozjom és szikes talajok eredményei. *Tájökológiai Lapok*, 9(1), 147–190.
- Posza, B., Borbély, Cs. (2017): Fás szárú, sarjzattatásos energetikai ültetvények gazdasági-környezeti modellje. *Gazdálkodás*, 61. évf. 4. szám, 2017 (310-321)

- Prokopovics, (1881): Adatok a szikes talaj befásításához. *Erdészeti Lapok*, 795-796.
- Rédei, K., Csiha, I., Veperdi, I. (2009): Energiaerdők, faültetvények, új területhasznosítási lehetőségek. *Magyar Tudomány*, 2009/2, 179-184.
- Rédei, K., Kamandiné Végh Á.; Keserű Zs., Rásó, J. (2011): Fás szárú energetikai ültetvények termesztésfejlesztésének legújabb eredményei az Észak – Alföldi Régióban. In: Horváth B (szerk.) (2011): Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap: Tudományos eredmények a gyakorlatban, Sopron: pp 37-41.
- Rédei, K., Veperdi, I. (2006): Akác energetikai ültetvények létesítése, kezelése és hozama. In: Rédei Károly: Az akác termesztés-fejlesztésének biológiai alapjai és gyakorlata. ERTI–Agroinform Kft., Budapest, 110–118.
- Rédei, K.; Csiha, I., Keserű, Zs., Kamandiné Végh, Á. (2014): Energetikai faültetvények. *Magyar Mezőgazdaság* (0025-018X): 69 30 pp 36-38
- Schleussner, C. F., Pfleiderer, P., Andrijevic, M., Vogel, M. M., Otto, F. E. L., Seneviratne, S. I. (2021): Pathways of climate resilience over the 21st century. *Environmental Research Letters*, 16(5).
- Solymos, R. (2006): Erdők és erdőgazdálkodás a szárazföld egyharmadán. *Gazdálkodás*, 50. évf. 2. szám, 31-37.
- Standovár, T. (2006): Biológiai megfontolások az erdei életközösségek hatékony védelméhez. *Magyar Tudomány*, 6, 656-662.
- Stefanovits, P., Filep, Gy., Fülek, Gy. (1999): *Talajtan*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- Surányi, B. (2005): Az Alföld fásításának kérdése. In. (szerk. Dankó I.) *Rálátás*. 4(1), 1-10.
- Szabari, Sz., Szegi, T., Fuchs, M., Láng, V., Michéli, E. (2015): A szikes talajok nemzetközi korrelációs problémái a megújított hazai talajosztályozás tükrében. In. (szerk. Michéli, E.) *A talajok térbeli változatossága, elméleti és gyakorlati vonatkozások*, Talajvédelmi Alapítvány, Budapest
- Szabolcs, I., Jassó, F. (1959): A magyar szikes talajok osztályozása. *Agrokémia és Talajtan*, 8(3), 281-300.
- Szajkó, G., Mezösi, A., Patkó, Zs., Scultéty, O., Sugár, A., Tóth, A. I. (2009): Erdészeti és ültetvény eredetű fás szárú energetikai biomassza Magyarországon, Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont, Műhelytanulmány 2009. február-június.
- Szarvas, P. (2010): Mezővédő erdősávok, fasorok jellemzése, ökológiai feltárása, kihatásai. Debreceni Egyetem, Debrecen

- Tóth, B. (1957): Néhány megjegyzés a szikfásítás tervezéséhez. *Erdészeti Lapok*, 1957/2, 104-110.
- Tóth, B., Szabolcs, I., Jassó, F., Leszták, J. (1972): *Szikesek fásítása*, Akadémiai kiadó, Budapest
- Tóth, T., Kuti, L., Fügedi, U. (2003): Havonkénti vizsgálatok a Zab-szék mellett. A tóvíz, talajvíz, talaj, növényzet időbeli változásai. *Természetvédelmi Közlemények*, 10, 93-107.
- Tóth, T., Szendrei, G. (2006): A hazai szikes talajok és a szikesedés, valamint a sófelhalmozódási folyamatok rövid jellemzése. *Topographia Mineralogica Hungariae*, 9, 7-20.
- Varga, K., Csízi, I. (2019): Delelőliget szerepének pontosítása extenzív juhlegelőn. *Gyepgazdálkodási Közlemények*, 17 (2), 39-45.
- Vágvolgyi, A. (2013): Fás szárú energetikai ültetvények helyzete Magyarországon napjainkig, üzemeltetésük, hasznosításuk alternatívái. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron
- Zsuffa, L. (1995): Characterisation of poplar and willow clones and cultivars. In: Biomass and Bioenergy (9) pp. 53-68.

Internetes források

Internet 1 – <https://apps.ipcc.ch/outreach/documents/379/1493556340.pdf>, letöltve: 2024.05.05.

Internet 2 – <https://ksh.hu/s/kiadvanyok/fenntarthato-fejlodes-indikatorai-2022/3-23-sdg-7#3-abra>, letöltve: 2024. 03. 24.

Internet 3 – https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/hu/kor0058.html, letöltve: 2022.03.07.

Internet 4 – https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_hu, letöltve: 2024. 03. 28.

Internet 5 – <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/hu/sheet/105/az-europai-unio-es-az-erdok>, letöltve: 2024. 04. 08.

Internet 6 – <https://faipar.hu/hirek/alapanyag/2910/hazai-fajok-az-akac>, letöltve: 2024. 03. 18.

Internet 7 – <https://magyarmezogazdasag.hu/2014/09/05/fasorok-es-erdosavok>, letöltve: 2022. 03. 17.

Internet 8 – <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/TenyekKonyve-tenyek-konyve-1/zold-19B21/termeszetvedelem-magyarorszagon-1A3D7/erdok-1A7EC/veszelyeztetett-erdotarsulasaink-1A828/a-magyar-erdok-szenkeszlete-es-evenkenti-szenmegkoto-kepessege-1A887/>, letöltve: 2022.03.08.

Internet 9 – <http://tolner.hu/publ/2012/Ovar/Ovar01.pdf>, letöltve: 2022.04.16.