

SZAKDOLGOZAT

Dr. Heilig Dávid
Talajtani szakmérnök szak

Gödöllő
2023



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Talajtani szakmérnök szak**

**A TÁPANYAG-UTÁNPÓTLÁS HATÁSA IPARI CÉLÚ
NEMESNYÁR ÜLTETVÉNY NÖVEKEDÉSÉRE**

Belső konzulens:	Dr. Gulyás Miklós egyetemi docens MATE, Talajtan Tanszék
Külső konzulens:	Dr. Kovács Gábor egyetemi docens SOE, Környezet- és Természetvédelmi Intézet
Készítette:	Dr. Heilig Dávid CA8NY2 Levelező tagozat
Intézet/Tanszék:	Talajtan Tanszék

**Gödöllő
2023**

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés és célkitűzések.....	3
1.1	Téma aktualitása	3
1.2	Célkitűzések.....	4
2	Szakirodalmi áttekintés.....	5
2.1	Fásszárú ültetvények meghatározása, jelenlegi helyzete	5
2.2	Tápanyag-utánpótlás fásszárú ültetvényes gazdálkodás során	6
3	A vizsgálatok módszerei.....	11
3.1	A vizsgálati terület elhelyezkedése	11
3.1.1	A vizsgálati terület elhelyezkedése és általános jellemzése	11
3.1.2	A kísérleti ültetvény leírása	13
3.1.3	Kezelések leírása	15
3.2	Felmérés módszerei	18
3.2.1	Terepi talajvizsgálati módszerek	18
3.2.2	Laboratóriumi talajvizsgálati módszerek.....	18
3.2.3	Faállomány felmérés módszerei	19
3.3	Alkalmazott szoftverek, statisztikai módszerek.....	20
4	Eredmények és értékelésük	22
4.1	Talajvizsgálatok eredményei	22
4.2	Kezelések hatása a talajra	24
4.2.1	A kémhatás változása a vizsgált időszakban	24
4.2.2	A humusztartalom változása a vizsgált időszakban	25
4.2.3	A felvehető foszfor tartalom változása a vizsgált időszakban.....	26
4.2.4	A felvehető kálium tartalom változása a vizsgált időszakban	27
4.2.5	A kísérleti terület talajfizikai tulajdonságai.....	28
4.3	Kezelések hatása a faállományra	30
4.3.1	A magmaradás alakulása a vizsgálati időszak alatt.....	30
4.3.2	Az első vegetációs időszak utáni felmérések eredményei.....	30
4.3.3	A második vegetációs időszak utáni felmérések eredményei	31
4.3.4	A harmadik vegetációs időszak utáni felmérések eredményei.....	33
4.4	A kezelések hatásainak értékelése	34
5	Következtetések és javaslatok	37
6	Összefoglalás	39
7	Köszönetnyilvánítás	41
8	Irodalomjegyzék	42
9	Nyilatkozatok	45
10	Tartalmi kivonat	48

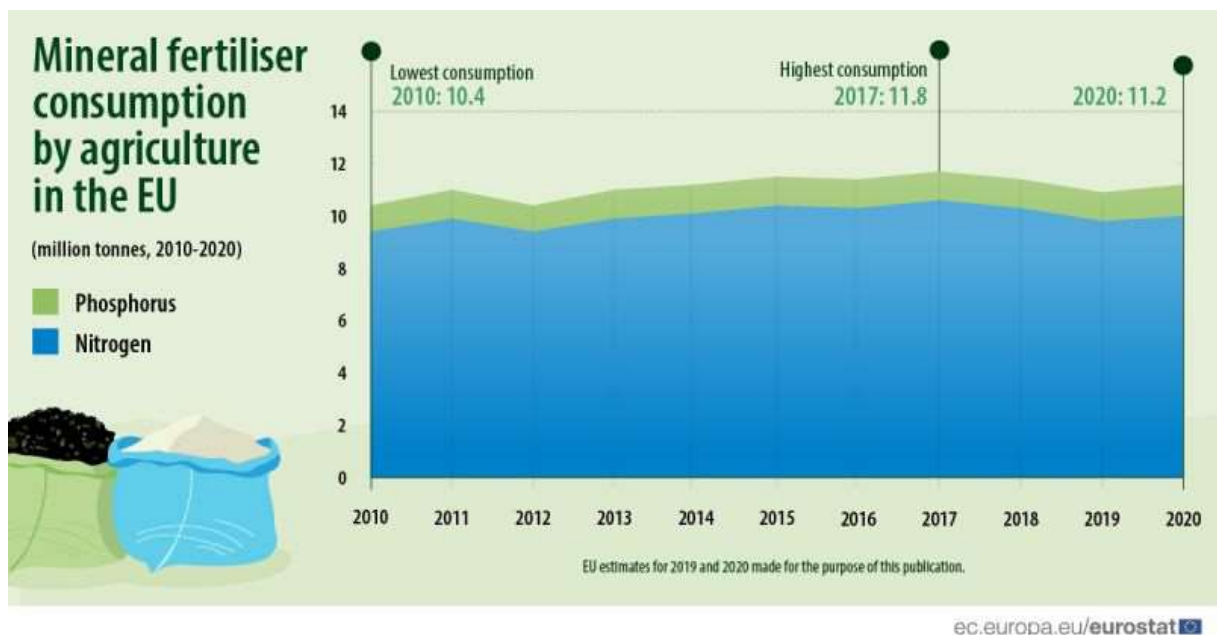
„...Kaszás testvér! Sovány a földünk!
könyörgöm: egyet tégy nekem:
ha elviszel, szórd szét trágyának
testemet kinn a réteken!”
Ő rábólintott s vitte lassan,
s úgy szórta, szórta, szórta szét,
mint magvető keze a búzát,
vagy pipacsot az őszi szél...”

/Francois Villon (Faludy György átköltésében) – A haláltánc-ballada/

1 Bevezetés és célkitűzések

1.1 Téma aktualitása

Az utóbbi évtizedben a műtrágyák felhasználása Európában stagnálni, csökkenni látszik (1. ábra), ennek az elsődleges oka az előállítási költségek jelentős emelkedése. Ezzel párhuzamosan a szerves trágyák felhasználása is stagnál, ami a termelés visszaesésében keresendő. Egyéb melléktermékek, hulladékok (szennyvíziszap, hígtrágya, erjesztési maradékok) újabb potenciális forrást jelentenek a talajtermelékenység megőrzése szempontjából. Ezen anyagoknál különösen nagy hangsúlyt kell fektetni az összetételük, hatásaik vizsgálatára, alkalmazásuk monitorozására.



1. ábra: Műtrágyafelhasználás az Európai Unió mezőgazdasági területein 2010 és 2020 között (forrás: EUROSTAT 2022)

Az ipari célú faültetvények fontos szerepet játszanak az erdőgazdálkodásban, faiparban. Alapvető céljuk, hogy fás biomasszát termeljenek. Ezen túl számos pozitív környezeti hatással

bírnak: változatos élőhelyet biztosítanak a mezőgazdasági területeken, tisztítják a vizet, levegőt, légköri CO₂-ot kötnék meg és raktároznak, a talajt védik az eróziótól, deflációtól.

Általánosságban a fásszárú ültetvények tápanyagszegény területeken létesülnek és bár pionír jellegűek a telepített fajok, fajták, az intenzív növekedéshez nagymennyiségű tápanyagra van szükségük. Amennyiben nem áll rendelkezésre megfelelő mennyiségű tápelem, a növekedésük visszaesik. Ezért különösen fontos témakör a tápanyag-utánpótlás a fásszárú ültetvények esetében.

A pontos dózisok beállításához és a megfelelő anyagok használatához szükséges a telepített állomány talajállapotának megismerése, a növények fiziológiai folyamatainak megértése. Ezen információra alapozva számíthatóvá, modellezhetővé válik, hogy az ültetvény növekedése során milyen mértékben használja fel a rendelkezésre álló tápelemeket. A kiindulóállapot ismeretében a modelleket alkalmazva meghatározható, hogy a jelenlegi hozam fenntartásához, esetleg növeléséhez milyen mennyiségben szükséges a tápanyagokat utánpótolni. A fásszárú ültetvényeken való melléktermékek, hulladékok okszerű, kontrolált felhasználása olyan megoldást jelent, ami a körforgásos gazdálkodás koncepciójába illeszkedik.

1.2 Célkitűzések

A dolgozatomban bemutatásra kerülő tápanyag-utánpótlási kísérlet célja, hogy megállapítsa, az eltérő makrotápelem-tartalmú kezelési dózisok közül melyik serkenti leginkább a nemesnyárok növekedését. Az optimális kezelés megtalálásához két különböző trágya: komplex műtrágya, illetve biogázüzemi erjesztési maradék külön-külön és együttesen történő alkalmazása esetében értékelem az ültetvény faállományszerkezeti paramétereit. A növekedésre gyakorolt hatáson túl, vizsgálom az egyes talajparaméterek változását, hogy a kezelések talajra gyakorolt hatását is megismerjem. Az eredmények ismeretében javaslatot teszek arra, hogy milyen trágyával és milyen dózisban érdemes az iparicélú fásszárú ültetvények tápanyag-utánpótlását elvégezni.

2 Szakirodalmi áttekintés

2.1 Fásszárú ültetvények meghatározása, jelenlegi helyzete

A rövidvágásfordulójú ültetvényes gazdálkodás egyfajta átmenetként definiálható a mezőgazdálkodás és az erdőgazdálkodás között. A termesztési ciklusok vagy vágásfordulók viszonylag rövidek és az ültetvények művelése is igen intenzívnek tekinthető az erdőkhöz viszonyítva. Tulajdonképpen ezek az ültetvények fásszárú monokultúrák, amiben erdőművelési tevékenység zajlik, annak érdekében, hogy minél nagyobb mennyiségű fás biomasszát (dendromasszát) termeljenek, illetve, hogy mindez a termelési célnak megfelelő minőségben történjen (Drew et al. 1987).

Christterson & Verma (2006) definíciója szerint az fásszárú ültetvényes gazdálkodás olyan erdőgazdálkodási tevékenység, amely eszköze a nagy sűrűségű (nagy hektáronkénti tőszám), fenntartható, gyorsan nöövő fásszárú növényvel telepített ültetvény, amely dendromassza termelési céllal létesült mezőgazdasági vagy jó tápanyagellátottságú erdőterületen. A fák vagy egy törzset nevelnek vagy sarjaztatottak és maximum 30 éves vágásfordulóval kezeltek, évente 10-20 tonna (abszolút száraztonna) vagy 25 m³ dendromasszát termelnek hektáronként. Jelen dolgozatban ettől némileg eltérő definíciót kell alkalmazni. A rövid vágásfordulós ültetvényes gazdálkodás olyan erdőgazdálkodási módszer, amely eszköze a fásszárú ültetvény, amelyet gyorsnövekedésű nemesnyár (*Populus cv. L.*) fajtákkal telepítenek mezőgazdasági hasznosítás esetén gyenge termőképességű területre, amely szántó művelési ágban marad a teljes (20 év) életciklusában. A vágásfordulók hossza 5-7 év. A termelési cél nyersanyagtermelés a bútortipar számára rostfa formájában.

Az ültetvények gyakran rendelkeznek másodlagos célokkal. A fűzeket (*Salix sp. L.*), illetve nyárákat (*Populus sp. L.*) gyakran telepítették mezővédő erdősávokba, folyók mentén a part megvédésére, hullámverés hatásainak csökkentésére. Másik gyakori cél a fitoremediáció, szennyezett területek kármentesítése (pl.: nehézfémek kivonása a talajból, vörösiszappal szennyezett területek rekultivációja (Zitzmann & Rode 2021). Ezen ültetvények termékei nem kerülnek be az élelmiszerláncba, így nem jelentenek további veszélyforrást (Zhu & Banuelos 2017). Gyakori még a szennyvíztisztító nyárasok telepítése, ahol főként állattartó telepek szennyvizét, szennyvíziszapját vezetik nyárasokba. A kijuttatott melléktermék tápanyaggal és vízzel látja el a nyárákat, amik igen intenzív növekedést mutatnak és eközben megtisztítják a szennyvizet (Hart et al. 2019, Riddel – Black 1988). Napjainkban a CO₂ megkötés került

fókuszba. A mezőgazdasági műveléshez viszonyítva extenzív művelés lehetőséget biztosít a talaj szerves szénkészletének növekedésére (Ferré et al, 2021).

Sarjasztásos ültetvényeket már az ókorban is telepítettek, főleg füzeseket vesszőfonás céljából (Warren – Wren 1973). Az ókori Rómában már nyárákat is sarjastattak, a termelt anyagot szőlőkarónak, kerítésnek használták (Rupp 1990). A következő jelentős mérföldkő a történetükben – leszámítva az évszázados (spontán vagy szándékolt) nemesítési munkát – az 1973-as olajválság, ami arra sarkalta a társadalmat, ipart, hogy alternatív energiaforrásokat kutasson (Smith 1982). Változó lendülettel, de ez a folyamat zajlik jelenleg is. Az Európai Unió területén jelenleg 50 000 ha fásszárú ültetvényt művelnek. Ezeken továbbra is kutatják az optimális művelési technológiákat, beleértve a nemesítési munkát, a gépfejlesztést, öntözési, trágyázási, letermelési módokat (Ghezei et al. 2021). Bár az utóbbi évtizedben az érdeklődés alábbhagyott, számos projekt (pl.: AGROWOOD, Rokwood, FastWOOD, Dendromass4Europe) futott végig pozitív eredményekkel. Az ültetvények területének növekedése pillanatnyilag stagnál, ennek az okai között egyrészt a megfelelő feldolgozóipar hiánya, illetve az apríték piac hektikus változása, másrészt a támogatást nyújtó pályázati rendszerek hiánya okozza (Lindegaard et al. 2016).

2.2 Tápanyag-utánpótlás fásszárú ültetvényes gazdálkodás során

Bár pionír jellegűek az alkalmazott nemesnyár fajták, az intenzív növekedéshez nagymennyiségű tápanyagra van szükségük. Cabrera Arize és munkatársai (2021) nitrogén veszteséget fedeztek fel egy nemesnyárültetvény nitrogén körforgását vizsgálva, a felvehető nitrogén formák csökkenő tendenciát mutattak az egymást követő vágásfordulók során. Ez arra enged következtetni, hogy a hozamok fenntartásához vagy akár növeléséhez mindenképpen tápanyagutánpótlás szükséges. Számos tanulmány foglalkozott már fásszárú ültetvények tápanyag-ellátottságának és növekedésének összefüggésével. Ezeknek az célja, hogy a fák fiziológiai folyamatait megértve, erre alapozva nyújtsanak támogatást a döntéshozók, termelők részére a megfelelő trágyázási módról, dózisiról.

A tápanyag-utánpótlás fontos része az ültetvényes gazdálkodásnak Paris és munkatársai (2011) Észak-Olaszországban három különböző termőhelyen vizsgálták kétéves vágásfordulójú ültetvények hozamát. Megállapították, hogy a gyenge termőképességű talajokon a nyárák növekedése is gyenge marad, ellenben a jobb termőhelyeken – kiváltképp gondos műveléssel, öntözéssel és trágyázással – Európában a legjobb hozamokat érték el.

Szendrődi (1996) egy négy fajtából létesített kísérleti ültetvényen három különböző dózisú komplex műtrágya kezelés hatásait vizsgálta párhuzamosan eltérő növényterek alkalmazásával. Szignifikáns különbségeket mutattak az alkalmazott fajták és növényterek, de a műtrágyázás nem befolyásolta a növekedést. A szerző ezt az első négy évben tapasztalt folytonos vízhiánnyal, illetve csapadékhiánnyal magyarázta.

A fásszárú-ültetvényekben Jurgutis és munkatársai (2021) véletlen blokkrendezésben háromszoros ismétléssel vizsgálták a tápanyagutánpótlás hatásait. A következő kezeléseket alkalmazták: trágyázás nélkül (kontroll), trágyázás szilárd erjesztési maradékkal és folyékony erjesztési maradékkal. Két trágyázási arányt alkalmaztak, 85 és 170 kg N/ha-t mind a szilárd, mind a folyékony erjesztési maradékkal történő trágyázás esetében. A 170 kg N/ha dózist a az EU nitrát direktívája alapján a maximálisan lehetséges műtrágyázási arányként választották, a 85 kg N/ha műtrágyázási arányt pedig az alacsonyabb trágyázási dózisként. A folyamatos, hosszú távú trágyázás javította a talaj tulajdonságait a felső 0-10 cm-es rétegben a humusztartalom, a nitrogén tartalom és a pH tekintetében. A humusz a kontrollkezeléshez képest növekedett (+ 12-16 rel. %) a szilárd erjesztési maradék kezelés esetén, míg a folyékony erjesztési maradék esetében 7-15 rel. %-os növekedés tapasztalható a 170 kg N/ha-os trágyázása mellett. Az összes nitrogén mennyiség tekintetében 12%-os és 20%-os növekedést értek el az erjesztési maradék kijuttatás mellett a kontrollhoz képest. Eredményeik azt jelzik, hogy a trágyázás pozitív hatással volt az ültetvények terméshozamára és mind a szilárd, mind a folyékony erjesztési maradék kijuttatásnak hosszú távon pozitív hatása van.

A nitrogén utánpótlás hatásairól változatos eredményeket közöl Dimitriou & Mola-Yudego (2017). Számos faktort határoznak meg, pl.: az ültetvény kora, telepített fajta, a talaj tápanyagellátottsága, tápanyag-utánpótlás módja, rendszeressége, illetve ezek kombinációja. Vizsgálatukban megállapítják, hogy szisztematikus összefüggés feltárásához nagyobb vizsgálati minta szükséges. Legjobb eredményeket nitrogén trágyázás esetén a lombkorona záródását követő kijuttatással érték el fiatal ültetvényen. A lombkorona záródását megelőző kijuttatás a gyomosodást is fokozza, így kisebb arányban hasznosul a nitrogén. Idősebb ültetvényen kevésbé jelentős növekedést tapasztaltak. A szerzők kiemelik a nyárok nitrogénfelvevő képességét, bár saját eredményeik szerint kimosódás is megfigyelhető, ezért további vizsgálatok szükségesek a folyamatok pontos megértéséhez.

Boreális klímaregióban, szabadföldi kísérletben vizsgálta DesRochers és munkatársai (2006) három nemesnyárfajta növekedését mintegy 27 különböző arányú és dózisú NPK műtrágya kezelés mellett. Megállapították, hogy az ammónium-nitrát nem alkalmas tápanyag-

utánpótlásra nyár ültetvények esetében, mivel a növekvő dózisok csökkenő növekedést és visszaeső fiziológiai mutatókat eredményezett. Ezt a jelenséget az ammónium-nitrogén toxicitásával, a szárazságtűrőképesség csökkentésével, illetve a nem megfelelő környezeti körülményekkel (szárazság, bázikus talaj) magyarázták és javasolták inkább a nitrát-formák használatának vizsgálatát. A foszfor kijuttatás nem gyakorolt hatást az első éves növekedés esetén, míg a kálium trágyázás pozitívan befolyásolta a növekedést. A második vegetációs időszakban a foszfor-trágyázás erőteljesebb növekedést indukált.

Netzer és munkatársai (2018) a foszfor trágyázás hatását vizsgálták a *P. × canescens* ültetvényben és megállapították, hogy ezek az állományok foszfor-felvevő rendszerek, mivel alkalmazkodtak az árterek talajának magas foszfor-ellátottságához. Az NPK-trágyázás bázikus kémhatású termőhelyeken, illetve száraz körülmények között bizonyult előnyösnek. Csak a harmadik tenyészidőszak után mértek erőteljesebb növekedést a kezelt parcellákon.

Két azonos korú és azonos fajtaival telepített ültetvényen vizsgálta Salehei & Maleki (2012) a talajtulajdonságok és a növekedés összefüggéseit. Vizsgálatuk során megfigyelték, hogy az ültetvények magassági növekedése és a talaj agyagfrakciója negatív, valamint a felvehető foszfor-tartalma között pozitív korreláció jelentkezik. Véleményük szerint ez erdei ökoszisztémákban a lombhullásból és az avar bomlásából visszakerülő tápanyagok, illetve az egyes elemkörforgalmak dinamikus reakciója a változásokra fenntartja a növekedéshez szükséges készleteket. Mindennek ellenére a fák magassági növekedésében pozitív hatást eredményez a nitrogén, foszfor kijuttatás.

A felvehető foszfor-készlet és magassági növekedés pozitív korrelációját írja le Heilig és munkatársai (2022), egy gyenge termőhelyi adottságú energetikai ültetvényen. A két vizsgált klón összehasonlítása során azt tapasztalták, hogy azok reakciója azonos a környezeti paraméterekre. A vizsgálati területen magasabb agyagtartalom mellett nagyobb hozamot mértek. Ezzel ellentétben Tufekcioglu és munkatársai (2005) éppen ellenkező lefutású összefüggést tártak fel. Ennek oka elsődlegesen az eltérő fizikai talajféleségben keresendő. Az előbbi publikációban homok, illetve homokos vályog fizikai féleség az uralkodó textúra, addig az utóbbi cikkben finomabb szövetű talajokon végezték a vizsgálataikat. A durvább textúra kisebb víztartó és tápanyagszolgáltató képességű, míg a nagy agyagtartalom a nyárak gyökerezéséhez kedvezőtlen (levegőtlen, tömörödött) viszonyokat jelenthet. A felvehető foszfor és növekedés összefüggésében a két vizsgálat azonos összefüggést ír le.

Bergante és munkatársai (2010) különböző termőhelyi faktorok hatását értékelte a nemesnyár ültetvények szempontjából és elsődleges faktornak az ültetvény vízellátottságát találta. A csapadékmennyiség és eloszlás és az öntözés igen erősen befolyásolja a növekedést. Továbbá kiemelték, hogy a talaj víztartó, vízszolgáltató képessége is fontos szerepet játszik. Legkedvezőbbnek a vályogos szövetű talajokat találták. Virano Riquelme és munkatársai (2021) azt vizsgálták, hogy egy ültetvény és a művelése hogyan befolyásolja a feltalajban talajfizikai tulajdonságokat. Szántóföldi műveléssel összehasonlítva az ültetvények kedvezően hatnak a feltalaj tömörödöttségére, még a művelőutak keréknyomaiban is. Ez különösen fontos megállapítás, hiszen a javuló fizikai tulajdonságok jobb víz- és levegőgazdálkodást jelentenek, amik az egyes tápelemek nagyobb arányú hasznosulását teszik lehetővé.

A hulladékok vagy melléktermékek (szennyvíziszap, állattartó telepekről származó hígtrágya vagy egyéb üzemekből származó szilárd vagy folyékony erjesztési maradék) felhasználása a körforgásos gazdaság felé vezető intézkedés lehet. Athurson (2009) megállapította, hogy a biogázüzemi erjesztési maradékban, mint tápanyag-utánpótló és talajjavító anyagban rejlő lehetőségek túlnyomórészt pozitívnak tűnnek. A biogázüzemi erjesztési maradék általában nagy mennyiségű mineralizált N-t tartalmaz. Az erjesztési maradék kevesebb káros kórokozót hordoz (Furukawa & Hasega-wa, 2006) és alacsonyabb nehézfém-tartalmat mutat (Mukhuba et al. 2018), mint a nyers szarvasmarhatrágya, ami a hígtrágya felhasználással szemben az erjesztési maradékot részesítené előnyben. Ígéretes alternatívát jelent az ásványi műtrágyákkal szemben is, amelyek előállítása jelentős energiabefektetést igényel.

Szabó és munkatársai (2016) különböző melléktermékekkel, fahamuval és istállótrágyával folytattak kutatást. Az eredményeik azt mutatták, hogy a harmadik vegetációs időszak végéig nem volt jelentős különbség a kezelések között, ami összecseng DesRochers és munkatársai (2006) eredményeivel. Üvegházi kísérletben több növénnyel vizsgálták az erjesztési maradékkal történő trágyázásnak milyen hatásai vannak a növényi növekedésre, a fotoszintézisük hatékonyságára, a terméshozamukra és a beltartalmi mutatóikra. A nagyobb dózisú erjesztési maradék kijuttatása növeli a kelkáposzta antioxidáns kapacitását, az összes fenoltartalmat és az aszkorbinsavszintet a kontroll műtrágyázási tesztcsoportokhoz képest, de nem egyértelmű eredményeket mutat a hüvelyesek tápanyagszintjére nézve (Lee et al. 2020). Doyeni és munkatársai (2021) szerint a tartós erjesztési maradék kezelés sem okoz jelentős változást a kísérleti terület pH-jában, csak enyhe savanyodás figyelhető meg. A felvehető foszfor és kálium mennyisége a kijuttatást követően emelkedik, továbbá a nitrogén- és humusztartalom is növekszik, de a vegetációs időszak alatt a kiindulási szint alá süllyednek az

értékek, azaz az állomány a kijuttatott tápelemeket felveszi, azok nem halmozódnak fel a talajban, illetve mosódnak ki a talajvízbe. Nabel és munkatársai (2017) a műtrágyák növekedéscsökkentő hatását hangsúlyozzák lágyszárú energetikai kultúrában.

Gulyás (2017) tenyészedényes kísérletben vizsgálta az erjesztési maradék hatását különböző lágyszárúakra. Megállapította, hogy az erjesztési maradék csírázásgátló hatású amíg a toxikus ammónium-nitrogén teljesen át nem alakul nitráttá, továbbá, hogy az erjesztési maradék kismértékben növelte a talaj sótartalmát.

Az erjesztési maradékból származó szervesanyag-többlettel együtt kedvezően befolyásolhatja a fák növekedését. Ezek az megállapítások közel állnak Dimitriou & Mola-Yudego (2017) eredményeihez. Megállapították, hogy a kis mennyiségű nitrogén-trágyázás hatása egyértelműen látható volt a fiatal ültetvényekben, azonban a homok fizikai féleségű talajokon – nitrogén-kimosódás következtében – ez a hatás nem érvényesült. Az idősebb ültetvényekben (10 év felett) az átmérő növekedése kevésbé módosult a trágyázás hatására. Ren és munkatársai (2020) arról számoltak be, hogy a fásszárú nemesnyár ültetvényen biogázüzemi erjesztési maradék és bioszén alkalmazása a talaj mikrobiális közösségeiben növelte a funkcionális gének arányát. Ezek a szén, nitrogén, illetve foszfor körforgásában játszanak szerepet. A fák növekedését javító hatás nemcsak a trágyázás közvetlen tápanyagkijuttatásból, hanem az egyes elemkörforgalmak serkentéséből származó felvehető tápanyagtöbblet eredménye.

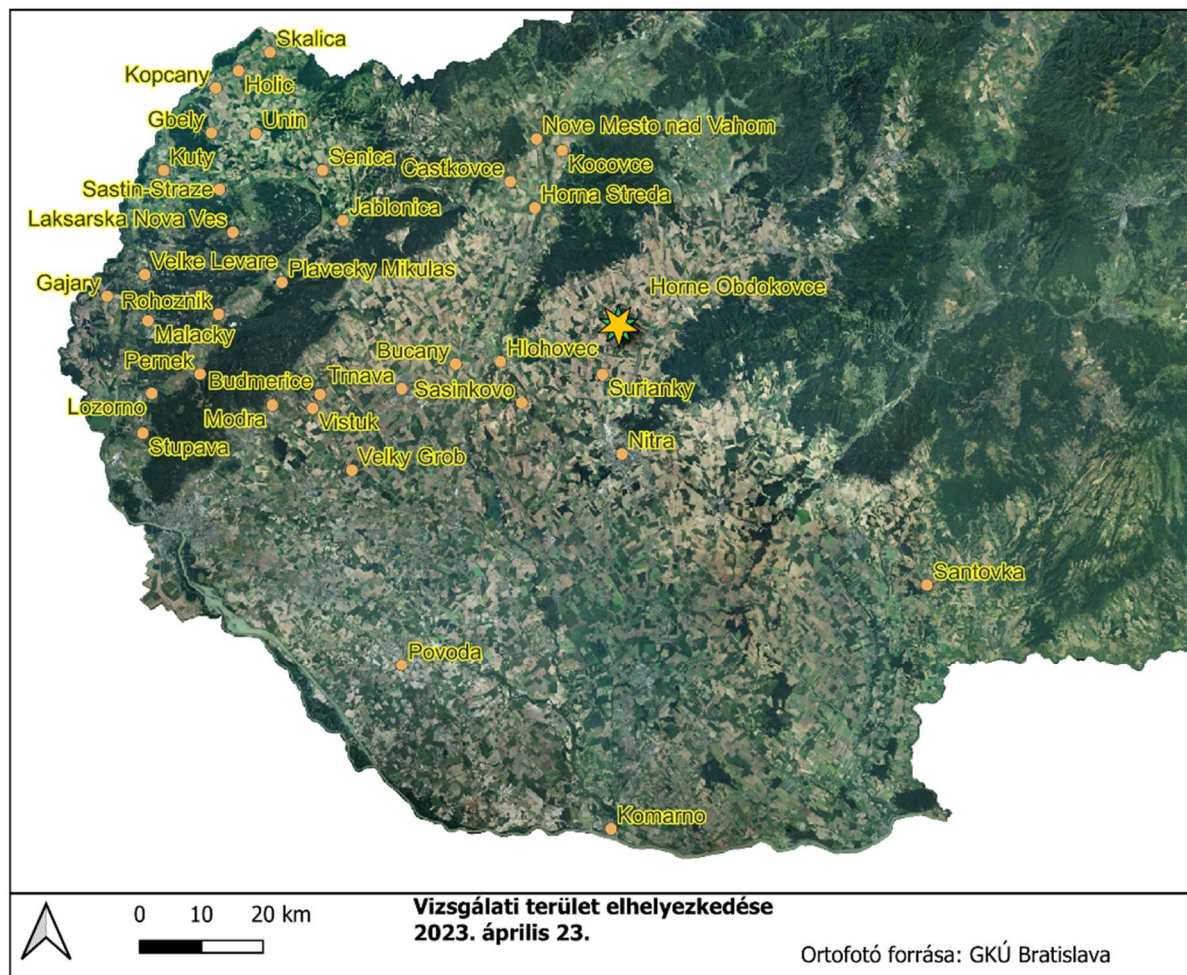
Slepetiene és munkatársai (2020) jelentése megerősítette, hogy a tápanyagszegény területeken érdemes a tápanyagellátására, utánpótlásra összpontosítani. Kiemelték a szilárd erjesztési maradék talajjavítóanyagként való felhasználásának előnyeit, különösen az erodált, kötöttebb talajokon, ahol kimagaslóan pozitív hatással volt a termés mennyiségére és minőségére.

3 A vizsgálatok módszerei

3.1 A vizsgálati terület elhelyezkedése

3.1.1 A vizsgálati terület elhelyezkedése és általános jellemzése

A vizsgálati terület Szlovákiában, a Győri-medence (Kisalföld és peremvidéke) nagytáj, Nyitra-Barsi-halomvidék középtáj, Nyitrai-hátság kistáj területén helyezkedik el, Horné Obdokovce (Felsőbodok) községhatárban (2. ábra). A Tájat nyugatról és északnyugatról a Vágmenti Inóchegység, északról, északkeletről a Báni-öblözet kistáj, keletről a Közép-Nyitramente kistáj, illetve a Tribecs-hegység, délről és délnyugatról a Mátyusföld határolja. A tájbeosztás Hevesi (2001) rendszerét követi.



2. ábra: Nyugat Szlovákia térképe, csillaggal jelölve a vizsgálati terület elhelyezkedése (Horné Obdokovce)

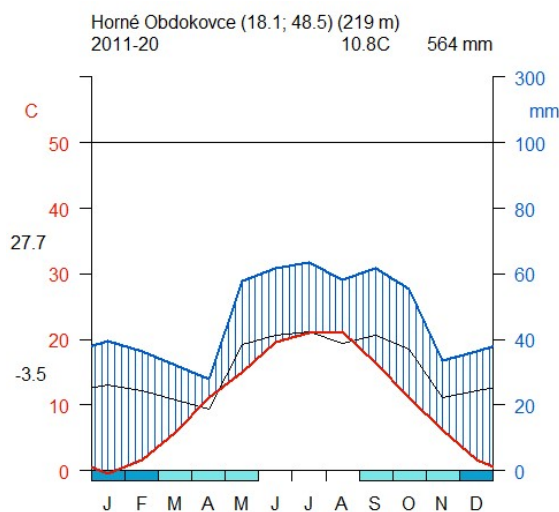
A Nyitra folyó mentén található lösszel fedett hordalékkúp-hátság alkotja a kistájat. Jellemzően kisebb patakok, vízfolyások osztják völgyekre és dombokra a tájat. Vertikálisan 100 m és 300 m tengerszint feletti magasságon fekszik.

A természetes növénytakarót a magasabb térszíneken gyertyános-kocsánytalan tölgyesek jelentik, az alacsonyabb térrészekben cseres-tölgyesek jellemzőek (Fekete et al. 2016). A táj déli, közel sík részein száraz gyepek, a vízfolyások mentén nedves rétek, esetenként égerligetek alakultak ki. Jelentősen átformálta az emberi tevékenység a potenciális vegetációt, szántóföldek dominálnak a tájon, legelők jelennek még meg, illetve jellegtelen kultúrerdők is előfordulnak (Rolecek 2005).

A magasabb térszíneken erózió által eltérő mértékben érintett erdőtalajok, illetve barnaföldek uralkodnak, a déli, alacsonyabban fekvő térrészekben megjelennek a mezőségi talajok is. A szélesebb völgyekben a réti talajok, illetve lejtőhordalék talajok is megtalálhatóak. A Nyitra folyó mentén öntéstalajok is előfordulnak (Fischer et al. 2008).

A Köppen-Geiger klíma osztályozási rendszerben a régió klímája a Cfb csoportba tartozik, azaz mérsékeltövi óceáni klíma, ahol nincs száraz évszak, de a nyarak melegek. Az évi középhőmérséklet 9,0 °C körüli, az éves csapadékösszeg 600-700 mm (Melo et al. 2013). Az erdészeti klímaosztályozás (Führer et al. 2011) a gyertyános-tölgyes (Forestry Aridity Index (FAI): 5,49) az 1991-2021 klímaintervallumon.

A vizsgálati terület környékére vonatkoztatva az E-OBS rácspontra interpolált klimatikus adatbázis utolsó 10 évre vonatkozó adatai (Cornes et al. 2018) alapján a korábban leírtaknál melegebb, illetve szárazabb aktuális időjárást jeleznek (3. ábra). A Walter-Lieth-féle klímadiagrammon látható, hogy a süllyesztett csapadékgörbe (vékony fekete vonal) a hőmérsékleti görbe alá metsz április, illetve június és augusztus hónapokban, ezzel aszályveszélyes időszakokat jelezve.

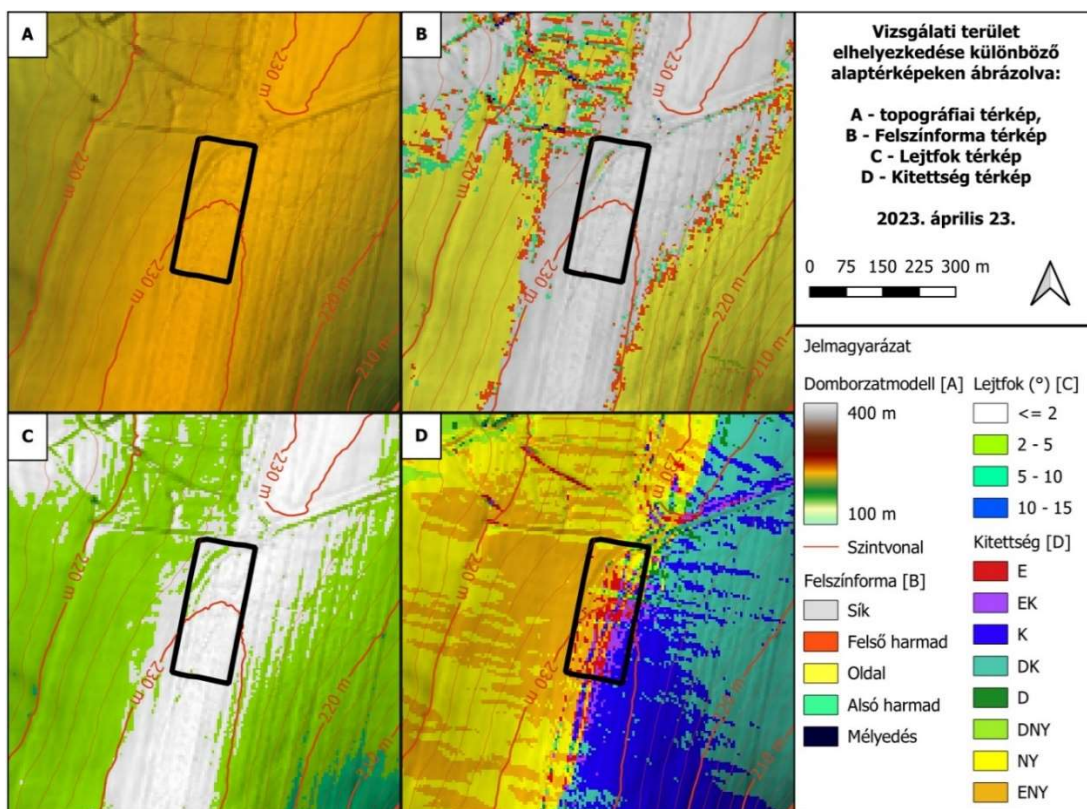


3. ábra: A vizsgálati terület utóbbi 10 év szerinti klimatikus adottságai bemutató Walter-Lieth-féle klímadiagramm

3.1.2 A kísérleti ültetvény leírása

Horné Obdokovcétól északkeletre egy széles dombháton plató fekvésben található a kísérleti terület, amely egy 106 ha-os iparicélú nemesnyárültetvény északnyugati sarkán helyezkedik el. Az északi oldalán egy középkorú csertölgy erdőállomány található, a nyugati oldalán mezőgazdasági művelés alatt álló tábla, a további oldalakon az ipari célú ültetvény határolja. Az ültetvény az IKEA Industries Malacky tulajdonában áll. A vizsgálatokat a Dendromass4Europe (D4EU) projekt keretein belül végeztem el.

A vizsgálati terület domborzati adottságait 5 m-es pixelfelbontású digitális domborzatmodell (DDM) számítógépi feldolgozásával elemeztem. A 4. ábra mutatja be az így kapott különböző tematikus térképeket. Az 'A' jelű térképen látható, hogy 227,5 m és 232,5 m tszfm. között helyezkedik el a kísérleti terület. A 'B' jelű térképen a geomorphon módszerrel (Stepinski & Jasiewicz 2011) megállapított felszánformák jelennek meg. A kísérlet teljes egésze sík kategóriába esik. A 'C' jelű térképen a terület lejtésviszonyait ábrázoltam. A terület nagyrésze 2° (5%) alatti lejtésű, helyenként magasabb dőlésfokot is detektáltam a DDM alapján. A hegyhát-nyeregfelületi helyzetből adódóan a kitettség változatos, bár a sík felszínforma miatt kevésbé érezteti hatását. A DDM-et a Szlovák Köztársaság Geodéziai, Térképészeti és Kataszteri Hivatala (ÚGKK 2022) biztosította.



4. ábra: A vizsgálati területet és környezetét ábrázoló tematikus térképek [A] – topográfiai térkép, [B] felszínforma térkép, [C] – lejtők térkép, [D] – kitettség térkép

Az ültetvényt 2019. márciusában telepítették. A telepítést megelőzően 2017. nyarán történt egy előzetes termőhelyfeltárás, amelynek alapját kézi Edelman-fúró segítségével létesített talajszelvény képezte. A szelvény leírását az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: Az előzetes termőhelyfeltárás során leírt szelvény helyszíni adatai

Szintjel	Mélység (cm)	Szín (nedves)	Fiz. talaj-féleség	Mész-tartalom	Kiválás	Egyéb
Ap	0-30	10YR 3/4	vályog	-	-	szántott
Bt	30-70	10YR 5/4	vályog	-	agyaghártya	-
Btk	70-90	10YR 5/6	vályog	(+)	agyaghártya, gyenge mészkiválás	-
Ck	90-130	10YR 6/4	vályog	+++	mészkonkréciók	lössz

A szelvényből genetikai szintenként gyűjtöttünk mintákat, amiket a Tanakajdi Talajvédelmi Laboratóriumban vizsgálták, a laboreredményeket a 2. táblázat mutatja be.

2. táblázat: Az előzetes termőhelyfeltárás talajszelvényének laboratóriumi adatai (DH-durva homok, FH – finom homok, I – iszap, A – agyag frakciók)

Szintjel	Mélység (cm)	pH(H ₂ O) (-)	Mész (%)	Humusz (%)	AL-P ₂ O ₅ (mg/100g)	AL-K ₂ O (mg/100g)	DH (%)	FH (%)	I (%)	A (%)
Ap	0-30	7,3	0,3	1,7	24,7	15,9	1	13	59	27
Bt	30-70	7,6	0,0	0,9	3,3	12,7	0	13	54	33
Btk	70-90	7,7	0,6	0,3	-	-	0	12	58	30
Ck	90-130	8,1	16,0	-	-	-	1	12	63	24

Az uralkodó talajképző folyamatok a humuszosodás, kilúgzás, agyagvándorlás. A felső szántott humuszos Ap szintet egy agyagfelhalmozódási szint követi, amelyben a szerkezeti elemek felületét agyaghártya borítja. A következő szintben az agyaghártyák mellett a pórusokban mészkiválás jelenik meg. Az alapkőzet lösz, amelyben kisebb mészkonkréciók találhatók.

A helyszíni leírás, ill. a laboratóriumi vizsgálatok alapján a szelvényt a hazai genetikus szemléletű osztályozás (Jassó, 1989, Stefanovits et al. 2010) szerint a Közép- és délkelet-európai barna erdőtalajok fő típusába tartozó nem agyagbemosódásos barna erdőtalaj típus nem podzolos altípusába soroltam. Az erdészeti osztályozási rendszer (ÁESZ 2004, Szodfridt 1993) szerint a barna erdőtalajok fő típusába tartozó agyagbemosódásos barna erdőtalaj, típusos altípusa.

Diagnosztikus szemlélettel vizsgálva a szelvényt 0-30 cm között egy humuszszegény talajszint írható le, amit 30-70 cm között egy agyagfelhalmozódási talajszint követ, 90 cm alatt erősen karbonátos talajanyag található.

A diagnosztikus szemléletben megújított genetikus osztályozás (Michéli et al. 2018) szerint közép mélyen erősen karbonátos, sekélyen telített, humuszos, agyagbemosódásos talaj (szántott, vályog).

Hasonló képet mutat, ha a World Reference Base for Soil Resources (WRB) (IUSS Working Group WRB 2022) diagnosztikai kritériumai alapján vizsgáljuk a szelvényt. A 30-70 cm közötti szint argic szintként (horizon) írható le, alatta 90 cm-től calcic szintként (horizon) helyezkedik el.

A nemzetközi diagnosztikus WRB osztályozás szerint Endocalcic Luvisol (loamic, aric, cutanic, epic, humic) talajcsoportba soroltuk.

A szántóföldi termőhelykategória: II. Barna erdőtalajok. A megadott tápanyagellátottsági kategóriák alapján a N ellátottsága (humusztartalom alapján) közepes, P ellátottsága közepes és a K ellátottsága gyenge.

3.1.3 Kezelések leírása

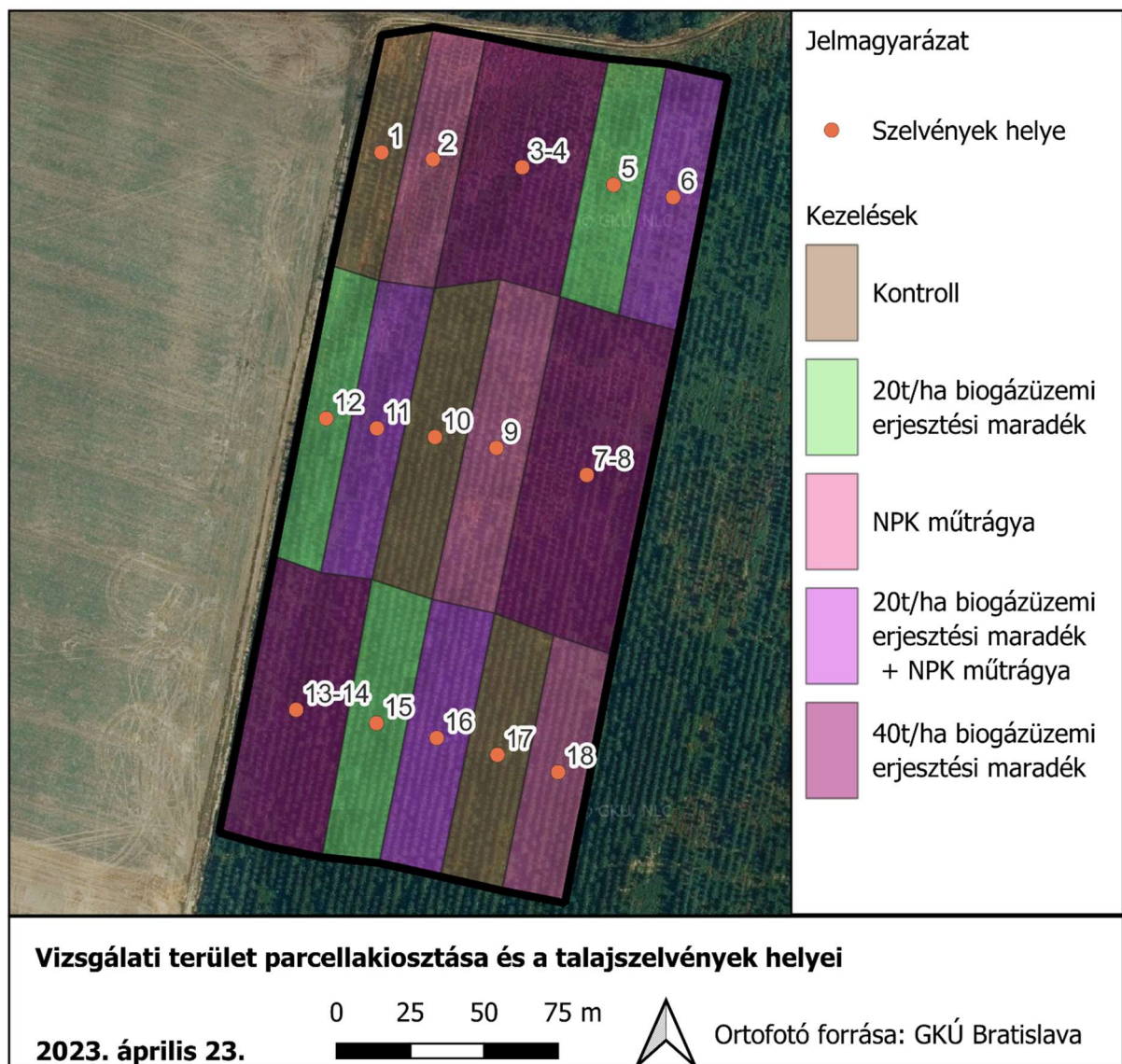
A kísérlet tervezése során lehetőség nyílt a műtrágyák alkalmazása mellett egy biogázüzemi erjesztési maradék (EM) használatára is. A műtrágya típusa NPK (16-16-16), az erjesztési maradék kémiai paramétereit a következők: szárazanyag tartalom 2,64 m/m %; pH 8,0; N (összes) tartalom 0,42 m/m %; P₂O₅ tartalom 0,05 m/m %; K₂O tartalom 0,52 m/m %; nehézfémeket, toxikus elemeket elenyésző mértékben tartalmaz.

Az egyes kezelések dózisa a kijuttatható maximális mennyiségű nitrogén-trágya (170 kg/ha), illetve az egyes trágyák nitrogén tartalma alapján kerültek meghatározásra (3. táblázat), figyelembe véve az Európai Tanács nitrát rendeletét. NPK műtrágyából 287,5 kg/ha-os dózist alkalmaztunk. A kijuttatás emelkedő makrotápelem-tartalmakat jelent, kivéve a foszfort, ahol a legnagyobb dózis a 20 t/ha erjesztési maradék + NPK kezelés esetén volt.

3. táblázat: Az egyes kezelések makrotápelem-tartalmai (EM – erjesztési maradék)

Kezelés	Kontroll	NPK	20t/ha EM	20 t/ha EM + NPK	40 t/ha EM
N-tartalom (kg/ha)	0	46	84	130	168
P-tartalom(kg/ha)	0	46	10	56	20
K-tartalom(kg/ha)	0	46	104	150	208

A kezelések véletlen blokk elrendezésben valósultak meg (5. ábra) háromszoros ismétléssel. A kivitelezés első lépésként az erjesztési maradékot ütközőlapos hígtrágyaszóróval juttatták ki, majd tárcsás műtrágyaszóróval a műtrágyát. A kijuttatást 25 cm mélységű talajforgatás követte, ezzel bedolgozva a kijuttatott anyagokat a talajba. Összesen 15 parcellát alakítottunk ki, az ábrán szereplő szomszédos 40 t/ha-os erjesztési maradék kezelések (azonosító: 3-4; 7-8; 10-14) páronként összevonásra kerültek.



5. ábra: A tápanyag-utánpótlási kísérlet vázrajza, feltüntetve a talajszelvények helyét

Az ültetést kétsoros hasítékképző ültetőgéppel végezték (6. ábra). Az ültetési anyag *Populus × canadensis* Moench 'Vesten' fajtájú, 1,5 m hosszú, csúcsrügynélküli karódugvánnyal történt. Az ültetési hálózat 3,0 m × 2,0 m-es, az ültetés mélység 0,6 m volt. A hektáronkénti tőszám 1 667 db/ha. Az egyes kísérleti parcellák mérete nagyjából 1 400 m², ami 230 fát jelent kezelésenként.



6. ábra: A biogázüzemi erjesztési maradék kijuttatása [A] és az ültetőgépes ültetés folyamata [B] (Heilig Dávid, 2019)

A 'Vesten' fajtát az INBO (Research Institute for Nature and Forest) nemesítette ki 1978-ban, majd 2002-ben került az Európában alkalmazható klónok listájára. Az euramerikai nyárok közé sorolandó, mivel szülei *P. nigra* és *P. deltoides* fajok klónjai. A 'Vesten' nőivarú, egyenes törzsű, oszlopos koronájú, ritkán villásodó, közepes számú, többségében kisátmérőjű oldalágakat fejleszt. Geraardsbergen (Hollandia) közelében április végén fakaszt lombot és a rügyképzés szeptember végén zárul. Az átlagos éves átmérőgyarapodása 8,2 és 10,5 cm közé esik 8,0 m x 8,0 m-es hálózatban telepítve, ezzel az európai palettán az igen gyorsan növény nemesnyár fajták közé sorolandó. A 'Vesten' klón fasűrűsége 410 kg/m³ (abszolút száraz állapotban). Növényvédelmi szempontból kellően ellenálló levélrozsdásodás, *Marssonina*-s levélfoltosság, bakteriális kéregrákkal szemben, illetve a gyapjas tetvek károsítását is jól tolerálja. 8 000 tő/ha-os tőszám mellett – energetikai céllal telepítve – kétéves vágásfordulóval kezelve a növedéke hektáronként 16 atro tonna volt az első három vágásforduló átlagaként (Steenackers & de Clercq 2020).

Az ültetvény fenntartása során nem történt sem herbicid, sem peszticid kijuttatás, illetve sem öntözés, sem további tápanyag-utánpótlás. Évente kétszer ápolták a sorközöket (tárcsázás) a gyomosodás visszafogására. Az első vegetációs időszakot követően történt törzsalakítás, ún. egyszálra metszés, aminek során az esetleg képződő oldalágakat a fa palástja mentén visszametszették, ezzel elősegítve az intenzívebb magasság növekedést, illetve a törész faanyagminőségének javulását (göcsösség csökkentése). A vizsgált időszakban jelentős károsítás (vad, rovar) nem történt az ültetvényen.

3.2 Felmérés módszerei

3.2.1 Terepi talajvizsgáló módszerek

Az első vegetációs időszakot követően 2020. februárjában légkalapácsos ablakos mintavevőszondával létesítettem parcellánként 1 db 1 m mélységű talajszelvényt, amelynek elkészítettem a helyszíni leírását az erdészeti gyakorlatnak megfelelően (ÁESZ 2004, Bellér 2000). A szelvények helyét az egyes parcellák közepére tűztem ki. A szelvények genetikai szintjeit rögzítettem, majd először szisztematikus mintázással (25 cm-enként) bolygatatlan mintavevőhenger segítségével mintáztam, szintenkénti ismétlés nélkül. Ezt követően a leírt genetikai szintenként is mintát gyűjtöttem a laboratóriumi talajvizsgálatokhoz. A parcellákról Edelman-típusú talajfúróval három mélységből (0-25, 25-50 és 50-75 cm) 20 részmintából készített átlagmintát készítettem, amelyen tápanyagvizsgálatokat folytattam.

A mintavételt a 2021-es vegetációs időszakot követően 2022. februárjában megismételtük. A 0-25, 25-50 és 50-75 cm-es mélységekből, szintén 20 db részmintából álló átlagmintákat kevertem parcellánként, amiken tápanyagvizsgálatokat folytattam. A bolygatatlan mintavételt és szelvényleírást nem ismételt meg.

A talajtípusok osztályozását négy rendszer szerint végeztem el. Elsőként a hazai genetikai osztályozás szerint soroltam be a feltárt szelvényeket (Jassó 1989), majd az erdészeti osztályozást is végrehajtottam (ÁESZ 2004, Szodfridt 1993). A következő lépés volt a diagnosztikus szintek meghatározása a hazai diagnosztikus szemléletben megújított genetikai osztályozás alapján (Michéli et al. 2018). Végül a WRB nemzetközi osztályozás (IUSS Working Group WRB 2022) által definiált szinteket (horizon) és talajanyagokat (material) írtam le és a kulcs alapján besoroltam reference soil group-ba a vizsgált szelvényt.

3.2.2 Laboratóriumi talajvizsgáló módszerek

A laboratóriumi vizsgálatokat a Soproni Egyetem Környezet- és Természetvédelmi Intézetének Talajlaboratóriumában végeztem el. Az eltérő metodika mentén gyűjtött mintákon különböző vizsgálatok alá estek. Bellér (2000) által megadott módszertani leírást követtem.

A bolygatatlan hengermintákból térfogattömeget határoztam meg. A genetikai szintenként vett mintákból a talajkémiai alapsort, azaz 1:2,5-ös vizes szuszpenzióban kémhatást ($\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$) (Motsara & Roy 2008), Scheibler-féle kalciméterrel mésztartalmat, a képlékenység és hígfolyság határán álló talajpépből elektromos vezetőképesség mérés alapján a vízzoldható összes sótartalmat, acidi-alkalimetriai úton a fenolftalein lúgosságot, illetve hidrolitos

savanyúságot (y_1) (Bellér 2000). Walkley & Black (van Reeuwijk 2002) módszerén alapuló humusz-tartalom meghatározást végeztem. A talajfizikai vizsgálatok közül a Köhn-féle pipettás módszert alkalmazva mechanikai szemcseösszetételt határoztam meg (Buzás 1990). Az átlagminták esetében $pH(H_2O)$, mésztartalom, y_1 , humusz-tartalom, felvehető kálium (AL- K_2O) és felvehető foszfor (AL- P_2O_5) méréseket emissziós lángfotometriás, illetve UV/VIS spektrofotometriás úton végeztem (Egnér et al. 1960).

A rétegvastagság, térfogattömeg és az adott elemtartalom ismeretében parcellánként számítható a hozzátartozó teljes készlet, aminek az abszolút változása ilyenformán nyomon követhetővé válik. A humuszkészletet t/ha-ban, a felvehető foszfor és kálium készleteket pedig kg/ha-ban adom meg.

3.2.3 Faállomány felmérés módszerei

A faállomány felmérése egyszerű, nem destruktív erdészeti módszereken alapszik. Minden év vegetációs időszakát követően, lombhullás után, végeztem a felvételeket, aminek során mellmagassági kerületet (1,3 m magasságban) mértem mm beosztású szalag segítségével (mm pontossággal). A mért kerület adatokat π -vel osztva, azaz kör keresztmetszetet feltételezve, mellmagassági átmérőt ($d_{1,3}$) számítottam. A famagasságot teleszkópos magasságmérő segítségével (dm pontossággal) közvetlenül olvastam le (h).

A szegély-hatás elkerülése végett a parcellák középső három sorát mértem fel, így parcellánként 126-180 db fát. Összességében 2 659 db fát tartalmaz a minta. Rögzítettem a hiányzó, illetve elhalt egyedek helyét is, hogy a megmaradási százalék kiszámítható legyen.

Azokon a parcellákon, ahol a megmaradási százalék nem érte el a 80%-ot további méréseket nem folytattam. Ezekben az esetekben a megnagyobbodott növényt erősen befolyásolja a növekedést, ezzel a kezelések hatását jelentősen torzítja. Ha a kiértékelés során ezek a parcellák is a minta részét képeznék, a kezelések hatása nem lenne értelmezhető kellő biztonsággal.

A felszín feletti fatömeg (dendromassza) (m) meghatározása egyedi fatérfogat-beclsésen alapul. Az átmérő és a famagasság ismeretében a Király-féle fatömeg-beclső függvény (Sopp & Kolozs, 2013) kiszámítja az adott egyed vágáslap feletti összes fatérfogatát (v) (1. egyenlet). Az adott egyenlet még nincsen a vizsgált klónokhoz parametrizálva, ezért egy másik klón (P. 'I-214') paramétereit használtam fel, ahol $p_1 = 341.13687$, $p_2 = -0.13816$, $p_3 = 14.43934$, $p_4 = 15.62451$, $k = 4$.

$$v = (p_1 + p_2 \times d_{1,3} \times h + p_3 \times d_{1,3} + p_4 \times h) \times \left(\frac{h}{h-1,3}\right)^k \times \left(\frac{d_{1,3}^2 \times h}{10^8}\right) \quad (1)$$

ahol:

v	:	vágáslap feletti összes fatérfogat [m ³];
$d_{1,3}$	:	mellmagassági átmérő [cm];
h	:	famagasság [m];
p_1, p_2, p_3, p_4	:	illesztett paraméterek [-];
k	:	kitevő [-].

A Király-függvény kisméretű fákra, illetve azokra, melyek még nem érték el a mellmagasságot, azaz nincs mellmagassági átmérőjük, nem ad megbízható eredményt. Az első év adatainak értékeléséhez egy magasságon alapuló hatványfüggvény (2. egyenlet) formájú becslőegyenletet (Heilig 2022) alkalmaztam, ahol $a = 7,0657$ és $b = 3,8854$.

$$v_{1 \text{ éves}} = a \times h^b \quad (2)$$

ahol:

$v_{1 \text{ éves}}$	:	1 éves fa vágáslap feletti összes fatérfogata [m ³];
$a; b$	:	regressziós paraméterek [-];
h	:	famagasság [m];

A parcellákra jellemző átlagértékeket szintén az erdészeti gyakorlatnak megfelelően számítottam (Veperdi 2012). Az átlagátmérő ($D_{1,3}$) az egyes átmérők négyzetes közepeként, az átlagmagasság a körlappal súlyozott átlagmagasságként (H) ált elő. A körlap (g) a mellmagassági átmérőből számított kör területét, a fa mellmagassági törzsmetszetének területét jelentette. A parcellánkénti dendromassza-készletet atro tonnában fejeztem ki az egyedek tömegének összegeként. A fajlagos, azaz hektáronkénti fatömeget (M) az előzőleg számított összeg, illetve az adott parcella területének hányadosaként kaptam (atro t/ha). Az adott értéket (D , H , M) elosztva az eltelt tenyészidőszakok számával adódott az átlagos átmérő- (I_D), magassági (I_H) és tömegnövekedés (I_M). A fatérfogat és a fasűrűség szorzataként számítottam az egyes fák földfeletti dendromasszáját.

3.3 Alkalmazott szoftverek, statisztikai módszerek

A terepen mért koordináták rögzítése, térképi ábrázolása, térképek szerkesztése, továbbá a területadatok számítása a Quantum GIS (QGIS.org 2023) szoftver 3.30.1 verziójával készült. A tematikus térképekhez szükséges raszter-elemzést is a QGIS szoftver funkcióival végeztem. Az adatokat a MS Excel táblázatkezelő szoftverben rendszereztem, tisztítottam, illetve egyes

számításokat, elemzéseket is ennek segítségével végeztem el, továbbá ábrakeresztésre is felhasználtam. A statisztikai analízist, ábrák szerkesztését R környezetben (R Core Team 2014) hajtottam végre.

A leíróstatisztikai jellemzők közül átlagot, szórást, standard hibát határoztam meg. A kísérlet kezeléseinek hatásait kétféle variánsanalízis segítségével vizsgáltam, amit post-hoc Tukey-teszt követett. A variánsanalízis során a kezelések és a felvételi évek, illetve ezen két tényező interakcióját vettem figyelembe, ha az interakciós hatás nem mutatott szignifikáns eltérést, akkor a tényezőket egymástól függetlennek tekintve futtattam le az elemzést. Az adatok normalitását Shapiro-Wilk-teszttel, míg a homoszkedaszticitást Levene-próbával ellenőriztem. A statisztikai tesztek eredményét $p \leq 0,05$ esetén tekintettem szignifikánsnak.

4 Eredmények és értékelésük

4.1 Talajvizsgálatok eredményei

A kísérleti területen feltárt szelvények igen nagy hasonlóságot mutattak. Különbséget egyedül az erózió hatására kialakult eltérő termőrétegvastagságok jelentettek (7. ábra). Az ábráról leolvasható, hogy a területen talajművelés nagyjából azonos mélységben (25 cm) történt. A kialakult agyagfelhalmozódási szint a szántott szint alatt található és a felszíntől számítva 60 és 80 cm közötti mélységben ér véget. Ezt a szintet az alapkőzet, azaz lösz követi. A szelvények egymáshoz viszonyított kis változatossága miatt az egyes szelvények külön-külön leírása helyett a 12. szelvényt, amely átlagos képet mutat a területről, ismertetem.



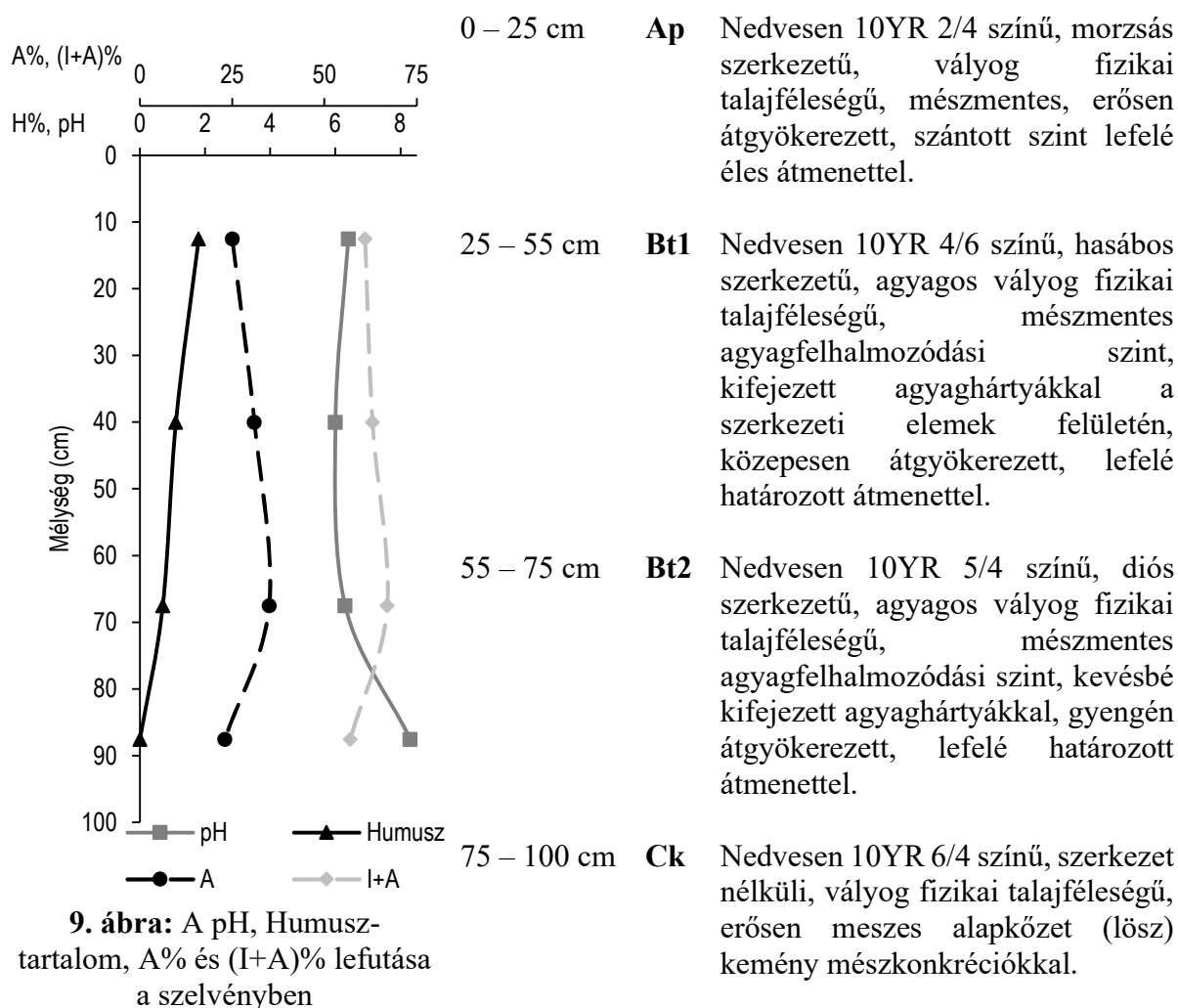
7. ábra: A vizsgálati területen feltárt 15 db szelvény képe (Heilig Dávid, 2020)

A 12. szelvény képét a 8. ábra mutatja be. Az [A] részképen jól látható az éles szinthatár a felső szántott réteg és az alatta található Bt agyagfelhalmozódási szint között. A [B] részkép 40-50 cm közötti mélységben mutatja meg az egyes szerkezeti elemek felületén található barna, selyemfényű agyaghártyákat, míg a [C] részképen 80 cm-es mélységben található kemény mészkonkréciókat emeltem ki.



8. ábra: A 12. szelvény fotója [A] és részletei [B] – határozottan megjelenik a szerkezeti elemek felületén az agyaghártya, [C] – mészkiválások, kemény konkréciók jelennek meg a lösz alapkőzetben (Heilig Dávid, 2020)

A 12. szelvény részletes, szintenkénti leírását a következő bekezdésben foglaltam össze. A 9. ábra az egyes laboratóriumi vizsgálatok eredményének mélység szerinti változását mutatja be.



A szelvényből genetikai szintenként gyűjtöttem mintákat, amiket a Soproni Egyetem, Környezet- és Természetvédelmi Intézet Talajlaboratóriumában vizsgáltam meg. Az eredményeket a 4. táblázat ismerteti.

4. táblázat: A 12. szelvényből gyűjtött minták laboratóriumi analízisének eredménye

Szintjel	Mélység (cm)	pH (H ₂ O) (-)	Mész (%)	Összes só (%)	Fen. lúgosság (%)	y1 (%)	Humusz (%)	DH (%)	FH (%)	I (%)	A (%)
Ap	0-25	6,4	-	-	-	8	1,8	0	39	36	25
Bt1	25-55	6,0	-	-	-	8	1,1	0	37	32	31
Bt2	55-75	6,3	-	-	-	7	0,7	0	33	32	35
Ck	75-100	8,3	23,0	<0,02	nyom.	-	-	2	41	34	23

A helyszíni-, illetve laborvizsgálatok alapján megállapítható, hogy az uralkodó talajképző folyamatok a humuszosodás, kilúgzás, agyagvándorlás. A szelvényt a hazai genetikus szemléletű osztályozás szerint a Közép- és délkelet-európai barna erdőtalajok főtipusába tartozó agyagbemosódásos barna erdőtalaj típus, nem podzolos altípusába soroltam. Az erdészeti osztályozási rendszer szerint a barna erdőtalajok főtipusába tartozó típusos agyagbemosódásos barna erdőtalaj.

Diagnosztikus szemlélettel vizsgálva a szelvényt 0-25 cm között egy humuszszegény talajsztint írható le, amit 25-75 cm között egy agyagfelhalmozódási talajsztint követ, 75 cm alatt erősen karbonátos talajanyag található.

A diagnosztikus szemléletben megújított genetikus osztályozás szerint középmélyen erősen karbonátos, sekélyen telített, humuszos, Agyagbemosódásos talaj (szántott, vályog).

Hasonló képet mutat, ha a WRB diagnosztikai kritériumai alapján vizsgáltam a szelvényt. A 25-75 cm közötti szint argic horizon-ként írható le, alatta 75 cm-től calcic horizon található.

A nemzetközi diagnosztikus WRB osztályozás szerint Endocalcic Luvisol (loamic, aric, cutanic, epic, humic) a talajcsoportba soroltam.

Ezek alapján az előzetes termőhelyfeltárás során leírt szelvény igen hasonló képet mutatott a részletes feltárás során kapott eredményekkel.

4.2 Kezelések hatása a talajra

4.2.1 A kémhatás változása a vizsgált időszakban

Elsőként a kémhatás változásait mutatom be a 5. táblázaton keresztül, amelyben kezelésként, majd vizsgálati évenként csoportosítva látható az egyes rétegekben bekövetkező változás. A felső rétegben gyenge savanyodás figyelhető meg, ami 0,1.-0,3 pH egység csökkenést jelent. Ez a folyamat a telepített faállomány lombjának bomlása, illetve az intenzív mezőgazdasági tevékenység megszűnésének eredménye. A következő rétegben a kontroll parcella kivételével gyenge savanyodás figyelhető meg, míg a kontroll esetében egy gyenge pH emelkedés. Ebben a rétegben a kilúgzás már kisebb mértékben érezteti a hatását. A harmadik szintben nincs

trendszerű változás, 0,1-0,2 pH egységes változás előfordult pozitív, illetve negatív irányba is. Kiugró változást a 20 t/ha EM + NPK parcellák esetében tapasztaltam 0,4 egység csökkenést viszonylag magas SH mellett, amit mintavételezési vagy mérési hiba is okozhatott. A többi esetben az értékek közel változatlanoknak tekinthetők.

Kéttényezős varianciaanalízissel vizsgáltam a felső szintek kezelések hatására történő változását a felvételi évek között. Az interakciós hatás esetében nem találtam szignifikáns különbséget ($F(4, 20) = 0,096$; $p = 0,98$), ugyanez áll fenn a kezelések közötti különbségekre is ($F(4, 24) = 2,018$; $p = 0,12$) és az egyes évek között sem mutatkozott szignifikáns eltérés ($F(1, 24) = 1,509$; $p = 0,23$).

5. táblázat: A két vizsgált időpontban az egyes kezelések átlagos kémhatása vizes szuszpenzióban $\pm$ SH (EM – erjesztési maradék, SH – az átlag standard hibája)

Mélység (cm)	Kontroll		NPK		20t/ha EM		20 t/ha EM + NPK		40t/ha ME	
	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021
0-25	7,2	7,0	7,0	6,9	7,4	7,3	7,2	6,9	6,9	6,5
	$\pm 0,122$	$\pm 0,308$	$\pm 0,150$	$\pm 0,441$	$\pm 0,150$	$\pm 0,328$	$\pm 0,296$	$\pm 0,357$	$\pm 0,184$	$\pm 0,342$
25-50	6,7	6,9	7,0	6,9	7,1	7,0	6,9	6,7	6,8	6,6
	$\pm 0,472$	$\pm 0,482$	$\pm 0,150$	$\pm 0,187$	$\pm 0,250$	$\pm 0,269$	$\pm 0,541$	$\pm 0,433$	$\pm 0,313$	$\pm 0,326$
50-75	7,5	7,3	7,3	7,4	7,4	7,5	7,3	6,9	7,3	7,6
	$\pm 0,122$	$\pm 0,642$	$\pm 0,390$	$\pm 0,364$	$\pm 0,324$	$\pm 0,441$	$\pm 0,482$	$\pm 0,642$	$\pm 0,264$	$\pm 0,390$

4.2.2 A humusztartalom változása a vizsgált időszakban

A mélységgel folyamatosan csökken a humusztartalom a vizsgált szelvényekben (6. táblázat). A felső réteg humusztartalma az egyes kezelésekben igen hasonló 1,4-1,6%, illetve a vizsgálati évek között sincsen jelentős különbség. Egy esetben, az NPK kezelés két időpontja között van nagyobb eltérés kizárólag. A kéttényezős varianciaanalízis eredménye az interakciós hatás esetében ($F(4, 20) = 0,490$; $p = 0,74$), a kezeléseket hasonlítva ($F(4, 24) = 1,306$; $p = 0,30$) és az éveket elemezve ($F(1, 24) = 2,916$; $p = 0,10$), tehát minden esetben a szignifikáns szint alatt maradt a felső rétegben. A humusztartalom nem változott a vizsgálati időszak alatt a második rétegben sem. Az 50-75 cm közötti réteget vizsgálva szignifikáns különbséget találtam ($F(1, 24) = 18,415$; $p < 0,001$) az egyes évek között.

6. táblázat: A két vizsgált időpontban az egyes kezelések átlagos humusztartalma $\pm$ SH [%] (EM – erjesztési maradék, SH – az átlag standard hibája)

Mélység (cm)	Kontroll		NPK		20t/ha EM		20 t/ha EM + NPK		40t/ha ME	
	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021
0-25	1,5 $\pm 0,357$	1,5 $\pm 0,150$	1,0 $\pm 0,187$	1,5 $\pm 0,218$	1,5 $\pm 0,350$	1,6 $\pm 0,112$	1,4 $\pm 0,255$	1,5 $\pm 0,050$	1,6 $\pm 0,157$	1,6 $\pm 0,133$
25-50	0,6 $\pm 0,350$	0,8 $\pm 0,086$	0,9 $\pm 0,765$	0,7 $\pm 0,166$	0,5 $\pm 0,320$	0,7 $\pm 0,112$	0,5 $\pm 0,32$	0,6 $\pm 0,050$	0,9 $\pm 0,223$	0,8 $\pm 0,087$
50-75	0,2 $\pm 0,206$	0,7 $\pm 0,112$	0,2 $\pm 0,245$	0,6 $\pm 0,000$	0,2 $\pm 0,287$	0,7 $\pm 0,050$	0,4 $\pm 0,229$	0,6 $\pm 0,050$	0,5 $\pm 0,119$	0,7 $\pm 0,049$

A felső 25 cm-es rétegre vizsgálva a kezelések teljes humusztartalmát az interakciós hatásra nem mutat különbséget ($F(4, 20) = 0,516$; $p = 0,73$), külön faktorként vizsgálva a kezelés, szintén nem tapasztalok eltérést ($F(4, 24) = 1,528$; $p = 0,23$) sem a vizsgálati évek között ($F(1, 24) = 3,299$; $p = 0,08$). Abszolútértékben $47,0 \pm 3,12$ t/ha -ról $53,5 \pm 2,00$ t/ha -ra nőtt. A 25-50 cm közötti mélységben sem változott a készlet szignifikánsan sem a kezelések ($F(4, 24) = 0,705$; $p = 0,63$), sem az évek esetén ($F(1, 24) = 1,528$; $p = 0,23$). Trend szinten gyenge növekedés volt megfigyelhető $24,9 \pm 5,57$ t/ha-ról $27,8 \pm 1,45$ t/ha-ra. Az 50-75 cm közötti rétegben vizsgálva a teljes humuszkészletet, szignifikáns különbséget mutatnak a vizsgálati évek eredményei ($F(1, 24) = 17,680$; $p < 0,001$), de a kezelések között nem ($F(4, 24) = 1,370$; $p = 0,27$). A készlet $11,5 \pm 2,96$ t/ha-ról $24,3 \pm 1,02$ t/ha növekedett.

4.2.3 A felvehető foszfor tartalom változása a vizsgált időszakban

A felvehető foszfortartalmakat vizsgálva a legmagasabb szinteket a feltalajban találtam, a következő két rétegben nagyjából hasonló értékeket figyeltem meg, amelyek a felső rétegben mért értékek felei – nyolcadai (7. táblázat). A kijuttatás évében mért értékek magasabbak, mint a későbbi vizsgálatok eredményei. Nem rajzolódik ki egyértelmű trend a kijuttatott foszfor mennyiségével párhuzamosan, viszont a magas SH értékek jelzik, hogy az egyes parcellák adatai heterogének. A felső (0-25 cm) réteget kéttényezős varianciaanalízissel vizsgálva megállapítható, hogy az interakciós hatás nem szignifikáns ($F(4, 20) = 0,999$; $p = 0,43$), továbbá az évek között sem ($F(4, 24) = 1,289$; $p = 0,27$) és a kezelések között sem ($F(4, 24) = 0,447$; $p = 0,77$) találtam jelentős eltérést. A további rétegekben nem végeztem statisztikai vizsgálatot, mivel az eredmények nagyon hasonlóak. A kijuttatás trendje a következő sorrendet követi: kontroll, 20 t/ha EM, 40 t/ha EM, NPK és 20 t/ha EM + NPK. Ennek ellenére az NPK-t tartalmazó kezelések kisebb felvehető foszfor-tartalmat mutatnak, mint az EM-os kezelése, de még a kontrollnál is alacsonyabb értékeket ért el.

7. táblázat: A két vizsgált időpontban az egyes kezelések átlagos felvehető foszfor-tartalma $\pm$ SH [mg/100 g] (EM – erjesztési maradék, SH – az átlag standard hibája)

Mélység (cm)	Kontroll		NPK		20t/ha EM		20 t/ha EM + NPK		40t/ha ME	
	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021
0-25	19,0	16,2	15,8	14,2	26,9	16,8	16,5	14,5	23,5	14,0
	$\pm 5,849$	$\pm 4,243$	$\pm 5,179$	$\pm 5,993$	$\pm 12,368$	$\pm 6,515$	$\pm 0,850$	$\pm 1,566$	$\pm 6,111$	$\pm 2,290$
25-50	2,4	2,8	6,0	2,5	3,6	3,7	3,4	2,4	4,2	3,8
	$\pm 0,602$	$\pm 0,658$	$\pm 4,405$	$\pm 0,763$	$\pm 0,982$	$\pm 1,150$	$\pm 1,855$	$\pm 0,150$	$\pm 1,141$	$\pm 0,877$
50-75	3,6	2,7	10,9	3,5	2,9	5,0	3,1	3,0	3,2	3,1
	$\pm 0,150$	$\pm 0,229$	$\pm 9,083$	$\pm 0,320$	$\pm 0,576$	$\pm 2,618$	$\pm 0,283$	$\pm 0,374$	$\pm 0,585$	$\pm 0,579$

A felső 25 cm-es rétegre vizsgálva a kezelések teljes hektáronkénti felvehető foszfor készletét az interakciós hatásra nem mutat különbséget ($(F(4, 20) = 0,425; p = 0,79)$), külön faktorként vizsgálva a kezelést, szintén nem tapasztalok eltérést ($F(4, 24) = 0,446; p = 0,77$), sem a vizsgálati évek között ($F(4, 24) = 2,705; p = 0,11$). A felső rétegben a készletben csökkenés volt megfigyelhető 724 $\pm$ 110 kg/ha-ról 514 $\pm$ 52 kg/ha-ra változott a készlet. A 25-50 cm közötti rétegben 144 $\pm$ 29 kg/ha-ról 111 $\pm$ 15 kg/ha-ra csökkent, míg a legalsó rétegben 176 $\pm$ 57-ről 122 $\pm$ 16 kg/ha-ra.

4.2.4 A felvehető kálium tartalom változása a vizsgált időszakban

Majd minden esetben magasabb volt a felvehető kálium-tartalom a feltalajban, mint a mélyebb rétegekben az első vegetációs időszakot követően (8. táblázat). A második felvétel esetében ez megváltozott. Az első és második rétegek értékei hasonlóan alakultak. A felső rétegről elmondható, hogy a második felvétel során csökkent a foszfor-tartalma, addig a második réteg esetében növekedés tapasztalható. Ebben az esetben sem találtam trendszerű összefüggést a kezelések és a talaj foszfor-tartalma között. A mélyebben található rétegek változása nem nagymértékű. A kálium esetében nincsenek olyan mértékű különbségek, mint a foszfor esetében. A kéttényezős varianciaanalízist végezve a felső szintre a interakciós hatásra nem talált szignifikáns különbséget ($F(4, 20) = 0,411; p = 0,80$). A korábbiakhoz hasonlóan sem az évek ($F(1, 24) = 2,766; p = 0,11$), sem a kezelések között ($F(4, 24) = 0,488; p = 0,74$) nem tapasztalható jelentős különbség.

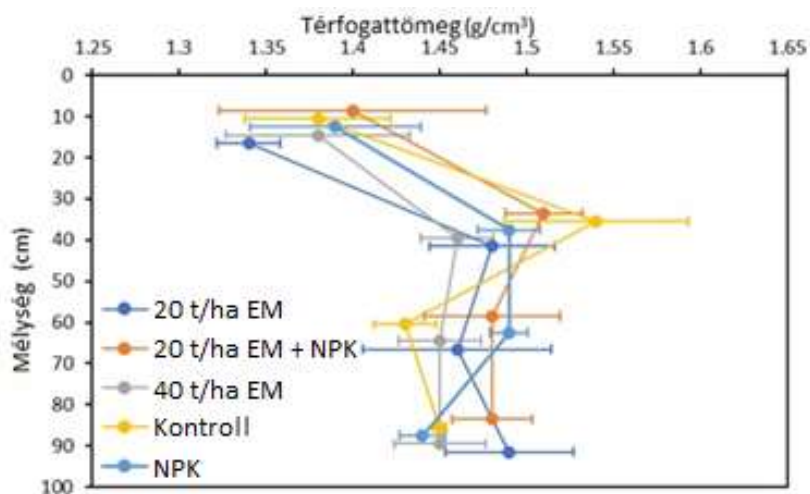
8. táblázat: A két vizsgált időpontban az egyes kezelések átlagos felvehető kálium-tartalma $\pm$ SH [mg/100 g] (EM – erjesztési maradék, SH – az átlag standard hibája)

Mélység (cm)	Kontroll		NPK		20t/ha EM		20 t/ha EM + NPK		40t/ha ME	
	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021
0-25	27,1 $\pm 2,860$	23,5 $\pm 2,407$	20,2 $\pm 1,845$	22,6 $\pm 3,942$	49,0 $\pm 36,444$	21,7 $\pm 1,433$	26,2 $\pm 5,543$	22,7 $\pm 2,621$	44,0 $\pm 20,521$	21,2 $\pm 1,991$
25-50	18,5 $\pm 2,045$	36,5 $\pm 19,301$	18,3 $\pm 1,632$	20,7 $\pm 0,658$	25,1 $\pm 8,780$	28,3 $\pm 9,718$	18,0 $\pm 0,857$	53,3 $\pm 40,845$	30,7 $\pm 14,285$	22,0 $\pm 2,781$
50-75	15,6 $\pm 1,368$	17,9 $\pm 2,621$	28,2 $\pm 14,949$	18,1 $\pm 0,737$	16,3 $\pm 2,209$	15,1 $\pm 1,738$	15,4 $\pm 2,125$	26,2 $\pm 11,091$	21,3 $\pm 4,943$	17,7 $\pm 1,438$

A felső 25 cm-es rétegre vizsgálva a kezelések teljes hektáronkénti felvehető kálium készletét az interakciós hatás nem mutatott különbséget ((F4, 20) = 1,005; p = 0,43), külön faktorként vizsgálva a kezelést, szintén nem tapasztaltam eltérést (F(4, 24) = 0,455; p = 0,77) sem a vizsgálati évek között (F(4, 24) = 1,297; p = 0,27). A felső rétegben a készletben csökkenés volt megfigyelhető 1277 $\pm$ 329 kg/ha-ról 864 $\pm$ 114 kg/ha-ra. A 25-50 cm közötti rétegben 926 $\pm$ 199 kg/ha-ról 1255 $\pm$ 275 kg/ha-ra nőtt, míg a legalsó rétegben 749 $\pm$ 113-ről 690 $\pm$ 74 kg/ha-ra csökkent. A változásokat kezelések szintjén vizsgáltam, ahol láthatóvá vált, hogy a kontroll és az NPK kezelés parcelláin gyenge fogyás, míg a további kezelések esetében erőteljes növekedés volt tapasztalható.

4.2.5 A kísérleti terület talajfizikai tulajdonságai

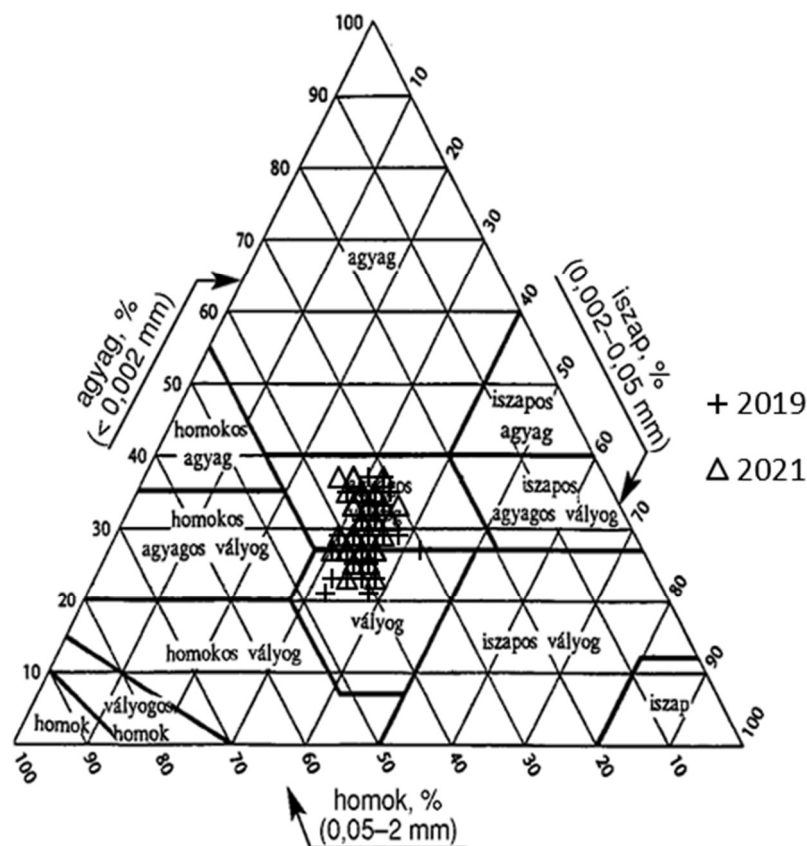
A térfogattömeg a teljes mintahalmazban 1,16-tól 1,62 g/cm³-ig terjedt. Alacsonyabb értéket jellemzően a felső rétegben tapasztaltam, míg magasabbat a mélyebb rétegekben (10. ábra). A felső réteg alacsonyabb térfogattömege elsősorban a talajművelés eredménye, a mélyebb rétegek magasabb értékei az alacsonyabb átgökerezettség és az esetlegesen gépek hatására jelentkező tömörítés eredményei.



10. ábra: Az átlagos térfogattömeg (g/cm³) szintenként és kezelésenként, az osztorok az átlag standard hibáját jelölik (EM – erjesztési maradék).

Kéttényezős varianciaanalízissel vizsgáltam az egyes mélységek és kezelése közötti különbségeket. A interakciós hatás esetében inszignifikánsnak bizonyult a próba ($F(8, 75) = 1,986$; $p = 0,06$). A kezelések között sem találtam jelentős különbséget ($F(4, 83) = 1,334$; $p = 0,26$), de az egyes rétegek között szignifikáns eltérés mutatkozott ($F(2, 83) = 35,787$; $p < 0,01$). A felső réteg térfogattömege különbözött a két mélyebb réteg térfogattömegétől a post-hoc Tukey-teszt alapján.

A textúra háromszög alapján az egyes talajminták fizikai talajfélesége agyagos vályog, kisebb része vályog (11. ábra). A kéttényezős varianciaanalízissel vizsgálva az agyagtartalmat az interakciós hatás esetében nem volt jelentős eltérés ($F(8, 75) = 0,831$; $p = 0,60$) és ez teljesült a kezelések esetében is ($F(4, 83) = 0,160$; $p = 0,96$). Ha a mélység szerint vizsgáltam az eltéréseket, akkor szignifikáns különbséget eredményezett és a post-hoc Tukey-teszt mind a három réteg különbségét mutatta ki ($F(2, 83) = 37,110$; $p < 0,001$). Ha a vizsgálati évek szerint alkalmaztam az analízist, akkor szintén nem volt jelentős eltérés a kezelések között ($F(4, 24) = 0,962$; $p = 0,45$).



11. ábra: Az egyes mintavételek fizikai talajfélesége a mechanikai összetétel alapján az egyes felvételezési évek szerint csoportosítva

4.3 Kezelések hatása a faállományra

4.3.1 A megmaradás alakulása a vizsgálati időszak alatt

A megmaradási százalék számításának egyik célja, hogy a megváltozott növényterű parcellák adatai kiszűrhető legyenek a statisztikai elemzésből. A 80% alatti megmaradású parcellákat kiugró értéként kezelve kihagytam az elemzésből. A másik, hogy a hektáronkénti tőszám fogyás nyomon követhetővé váljon.

A 9. táblázatban mutatom be a kezelésekre jellemzői átlagos megmaradás értékeket. Az átlagos megmaradás 78% a kísérleti egészére tekintve. Az adattisztítást követően minden kezelésből kettő maradt vizsgálatra alkalmas és így az átlagos megmaradás 86%-ot ért el.

9. táblázat: A 2021-es vegetációs időszakot követő átlagos megmaradás $\pm$ SH kezelésként [%] (EM – erjesztési maradék, SH – az átlag standard hibája)

Kezelések:	Kontroll	NPK	20t/ha EM	20 t/ha EM + NPK	40t/ha ME
Megmaradás	81 $\pm$ 5,624	82 $\pm$ 0,981	80 $\pm$ 4,922	74 $\pm$ 8,237	75 $\pm$ 5,835

4.3.2 Az első vegetációs időszak utáni felmérések eredményei

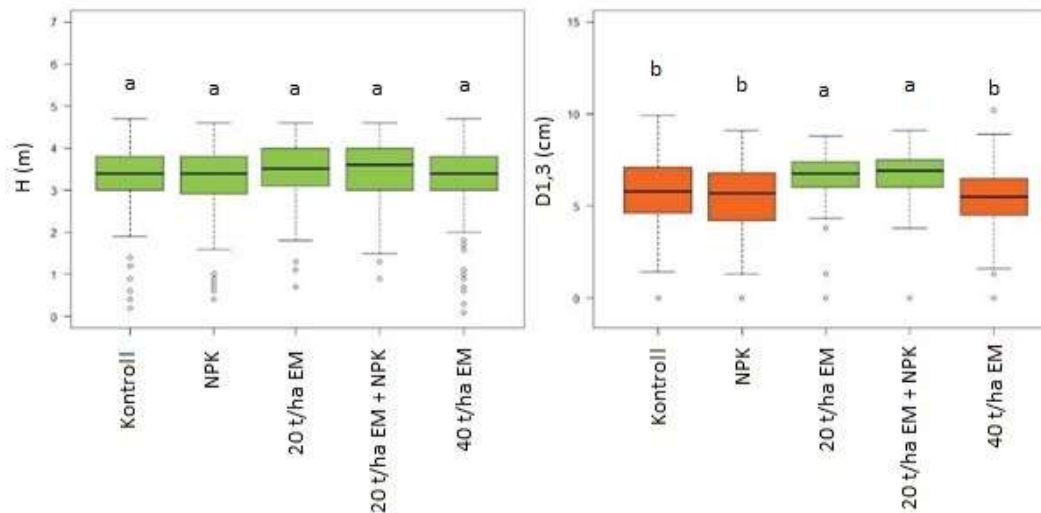
Az első vegetációs időszakot követően az átlagos magasság 3,5 m a teljes kísérletre vonatkoztatva. Az átlagátmérő 5,8 cm (12. ábra).



12. ábra: Az állomány az első vegetációs időszakot követően (Heilig Dávid, 2020)

Az egyes kezelések közötti különbséget egytényezős varianciaanalízissel vizsgálva nem találtam szignifikáns különbséget egyik esetben sem a magasságok között

($F(4, 1320) = 1.863$; $p = 0.12$), ellenben az átmérők tekintetében ($F(4, 1320) = 22.870$; $p < 0.001$) a 20 t/ha EM és 20 t/ha EM + NPK kezelések magasabb átlagokat mutattak (6.7 cm) a többi kezelés átlagainál (5.2 cm) (13. ábra).



13. ábra: Az egyes kezeléseken mért magasság (H) és átmérő ($D_{1,3}$) eloszlása az első vegetációs időszak után. A betűk és színek a post-hoc Tukey-teszt alapján képzett homogén csoportokat jelölik (EM – erjesztési maradék)

4.3.3 A második vegetációs időszak utáni felmérések eredményei

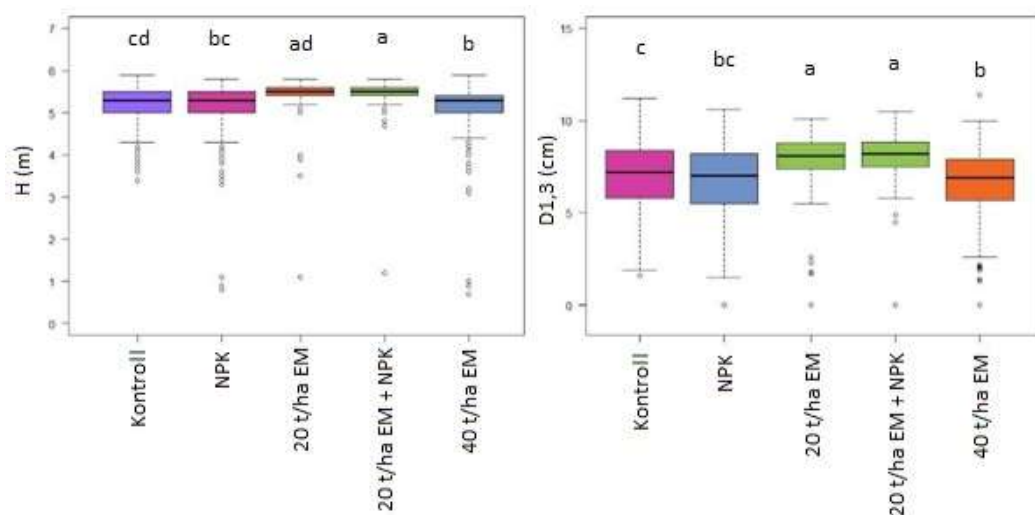
A második vegetációs időszakot követően az átlagmagasság 5,4 m, míg az átlagos átmérő 7,1 cm volt (14. ábra).



14. ábra: Az állomány a második vegetációs időszak során (Heilig Dávid, 2021)

A magasságok esetében az egyes kezelések között szignifikáns eltérést találtam ($F(4, 1320) = 12.660$; $p < 0.001$). Az egyes csoportok elemeinek az eloszlását a 15. ábrán mutatom be. A legmagasabbnak a 20 t/ha EM + NPK ($H = 5,8$ m) és a 20 t/ha EM ($H = 5,7$ m) kezelések parcellái bizonyultak. Ezt a 40 t/ha-os kezelés követte ($H = 5,4$ m), az NPK kezelés esetében $H = 5,1$ m és a legalacsonyabb a kontroll parcellákon volt, ahol $H = 5,0$ m.

Az átmérők esetében hasonló képet találtam (15. ábra). A kezelések között szignifikáns különbség mutatkozott ($F(4, 1320) = 23.920$; $p < 0.001$). A Tukey-teszt három homogén csoportot hozott létre. A legnagyobb a 20 t/ha EM + NPK és a 20 t/ha EM tartozott, melyeknek az átlaga 8,1 cm. Ezt a 40 t/ha EM követte, illetve vele azonos csoportba is osztható a NPK kezelés ($D_{1,3} = 6,9$ cm), viszont ez a kezelés parcellái a kontrollhoz is oszthatók ($D_{1,3} = 6,5$ cm).



15. ábra: Az egyes kezeléseken mért magasság (H) és átmérő ($D_{1,3}$) eloszlása a második vegetációs időszak után. A betűk és színek a post-hoc Tukey-teszt alapján képzett homogén csoportokat jelölik (EM – erjesztési maradék)

4.3.4 A harmadik vegetációs időszak utáni felmérések eredményei

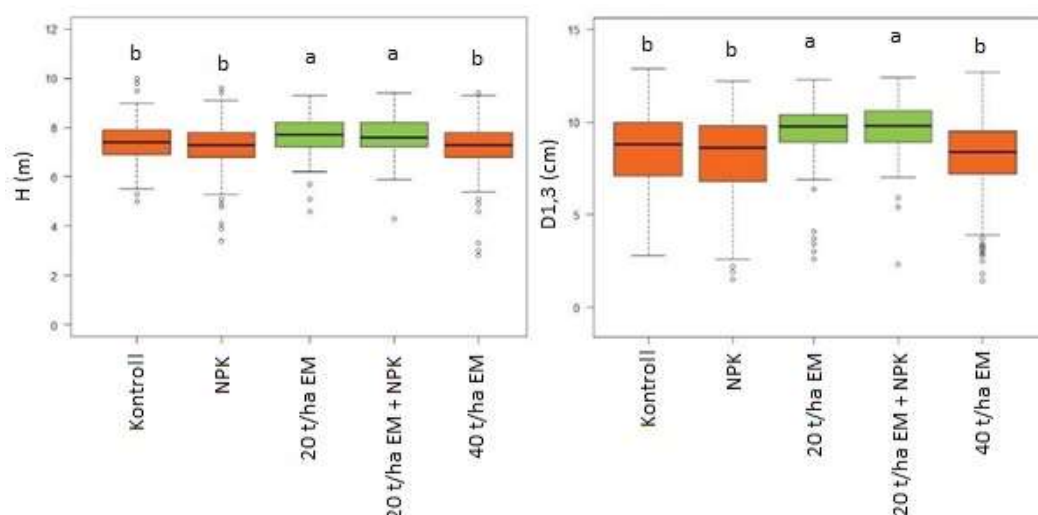
A harmadik vegetációs időszak utáni mérések eredményei szerint az átlagmagasság 7,6 m, az átlagátmérő 8,6 cm (16. ábra).



16. ábra: Az állomány a harmadik vegetációs időszakot követően (Heilig Dávid, 2022)

A magasságok alakulását vizsgálva azt tapasztaltam, hogy jelentős különbség adódott a kezelése következtében ($F(4, 1320) = 7.7020$; $p < 0.001$). A post-hoc Tukey-teszt két csoportot képzett a kezelések között. A 17. ábrán látható, hogy a 20 t/ha EM + NPK és a 20 t/ha EM kezelések teljesítettek a legjobban, átlaguk 7,9 m. A másik csoportba a 40 t/ha EM, az NPK és a kontroll parcellák adatai kerültek, átlaguk 7,5m.

Az átmérőket szemlélve hasonló képet tapasztaltam, mint a magasságok esetében (XX. ábra). Szintén szignifikánsan eltérnek egymástól az egyes csoportok ($F(4, 1320) = 24.620$; $p < 0.001$). A Tukey-teszt itt is két eltérő csoportot különített el. A 20 t/ha EM + NPK és a 20 t/ha EM kezelések nagyobb átmérőt értek el ($D_{1,3} = 9,7$ cm). A másik csoportba tartozó 40 t/ha EM, NPK és a kontroll kezelések átlaga 8,4 cm.



17. ábra: Az egyes kezeléseken mért magasság (H) és átmérő ($D_{1,3}$) eloszlása a harmadik vegetációs időszak után. A betűk és színek a post-hoc Tukey-teszt alapján képzett homogén csoportokat jelölik (EM – erjesztési maradék)

A 10. táblázatban szerepelnek a harmadik vegetációs időszakot követően mért átlagnövedékek (Im). A legmagasabb értéket a 20 t/ha EM + NPK kezelés esetében találtam, amit a 20 t/ha EM kezelés követett. A következő a kontroll csoport volt és a leggyengébbnek az NPK és 40 t/ha EM kezelések bizonyultak.

10. táblázat: A 2021-es vegetációs időszakot követő átlagos dendromassza növekedés $\pm$ SH kezelésenként [atro t/ha/év] (EM – erjesztési maradék, SH – az átlag standard hibája)

Kezelések:	Kontroll	NPK	20t/ha EM	20 t/ha EM + NPK	40t/ha ME
dendromassza növekedés	7,3 $\pm$ 0,106	5,6 $\pm$ 0,980	8,1 $\pm$ 0,721	8,5 $\pm$ 0,235	5,5 $\pm$ 0,477

4.4 A kezelések hatásainak értékelése

A talajtulajdonságok, az egyes kezelések hatására egy, illetve három év után nem mutattak statisztikailag kimutatható változást. Ha a trendek szintjén elemeztem az eredményeket, akkor egy gyenge savanyodást, illetve kezdeti felvehető foszfor-, káliumszint emelkedést tapasztaltam. Ezek nem az egyes kezelések hatásai, hiszen a kontroll parcellán is azonos léptékűek, irányúak a változások. Hasonló tapasztalatokat írtak le Doyeni és munkatársai (2021).

Az ültetvények valóban nettó foszfor-feltevő rendszereknek látszanak az eredmények alapján, hasonlóan Netzer és munkatársai (2018) eredményeihez. Az EM kijuttatás a tápelemkörülforgásra is pozitív hatást gyakorolhat, így a nem közvetlenül hozzáférhető készletből is nagyobb rész mobilizálódik, ami szintén pozitív hatású (Ren et al. 2020). Jurgitis és

munkatársai (2021) szintén megerősítik az EM pozitív hatását, alacsony tápelemellátottságú területeken egyértelmű növekedést tapasztaltak a gyepek biomasszahozamát vizsgálva.

A kísérlet során a feltalajban tapasztalt humusz készlet stagnálást a rendszeres sorköztárcsázás okozhatja elsősorban, ami átforgatva a talajt erősíti az oxidációs folyamatokat. A feltalajban csökkenő makrotápelem-tartalmak az intenzív felvétel eredménye, amit nem súlyoz ellen a lomb talajba kerülése és bomlása. Ki kell emelni, hogy ezek a trendek abszolútértékben értendők és a vizsgálati évek között nem találtam szignifikáns eltérést.

A műtrágyázott parcella növekedését összehasonlítva a kontroll parcella adataival, a talaj elemtartalmában nem hoz pozitív hatást, illetve a fák növekedésében sem nyilvánul meg a tápanyagtöbblet. Nabel és munkatársai (2017) lágyszárú energetikai ültetvényben (*Sida hermaphrodita* L.) alkalmazva egyenesen kedvezőtlen hatásúnak találták a műtrágyák alkalmazását, ami összeeseng a saját eredményeimmel. Ezen eredményeket Doyeni és munkatársai (2021) is megerősítik gabonahozamok tekintetében. Kiegészítik a megállapításukat azzal, hogy az alkalmazott NPK műtrágyával szemben az EM nitrogénje jobban hasznosul.

A foszfor utánpótlás tekintetében számos korábbi munka pozitív korrelációról számolt be a nyárok növekedésével kapcsolatban (Heilig et al. 2022, Netzer et al. 2018, Salehei & Maleki 2012, Tufekcioglu et al. 2005). A bemutatott kísérletben sem a kijuttatott, sem a talajban található készlet között nem találtunk hasonló, trendszerű összefüggést a növekedés viszonylatában. Az eredmények alapján a foszforellátottság a kísérlet kezdetekor is kielégítő volt, így a kijuttatott többlet nem indukált erőteljesebb növekedést.

A talajfizikai paraméterek tekintetében nem várható változás az egyszeri tápanyag-utánpótlás alkalmazásától, azonban rendszeres kijuttatás esetén Gulyás (2017) javuló vízgazdálkodási paramétereket tapasztalt. Az nyárok gyökerezéséből, illetve a megváltozott művelési módból adódó pozitív talajfizikai változásokat, amelyeket Virano Riquelme és munkatársai (2021) jeleztek, nem tapasztaltunk. Bergante és munkatársai (2010) egyenesen meghatározónak tartják a talajfizikai tulajdonságokat, kiváltképp a víztartóképességet az ültetvények növekedése szempontjából. Hosszútávon mind a trágyázás, mind az ültetvény befolyásolható, leginkább a térfogatnövekedés tekintetében.

A telepítés évében, 2019-ben, Horné Obdokovce közelében 579 mm csapadék hullott, ebből 338 mm a vegetációs időszakban. A májusi csapadékösszeg 100 mm volt, ami igen kedvező feltételeket nyújtott a dugványok megeredéséhez. Ennek a hatása felülírhatta a

tápanyagutánpótlás kezdeti eredményeit, mivel a dugványok növekedésük során a kezdeti hajtásképzéshez a dugványban tárolt tápelemeket használja fel, illetve a talaj kezdeti ellátottsága megfelelő állapotot jelentett a kontroll parcellákon is. Szendrői (1996) a száraz évekre való tekintettel saját kutatásában nem elemezte a műtrágyázás hatását, mert azt a vízhiány felülírta.

Az első vegetációs időszakot követően a megmaradási százalékban nem tapasztaltam különbséget az egyes kezelések hatásai között, annak ellenére sem, hogy az EM kijuttatás víztöbbletet is jelentet a dugványok számára. Az egyes kezelésekben felmért fák differenciálódni kezdtek a második évtől kezdődően. Három csoport képződött a kezelések között. A legjobban növekedő csoport a 20 t/ha-os kezelésű parcellák mutattak, átmeneti csoportot a 40 t/ha-os EM kezelés jelentett, leggyengébb eredményt a kontroll, illetve NPK kezelés parcellái mutatták. Hasonló eredményt tapasztaltam a harmadik vegetációs időszakot követően. Amennyiben a növedéket vizsgáltam a 40 t/ha EM és NPK kezelések átlagai még a kontrollnál is alacsonyabb értéket vettek fel, amit további megfigyeléseket igényel. Arthurson (2009) hasonló tendenciát vázolt fel irodalmi adatok alapján. A 40t/ha EM-os kezelés alacsonyabb értékei – gyenge megeredési százalék – egyrészt magyarázhatók az EM ammónium-nitrogén tartalmának csírázásgátló hatásával (Gulyás 2017). másrészt az sertés hígtrágya eredetű EM nagymértékben volt szennyezett gyommagokkal. A kezelések közötti gyomosodási különbség igen szembeötlő volt és feltehetően a gyomkorlátozás ellenére hatással volt a kísérleti eredményekre.

Több korábbi fásszárú ültetvényben végzett tápanyagutánpótlási kísérlet (DesRochers et al. 2006, Szabó et al. 2016) számolt be nem szignifikáns különbségekről a kezelések között az első három vegetációs időszak alatt, csak a későbbi felvételeknél jelentek meg eltérések. Ezen megállapítás helyt áll a bemutatott kísérletben is, különösen az átlagmagasságok tekintetében. Sőt kiemelik, hogy az ültetvényeken, még a legjobb termőhelyi adottságok mellett is, szükséges lehet a tartós hozamok biztosításához a tápanyag-utánpótlás és öntözés (Paris et al.,2011).

5 Következtetések és javaslatok

Mind energetikaicélú, mind iparicélú nemesnyárültetvényeket általában olyan területeken hoznak létre, amelyek hagyományos mezőgazdasági művelésre nem alkalmasak rentábilisan. Ezeken a területeken gyakran a tápanyag-szegény talaj az egyik növekedést korlátozó tényező. Ilyen esetben melléktermékek vagy hulladékok felhasználása segít a körkörös gazdálkodás megvalósításában.

Kimutattam, hogy a talajkémhatásában az egyszeri tápanyagutánpótlás nem okoz tartós változást. A kijuttatást követően kisebb pH emelkedés majd savanyodás figyelhető meg, de ez nem különbözik a kontroll parcellákon mért eredményektől.

A talajfizikai tulajdonságokban nem találtam változást, a talaj fizikai féleségére egy kezelés nem gyakorol kimutatható hatást, függetlenül a trágya típusától (műtrágya vagy erjesztési maradék) és a dózistól.

A humusztartalom esetében nem szignifikáns, de gyenge növekvő tendenciát tapasztaltam a kontroll és a kezelt parcellák esetében is. A feltalaj humusztartalmának fogyása főként a sorközápolás (tárcsázás) eredménye lehet, ami a rendszeres forgatás által átlegezőzötté teszi a felső réteget, ezzel a szervesanyag oxidációját elősegítve. Az egyes vizsgált rétegekben a szervesanyag mennyiségének növekedése az avarból, másrészt a mélyebben átgökerezett termőrétegből származik.

Sem a felvehető foszfor-, sem a felvehető kálium-tartalmak esetében nem mutatható ki a talajban egyértelmű változás. Az egyszeri kijuttatás kissé megemeli ezen tápelemek szintjét, de a készleteket vizsgálva a felső rétegekben növekedést tapasztaltam, az alsóbb rétegekben (50 cm alatt) fogyást. A felsőbb rétegekbe a lehulló nagymennyiségű lomb bekeverve növeli a hozzáférhető tápelemek mennyiségét, míg a fák gyökérzete az alsó rétegből is felveszi a rendelkezésre álló elemeket – kiváltképp, amikor száraz időszakban a felső réteg víztartalma alacsony – ezzel a mélyebben található réteg elemtartalmát csökkentve.

A fásszárú ültetvényen végzett kísérlet alapján kijelenthető, hogy a sertés hígtrágya eredetű biogázüzemi erjesztési maradékkal történő tápanyag-utánpótlás hatással van a fák növekedésére. A vizsgált anyag 20 t/ha-os koncentrációban alkalmazva pozitív hatást mutatott a kontroll, illetve az NPK műtrágyás kezelésekkal szemben, illetve bebizonyosodott, hogy a 40 t/ha-os erjesztési maradékkal történő kezelés már növekedést korlátozó hatással bír. Ennek oka a kijuttatott ammónium-nitrogén csírázásgátló hatása, valamint az erjesztési maradék gyommagtartalma lehet.

Az ültetvények telepítésének éve meghatározó az ültetvény sikerességét illetően. A tavaszi aszály a dugványok megeredését veszélyezteti. Ilyen időszakban különösen pozitív hatást jelent az erjesztési maradékkal kijuttatott vízmennyiség, hiszen ezen ültetvények öntözése – ha nincs kiépített öntözőrendszer – nem rentábilis. Az így kijuttatott vízmennyiség segíthet átvészelni a száraz periódust.

A vizsgálataim alapján hasonló termőhelyi adottságok között a műtrágya alkalmazása felesleges iparicélú fásszáru ültetvényeken. Az ismertetett sertés hígtrágya eredetű biogázüzemi erjesztési maradékból 20 t/ha kijuttatása javasolt közvetlenül a telepítést megelőzően. Az egyszeri trágyázás alkalmazása pozitív hatást jelentett a 20 t/ha-os kezelés esetében, viszont a második talajvizsgálat alkalmával ezen kezelés alatt álló parcellákban fogyást tapasztaltam a tápelem készletek terén. Ez alapján javasolható ismételt tápanyagutánpótlás az ültetvényen, de a dózis és visszatérési idő megállapításához további vizsgálat, monitoring szükséges.

A nyárák által hasznosított tápelem mennyiségek megismeréséhez érdemes levélanalízist végezni, ezzel az egyes anyagkörforgalmakat megismerve, pontosabb dózisok állapíthatók meg, modellek készíthetők a még pontosabb trágyázási adagok megadásához.

További vizsgálat a bemutatott kísérleti ültetvényen javasolható, hiszen az ültetvény hozama 5-7 éves korban a vágásforduló végén válik meghatározóvá, ekkor költségkalkuláció is végezhető különös tekintettel a kezelések rentabilitására.

6 Összefoglalás

Kisparcellás tápanyagutánpótlási kísérletben vizsgáltam a sertés hígtrágya alapú biogázüzemi erjesztési maradék, illetve az NPK műtrágya hatását iparicélú nemesnyárültetvényen. A dolgozatomban arra a kérdésre kerestem választ, hogy melyik anyag, milyen dózisban alkalmazva hat a legkedvezőbben a nemesnyárok növekedésére.

A kísérleti terület Szlovákiában, Horné Obdokovce községhatárban helyezkedik el. 4 kezelés és kontroll parcellák kerültek kialakításra háromszoros ismételtséggel. A kísérlet beállítása 2019. márciusában kezdődött a tápanyag-utánpótlással, majd a dugványok telepítésével folytatódott. Mértem a talaj fizikai, kémiai és tápanyagellátottsági tulajdonságait a telepítést megelőzően, az első vegetációs időszak és a harmadik vegetációs időszak után. A kapott eredményeket feldolgozva összehasonlítottam a kezelések és vizsgálati évek eseténbe a rétegenkénti átlag adatokat, illetve a térfogattömeggel számított készleteket kéttényezős varianciaanalízis segítségével.

A faállomány felmérését minden év nyugalmi időszakában végeztem el. Magasságot és mellmagassági kerületet mértem. A faállomány esetében megállapítottam az egyes évekre kezelésenként az átlagos megmaradást, átmérőt és magasságot, valamint az átlagos dendromassza növekedést is. A kezelések hatását minden paraméterre évenként vizsgáltam kéttényezős varianciaanalízis segítségével.

A talajvizsgálatok eredményei nem mutattak szignifikáns eltérést sem a kezelések, sem a vizsgálati évek között. A pH esetében gyenge savanyodási tendencia volt megfigyelhető. A humusztartalom a feltalajban kismértékű fogyást mutatott. A felvehető tápelemek esetében sem rajzolódott ki a kezelések hatása. Összességében az egyszeri alkalmazás még 40 t/ha-os dózisban sem eredményez olyan talajtulajdonság-változást, ami szignifikáns különbséget jelentene. Az egyszeri kijuttatás a talajfizikai tulajdonságokban sem hozott különbséget, a két felvétel között nem mutatkozott jelentős eltérés.

A faállományfelmérés eredményeit tekintve megállapítható, hogy a 20 t/ha-os erjesztési maradék kezelés az optimális a választott dózisok közül. Ezen kezelés esetében mértem a legmagasabb megmaradási százalékat. Szignifikánsan nagyobb átlagátmérőt és magasságot figyeltem meg ezen kezelés esetében, illetve a legnagyobb átlagos dendromassza-gyarapodást is itt tapasztaltam. Az NPK műtrágya kijuttatása nem mutatott különbséget a kontroll parcellák eredményeihez viszonyítva, így alkalmazását fölöslegesnek ítélem. A 40 t/ha-os erjesztési

maradék alkalmazása során a kontroll parcellához viszonyítva alacsonyabb növekedést tapasztaltam, így ezen dózis alkalmazását nem javaslom.

A kísérlet legfontosabb eredménye, hogy agyagbemosódásos barna erdőtalajon, agyagos vályog – vályog textúra és 60-80 cm-es termőrétegvastagság mellett, a sertés hígtrágya alapú biogázüzemi erjesztési maradék alkalmazása ipari célú nemesnyár ültetvényen 20 t/ha-os dózisban pozitívan befolyásolta a nemesnyárak növekedését az első három vegetációs időszak eredményei alapján.

7 Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani elsőként konzulenseimnek, Dr. Gulyás Miklósnak, hogy befogadta és alkalmasnak találta a választott témát egy szakdolgozat megírására, Dr. Kovács Gábornak a felvételezés, kísérlettervezés során nyújtott segítségéért, illetve Dr. Heil Bálintnak, aki szintén a kísérlet kezdetétől segítette a vizsgálataimat.

Külön köszönettel tartozom Bolodár-Varga Bernadettnek, a Soproni Egyetem Környezet- és Természetvédelmi Intézet intézeti mérnökének a rengeteg segítségért és útmutatásért a laborvizsgálatok elvégzésében.

Köszönöm Győri Barnabásnak a támogatást a dolgozat készítése során, és a nyelvi ellenőrzést.

Köszönöm a Dendromass4Europe projekt támogatását a kísérlet megvalósításához (A projekt finanszírozása a Bio Based Industries Joint Undertaking részéről az Európai Unió Horizont 2020-as kutatási és innovációs programja keretén belül a 745874 számú támogatói szerződés alapján történt).

8 Irodalomjegyzék

- AÉSZ (2004): Erdőrendezési Útmutató. Állami Erdészeti Szolháló, Budapest. 179 p.
- Arthurson, V. (2009): Closing the Global Energy and Nutrient Cycles through Application of Biogas Residue to Agricultural Land – Potential Benefits and Drawbacks. *Energies* 2: 226–242.
- Bellér, P. (2000): Talajvizsgáló módszerek. Nyugat-magyarországi Egyetem. Sopron. 117 p.
- Buzás, I. (ed.) (1993): Talaj- és Agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 1. A talaj fizikai, vízgazdálkodási és ásványtani vizsgálata. INDA 4321 Kiadó, Budapest 35–44 p.
- Cabrera Ariza, A.M., Ragolini, G., Silva Flores, P., Bustos Letelier, Ó., Santelices Moya, R. (2021): Nutrient (N, P, K) use efficiency and nitrogen balance in a bioenergy plantation of *Populus deltoides* clone Lux in San Piero A Grado (Pisa), Italy. *Bosque (Valdivia)* 42(2): 269–278. DOI: 10.4067/s0717-92002021000200269.
- Christersson, L. & Verma, K. (2006): Short-rotation forestry – a complement to ‘conventional’ Forestry. *Unasylva* 223(57): 34–39.
- Cornes, R.C., van der Schrier, G., van der Besselaar E.J.M., Jones, P.D. (2018): An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 123(17): 9391–9409. DOI: 10.1029/2017JD028200.
- DesRochers, A., van den Driessche, R., Thomas, B. R. (2006): NPK fertilization at planting of three hybrid poplar clones in the boreal region of Alberta. *Forest Ecology and Management* 232(1–3): 216–225. DOI: 10.1016/j.foreco.2006.06.004.
- Dimitriou, I. & Mola-Yudego, B. (2017): Nitrogen fertilization of poplar plantations on agricultural land: effects on diameter increments and leaching. *Scandinavian Journal of Forest Research* 32(8): 700–707. DOI: 10.1080/02827581.2016.1264622.
- Doyeni, M.O., Stulpinaite, U., Baksinskaite, A., Suproniene, S., Tilvikiene, V. (2021): The Effectiveness of Digestate Use for Fertilization in an Agricultural Cropping System. *Plants* 10: 1734. DOI: 10.3390/plants10081734.
- Drew, A., Zsuffa, L., Mitchell, C. (1987): Letter to the Editor: Terminology Relating to Woody Plant Biomass and its Production. *Biomass* 12(1): 79–82.
- Egnér, H., Riehm, H. and Domingo, W.R. (1960): Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26: 199–215.
- EUROSTAT (2022): Agri-environmental indicator – mineral fertiliser consumption. (https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_mineral_fertiliser_consumption) (Letöltve: 2023.04.30.).
- Fekete, G., Király, G., Molnár, Zs. (2017): A Pannon vegetációrégió lehatárolása. *Botanikai Közlemények* 104(1): 85–108. DOI: 10.17716/BotKozlem.2017.104.1.85.
- Ferré, G., Mascetti, G., Comolli, R. (2021): High-density poplar SRC accumulates more soil organic carbon than very-high-density SRC. *Agronomy* 11: 3. DOI: 10.3390/agronomy11030584.
- Fischer, G., F. Nachtergaele, S. Prieler, H.T. van Velthuisen, L. Verelst, D. Wiberg, (2008): Global Agro-ecological Zones Assessment for Agriculture (GAEZ 2008). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy.
- Führer, E., Horváth, L., Jagodics, A., Machon, A. and Szabados, I. (2011): Application of new aridity index in Hungarian forestry practise. *Időjárás Quarterly Journal of Hungarian Meteorological Service* 115: 205–216.
- Furukawa, Y. & Hasegawa, H. (2006): Response of spinach and komatsuna to biogas effluent made from source-separated kitchen garbage. *Journal of Environmental Quality* 35: 1939–1947.
- Ghezei, S.B., Ewald, A.L., Hazel, D.W., Zalesny, R.S., Nichols, E.G. (2021): Productivity and profitability of poplars on fertile and marginal sandy soils under different density and fertilization treatments. *Forests* 12: 7. DOI: 10.3390/f12070869.
- Gulyás, M. (2017): Biogázüzemi erjesztési maradék mezőgazdasági felhasználásának vizsgálata. Doktori értekezés. Szent István Egyetem. Gödöllő. 119 p. DOI: 10.14751/SZIE.2017.025.
- Hart, M.N., Townsend, P.A., Chowyuk, A., Gustafson, R. (2018): Stakeholder assessment of the feasibility of poplar as a biomass feedstock and ecosystem services provider in Southwestern Washington, USA. *Forests* 9: 10. DOI: 10.3390/f9100655.
- Heilig, D., Heil, B., Leibing, C., Röhle, H., Kovács, G. (2021): Comparison of the Initial Growth of Different Poplar Clones on Four Sites in Western Slovakia–Preliminary Results. *Bioenergy Research* 14(2): 374–384. DOI: 10.1007/s12155-020-10227-3.
- Heilig, D., Kovács, G. and Heil, B. (2022): Influence of Soil Characteristics on the Growth of Poplar Short Rotation Coppice (SRC) under Suboptimal Conditions. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 18(1): 78–86. DOI: 10.37045/aslh-2022-0005.
- Hevesi, A. (2001): A Kárpát-medence és a Kárpátok természetföldrajzi tagolásáról. Földrajzi Konferencia, Szeged

- IUSS Working Group WRB (2022): World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria. 236 p.
- Jassó, F. (ed.) (1989): *Melioráció-öntözés és talajvédelem. Útmutató a nagyméretarányú országos talajtérképezés végrehajtásához* 89 melléklet, Agroinformációs vállalat, Budapest. 147 p.
- Jurgutis, L., Slepeticien, A., Amaleviciute-Volunge, K., Volungevicius, J., Slepetyš, J. (2021): The effect of digestate fertilisation on grass biogas yield and soil properties in field-biomass-biogas-field renewable energy production approach in Lithuania. *Biomass and Bioenergy* 153: 106211.
- Lee, M.E., Steiman, M.W., St. Angelo, S.K. (2020): Biogas digestate as a renewable fertilizer: effects of digestate application on crop growth and nutrient composition. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 36(2): 173–181.
- Lindegaard, K.N., Adams, P.W.R., Holley, M., Lamley, A., Henriksson, A., Larsson, S., von Engelbrechten, H.G., Lopez, G. E., Pisarek, M. (2016): Short rotation plantations policy history in Europe: lessons from the past and recommendations for the future. *Food and Energy Security* 5(3): 125–152. DOI: 10.1002/fes3.86.
- Melo, M., Lapin, M., Kapálková, H., Pecho, J., Kruzicová, A. (2013): Climate trends in the Slovak Part of the Carpathians, in: Kozak, J., Ostapowicz, K., Bynerowicz, A., Wyzga, B. (eds.): *The carpathians: Integrating Nature an Society Towards Sustainability*, Environmental Science and Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg. 131–150 p. DOI: 10.1007/978-3-642-12725-0.
- Michéli, E., Fuchs, M., Szegi, T., Csorba, Á., Dobos, E., Szabóné Kele, G. (2018): A diagnosztikus szemléletben megújított hazai osztályozási rendszer. Alapelvek, felépítés, osztályozási szabályok. *Vitaanyag* 2018.10.10. Szent István Kiadó, Gödöllő. 49 p.
- Motsara, M. and Roy, R.N. (2008): *Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis*. FAO, Rome, Italy. 220 p.
- Mukhuba, M., Roopnarain, A., Adeleke, R., Moeletsi, M., Makofane, R. (2018): Comparative assessment of bio-fertiliser quality of cow dung and anaerobic digestion effluent. *Cogent Food & Agriculture* 4: 1435019. DOI: 10.1080/23311932.2018.1435019.
- Nabel, M., Schrey, S.D., Poorter, H., Koller, R., Jablonowski, N.D. (2017): Effects of digestate fertilization on *Sida hermaphrodita*: Boosting biomass yields on marginal soils by increasing soil fertility. *Biomass and Bioenergy* 107: 207–213.
- Netzer, F., Mueller, C.W., Scheerer, U., Grüner, J., Kögel-Knabner, I., Herschbach, C., Rennenberg, H. (2018): Phosphorus nutrition of *Populus × canescens* reflects adaptation to high P-availability in the soil. *Tree Physiology* 38(1): 6–24 DOI: 10.1093/treephys/tpx126.
- Paris, P., Mareschi, L., Sabatti, M., Pisanelli, A., Ecosse, A., Nardin, F., Scarascia-Mugnozza, G. (2011): Comparing hybrid *Populus* clones for SRF across northern Italy after two biennial rotations: Survival, growth and yield. *Biomass and Bioenergy* 35(4): 1524–1532. DOI: 10.1016/j.biombioe.2010.12.050.
- QGIS.org (2023): QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
- R CORE TEAM (2014): *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ren, T., Yu, X., Liao, J., Du, Y., Zhu, Y., Jin, L., Wang, B., Xu, H., Xiao, W., Chen, H.Y.H., Jin, F., Ruan, H. (2020): Application of biogas slurry rather than biochar increases soil microbial functional gene signal intensity and diversity in a poplar plantation. *Soil Biology and Biochemistry* 146: 107825.
- Riddel-Black, D. (1998): Developement of a water industry manual for biosolids use in short rotation forestry. *Biomass and Bioenergy* 15(1): 101–107.
- Rolecek, J. (2005): Vegetation types of dry-mesic oak forests in Slovakia. *Preslia* 77(3): 241–261.
- Rupp, R. (1990): *Red Oaks and Black Birches: The Science and Lore of Trees*. Storey Books, Pownal, USA.
- Salehi A. & Maleki, M. (2012): Evaluation of Soil Physical and Chemical Properties in Poplar Plantations in North of Iran. *Ecologia Balkanica* 4: 69–76.
- Slepeticien, A., Volungevicius, J., Jurgutis, L., Liaudanskiene, I., Amaleviciute-Volunge, K., Slepetyš, J., Ceseviciene, J. (2020): The potential of digestate as a biofertilizer in eroded soils of Lithuania. *Waste Management* 102: 441–451.
- Smith, W.R. (1982): *Energy from forest biomass*. Academic Press. New York, USA.
- Sopp, L. and Kolozs, L. (2013): *Fatömegszámítási táblázatok*. Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal Erdészeti Igazgatóság, Budapest. 271 p.
- Steenackers, M. and de Clercq, W. (2020): *INBU clones*. Research Report of the Research Institute of Nature and Forests (INBO), Brussels, Belgium. 6 p.
- Stefanovits, P., Fülek, G., Filep, Gy. (2010): *Talajtan*. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 469 p.
- Szabó, O., Kovács, G., Heil, B (2016): Effects of nutrient supply and planting material quality on yield and survival rate of a short rotation coppice culture in Hungary. *Agronomy Research* 14(4): 1494–1504.
- Szendrődi, L. B. (1996): Growing space-age related three-dimensional modeling of biomass production of hybrid poplar, *Biomass and Bioenergy* 10: 251–259.

- Szodfridt, I. (1993): Erdészeti Termőhelyismeret-tan. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 317 p.
- Tufekcioglu, A., Altun, L., Kalay, H., Yilmaz, M. (2005): Effects of Some Soil Properties on the growth of Hybrid Poplar in the Terme–Gölradi Region of Turkey. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 3: 221–226.
- Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky (ÚGKK) (2022): DIGITÁLNY MODEL RELIÉFU 5.0
- van Reeuwijk, L. (2002): Procedures for Soil Analysis. 6th Edition, ISRIC, FAO, Wageningen, The Netherlands. 120 p.
- Veperdi, G. (2011): Erdőbecslés-tan. Egyetemi Jegyzet, Soproni Egyetemi Kiadó, Sopron. 115 p.
- Virano Riquelme, V., Fontenla–Razzetto, G., Tavares Wahren, F., Feger, K.H., Heil, B., Heilig, D., Kovács, G., Julich, S. (2021): The Impact of Poplar Short Rotation Coppice on Topsoil Physical Properties and Related Water Conditions. Bioenergy Research 14: 399–408. DOI: 10.1007/s12155-021-10269-1.
- Warren–Wren, S. (1978): The complete book of willows. Barnes and Company. New York, USA.
- Zhu, H. & Banuelso, G. (2017): Evaluation of two hybrid poplar clones as constructed wetland species for treating saline water high in boron and selenium, or waters only high in boron. Journal of Hazardous Materials 333: 319–328. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2017.03.041.
- Zitzmann, F. & Rode, M. (2021): Short–rotation coppice managed according to ecological guidelines–what are the benefits of phytodiversity. Forests 12: 5. DOI: 10.3390/f12050646.

9 Nyilatkozatok

NYILATKOZAT

Alulírott dr. Heilig Dávid, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, talajtani szakmérnöki szak nappali/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Kecskemét, 2023 év május hó 02 nap

Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot záróvizsgán történő védelemre javaslom / nem javaslom*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő, 2023 év május hó 02 nap

Belső konzulens

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: dr. Heilig Dávid

A Hallgató Neptun kódja: CA8NY2

A dolgozat címe: A tápanyag-utánpótlás hatása ipari célú nemesnyár
ültetvény növekedésére

A megjelenés éve: 2023

A konzulens tanszék neve: Talajtani Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: Gödöllő, 2023 év május hó 02 nap

Hallgató aláírása

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

Dr. Heilig Dávid (név) (hallgató Neptun azonosítója: CA8NY2)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi
források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem²

Kelt: Gödöllő, 2023 év május hó 02 nap



Belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.

10 Tartalmi kivonat

A SZAKDOLGOZAT TARTALMI KIVONATA

A tápanyag-utánpótlás hatása ipari célú nemesnyár ültetvény növekedésére

Dr. Heilig Dávid

Talajtani szakmérnök szak, szakirányú továbbképzés (levelező)

Talajtani Tanszék

Belső témavezető: Dr. Gulyás Miklós, egyetemi docens, MATE, Talajtan Tanszék

Külső konzulens: Dr. Kovács Gábor, egyetemi docens, SOE, Környezet- és Természetvédelmi
Intézet

Iparicélú nemesnyárültetvényeket általában olyan mezőgazdasági területeken hoznak létre, ahol a hagyományos gazdálkodás nem kifizetődő. Gyakran ezek a területek tápanyag-szegény talajjal rendelkeznek, ahol a tápanyag-utánpótlás javítja az ültetvény sikerességét, segítheti a fák növekedését.

Dolgozatomban arra kérdésre kerestem a választ, hogy egy ilyen ültetvényben sertés hígtrágya alapú biogázüzemi erjesztési maradékot, illetve NPK műtrágyát alkalmazva milyen kezelés mellett érik el a fák a legnagyobb dendromassza-hozamot.

Elsőként a talaj tulajdonságait vizsgáltam, a telepítés előtt, után egy, illetve három évvel. A talajvizsgálati alapsor mellett szűkített tápanyag-tartalmi méréseket is végeztem. A faállomány felvétele céljából magasságot és átmérőt határoztam meg egyedenként mind a három évben.

A talajtulajdonságokban nem mutatkozott szignifikáns eltérés sem a kezelések, sem az egyes vizsgálati évek között. A faállomány felmérés rámutatott, hogy a 20 t/ha-os erjesztési maradék alkalmazása a legkedvezőbb. A nagyobb dózis már a növekedést gátolta, az NPK műtrágya alkalmazása nem mutatott különbséget a kontrollhoz viszonyítva.

Az egyszeri kijuttatás nem hat károsan a talajra. Javasolt 20 t/ha-os dózissal kezelni a hasonló adottságú ültetvényeket a jobb növekedésért. A faállomány felmérését a vágásforduló végéig javasolt folytatni, hogy a teljes termesztési ciklusra (5-7 év) legyenek adatok.