



NYÍREGYHÁZI
EGYETEM

**A talajok szerves szén tartalmának változásai a különböző korú rekultivált és
beerdősített bányameddő területeken**

**(Changes in the organic carbon content of soils in recultivated and afforested mine-
barren areas of different ages)**

Készítette: Miló Márk

Témavezető: Dr. Habil. Fekete István Csaba

2024-2025

Tartalomjegyzék:

Bevezetés 3-4.

Irodalmi áttekintés 5-11

Anyag és módszer 12-20

Eredmények 21-23

Magyarázat 24-27

Összefoglalás 28

Köszönetnyilvánítás 29

Irodalomjegyzék 30-33

BEVEZETÉS

Napjaink egyik legnagyobb globális problémája a klímaváltozás. A fosszilis tüzelőanyagok elégetése során képződő szén-dioxid légkörből történő közvetlen, illetve közvetett megkötésének egyik leghatékonyabb módja a megfelelő területeken végrehajtott erdősítés, mely a biomassa szénmegkötése mellett a talajok szerves szén készletét is növelheti. Ennek révén az érintett területek talajai is javulnak, mely a későbbiekben a mezőgazdaságilag is hasznosítható területek kiterjedését is segítheti, vagy a természetes élőhelyek kiterjedésével segítheti a biodiverzitás növekedését is.

A bányászat, illetve azon belül a külszíni bányászat sok esetben hosszabb távon is károkat okoz a természeti környezetben, mert a felszínről eltüntetik a növényzetet, elhordják a talajt és az alatta levő kőzetrétegeket. Mikor Európai Unió szabályoknak megfelelően visszahányják a meddő anyagot a bányaüregbe, (2.kép) a felszínre kerülő üledék anyagnak, ha nem deponálták külön a felső, humuszban gazdagabb réteget, hiányzik a szervesanyagtartalma. Bizonyos esetekben előfordulhat, hogy a rekultivált területeken idővel gazdagabb élővilág és jobb minőségű, magasabb szerves anyag tartalmú talajok alakulnak ki, mint amiket a bányászat megszüntetett korábban.

Különösen, ha a bányászati tevékenységet megelőzően egy amúgy is erősen bolygatott, esetleg nem megfelelően művelt, kiélt talajú agrárterületek voltak a későbbi bányászati tevékenység helyszínein. Éppen ez a gyakorlat adta az ötletet a kutatási programunk beindításához. A szerves anyag mentes bányameddő üledék anyagának fásítása tette lehetővé, hogy megvizsgáljuk ezen területek felszíni (felső 25 cm-es) rétegének szerves szénrel történő feltöltődésének folyamatait, illetve ezeknek a folyamatoknak a sebességét.

A bányáüregbe visszahelyezett üledékek felszíni rétege (a megfelelő) emberi tevékenység segítségével gyakran gyorsabban vissza alakítható termékeny, jobb minőségű talajjá, mint a természet „öngyógyító” ereje segítségével. Ezeket a területeket beerdősítik, majd a fák ahogy növekednek úgy egyre több széndioxidot tudnak megkötni és tárolni a fotoszintézis révén a biomasszájukban. Idővel a megkötött szén egy része a talajba kerül részben a gyökérzetükön keresztül, illetve a felszíni avart is érintő lebontó folyamatok révén. Az avar anyagainak túlnyomó lebomlik és CO₂ formájában visszakerül a légkörbe, de egy kisebb része a talajokban marad a lebomlásnak tartósabban elleálló szerves anyagok formájában (Weil and Brady, 2017) Ahogy növekszik a talaj szervesanyag tartalma, ezen keresztül nő a talajban felhalmozódó szén, nitrogén és egyéb tápanyagok koncentrációja is, egyre jobb minőségű talaj keletkezik, mely segíti az adott ökoszisztéma gyarapodását és segít visszaalakítani az élőhely eredeti vagy közel eredeti állapotát.

Témavezetőmmel, Fekete István tanár úrral kutatásunk során azt vizsgáltuk, hogy a fásítást követően a fák avartermelése, illetve gyökér anyagai révén a meddőanyagba kerülő szerves szén milyen gyorsan épül be a képződő talajokba a különböző korú rekultivált területeken ültetett akácerdők esetében.

A vizsgálatok beindítását az tette lehetővé, hogy a bányavállalat igazgatójától, Mata Tibor úrtól engedélyt kaptunk a beerdősített területek talajainak mintavételezésre, illetve a vállalat egyik munkatársa, Szomor László Bükkábrányi Bánya főtechnológusa segítségünkre volt a mintavételezésnél.

A talajminták szerves szén tartalmát a Nyíregyházi Egyetem laboratóriumában vizsgáltuk a **Tyurin módszer** segítségével (lásd: Anyag és módszer), majd tovább küldtük a maradék mintákat a Debreceni Egyetemre, ahol CN analizátor segítségével ellenőrző mérésekre került sor. Itt a talajok (szerves és szervetlen eredetű) szén és nitrogén tartalmára vonatkozó adatokat kaptunk a vizsgálatok folyamán.

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A szén körforgása az élővilág szempontjából az egyik legfontosabb folyamat a Földön. Ennek a folyamatnak a víz, a levegő és a talaj egyaránt fontos színtere. A Föld talajaiban 3000-4000 Gt, a bolygó még ki nem termelt fosszilis tüzelő anyagaiban 5000-6000 Gt, a felszíni vizekben oldott állapotban 38000 Gt, a karbonátos kőzetekben 75millió Gt. szén van (Batjes 1996; IPCC 2007; Pan et al. 2011). Szénforgalom szempontjából a talaj, a levegő és a növényzet dinamikus egységet alkot. Mikor elpusztul egy élőlény a talajon, vagy a talajban a légkörbe kerül az adott élőlény testét felépítő szerves molekulák széntartalmának jelentős része viszonylag gyorsan a lebontási folyamatok révén. Bizonyos része, körülményektől függően, viszont hosszabb-rövidebb ideig raktározódik a talajban.

A talajromlás közvetlenül korlátozza a fenntartható fejlődést a szárazföldi ökoszisztémák stabilitását, így világszerte az egyik legfontosabb környezeti problémát jelenti (IPCC, 2007). E probléma kezelése érdekében számos ország nemzeti erdősítési programokat hozott létre, hogy az erdők területét növelje. (Linfu et al., 2012a; Linfu et al.,2012b)

A talaj szervesanyag tartalom, valamint a rajta növő növényzet biomassza változásainak nyomon követése segíthet az emberiségnek a talajok terméketlenné válásával szembeni küzdelemben és rávilágíthat az éghajlatváltozás mögött lévő folyamatokra, valamint segíthet megoldást találni az ember által okozott, talajra és levegőre ható, káros tényezők pl. az erózió, vagy a porképződés csökkentésére.

A széntartalom változása a rekultivált és beerdősített bányaterületeken nem csupán a talaj fejlődési szakaszairól ad információt, hanem fontos indikátora az ökológiai rehabilitáció sikerességének is. Az idő előrehaladtával a széntartalom növekedése pozitív visszacsatolást

eredményez az ökoszisztémában, mivel elősegíti a talaj termékenységének növekedését és a biodiverzitás fokozódását. Az ilyen vizsgálatok hozzájárulnak a fenntartható rekultivációs stratégiák kidolgozásához is és rámutatnak a hosszú távú ökoszisztéma-helyreállítás lehetőségeire.

Vizsgálatunk fő célkitűzése az volt, hogy képet kaphassunk arról, hogy egy szerves anyag mentes bányameddő területen, ugyanazon fafajjal beerdősítve az üledékanyagban milyen ütemben tud felhalmozódni a levél avar és gyökérszétválás hatására a szerves szén és nitrogén tartalom a fák alatti talaj különböző mélységeiben. Ehhez különböző korú telepített akác erdők talajait vizsgáltuk.

Az Európai Környezetvédelmi Akcióprogram keretében, az egyik legfontosabb cél tartalmazza a talajok védelméről szóló stratégia elkészítését (Európai Unió 2000.- a hét tematikus stratégia egyike). Célkitűzése, hogy a talaj védelme azonos szintre kerüljön a vízvédellel vagy a levegő védelmével. A stratégia prioritásai a talajt érő olyan negatív hatások csökkentése, megszüntetése, így a szervesanyag tartalom csökkenése vagy a talajszennyezés megakadályozása. Fontos, hogy a talajvédelmi érdekeket a gazdaságpolitikai döntésekbe is be kellene integrálni.

A modern tájvédelmi stratégiák is ebbe az irányba mutatnak. „Az Európai Tájvédelmi Egyezmény célja, hogy elősegítse a tájak védelmét, kezelését és tervezését, valamint hozzájáruljon a tájak terén megvalósuló európai együttműködéshez. Várhatóan a talajhasználatra is kedvező hatással lesz.” (Környezetmérnöki Tudástár Sorozat, szerkesztő: Dr. Domokos Endre 3. kötet Talajvédelem, talajtan Szerkesztő: Dr. Fülek György Pannon Egyetem, 2011)

A növények termesztése és más mezőgazdálkodással kapcsolatos tevékenység szempontjából értelemszerűen rendkívül fontos a talajok megfelelő és fenntartható használata, védelme és ha szükséges a rehabilitálása, de jelentősége messze túlmutat az agrárgazdálkodással kapcsolatos funkcióin. A természeti környezet és az emberi élet minőségét számos egyéb úton is meghatározza. Például: Számos egyéb természeti erőforrás (felszíni és felszín alatti vízkészletek, biológiai erőforrások, sugárzó napenergia, légkör,) hatását szabályozza, átalakítja, vagy éppen elszennyezi.

A talajban élő növényi és állati szervezetek és a termesztett növények számára a talaj minőségi paraméterei szintén nagyon fontosak. A szárazföldi közegekben a szerves szén előállításához is nélkülözhetetlen közeg, a bioszféra működésének alapvető integrátora azáltal, hogy jelentős szerepet játszik az adott életközösség hő és víz forgalmában, valamint tápanyagokkal látja el a növényzetet, illetve közvetetten az egész szárazföldi élővilágot, sőt részben a partközeli tengeri élővilágot is. Ezeken kívül a felszínt érő antropogén hatások szűrését, kárcsökkentését is végzi puffer hatásai segítségével (Fülek 2011).

Az erdőségek kiterjedésének növelése szintén elfogadott stratégia a légköri szén-dioxid fölös mennyiségeinek csökkentésére, mivel a talajok mellett az erdőségek biomasszája is hatalmas szén mennyiséget képes megkötni. Az újra fásítással kapcsolatban heves viták dúlnak a különböző szakterületek kutatói között arról, hogy az erdőrekonstrukciós stratégiák mely típusait érdemes alkalmazni. A passzív, vagy az aktív helyreállítási technikák a célszerűbbek. Sokak szerint a leromlott állapotú földek vagy mezőgazdasági területek aktív erdősítése csak akkor fogadható el, ha az ökoszisztéma helyreállítása passzív módon lehetetlen (Linfu és Yang 2024). Más szerzők szerint az erdősítés gyakran az egyetlen járható út a talajerózió megelőzésére és az ökoszisztéma funkcióinak helyreállítására, így pozitív hatással lehet a biológiai sokféleségre és az éghajlatváltozás mérséklésére.

A helyreállítási tevékenységek sikere főként a korábbi talajhasználattól, az erdők és a természetes növényzet közelségétől, a talaj tulajdonságaitól, például a pH-értéktől és az erdősítés korától függ. A leromlott talajú szántóföldek erdőkké való aktív átalakítása pozitív hatással van nemcsak a talajokra, de jelentősen fokozza az adott területre jellemző flóra és fauna biodiverzitását is (Linfu és Yang 2024).

Surendra Bam és Suresh Bhandari (2013) vizsgálatai azt mutatták, hogy a földhasználat és a talaj mélysége egyaránt jelentősen befolyásolja a SOC-készletet. Az erdőtalajok magasabb SOC-készlettel rendelkeztek, mint a mezőgazdasági talajok és a famentes kopár területek talajai. A térfogatsűrűség (BD) az erdőtalajban minden mélységben kisebb volt, mint a többi talajban, ami negatív korrelációt mutatott a SOC értékével. A tanulmány rámutatott, hogy a talaj jelenlegi szénkészletének növelésére égető szükség van, ami a földhasználat és a gazdálkodási gyakorlat javításával érhető el, különösen a leromlott állapotú erdők és talajok megőrzése és helyreállítása révén.

A földhasználat váltakozások évszázadok, helyenként évezredek óta zajlanak hazánkban is. Régebben főként az erdőket alakították át szántóterületté vagy gyeppé. Ezeknek a

folyamatoknak jelentős hatása volt, illetve van a talajerózióra, a hidrológiai folyamatokra és a természetes vízkészletek minőségére is.

Az eredeti ökoszisztémák újra erdősítéssel történő helyreállítása elősegíti a talajok hidrológiai folyamatainak javulását. Néhány szerző a talajok vízmegtartó képességét a talajban lévő szerves anyagok jelenlétével hozta összefüggésbe, míg mások ezt inkább egyéb paraméterekhez kötötték (Bisdom et.al. 1993).

Az erdősítések a talajok szerves anyag tartalmára gyakorolt hatásai jelentős eltéréseket mutatnak a különböző kutatások szerint. Például Mongil-Manso et al. (2022) eredményei azt mutatták, hogy az erdeifenyővel (*Pinus sylvestris* L.) történő erdősítés rövidtávon a talajok szerves anyag (SOM) tartalmának csökkenését okozza, de hosszú távon a szervesanyag tartalom az avar növekvő mennyiségű jelenléte miatt helyreáll. Egy finnországi kísérlet során azt tapasztalták, hogy a földhasználat változását követő 20 éves átlagos szénkészlet-változás az erdősült területeken 9%-kal, az erdőirtott területeken pedig 19%-kal csökkent. Az erdősítés utáni átlagos szénkészlet csökkenés a legjelentősebb mértékű az első 9-10 évben volt, és valószínűleg az erdők korai növekedési szakaszában tapasztalható alacsony avar mennyiségnek volt köszönhető (Karhu et al. 2011). Fontos megjegyezni, hogy ezekben az esetekben az erdősítés helyszínéként szolgáló talaj már az ültetést megelőzően is tartalmazott bizonyos mennyiségű SOM-ot. Így ezek a kísérletek nem alkalmasak arra, hogy feltárják az erdősítés kezdeti időszakában a SOM talajba történő beépülésének a sebességét. A témavezetőm által kezdeményezett bányameddőn történő vizsgálatok lehetővé tették, hogy az erdősítés SOM-ra gyakorolt hatásait már a kezdetektől mérhessük, hiszen egy SOM-ot nem tartalmazó meddőanyagba kerültek az erdősítés során a terepre kihelyezett fák.

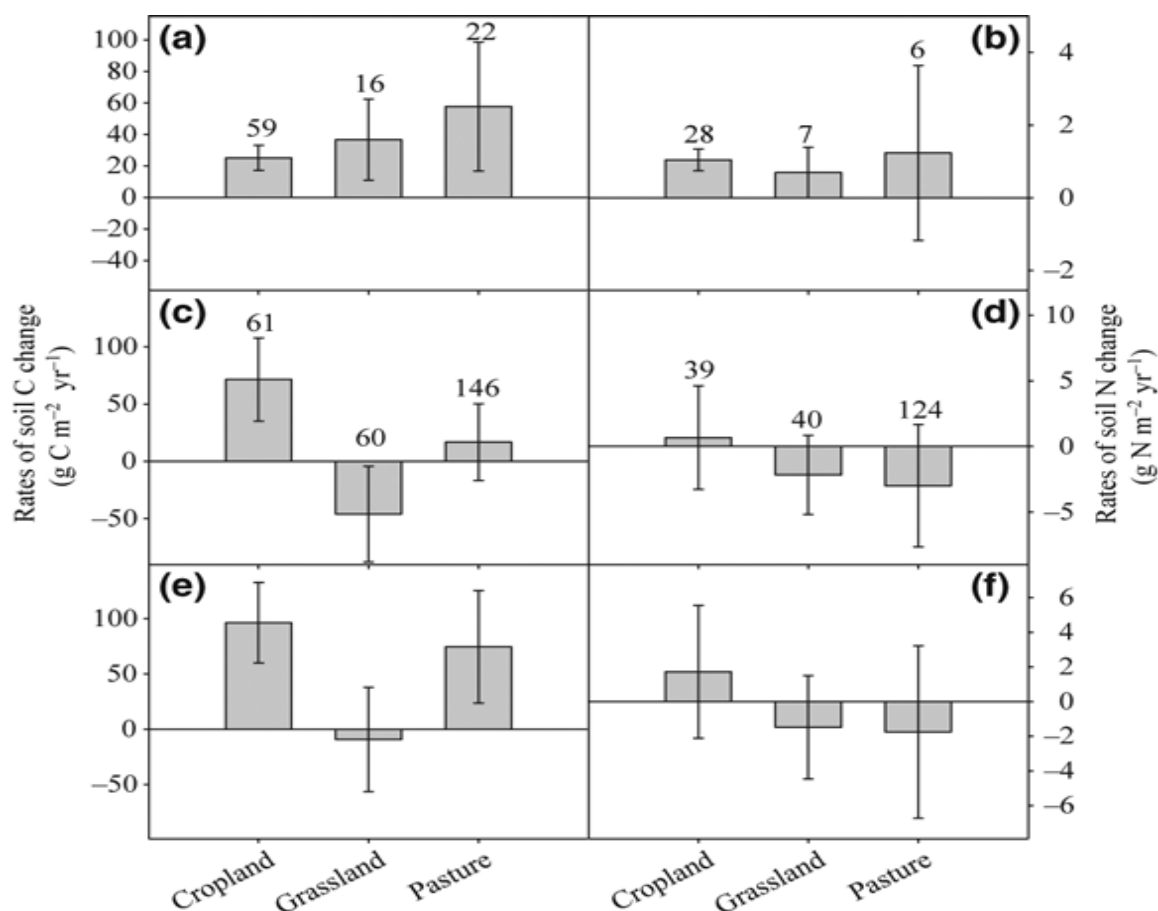
Li et al. (2012) által végzett metaanalízis azt mutatta, hogy az erdősítést követően a szénkészlet megnövekedett az egykori szántóföldek és a legelők talajaiban, a trópusi, szubtrópusi és boreális övezetekben. A talaj N állománya a szubtrópusi zónában növekedett leginkább. A talaj C állománya keményfákkal, például eukaliptusszal történő erdősítés után nőtt, de nem változott a puhafákkal, például fenyővel történő erdősítés után.

Az ezzel kapcsolatos kutatások azt mutatták, hogy a talajok N dinamikája kulcsfontosságú paraméter a hosszú távú szárazföldi C-megkötés szabályozásában (Rastetter et al., 1997; Luo et al., 2004). Ezért is érdemes ezt a két paramétert együttesen vizsgálni a talajmintákban, ha a SOM mennyiségi paramétereit kívánjuk vizsgálni egy kísérletben.

A talajok C- vagy N-készletét a felső 1 m-es rétegben a Jobbágy & Jackson (2000, 2001) által kidolgozott függvények segítségével a következő egyenletek szerint számolhatjuk:

$$(1. \text{ egyenlet}) \quad Y = 1 - \beta^d \quad (2. \text{ egyenlet}) \quad X_{100} = \frac{1 - \beta^{100}}{1 - \beta^{d0}} \times X_{d0}$$

ahol Y a talaj C (vagy N) készletének kumulatív arányát jelenti a talaj felszínétől a d mélységig (cm); β a talaj C (vagy N) készletének relatív csökkenési üteme a talaj mélységével; X_{100} a talaj C (vagy N) készletét jelöli a felső 100 cm-ben (g m^{-2}); $d0$ az egyes vizsgálatokban rendelkezésre álló eredeti talajmélységet jelöli (cm); és X_{d0} az eredeti talaj C (vagy N) készlet (g m^{-2}). A talaj N esetében csak a globálisan átlagolt mélységeloszlást adta meg (Jobbágy és Jackson (2001)).



1. ábra, Az abszolút készletváltozás mértéke a szántóföldön, gyepterületen és legelőn végzett erdősítést követően **a)** a talaj C-értéke a szerves talajrétegben, **b)** a talaj N-értéke a szerves talajrétegben, **c)** a talaj C-értéke az ásványi talajrétegben, **d)** a talaj N-értéke az ásványi talajrétegben, **e)** a talaj teljes C-értéke és **f)** a talaj teljes N-értéke. A hibasávok 95%-os megbízhatósági intervallumot (CI) jelentenek, a sávok feletti értékek pedig a megfelelő számú

megfigyelést. A teljes talaj C és N abszolút készletváltozási rátáit nem közvetlenül a szakirodalomból vették ki, hanem az ásványi és szerves rétegek abszolút készletváltozási rátáinak átlagösszegét adták meg (Jobbágy és Jackson (2001)).

Az a) kép bal oldalán láthatjuk a szén gramm/négyzetméter változásait évente. A jobb szélső oldalán pedig a nitrogén gramm/négyzetméter/év változásait láthatjuk. A három függőleges oszlopból az 1. termőföld, 2. füves puszta és 3. a legelőt jelenítik meg.

(a és b): Szerves horizontban mind a szén és nitrogén értékek növekednek évente. A C és a N esetén is a legelő mutatja a legnagyobb ugrást, ez a legeltető állattartásnak és a velejáró természetes trágyázás okozhatja.

a szerves szén növekedése a legelő esetén a legmagasabb $60\text{g/m}^2/\text{év}$, a szerves nitrogén esetében a legelőn és a termő földön van nagyobb növekedés $2\text{g/m}^2/\text{év}$.

(b és c): Az ásványi horizontban a N értéke csappan meg drasztikusan, főként a füves puszták és a legelők esetében, $-4\text{g/m}^2/\text{év}$, hisz nagyobb összefüggő lombhullató erdő hiányában nincs jelentős avarképződés mely növelhetné a talaj N tartalmát.

A C esetében a füves pusztánál van a legnagyobb esés, akár -50g/m^2 is csökkenhet évente a széntartalom a szerves horizontban. A legelőknél is csökken a talaj ásványi széntartalma de ott nem olyan drasztikusan, a természetes trágyázás miatt, a termőföldek esetén pedig jelentős növekedés figyelhető meg, hisz az ültetvények nagy területet fednek le és jól megkötik a levegőből származó széndioxidot és gyökereikkel lebontják az állati és növényi maradványokat.

(e és f): Összevetve a szerves és ásványi értékeit a szénnek és a nitrogénnek azt látjuk az ábrán, hogy a mezőgazdasági területeken nagyon magas, akár $90\text{--}95\text{ g/m}^2$ -nyi szén is bekerülhet évente a talajba, a legelők esetén kevesebb, $70\text{g/m}^2/\text{év}$. A füves puszták inkább lassú mértékű szénmennyiség veszteséget mutatnak, mivel nincs jelentős avarképződés és nem legeltetnek ott olyan mennyiségben állatokat, hogy a trágyázás révén jelentős mennyiségű C input történjen.

A nitrogén tartalom változásainak összegzése esetében pedig csak a mezőgazdaság által használt földeken látunk csekély növekedést, $2\text{g/m}^2/\text{év}$, ami a műtrágyázásnak és a jó nitrogénmegkötő termesztett növényzetnek tudható be. A füvespusztánál és legelőnél pedig nagy csökkenést láthatunk.

Kerongzhang et al. (2015) vizsgálatai szerint a talajban az eredetileg is jelenlévő szerves szén (SOC) gyors csökkenése az erdőirtás követően valószínűleg arra vezethető vissza, hogy

felgyorsul a talaj felszíni, szerves anyagban gazdag rétegének a pusztulása a helytelen talajművelés és az esőzések által okozott erózió miatt. Az erdőirtás a területek mikroklímájának változásai miatt is növelheti a talajban lévő szerves szén mineralizációs aktivitását, mely tovább csökkentheti a talajok szén tartalmát (Paul et al., 2002).

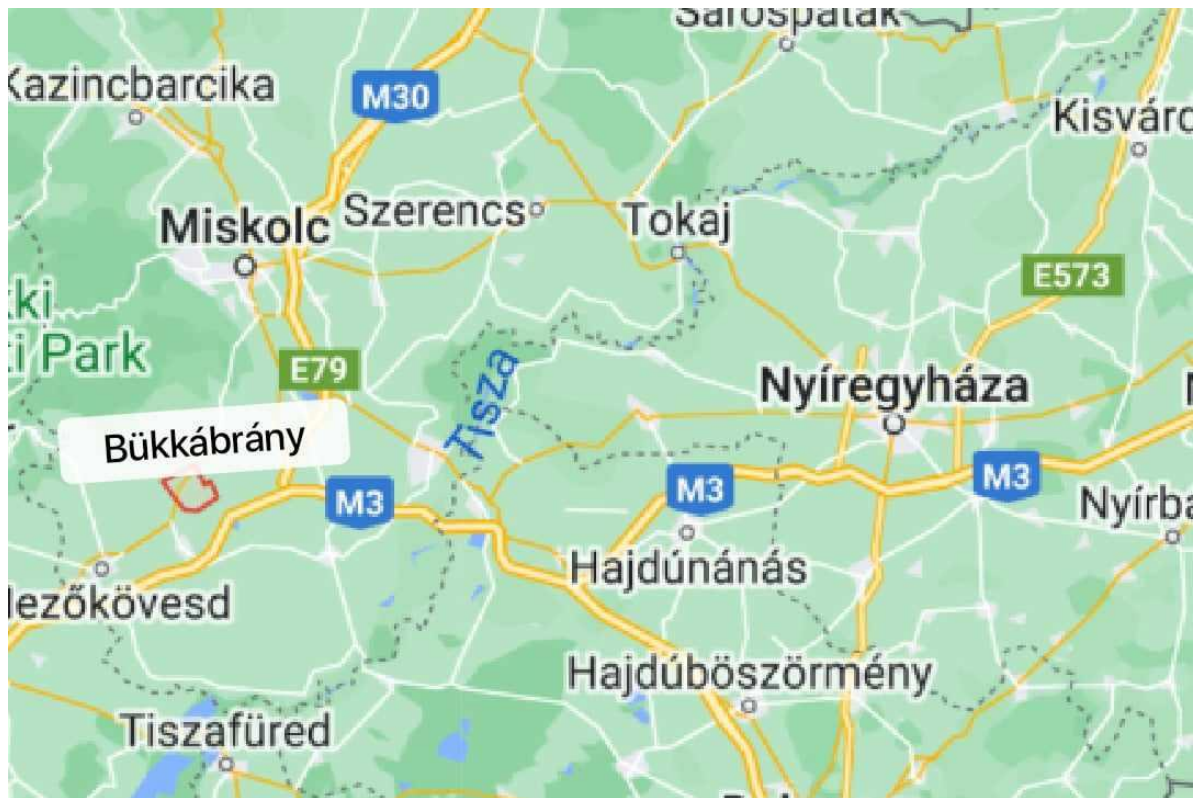
A régi talaj C-értéke csökkent, míg az új talaj C-értéke jelentősen nőtt az újra erdősítés óta eltelt idővel. A teljes SOC arányok felhalmozódása és az éves középhőmérséklet közötti kapcsolat nem volt szignifikáns. Az erdőirtási területek esetében az új talaj C felhalmozódásának aránya nem függött az éves középhőmérséklettől ($P > 0,05$), de szignifikánsan növekedett az éves átlagos csapadékmennyiséggel ($R^2 = 0,17$, $P < 0,05$). Az új talaj C felhalmozódásának mértéke a trópusi erdőirtási területeken 19,6 és 181,0 g m² /év között mozgott. Átlagosan 93,5 g m² /év átlaggal. Az átlagos a talajban felhalmozódó új C mennyisége a szubtrópusi és mérsékelt övben 85,4 és 25,8 g m² év⁻¹ volt.

Hipotézisünk szerint az erdősítések 3 évtizede alatt jelentősen nő a fásítás hatására az üledékek szerves szén és nitrogén tartalma, melynek hatására az eredetileg szerves anyag mentes bányameddő üledék a talajosodás útjára lép. A növényzettel fedett, szerves anyagokban jelentősen gazdagabb talajok sokkal jobban ellenállnak az eróziós hatásoknak, mely a növényzetmentes, illetve fiatal erdővel borított dimbes-dombos, frissen visszahányt meddőhányókon jelentős problémákat okoz. Így az erdő telepítés nemcsak talajtani szempontból érdekes, de hatékony eszköze a tájvédelemnek.

Anyag és módszer

Kutatási terület bemutatása

A vizsgálati terület a külszíni lignitbánya egykori területén, Bükkábrány és Vatta települések között fekszik a 3-as számú főúttól délre fekvő területen, (1.kép) Magyarország ÉK-i részén, a Bükk hegység előterében az Alföld északi peremén. Az éves középhőmérséklet 10 °C, míg az éves átlagos csapadék érték kb. 590 mm.



2. ábra. A bükkábrányi bánya helyszínéül szolgáló ÉK-magyarországi terület térképe.

Bükkábrány előterében lévő lignitbánya rekultivációs területén vettünk talajmintákat.

A fényképek a bánya területen folyó lignitkitermelési munkákat mutatják. (A bánya területén a médiatartalom készítése tilos. a fényképek forrása az MVM Mátra Energia Zrt).

2. kép Miután már nem maradt kitermelni való lignit, a korábban kiemelt terméketlen bányameddő anyagot visszatöltik.



3.kép. Lignittelep a bányagödör fenekén



4. kép A kitermelést végző kotrógép.



A gyenge minőségű barnakőszén, a lignitet a visontai hőerőműbe szállítják. A lignit 50-70m mélységben helyezkedik el. Körülbelül 7-8 millió évvel ezelőtt képződött. A felette lévő

agyagos és homokos rétegek az idők folyamán befedték a lignit réteget. A kitermelés befejeztével Európai Unió jogszabályoknak megfelelően a bányameddő üledékét visszahányták a bányaüregbe. Az akácfaakat a visszahelyezett szénmentes üledékbe ültetik az erdősítés folyamán. Ennek oka, hogy a bányászati tevékenység előtt a területen gyenge minőségű, alacsony szerves anyag tartalmú, mezőgazdaságilag művelt talajok voltak, így azok felső rétegét többnyire nem deponálták külön.

A kutatás célja: Annak vizsgálata, hogy a rekultivált bányaterületeken milyen mértékben halmozódik fel a különböző korú telepített erdők talajaiban a szerves szén. Ennek érdekében 5, 13, 18, 23 és 29 éves erdőket vizsgáltunk. 20 mm-es átmérőjű Pürckhauer 434 1175/1000 mm-es (Bürkle GmbH) talajmintavevőt használtunk, mellyel 0 – 5, 5 – 15 és 15 – 25 cm-es mélységekből vettünk talajmintákat, erdő site-onként 5 – 5 fúratból random módon.

5.kép. Egy 29 évesen kivágott akácfa a rekultivált területen.



Az összehasonlíthatóság miatt az összes vizsgálati területen azonos típusú **(Fehér akác - (*Robinia pseudoacacia*)** erdők alatt vizsgáltuk a talajt. Ezt a fajt használták a leggyakrabban a rekultivációhoz jó tűrőképessége miatt.

A meddő visszatöltése után a szerves szénmentes meddőüledéket ültették be fákkal, ezek szervesanyagtermelése fokozatosan növelte az üledéknek a széntartalmát kialakítva ezzel egy szerves anyagokban gazdag erdőtalajt.

(legidősebb 29 éves erdő) (6.kép)

6.kép



7. kép (Legfiatalabb 1-3 éve telepített erdő)



8. kép (A dolgozat készítője titrálás közben)



Talaj szerves szén tartalmának meghatározása

A talaj szervesanyag tartalma (SOM) sokféle összetételű vegyületekből áll melyek gyakran a talaj ásványi anyagokhoz is kapcsolódnak. A talaj szerves anyagainak meghatározása azon a közös tulajdonságon alapszik, hogy könnyen oxidálhatók.

Két módszert is használtunk a széntartalom megállapítására:

Tyurin-módszer és CN analízátor (Skalar Primacs Snc-100 CN).

Az oxidáció miatt CO₂ keletkezik. Az oxidálásra felhasznált oxidálószer mennyiségéből megállapíthatjuk a talaj SOM tartalmát. (oxidometriás titrálás)

(A CN analízátor a nitrogént is méri.)

Tyurin módszer:

A talajminták előkészítése: 5-10g-nyi talajt csipesszel megszabadítunk a növényi és állati maradványoktól. A megtisztított talajmintákat lisztfinomságúra porítjuk(0,25mm) őröljük egy

porcelánmozsárban. Majd a finom gyökérszalakat is kisedjük csipesszel. Az így készített talajmintákból a várható humusztartalomtól függően különböző mennyiségben mérünk ki.

Ha a talaj várható humusztartalma 1-3% 0,5-0,3g-ot 3-5% 0,3-0,1g-ot >5% 0,1g-nál kevesebb talajt mérünk be analitikai mérlegen

0,2g talaj > Vakminta az analitikai mérlegre, majd 20cm³ bikromátot öntünk rá egy főzőpohárban és 10 perc főzés. Általában minél sötétebb a talaj annál több a humusztartalma.

Az előkészített talajmintákat lemérjük analitikai mérlegen és a lemért mennyiséget 200-300cm³-es Erlenmeyer lombikba tesszük, bürettából 10cm³ 0,4n (mólos) kénsavas káliumbikromát oldatot adunk hozzá.

A lombikot lassú körmozgással rázzuk, a lombik szájába képződött veszélyes gőzök kondenzálása miatt egy kicsi üvegölcsért teszünk. 5 percig elektromos főzőn, vagy gázlángon gyengén forraljuk, a roncsolás során a káliumbikromátnak fölös mennyiségben kell jelen lenni, ezért az elegy színe narancssárga kell, hogy legyen.

Ha a roncsolási elegy a forralás előtt/után kizöldülne, még 10 cm³ 0,4 n (mólos) kénsavas káliumbikromát oldatot adunk hozzá és így lesz összesen 20 cm³, ezt 10percig melegítjük. Forralás után mikor lehűlt desztillált vízzel bemossuk a tölcsért, az oldat térfogatát 100cm³/ml-re növeljük. **3 csepp ferroin** (ferrosó) indikátort hozzá adunk és 0,2 n Mohr sóoldattal a fölös mennyiségben levő K₂Cr₂O₇ meghatározása érdekében azonnal megtitráljuk.

Titrlás közben a fölös mennyiségben levő kromát ion okozta narancsbarna színárnyalat csökken és a krómionok mennyiségének megnövekedésével az oldat zöld színű lesz. A titrlás akkor ér véget, ha a kékeszöld szín piszkosbarnába csap át. Ilyenkor megállapíthatjuk az azonos körülmények között talaj nélkül forralt 10cm³ 4 n(mól/dm³ koncentrációjú kénsavas káliumbikromát oldatra fogyott 0,2 n (mól//dm³) Mohr só mennyiségét.

A túlhevülés megakadályozása érdekében néhány üveggyöngyöt teszünk Forralás előtt a lombikba. Az így kapott titrlási értéket "vakpróbának" nevezzük. Ha a talajban sok a klorid vagy redukált ion a valóságnál nagyobb humuszértéket kapunk.

Talaj szerves anyag tartalmának (SOM) kiszámítása:

1cm^3 $0,4\text{ mol/dm}^3$ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ — $0,0032\text{g}$, azaz $3,2\text{ mg}$ elemi oxigént fejleszt.

A $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ egyenlet értelmében $12,01\text{mg}$ szerveskötésű szén oxidálásához 32mg O_2 szükséges. Az egyenlet megfordítva $3,2\text{mg}$ oxigén, azaz $1\text{cm}^3/\text{ml}$ $0,4\text{mol}$ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ oldat $1,201\text{ mg}$ szerves kötésű szén mennyiséget jelent.

(SOC) A talaj szerves széntartalmának kiszámításánál a titráláshoz fogyott Mohr só oldat ml-einek számát vesszük alapul $\rightarrow 1\text{ml}$ $0,2\text{n}$ Mohr só $0,5\text{ml}$ $0,4\text{n}$ káliumbikromáttal $0,6005\text{mg}$ szénnel egyenértékű.

9.kép (Dr. Fekete István Tanár Úr és Horváth Éva szaktársam melegítik az Erlenmeyer lombikban lévő oldatot)



CNS analizátor a szén és nitrogén tartalom meghatározásához,

10.kép Skalar Primax Snc -100 CN analizátor



A talaj széntartalmának CN analizátorral történő mérésénél a égés során képződő CO_2 -t mérjük az infravörös fényelnyelődés detektálásának segítségével.

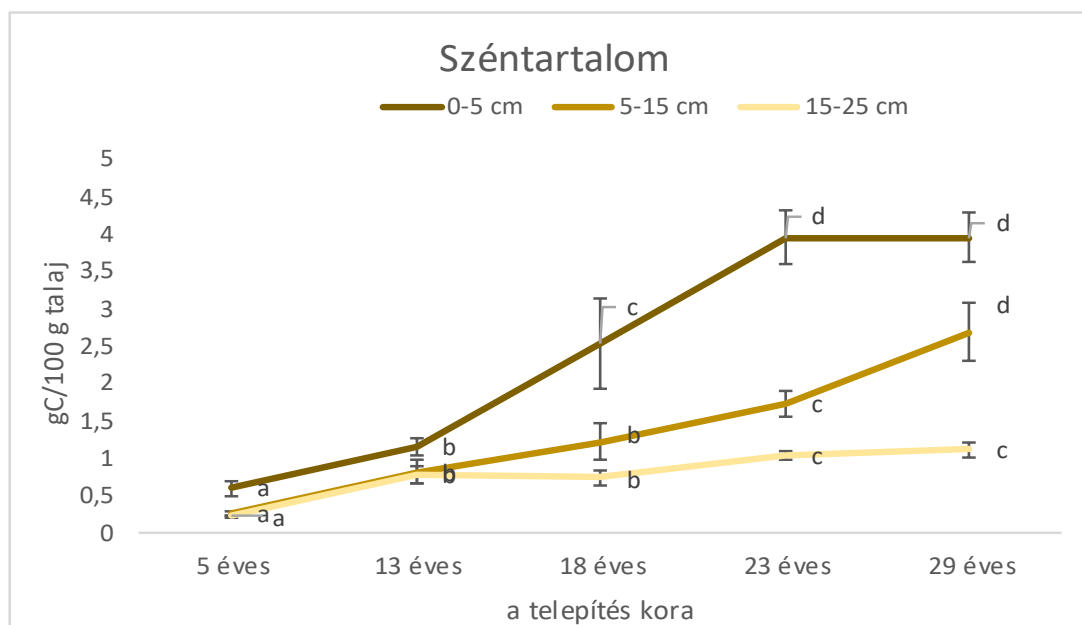
Míg a talajok szerves nitrogén tartalmát a SOM égése során képződő nitrogén gáz vizsgálatával mérjük. A talajok nitrogén tartalma szerves anyagokban annál magasabb minél több nitrogéngáz képződik, amit a hővezetőképesség növekedésének mérésével detektálunk.

Statisztikai analízis

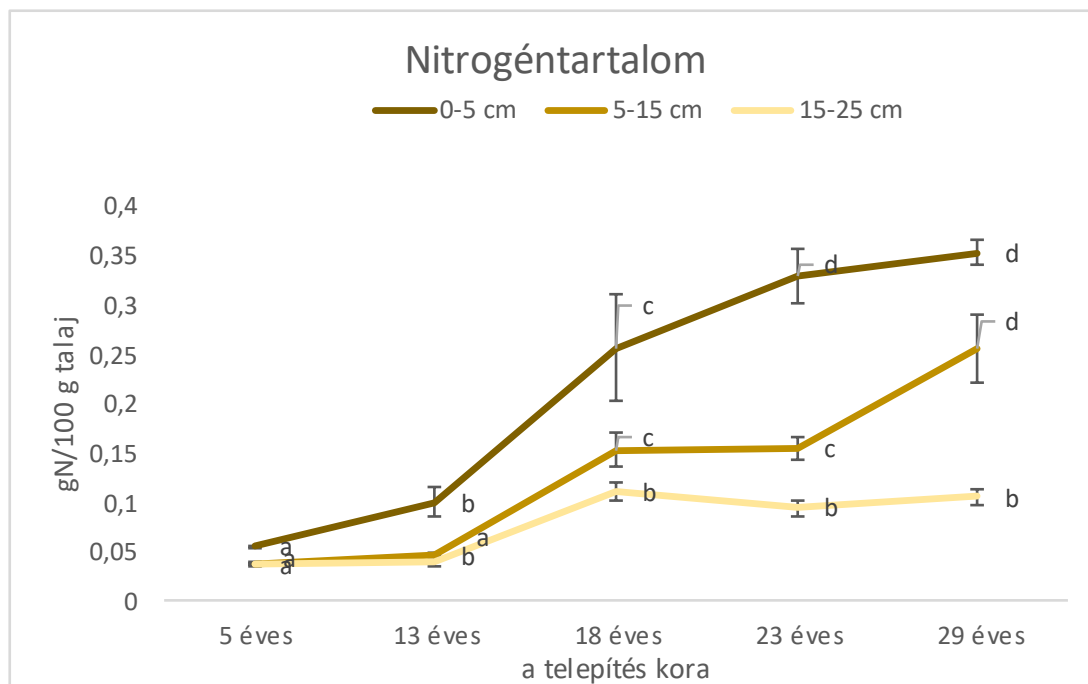
A statisztikai elemzések során egytényezős véletlen elrendezésű modellt (One-Way randomized design ANOVA) használtunk. "Tukey" HSD tesztet használtunk a különböző korú erdők szén és nitrogén tartalmának statisztikai vizsgálatához, melyhez a Statistica 8.0-ás programot használtuk.

Eredmények

A talajok felső 25 cm-es részének 3 rétegben történő elemzése a szerves szén és nitrogén tartamukat illetően: (3. ábra, 4. ábra)



3. ábra. A különböző korú erdők eltérő mélységű talajaiban mért szerves széntartalmak mennyisége tömeg %-os értékekben. Az eltérő betűk a szignifikáns különbséget mutatják a különböző korú erdők talajaiban.



4. ábra. A különböző korú erdők eltérő mélységű talajaiban mért nitrogén tartalmak mennyisége tömeg %-os értékekben. Az eltérő betűk a szignifikáns különbséget mutatják a különböző korú erdők talajaiban.

A 3-as és 4-es ábrákon azt figyelhetjük meg, hogy a szén és nitrogén lépcsőzetes mintázata helyenként hasonló, mivel a talaj szervesanyagainak a molekuláiban mind a kettő megtalálható és hozzá kötődik. A talajok felső 5cm-ben figyelhetünk meg egy óriási ugrást mind a szén és a nitrogén esetében a 13. és a 18.év között.

A vonalas kis oszlopok hossza azt mutatja mekkora az SE (standard error) értéke. A szén és nitrogén tartalom növekedés a 18.évben lelassul vagy meg-meg áll. Az 5-15cm-es rétegben a 23.és 29.év között van nagy ugrás, mivel a talaj ezen részében a kötött szén és nitrogén tartalom növekedése sokkal lassabb mint a fentebb levő rétegekben. A 15-25cm es mélységben a legkevésbé drasztikus a növekedés, mivel a talaj felszínétől messzebb van és így lassúbb a szén beépülésének üteme a talajba.

A **felső 5 cm**-es réteg esetén a széntartalom és a nitrogéntartalom is elérte az adott erdőtípusra jellemző egyensúlyi állapotot a széntartalma tekintetében, így 23. év után már nem növekedtek. Az újonnan képződő és a lebomló szén mennyisége mennyisége egyensúlyba került egymással, így további növekedés nem volt tapasztalható.

5-15cm-nél a szén viszonylag egyenletesen lassan növekszik, a nitrogénnél pedig 18. és 23.év között látunk stagnálást, majd a nitrogéntartalma a talajnak újabb hirtelen ugrást mutat a 23.és 29. év között.

A **15-25 cm**-nél a szénnél 5. és 13. év között van egy meredekebb ugrás, majd ezután beáll egy szintre, majd jóval lassabban növekszik tovább. A nitrogénnél azt látjuk, hogy 13.-18. év között van egy nagy meredek ugrás, utána elkezdi lassan alacsony meredekséggel csökkenni a 23. évig, majd nagyon lassan újra elkezdi növekedni a talaj nitrogéntartalma 23.-29. év között.

Mélyebb rétegek esetében (15-25cm) lassabb, ám de tartósabb növekedés, a 29 éves utolsó méréseknél is növekvő tendenciát tapasztaltunk. 5-15cm-nél lassú és folyamatos, a 15-25cm-nél lassabb, de nem szignifikáns. A 23 éveshez képest a legütemesebb növekedés a 13 és 18 év között volt megfigyelhető, a nitrogén esetében mind a 3 rétegben. A széntartalomnál leginkább a felső 5cm-es rétegben a 13 és 23 évesnél volt a legjelentősebb a növekedés. (350-400%). A fák növekedésével nőtt az avarprodukción és a gyökér növekedése is növelte a szén tartalmát. Ezek egy része tartósan a talajban maradt és ez növelte a talajok szén készletét.

Magyarázat

Li et al. (2012) fásítási kísérletükben azt tapasztalták, hogy az erdősítés után 30, illetve 50 évvel jelentős C és N készlet növekedés történt a beerdősített területeken. Ezeknél rövidebb időtávon a talajok C és N tartalma vagy csökkent, vagy változatlan maradt. A talajok felső rétegeiben található nitrogén (N) elsősorban a szerves anyagokhoz kapcsolódva fordul elő. Ebből fakadóan talaj C- és N-készletének változásai jelentősen korreláltak egymással, és hasonló időbeli mintázatot mutattak (Li et al. 2012). Vizsgálataink ez utóbbi megállapítást támasztották alá, ugyanis a különböző korú erdők C és N tartalom változásainak mintázata nagyon hasonló volt. A széntartalom a mi vizsgálatunkban már az első 10-13 évben is mutatott növekedést, de a N tartalom esetében ez inkább csak a felső 5 cm-es rétegben nyilvánult meg. Ez annak volt köszönhető, hogy a kínai vizsgálatokkal szemben, a bükkábrányi területeken a talajok kezdeti C és N tartalma a nulla körüli értéktartományból indult, így a kezdeti kisebb avar és gyökértermelés is indukált némi növekedést a rekultivált területek alapban szerves anyag mentes üledék anyagán.

Deng et al. (2016) azt tapasztalták, hogy a talajok $\text{NH}_4^+\text{-N}$ koncentrációja szignifikánsan alacsonyabb a szántóföldeken, mint az erdősített talajokon, míg a talajok nitrát tartalma az erdőterületeken a legalacsonyabb, a cserjékkel borított területeken közepes, míg a szántókon a legmagasabb. Az erdősített talajok átlagosan magasabb talajmikrobiális biomasszát (MBC) tartalmaznak, de alacsonyabb a MBC:SOC arányt adtak a szántóföldi talajokhoz képest.

A nedvesebb mérsékeltövi erdőkben a talaj CO_2 kibocsájtása nyáron a legmagasabb, mivel a talaj hőmérséklete ilyenkor a legmagasabb, de a víztartalom nyári csökkenése még nem veti vissza jelentősebben a metabolikus folyamatokat. Ezeken a területeken a talajok CO_2 kibocsájtása télen a legkisebb, mivel a mikrobák és egyéb talajlakó élőlények lebontó folyamatai nem érvényesülhetnek a hideg miatt (Bajracharya et al., 2000; Parkin és Kaspar, 2003). Ugyanakkor a szárazabb magyarországi erdőterületeken a nyári aszály miatt a lebontó folyamatok veszíthetnek az aktivitásukból, ami segítheti a talajokban történő C felhalmozódást (Fekete et al. 2021, 2023). Ez is magyarázhatja a bükkábrányi meddőhányók felszínére telepített erdők talajainak jelentős SOM növekedését.

Paul et al. (2002) ausztráliai vizsgálataik azt mutatták, hogy a mezőgazdasági talajok (szántó és legelő területek) C tartalmának erdősítés általi csökkenése, vagy növekedése elenyésző a telepített erdőségek fa biomasszájában felhalmozódó C mennyiségéhez képest. A C mennyiségének talajokban történő változását befolyásoló legfontosabb tényezők a korábbi

földhasználat, az éghajlat (csapadék és hőmérséklet, valamint az éves párolgási veszteség mértéke), a talajok összetétele és a létesített erdő típusa voltak. Az eredményeik azt sugallják, hogy a legtöbb talajba kerülő C elveszett, amikor puhafákat, különösen *Pinus radiata* ültetvényeket telepítettek a vizsgált területeken, a korábban feljavított legelők helyén. A talajokban folyó C felhalmozódás akkor volt a legnagyobb, amikor lombhullató keményfák, vagy N₂ megkötő baktériumokat tartalmazó fajok kerültek a vizsgált területek egykoron művelt földjeire. Ezek az ausztrál vizsgálatok nemcsak azért mutattak részben más eredményeket, mint a mieink, mert szemben a mi vizsgálatainkkal nem SOM mentes talajokra ültették az erdőségek fáit, hanem azért is, mert az ausztrál talajok általában tápanyagokban igen szegények, így a klimax erdőtársulások taljai sem képesek jelentős mennyiségű SOM tárolására.

Az USA préri területein végzett vizsgálatok azt mutatták, hogy a talajművelés nélküli gyakorlatok alkalmazásával a hagyományos talajműveléshez képest a szénmegkötés mértéke körülbelül 400 kg C/ha⁻¹év⁻¹ 13-14 év elteltével (Curtin et al., 2000). Egy másik vizsgálatban a CRP (Conservation Reserve Program - Természetvédelmi megőrzési program) keretében a földek művelése a talaj szénmennyiségének drasztikus csökkenését eredményezte a megnövekedett CO₂-kibocsátás miatt. A CO₂-kibocsátás csökkenthető, ha talajművelés nélküli rendszert alkalmazzuk.

Mások kutatásai is azt igazolják, hogy a beerdősítéssel a terméketlen talajok visszaállíthatók eredeti vagy közel eredeti állapotukba, különösen a megfelelő talajkezelési gyakorlat és ökológiai folyamatok folyamatos felügyelete mellett (Liu et al. 2024). Ez javítja a talaj szerves és ásványi C és N megtartó képességét, így elősegítve a szervesanyag tartalom felhalmozódását. A talaj széntartalma (elsősorban a szerves szén) alapvető szerepet játszik az ökoszisztémák szénkörforgásában. A szerves szén fontos tápanyagforrást biztosít a talaj mikroorganizmusai számára, hozzájárul a talaj szerkezetének javításához, és elősegíti a vízmegtartást. A rekultivált bányameddők széntartalmának növekedése az erdősítést követően az organikus anyagok felhalmozódásának, a humifikációs folyamatok beindulásának és a növényi maradványok lebomlásának köszönhető.

A különböző korú rekultivált bányameddő területek széntartalmának vizsgálata rávilágít arra, hogy az idő előrehaladtával jelentős változások következnek be a talaj szerves anyag tartalmában. Az erdősítés kezdeti szakaszában a széntartalom alacsony, mivel a talajban kevés az organikus anyag, és a mikrobiális aktivitás is gyenge. Az idő múlásával azonban a növényi biomassza (avar, gyökérmaradványok) felhalmozódása, valamint a mikroorganizmusok és

talajlakó állatok aktivitásának növekedése eredményeképpen a szerves szén mennyisége fokozatosan növekszik. Az idősebb rekultivált területeken a talaj humusztartalma gyakran már megközelítheti, vagy akár el is érheti a természetes erdők talajában mért értékeket. Ez a folyamat azonban hosszú időt – akár több évtizedet – igényel, és számos tényező, például a növénytársulás típusa, a talaj eredeti kémiai összetétele, valamint a klimatikus viszonyok befolyásolják. A rekultiváció során alkalmazott módszerek jelentős hatással vannak a talaj széntartalmára. Az erdősítés során telepített fafajok, azok gyökérzete, levélhullása, illetve a talajban kialakított mikroklíma mind hozzájárulnak a szén akkumulációhoz. A gyors növekedésű, nitrogénkötő fajok (pl. akác) gyorsabban növelhetik a szerves anyagok mennyiségét, míg az őshonos fafajok (pl. tölgy, bükk) hosszabb távon fenntarthatóbb talajfejlődést eredményezhetnek.

Összefoglalás

- A vizsgálatok igazolják az erdősítés talaj szén növelő hatását.
- A mélyebb talajrétegekben jelentősen csökken a talajok széntartalma a felszíni réteghez képest.
- Jól látható, hogy az erdők idősebbé válásával növekszik a talajok széntartalma, azonban vannak időszakok mikor az előző vizsgálati értékhez képest stagnált a széntartalom.

- Az erdősítés jelentős védelmet nyújt az erózió ellen, mely különösen a hevesebb záporokat követően okoz nagy pusztítást. A frissen ültetett erdőket is jelentősen sújtják ezek a hatások, de az idősebb erdők alatt, ahol a lomboszat is védi a talajt, illetve a fák gyökérzete is segít stabilizálni a felszínt, ott a pusztítás mértéke szemmelláthatóan kisebb.

További feladatok:

1. A talajok térfogattömege segítségével kiszámoljuk, hogy hektáronként hány tonna szén halmozódik fel a különböző korú erdők talajaiban a vizsgált bányarekonstrukciós területen.
2. SOM vegyületeinek minőségi vizsgálata

Mintagyűjtő csövek segítségével elvégezzük a talajok térfogattömegének mérését. A Bolognai Egyetemen tervezzük végezni a SOM minőségi vizsgálatát thermogravimetriás módszerrel (fokozatosan növeljük a minták hőmérsékletét és a képződő gázok vizsgálatával kapunk adatokat a SOM-ról), továbbá szén (C13) és nitrogén (N15) izotópos vizsgálatot is tervezünk.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni Dr. habil. Fekete Istvánnak, Horváth Éva szaktársamnak, Kovács Lászlóné volt laboránsunknak és a Dr. habil. Béni Áronnak (Debreceni Egyetem), Dr. habil. Kotroczó Zsoltnak (MATE) a munkámhoz nyújtott segítségét! Továbbá Mata Tibor Bányaigazgató úrnak az engedélyt és a technikai segítséget a bányameddő területeken végzett vizsgálatokhoz, továbbá Szomor László főtechnológus úrnak a területeken végzett munka során nyújtott segítségét és hasznos információit.

Irodalomjegyzék:

Beare, M.H., M.L. Cabrera, P.F. Hendrix, and D.C. Coleman. 1994. Diurnal and seasonal CO₂–C flux from soil as related to erosion phases in central Ohio. *Sci. Soc. Am. J.* 64:286–293.

Bajracharya, R.M., R. Lal, and J.M. Kimble. 2000. Soil surface fluxes of greenhouse gases in an irrigated maize-based agroecosystem. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:387–395.

BATJES N.H., 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world, *European Journal of Soil Science*, 47, 15 1

Bisdorf, E.B.A.; Dekker, L.W.; Schoute, J.F.T. 1993. Water repellent of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *Geoderma* 1993, 56,105–118.

Curtin, D., H. Wang, F. Selles, B.G. McConkey, and C.A. Campbell, 2002. Rototillage, disking, and subsequent irrigation: Effects on soil nitrogen dynamics, microbial biomass, and carbon dioxide efflux. *J. Environ. Qual.* 31:752–758.

Deng Qi, Xiaoli Cheng, Dafeng Hui, Qian Zhang, Ming Li, Quanfa Zhang, 2015. Soil microbial community and its interaction with soil carbon and nitrogen dynamics following afforestation in central China, *Science of The Total Environment*, Volume 541, 15 January 2016, Pages 230-237

Fekete, István; Francioso, Ornella ; Simpson, Myrna J. ; Gioacchini, Paola ; Montecchio, Daniela ; Berki, Imre ; Móricz, Norbert ; Juhos, Katalin ; Béni, Áron ; Kotroczó, Zsolt, 2023. Qualitative and Quantitative Changes in Soil Organic Compounds in Central European Oak Forests with Different Annual Average Precipitation, *ENVIRONMENTS* 10 : 3 Paper: 48, 15p.

Fekete, I; Berki, I ; Lajtha, K ; Trumbore, S ; Francioso, O ; Gioacchini, P ; Montecchio, D ; Várbbíró, G ; Béni, Á ; Makádi, M et al. (2021) *BIOGEOCHEMISTRY* 152 pp. 13-32. , 20 p. How will a drier climate change carbon sequestration in soils of the deciduous forests of Central Europe?

Fülekgy György (szerkesztő), Talajvédelem, talajtan, Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet. Dr. Bidló András, Dr. Bíró Borbála, Csákiné Dr. Tombácz Etelka, Dr. Fülekgy György, Kristófné Dr. Horváth Erzsébet, Dr. Michéli Erika, Dr. Pápay László, Tóthné Dr. Farsang Andrea ISBN: 978-615-5044-28-1 2. bővített kiadás – 2011, Első kiadás: 2008 Veszprém

IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change (Climate Change 2007, Synthesis Report

Karhu K., A. Wall, P. Vanhala, J. Liski, M. Esala, K. Regina 2011. Effects of afforestation and deforestation on boreal soil carbon stocks—Comparison of measured C stocks with Yasso07 model. *Geoderma*. Volume 164, Issues 1–2, Pages 33-45

K E R O N G Z H A N G , H A I S H A N D A N G , Q U A N F A Z H A N G and X I A O L I C H E N G 2015. Soil carbon dynamics following land-use change varied with temperature and precipitation gradients: evidence from stable isotopes, *Global Change Biology* 21, 2762–2772, doi: 10.1111/gcb.12886

Jensen L.S., R.H. Kelly, H. Klein-Gunnewiek, A. Komarov, C. Li, and turnover. *Nature* 389:170–173. J.A.E. Molina, T. Mueller, W.J. Parton, J.H.M Thornley, and A.P. Vance, G.F.,

F.J. Stevenson, and F.J. Sikora. 1996. Environmental Whitmore. 1997. Mineral control of soil organic carbon

Liu, Y.; Qin, F.; Li, L.; Dong, X.; Liu, L.; Yang, L. 2024, The Long-Term Effects of Barren Land Afforestation on Plant Productivity, Soil Fertility, and Soil Moisture in China: A Meta-Analysis. *Plants*, 13 (12), 1614;

Mongil-Manso, J.; Navarro-Hevia, J.; San Martín, R. 2022, Impact of Land Use Change and Afforestation on Soil Properties in a Mediterranean Mountain Area of Central Spain. *Land*, 11(7), 1043; <https://doi.org/10.3390/land11071043>

Pan Yude, Richard A. Birdsey, Jingyun Fang, Richard Houghton, Pekka E. Kauppi, Werner A. Kurz, Oliver L. Phillips, Anatoly Shvidenko, Simon L. Lewis, [...], and Daniel Hayes., 2011. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests, *Science*, Vol 333, Issue 6045, pp. 988-993

Parkin Timothy B., Kaspar Thomas C. 2003. Temperature Controls on Diurnal Carbon Dioxide Flux, Implications for Estimating Soil Carbon Loss, *Soil Science Society of America Journal*, Volume 67, Issue 6, Pages 1763-1772

Paul K.I., P.J. Polglase, J.G. Nyakuengama, P.K. Khanna 2002. Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management*, Volume 168, Issues 1–3, 1 September 2002, Pages 241-257

Percival Harry J., Roger L. Parfitt, and Neal A. Scott, 2000. Factors Controlling Soil Carbon Levels in New Zealand Grasslands: Is Clay Content Important? *Soil Science Society of America, Journal*, Volume 64, Issue 5, Pages 1623-1630

Scott, Neal. A. Scott, C.Vernon. Cole, Edward.T. Elliott, and Steve.A. Huffman. 1996. Influence of environmental conditions and some Soil chemical properties on the carbon and nitrogen contents of textural control on decomposition and soil organic matter dynamics some tropical Australian rainforest soils. *Aust. J. Soil Res.* 28: ics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1102–1109. 825–839.

Sims Z. R. and G. A. Nielsen 1986. Organic carbon in Montana soils. Assessment, based on a climosequence of soil in as related to clay content and climate. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 50, No.5

Sollins, P., P. Homann, and B.A. Caldwell. 1996 436. USDA-NRCS, Washington, DC. Soil Sci. 151:220–227. Some aspects of for making and interpreting soil surveys. 2nd ed. Agric. Handb. clay humus complexation: Effect of exchangeable cations and lattice charge

Sorenson, L.H. 1981. Carbon–nitrogen relationships during the humi- A simple model of soil organic matter complexation to predict the fication of cellulose in soils containing different amounts of clay. solubility of aluminium in acid forest soils.

Surendra Bam és Suresh Bhandari (2013). Comparatives Study of Soil Organic Carbon (SOC) under Forest, Cultivated and Barren Land: A Case of Chovar Village, Kathmandu, 2013. Nepal Journal of Science and Technology 14(2):103-108,DOI:10.3126/njst.v14i2.10422

Weil, R.R. and Brady, N.C. (2017) The Nature and Properties of Soils. Pearson Education, Bostons.

Wesselink, L.G., N. van Breemen, J. Mulder, and P.H. Janssen. 1996. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:175–180. Geoderma 74:65–105. Stabilization and Veldkemp, E. 1994. Organic carbon turnover in three tropical soils destabilization of soil organic matter: Mechanisms and controls. under pasture after deforestation.