

DEBRECENI EGYETEM
Természettudományi és Technológiai Kar



Erdőtalaj szén-dioxid kibocsátása és szerves anyag dinamikája avarmanipulációs kísérletekben

(Síkfőkút DIRT Project)

Doktori (Ph.D.) értekezés

KOTROCZÓ ZSOLT

Debreceni Egyetem
Debrecen, 2009

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem TTK *Juhász-Nagy Pál* Doktori Iskola *Kvantitatív és Terresztris* programja keretében készítettem a Debreceni Egyetem TTK doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2009-02-15

.....
Kotroczó Zsolt

Tanúsítom, hogy Kotroczó Zsolt doktorjelölt 2003 - 2006 között a fent megnevezett Doktori Iskola *Kvantitatív és Terresztris ökológia* programjának keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult. Az értekezés elfogadását javasolom.

.....
Dr. Tóth János Attila

.....
Dr. Tóthmérész Béla

Debrecen, 2009-02-15

„Vannak dolgok, melyeket csak az érez,
Kinek esze, s vannak olyanok, melyeket
csak az ért, kinek szíve van.”

Eötvös József

Tartalom

1.	Bevezetés és célkitűzés	3
2.	Irodalmi áttekintés.....	5
2.1.	A Föld szénforgalma	5
2.2.	Avar, avarlebomlás	6
2.3.	A talaj szerves anyaga (SOM).....	8
2.4.	A talajlégzés	10
2.5.	Az üvegházhatás.....	12
2.6.	Magyarország klímájának változása	13
2.7.	A jövő éghajlatának hatása a hazai erdőkre	13
2.8.	Az erdők szénmegkötése	15
2.9.	Az LTER (<i>Long Term Ecological Research</i>).....	16
3.	Vizsgált terület	19
3.1.	A Síkfőkút Project alapítása, története.....	19
3.2.	A terület geológiai és talajtani jellemzése.....	21
3.3.	Klímaváltozási tendenciák	22
4.	Módszerek	23
4.1.	Az avarprodukción mérés.....	23
4.2.	A DIRT kísérletben alkalmazott kezelések.....	24
4.3.	A Síkfőkút DIRT project kísérleti parcelláinak létesítése és fenntartása	25
4.4.	A Síkfőkút DIRT Projectben alkalmazott vizsgálati módszerek.....	27
4.4.1.	A talajhőmérséklet mérése.....	27
4.4.2.	A talaj nedvességtartalmának meghatározása	28
4.4.3.	A talaj pH mérése	28
4.4.4.	A talaj szerves anyag tartalmának meghatározása	29
4.4.5.	A talaj szerves C- és N-tartalmának meghatározása	29
4.4.6.	Talajlégzés mérése.....	30
4.4.7.	Hőmérsékleti koefficiens számítása (Q_{10} ; Q_2).....	31
4.4.8.	Talajlégzés részösszetevőinek számítása.....	32
4.4.9.	Alkalmazott statisztikai módszerek	33
5.	Eredmények és értékelésük	34
5.1.	Az avarprodukción hosszú távú változása	34
5.2.	Az avarkezelés hatása a talajhőmérsékletre	37
5.3.	Az avarkezelés hatása a talaj nedvességtartalmára	40
5.4.	Az avarkezelés hatása a talaj pH-ra	41
5.5.	Az avarkezelés hatása a talaj szerves anyag tartalmára	41
5.6.	Az avarkezelés hatása a talaj szerves szén- és nitrogén tartalmára, a C:N arányra	44
5.7.	Az avarkezelések hatása a talajlégzésre	45

5.8.	A talajlégzés szezonális változása.....	47
5.9.	A talajlégzés részösszetevőinek megoszlása.....	48
5.10.	A talajlégzés részösszetevőinek megoszlása a többi DIRT site-tal történő összehasonlítás alapján	49
5.11.	A talajhőmérséklet hatása a talajlégzésre.....	50
5.12.	A klímaváltozás várható hatása a talajlégzésre (Q_{10} ; Q_2)	52
5.13.	A talaj nedvességtartalmának hatása talajlégzésre.....	53
5.14.	DIRT site-ok fontosabb adatainak összehasonlítása az eddigi vizsgálati eredmények alapján	54
6.	Összefoglalás.....	56
7.	Köszönetnyilvánítás	61
8.	Summary	62
8.1.	Introduction	62
8.2.	Material and methods	63
8.2.1.	The research area	63
8.2.2.	The LTER (Long-term Ecological Research) and the DIRT (Detritus Input and Removal Treatments)	63
8.2.3.	Methods	64
8.3.	Results and discussion.....	65
8.3.1.	Long-term changes of the litter production	65
8.3.2.	The effect of litter manipulation on soil temperature	65
8.3.3.	The effect of litter manipulation on soil moisture	66
8.3.4.	The effect of litter manipulation on soil pH	66
8.3.5.	The effect of litter manipulation on organic matter content..	66
8.3.6.	The effect of litter manipulation on soil organic carbon and nitrogen content and C:N ratio	68
8.3.7.	The effect of litter manipulation on soil respiration	68
8.3.8.	Distribution of soil respiration component.....	69
8.3.9.	Connection between soil respiration with soil moisture and soil temperature	70
8.3.10.	The effect of climate change on soil respiration (Q_2)....	70
8.3.11.	Compare of the main data of US and European DIRT sites	71
9.	Irodalom	73
10.	Tudományos tevékenység jegyzéke.....	84
10.1.	A témában elhangzott előadások, posztterek	84
10.2.	A témában megjelent szakcikkék.....	85
10.3.	Egyéb előadások, posztterek	86
10.4.	Egyéb szakcikkék.....	87

1. Bevezetés és célkitűzés

A Síkfőkút Project hosszú távú meteorológiai adatsorai alapján kimutatható, hogy a síkfőkúti cseres-tölgyes klímája a kutatás 1972-es megindulása óta melegebbé és szárazabbá vált (ANTAL *et al.* 1997; TÓTH *et al.* 2007). A klímaváltozás hatására az erdő fafaj összetétele és struktúrája is jelentős mértékben megváltozott, amelyre jellemző a nagyarányú tölgypusztulás, a relatív elcseresedés és az eljuharosodás (BOWDEN *et al.* 2006; KOTROCZÓ *et al.* 2007; TÓTH *et al.* 2006).

Arra vonatkozóan, hogy a klímaváltozás hatására hogyan változik az avarprodukció – ezáltal a talajba jutó szerves anyagok mennyisége és minősége –, ma még meglehetősen kevés információ áll rendelkezésünkre. Az avarprodukciót a felmelegedés növeli, ugyanakkor a szárazodás csökkenti, azaz a két folyamat együttes hatása, eredője fogja meghatározni a változások irányát, tendenciáját.

Ugyancsak kevés információval rendelkezünk arra vonatkozóan is, hogy a klímaváltozás hatására hogyan fog változni a talajban található szerves anyagok mennyisége, a talaj szerves anyagainak lebomlási sebessége, a talajlégzés. A Föld talajában kb. $1,58 \times 10^{18}$ g szerves kötésű szén található, amely 2-3-szor nagyobb a vegetáció szén tartalmánál (REINERS 1968; SCHLESINGER 1990). A talaj szerves anyagainak bomlásakor, a talajlégzés folyamán jelentős mennyiségű szén-dioxid áramlik ki a talajból és jut az atmoszférába, ami kb. 10-szer nagyobb a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származó CO₂ mennyiségnél (SCHLESINGER 1977). Ezért minden olyan változás, amely a talaj szerves szén tartalmával kapcsolatos, számottevően befolyásolja a globális szén-ciklust is. A felmelegedés hatással lesz a talaj szerves anyagainak bomlására, a talajlégzésre és ezen keresztül a bioszféra szén körforgalmára is. Várható tehát, hogy ennek hatására a talaj hőmérsékletének növekedésével tovább fokozódik a talajlégzés, a talajból történő szén-dioxid kiáramlás, ami mint legfontosabb üvegházhatású gáz, pozitív visszacsatolásban tovább fokozhatja a felmelegedést (KAYE & HART 1998). A talajlégzés növekedésének további káros következménye, hogy hosszabb távon a talaj szerves anyag tartalmának csökkenését eredményezi, ami a termőhely leromlásához vezet.

Az értekezés általános célkitűzése annak feltárása, hogy a klímaváltozás hatására hogyan változik az avarprodukció, továbbá hogy az avar input szabadföldi avarmanipulációs kísérlet keretében történő mesterséges megváltoztatása milyen módon befolyásolja a talaj legfontosabb abiotikus paramétereit, a talaj-hőmérsékletét,

nedvességtartalmát, a talajban lévő szerves anyagok mennyiségét, a talaj C- és N- dinamikáját, valamint a talajlégzést.

Vizsgálatainkat a Síkfőkút DIRT Project keretében végeztük, amely része az USA ILTER (*International Long-Term Ecological Research*) DIRT (*Detritus Input and Removal Treatment*) Projectnek. A nemzetközi hálózatban jelenleg négy amerikai kutatóhely (Harvard Forest, Bousson Forest, H. J. Andrews Forest, Michigan Biological Station), és Európából két kutatóhely (Bayreuth Forest, Síkfőkút Project) vesz részt. A DIRT Projectet hosszú távú, több évtizedre kiterjedő vizsgálatra tervezték, az avar input és a talaj szerves anyag képződés bonyolult biológiai és kémiai összefüggéseinek a vizsgálatára és feltárására. A projekt célja annak feltárása, hogy a növényi avar input minőségi és mennyiségi összetételének a hosszú távú megváltoztatása különböző klimatikus viszonyok között, hogyan hat a talaj szerves anyag akkumulációjára, dinamikájára (NADELHOFFER 2004). A Síkfőkút DIRT Projectben kapott eredmények önmagukban is értékelhetők, az ILTER DIRT projectben való részvételünk azonban kutatásaink hatékonyságát jelentősen megnöveli. Az azonos módszerekkel kapott eredmények összehasonlítása alapján szélesebb érvényű általános összefüggések feltárására nyílik lehetőségünk.

A disszertáció – kapcsolódva a Síkfőkút DIRT Project illetve az ILTER DIRT Project általános célkitűzéseikhez, annak résztémájaként konkrétan az alábbi kérdéseket vizsgálja:

1. A klímaváltozás hatására hogyan változik a Síkfőkúti cseres-tölgyes avarprodukciójának minőségi és mennyiségi összetétele, a korábbi több évtizeddel ezelőtti mért adatokhoz viszonyítva?
2. Az avarinput mesterséges megváltoztatása hogyan hat a talaj hőmérsékletére és nedvességtartalmára?
3. Az avarkezelések hatására hogyan változik a talaj szerves anyag tartalma?
4. Az avarmanipulációs (DIRT) kezelések hogyan befolyásolják a talajból kiáramló CO₂ mennyiségét, a talajlégzést?
5. A klímakutatók által a század végére jósolt 2°C-os hőmérséklet-emelkedés hatására várhatóan hogyan változik a talajlégzés?
6. Milyen összefüggés mutatható ki a talaj hőmérséklete, nedvességtartalma és a talajlégzés között?
7. Eredményeink összehasonlítása más, hasonló kutatóhelyek vizsgálatainak eredményeivel.
8. Milyen további következtetések vonhatók le a többi DIRT site kutatási eredményeivel való összehasonlítása alapján?

2. Irodalmi áttekintés

2.1. A Föld szénforgalma

A szén (C) körforgalom bolygónk egyik legösszetettebb, ugyanakkor legkevésbé ismert nagyméretű természeti folyamata. Mintegy 42×10^{18} g-ra becsülik azt a szénmennyiséget, amit a légkör, az óceánok, és a bioszféra köt meg, illetve ami e három szféra között vándorol (DUNN 2001).

A szén egyik nagy rezervoárja a légkör, amely CO_2 formájában 750×10^{15} g szenet raktároz. Ezt a szén-dioxidot tekintjük ma az élet egyik forrásának, hisz a zöld növények – fotoszintézis útján – élő anyagukba építik be azt. A növények testében megkötött szén két úton kerülhet vissza a légkörbe. A növényevő és – közvetve – a húsevő állatok légzése útján, amely során oxigént vesznek fel és CO_2 -t lélegeznek ki.

A másik út: az elhalt élőlények a talajra, illetve a talajba kerülnek, ott a lebontó szervezetek elfogyasztják ezeket, melynek során ugyancsak CO_2 -ot juttatnak a környezetbe (KERÉNYI 1995). Az erdőirtás és a változó tájhasználat évente $1,6 \times 10^{15}$ g szenet juttat vissza a légkörbe CO_2 formájában, s csökkenti a légköri szén-dioxid felhasználásának mértékét, mivel csökken a fotoszintetizáló zöld felület (KERÉNYI 1995). A szárazföldi élővilág a szén nagy rezervoárja (kb. 610×10^{15} g), mely évente 10^{15} g szenet veszít, elsősorban a trópusi esőerdők irtásának következtében.

Még nagyobb széntartalmakat jelentenek a talajon és a talajban felhalmozódó szerves maradványok, melyek lebomlásánál és abiotikus transzformációjánál a keletkező nagyon heterogén felépítésű és polimerizációs fokú humuszanyagok átmenetileg kivonódnak a szén biogeokémiai körforgalmából. A bioszférában biotikus úton keletkezett, könnyen bontható szerves anyagok, amennyiben elkerülték a mikrobiális lebontó tevékenységet, hosszú, geológiai időközön keresztül folyó átalakulási folyamatok révén stabil, nehezen bontható kerogénekké, szenekké, kőolajjá stb. alakulnak (SZABÓ 1989).

A szénkörforgás egyik legnyilvánvalóbb tulajdonsága az, hogy a légköri, óceáni és földi „raktárak” közötti természetes áramlások majdnem egyensúlyban vannak egymással. Amíg ezek az áramlások kiegyenlítik egymást, az egyes készletek nagysága alig változik. A 18. század elejétől azonban a körforgás egy jelentős, emberi összetevővel, a szénalapú

fosszilis energiahordozók nagymértékű elégetésével egészült ki (DUNN 2001).

A tengeri szakasz abban tér el a szárazföldtől, hogy a CO₂ vízben oldható és ezt a felszíni vízrétegben oldott CO₂-ot használja fel a fitoplankton a fotoszintézishez. A fitoplankton szervezeteit a zooplankton és a többi tengeri állat táplálékként fogyasztja, így a szén ezek testében vándorol. Mind a növényi, mind az állati szervezetek nagy tömege pusztul el, s ezzel szén jut az élettelen szerves maradványok rezervoárjába. Ebből $0,2 \times 10^{15}$ g szén kerül évente az üledékekbe. A karbonátos üledékes kőzetek a Föld legnagyobb szén-raktárai. Túlnyomó részük a földtörténet során élt mészvázás élőlények elpusztult tetemeinek maradványa. A CO₂ ezekből a kőzetekből a mállás útján kerülhet a légkörbe (KERÉNYI 1995).

Mivel a tengeri szén-ciklus egy önálló zárt körnek tekinthető, az emberi tevékenységek során légkörbe jutó szén a szárazföldi ciklust terheli – az óceán és légkör közötti csere nem tudja ezt a többletet felemészteni. Ez a magyarázata annak, hogy az utolsó száz év alatt megemelkedett a légköri CO₂-koncentráció. A víz CO₂ oldó képessége függ a hőmérséklettől: magasabb hőmérsékletű víz kevesebb CO₂-ot tud oldani. A mesterségesen légkörbe juttatott CO₂ fokozza az üvegházhatást, amely vízhőmérséklet-emelkedéssel is jár, ami viszont a víz CO₂-felvevő képességét csökkenti, így hozzájárul a légkör CO₂-koncentrációjának növekedéséhez – vagyis ezen a téren pozitív (labilizáló) visszacsatolás veszélyével kell számolni (KERÉNYI 1995).

2.2. Avar, avarlebomlás

Az ökoszisztémán belül minden további élet alapját a növények fotoszintézise által termelt szerves anyagok képezik. Az élő szervezetek elpusztulása után ezek az anyagok, az élő szervezetek ellenőrzése alól kikerülve az ökoszisztéma holt szerves anyagaivá válnak. Az ökoszisztémában keletkezett holt szerves anyagok összességét tágabb értelemben avarnak nevezzük. Az avar ennek megfelelően nemcsak növényi, hanem állati eredetű (ürülék, állati tetemek) is lehet. Terresztris ökoszisztémák, pl. erdők esetében, beszélünk föld feletti avarról (lomb, ág, rügy, virág, termés maradványok, stb.) és föld alatti avarról (elpusztult gyökerek, stb.).

A holt szerves anyagokra épül a lebontó táplálékhálózat (baktériumok, gombák, állati szervezetek, Collembola, Diplopoda, Isopoda, Lumbricida fajok, stb.), amelynek működése következtében az

avar lebomlik, mineralizálódik, ezáltal a felszabaduló tápelemek a növények számára ismét felvehető állapotba kerülnek.

Az avar illetve a talaj szerves anyagának a lebontásában a talaj mikroorganizmusok extracelluláris enzimeit a nagy molekulájú szerves anyagokat kisebb molekulákra bontják, amelyek már könnyen bejutnak a sejtekbe. A mikrobák felületén kötött extracelluláris enzimek aktivitását gyakran a talaj minőségének vagy „egészségi” állapotának jellemzésére használják (DICK 1994; GREGORICH *et al.* 1994; HALVORSON *et al.* 1996; TRASCAR-CEPEDA *et al.* 1998; FEKETE *et al.* 2007; KRAKOMPERGER *et al.* 2008). A poliszacharidok a mikroorganizmusok számára szükséges szén és energiát (SCHNITZER & NEYROUD 1975), a proteázok a proteinek felépítéséhez szükséges N-t, a foszfatázok a szerves foszfor vegyületekből anorganikus foszfort állítanak elő. A fenoloxidázok és peroxidázok a lignin és a tanninok oxidatív lebontásában, a polifenolok polimerizációjában vesznek részt.

Az avar nehezen- (lignin) és könnyen- (cukrok, fehérjék stb.) bomló szerves anyagai jelentősen befolyásolják az állati szervezetek és a mikroorganizmusok lebontó tevékenységét, ezáltal az avarbomlás sebességét. A bomló avar polifenol anyagai a fehérjékkel nehezen bontható komplexeket képeznek, amelyek ellenállóak a mikrobiális bomlással szemben (PALM & SANCHEZ 1991). Számos szekunder vegyület általános mikroba gátlóként hat (SCHIMMEL *et al.* 1996).

Az avar ásványi anyagtartalmával kapcsolatban nagyon lényeges szempont, hogy a bomlás folyamán valamelyik elem hiánya nem gátolja-e a mikrobiális lebontást. Ebben a vonatkozásban kiemelkedő jelentőségű az avar N-tartalma illetve a C:N arány. Az avar C-tartalma meglehetősen magas, N-tartalma pedig alacsony, így a C:N arány akár 90:1-ig is terjedhet. Minél nagyobb az avar N-tartalma, azaz minél szűkebb a C:N arány, annál nagyobb mértékű az állati szervezetek és a mikroorganizmusok lebontó tevékenysége illetve az avarbomlás sebessége. Éppen ezért az avar N-ben gazdag egyéb alkotóinak (állati hullák, ürülék, zöld növényi maradványok stb.) igen nagy szerepe van a C:N arány beszűkítésében. A növények N tápanyag felvétele relatíve lassú, a vegetációs perióduson kívül pedig szünetel. Mivel a mineralizációval és a csapadékkal a talajba történő N bejutás folyamatos, így a vegetáció és a N visszatartás közötti korreláció meglehetősen gyenge (NORTHUP *et al.* 1995; SEELY & LAJTHA 1996). A biológiai bomláshoz szükséges input N származhat a csapadékból (nedves és száraz ülepedésből, N-depozíció) illetve a növényzetből kioldódó N-tartalmú anyagokból (leaching), valamint a levegő elemi N-tartalmának megkötéséből is. Az avar C:N

aránya szabályozza a mikroorganizmusok N felvételét, a mineralizáció ütemét és az anorganikus N felszabadulás mértékét (SCHIMEL *et al.* 1996).

Az avarbomlás sebességét a termőhely környezeti tényezői közül elsősorban az ökoszisztéma mikroklimatikus és talajtani viszonyai határozzák meg (FEHÉR 1942; SZABÓ 1986, 1989). Egyes termőhelyeken ugyanazon növényfaj lombavara gyorsabban bomlik le, mint más termőhelyeken. A csapadék mennyisége, eloszlása közvetlenül az abiotikus kioldódásra, a biológia lebomlási folyamatokra hat. Annak ellenére, hogy a trópusi esőerdőknek a legnagyobb az avarprodukciója, a nagy nedvességtartalom és hőmérséklet következtében az avarbomlás sebessége rendkívül gyors, emiatt a talajon csak kevés mennyiségű avar halmozódik fel (átlagosan 2 t ha^{-1}). A mérsékelt övezeti lombhullató erdőkben az alacsonyabb hőmérséklet és csapadék következtében az avarbomlás sebessége lényegesen kisebb, így jelentős mennyiségű avar halmozódik fel a talajon (átlagosan 15 t ha^{-1}). Az északi fenyőerdőkben (tajga) található a legnagyobb mennyiségű avar a talajon ($30\text{-}40 \text{ t ha}^{-1}$), azaz itt a legalacsonyabb az avarbomlás sebessége (RODIN & BAZILEVICS 1967).

2.3. A talaj szerves anyaga (SOM)

Az a felismerés, hogy az avar jelentős szerepet játszik a talaj tápanyag utánpótlásában, az avarprodukcióval illetve az avarbomlással kapcsolatos tanulmányok nagy számát eredményezte, amelyek jelentősen hozzájárultak az avarból történő tápanyag utánpótlással kapcsolatos ismereteink kibővítéséhez. Az avarbomlás során keletkező szerves anyagok illetve humuszanyagok összetételére vonatkozó ismereteink azonban meglehetősen hiányosak.

Az avarbomlás folyamán a mineralizációval párhuzamosan, humifikációs folyamatok is lejátszódnak. A lebontó táplálékláncban résztvevő szervezetek testanyagainak elpusztulásakor, a sejtek lízisekor, az élő sejtek ellenőrzése alól kiszabaduló szerves anyagok egymással spontán módon polimerizálódnak, kondenzálódnak, miközben sötét színű humuszanyagok keletkeznek.

A humuszanyagok a földi élet biológiai-kémiai-geológiai bomlástermékei. A Földi élet egyik legjelentősebb sajátossága, hogy az élő anyag fokozódó reprodukcióját döntően az élő anyag szilárd bomlástermékei teszik lehetővé. A humuszanyagok nem maradnak változatlanok, mozdulatlanok a talajban, még abban az esetben sem, ha egyáltalán nincsenek kitéve az élő szervezetek hatásainak. Bennük

folyamatosan különböző változások, átalakulások mennek végbe, újraszintetizálódnak, transzformálódnak. Az átalakulások során, amit humifikációnak nevezünk, a szén mennyisége a többi elemhez képest feldúsul. Ezek általában nehezen bontható, ellenálló és ebből következően, a könnyen bontható anyagokhoz képest felhalmozódó, főleg aromás anyagok, vegyületek (SZABÓ 1992). A humusz a talaj ásványi részeihez szorosan kapcsolódik, az ún. organominerális komplexet alkotja, a talaj kialakulásának nélkülözhetetlen tényezője.

A SOM (Soil Organic Matter) az avarbomlás folyamán az avart felépítő szerves vegyületek makromolekuláiból és a mikrobák metabolitjaiból származó alacsony molekulású intermedierek semi-random polimerizációjával jön létre (STEVENSON 1994; SOLLINS *et al.* 1996). A talaj szerves anyagaiba a „szelektív prezerváció” elmélete szerint nagy módosulatlan lignin fragmentek is beépülhetnek (KÖGEL-KNABNER (1992).

A SOM jellemzésére gyakran alkalmazzák a fajsúly alapján történő elkülönítést. A könnyű talajrészecskék (LF) olyan szerves anyag törmelékből állnak, amelyek általában nem kapcsolódnak ásványi anyagokhoz, míg a nehezebb részecskékben (HF) a C aránya az ásványi anyagokhoz képest kicsi (SPYCHER *et al.* 1983; STRICKLAND & SOLLINS 1994). A könnyű frakciójú SOM-ról feltételezik, hogy sokkal labilisabb, könnyebben bomlik, mint a nehezebb frakciójú, mivel még nem ment át a megfelelő mikrobiális átalakuláson, és nem kötődött adszorpcióval az ásványok felületén, vagy a talaj aggregátumukba záródással.

A talaj szerves anyaga az ökoszisztémák működési és szabályozási folyamataiban kiemelkedően fontos szerepet játszik. A SOM az ökoszisztéma N tartalmát képezi, részt vesz a kation cserében, a talaj pH szabályozásban, a talajszerkezet kialakításában, a hetero-organotróf talaj-mikroorganizmusok legfontosabb szubsztrátja. A talaj széntároló, felhalmozó képessége a szén globális körforgalmában igen jelentős. A talajban kb. $1,5 \times 10^{18}$ g szerves kötésű szén található, amely 2-3-szor nagyobb a vegetáció szén tartalmánál (REINERS 1968; SCHLESINGER 1990). A talajból történő szén kiáramlás igen intenzív, a talajlégzésből származó CO₂ kibocsátás 10-szer nagyobb a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származó CO₂ mennyiségnél (SCHLESINGER 1977). Éppen ezért minden olyan változás, amely a talaj szén forgalmát érinti, jelentős hatással van a globális szén-ciklusra is. A felmelegedés hatására az avar produkció mennyiségében és minőségében bekövetkező változások feltehetően a globális változások által megjósolt forgatókönyvek szerint fognak alakulni. Azt azonban ma még nehezen tudjuk megítélni, hogy a felmelegedésnek

milyen hatása lesz a SOM-ra, illetve ezen keresztül a globális C körforgalomra.

A SOM talajbeli felhalmozódását az avar input (avar, gyökerek, és gyökér exudátumok) és a SOM outputja (talajlégzés, kimosódás, erózió) határozza meg. A C veszteség legfőképp a talajlégzéstől függ. A talajlégzés mértékét elsősorban a szerves anyag biodegradációval szembeni ellenálló képessége befolyásolja (SOMOGYI 2007). A föld alatti avarból származó inputot nehezebb mérni, hasonlóan a föld feletti avarhoz, itt is nagy eltérések figyelhetők meg (ABER *et al.* 1989; EISSENSTAT & YANAI 1997). A talajba kerülő avar input minősége és mennyisége a különböző ökoszisztémákban nagymértékben változik (BRAY & GORHAM 1964; SCHLESINGER 1977; RAICH & NADELHOFFER 1989). Az input - output folyamatokban szerepet játszanak a klimatikus faktorok (hőmérséklet, víz), a talaj élőlényei, amelyek együttesen hatnak a szerves anyag lebomlására és a tápanyagoknak a talajból történő abiotikus kioldódására (MCDOWELL & LIKENS 1988; QUALLS *et al.* 1991). GÖRAN *et al.* (2003) eredményei alapján a klímakutatások által jósolt 2-4°C-os hőmérséklet emelkedés során a talajban végbemenő dekompozíció és a szén veszteségek növekedni fognak. A növekvő erdőprodukció ellensúlyozni fogja ezt a veszteséget, azonban ha a produkció és a dekompozíció változását is figyelembe vesszük, a széntartalom nettó csökkenése figyelhető meg erdőtalajok esetében. Az IPCC (2007) szerint a produktivitás 1-3°C-os további hőmérséklet emelkedésig növekedhet tovább. Előbb-utóbb ugyanis a magasabb hőmérséklet és gyorsabb fanövekedés miatt megnő a fák vízigénye is, és a jelenlegi forgatókönyvek szerint, csökken a nyári csapadék mennyisége, mivel a fák számára rendelkezésre álló víz mennyisége már eddig is közel limitáló volt, a jövőben a víz korlátozhatja a fanövekedést, sőt a vízhiány a fák száradásához vezethet (SOMOGYI 2007).

2.4. A talajlégzés

A talajlégzés, vagyis a CO₂-nak a talajból a légkörbe áramlása, a földi anyagforgalom szempontjából az egyik legfontosabb összetevő, és főképp a talajban zajló mikrobiális lebontó folyamatok, valamint a növényi gyökerek respirációjának a következménye (HANSON *et al.* 2000; KUZYAKOV 2006). A talaj makro- és mezofaunájának CO₂ kibocsátása a fentiekhez képest jóval kisebb mértékű, mindössze néhány százaléknyira tehető (KE *et al.* 2005).

A CO₂-gázcsere térben és időben nagy variabilitást mutat minden ökoszisztémában (STOYAN *et al.* 2000); ez a folyton változó környezeti feltételekhez való alkalmazkodás kulcsa. A talajlégzés fontos része az erdei ökoszisztémák szénforgalmának is (KOTROCZÓ *et al.* 2008; VARGA *et al.* 2008). A nagy mennyiségű szén, mint szén-dioxid jut ki a légkörbe, főként a talaj feletti és talaj alatti avar lebomlásából, valamint az élő növényi gyökerek általi CO₂ kibocsátás révén. RAICH & SCHLESINGER (1992) becslése szerint a szárazföldi ökoszisztémák globális talajlégzése (68 Gt év⁻¹), egy nagyságrenddel magasabb, mint az 1987-ben kiszámított (5,7 Gt év⁻¹), a fosszilis tüzelőanyagok elégetése során felszabaduló CO₂ mennyisége, az ipari kibocsátásokkal együtt véve (WATSON *et al.* 1990). Talajlégzés-becsléseket számos ökoszisztémára vonatkozóan végeztek, melyekből több összefoglalás is született már (SCHLESINGER 1977; SINGH & GUPTA 1977; RAICH & NADELHOFFER 1989; RAICH & SCHLESINGER 1992; LELLEI-KOVÁCS *et al.* 2008a; LELLEI-KOVÁCS *et al.* 2008b). A számos közlemény ellenére, mind az autotrofok légzése (gyökérlégzésből származó CO₂ kibocsátás), mind a heterotrofok általi CO₂ kibocsátás (lebontásból eredő CO₂) kevésbé ismert folyamatok. A talajfeletti avar lebontásából származó szén-dioxid mennyisége közvetlenül megbecsülhető az avarprodukciónak mennyiségéből (SCHLESINGER 1977; RAICH & NADELHOFFER 1989). Mindemellett a különböző talajbéli szénforrások hozzájárulásának számítása is nehezen meghatározható. Például egyes becslések szerint a gyökérlégzés aránya 4% (PHILLIPSON *et al.* 1975), míg mások szerint akár 62%-a (EWEL *et al.* 1987) is lehet a talajlégzésnek.

A talajlégzés intenzitásának értékei nagyléptékű szénforgalmi vizsgálatok bemeneti adatait képezhetik, hozzájárulhatnak a bioszféra-atmoszféra kölcsönhatásainak pontosabb feltárásához, szénmérlegek készítéséhez társulásoktól a biomokon át globális szintig (L. KOVÁCS 2008). Szükségesek a globális klímaváltozás-modellek kialakításához, és ezzel kapcsolatos predikciók megtételéhez (DAVIDSON & JANSSENS 2006; DAVIDSON *et al.* 2006; JONES *et al.* 2003). A talaj széntartalmát, ami erdő esetében átlagosan a biomasszában tárolt szén közel duplája (SOMOGYI 2006), az emberi tevékenység is befolyásolhatja: a fakitermelés, a talajbolygatás hatására a talaj szerves anyagainak lebomlása jelentősen felgyorsulhat, illetve megnőhet az erózió veszélye is. A talajlégzés intenzitása alapját képezi a talajok minősítésének, és bakteriális biomassza- és enzimműködés-vizsgálatokkal együtt hozzájárulhat a talajszennyezések következményeinek feltárásához (BORKEN *et al.* 2002; HUND-RINKE & SIMON 2007). Számos alkalommal a talajlégzés természetének és ezen keresztül a talajban zajló folyamatoknak, valamint az azokat meghatározó

tényezőknek a vizsgálata a cél: a talajlégzés egyes összetevőinek elkülönítése, egymáshoz viszonyított aránya, meghatározása (HANSON *et al.* 2000; KUZJAKOV 2006), illetve a talajlégzést befolyásoló tényezők elemzése, mint a talajhőmérséklet (FANG & MONCRIEFF 2001; TJOELKER *et al.* 2001), a talajnedvesség (ORCHARD & COOK 1983; WILSON & GRIFFIN 1975), a talaj tápanyagtartalma, valamint a külső CO₂ koncentráció hatása (BRUCE *et al.* 2000; HENDREY *et al.* 1993; SØE *et al.* 2004). Végül célkitűzés lehet közvetlenül a talajlégzés vizsgálati módszertanának a kidolgozása, módszerek összehasonlítása, megbízhatóságuk elemzése is (DORE *et al.* 2003; L. KOVÁCS 2008).

A talaj éghajlat módosító hatására korábban kevés figyelmet fordítottak (ÁCS *et al.* 2005). Az éghajlatkutatók az éghajlati jelenségeket szinte kizárólag a légkörhöz kötötték (SELLERS 1965). Az éghajlat és a talaj párhuzamos elemzése ugyan szokványos (GOUDIE 1989; JUSTYÁK és SZÁSZ 2001), de a talajnak az éghajlatra gyakorolt hatásával inkább csak érintőlegesen foglalkoztak (SZÁSZ 1963). Az 1980-as évek óta a talaj - időjárás és éghajlat módosító szerepe már részletes kutatások tárgya (ROBOCK *et al.* 1998; HAYDEN 1998; PIELKE 1998; WANG & ELTAHIR 2000).

2.5. Az üvegházhatás

A Föld légkörének egyes természetes anyagai – elsősorban a vízgőz és a szén-dioxid – áteresztik a Napból érkező rövidebb hullámhosszúságú sugárzást, de visszatartják a felszín felől érkező infravörös hősugárzás jelentős részét. E természetes üvegházhatás híján a Föld felszínének a jelenlegi 15°C-os átlag hőmérséklete mintegy 33°C-kal lenne alacsonyabb, vagyis -18°C-os lenne, a természetes üvegházhatás a földi élet szempontjából tehát létfontosságú természetes folyamat (PÁLVÖLGYI 2004). A légköri üvegházhatás nagy részéért a vízgőz a felelős. A felhőzet révén 13 billió tonnára becsülhető légköri mennyiségét az ember csak más folyamatokon keresztül (párolgás, csapadékképződés), közvetve befolyásolhatja. A többi üvegházhatású gáz mennyisége jóval kisebb, összesen sem teszik ki a légkör 400 milliomodrészét. Ezért mennyiségüket az ember számottevően módosíthatja, veszélyeztetve így a Föld éghajlatának a bioszféra szempontjából kulcsfontosságú stabilitását. Az Ős-Föld CO₂-ban gazdag légköréből a CO₂-ot a geokémiai folyamatok, a bioszféra csekély közreműködésével, az évmilliárdok alatt nagyrészt kivonták. A légkör CO₂ koncentrációja mintegy 20 millió éve már 300

ppm alá süllyedt, és ezt követően geológiai értelemben egészen napjainkig már csak a 180-300 ppm-es tartományban ingadozott, részben összefüggésben a pleisztocén eljegesedésekkel. (HASZPRA 2004).

A legutolsó jégkorszak lezárultával, a légköri szén-dioxid-koncentráció 270-280 ppm körül stabilizálódott, és a XVIII. század közepéig, végéig nem is változott érdemben. Az ipari forradalom kibontakozásával, a fosszilis szén egyre nagyobb mennyiségű elégetésével új, ellensúly nélküli forrás jelent meg a légköri CO₂ mérlegben. A vegetáció, elsősorban az északi félgömb mérsékelt égövi kontinentális területein, ma nincs egyensúlyban a légkörrel, nettó CO₂ elnyelőként viselkedik. Fotoszintézise révén több szénket köt meg, mint amennyit respirációjával kibocsát. A bioszféra azonban az éghajlat megváltozására különösen érzékenyen reagáló eleme a CO₂ körforgalomnak. A most megkötődő többletszén a jövőben kerül vissza a légkörbe (HASZPRA 2004).

2.6. Magyarország klímájának változása

SZALAI (2004) szerint hazánkban a XX. században a melegedés mértéke 0,49-0,85 °C között alakult, átlaga 0,68 °C. Magyarországon az elmúlt évszázad során az éves csapadék átlagosan 83 mm-rel csökkent (JOLÁNKAI *et. al.* 2004). Az egyik évről a másikra bekövetkező 200-300 mm-es csapadékingadozásra az elmúlt évszázad során több alkalommal is volt már példa. A mezőgazdaság szempontjából kritikus 500 mm-es szint alatti csapadék előfordulása gyakoribbá vált; ez 1901 és 1950 között 6 alkalommal, 1951 és 2000 között tíz alkalommal fordult elő.

A hazai éghajlati forgatókönyvek (MIKA 2000; 2004) az elkövetkező évtizedekben az éghajlat mediterrán jellegének erősödését valószínűsítik, azaz enyhébb, csapadékosabb telek és melegebb, szárazabb nyarak lehetségesek. A hőmérséklet minden évszakban emelkedik, ezért növekedik a potenciális párolgás. A téli csapadék kisebb emelkedése és a nyári csapadék nagyobb csökkenése mellett az évi csapadék csökken. A téli csapadékban a hó aránya csökken, a kisebb és rövidebb ideig tartó hótakaró olvadása korábbra tolódik. Bizonytalan, miként változnak a szélsőséges vízjárási események (NOVÁKI és BÁLINT 2004).

2.7. A jövő éghajlatának hatása a hazai erdőkre

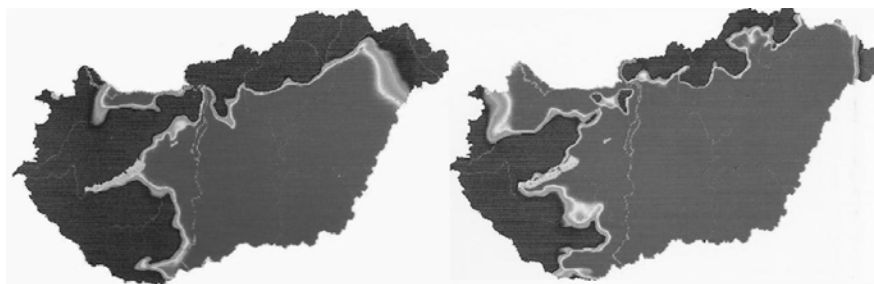
A tűrőképesség (tolerancia) határait – amelyen belül a káros hatásokat az erdők még következmények nélkül elviselik –, a faj és ezen belül az egyed

genetikai adottságai határozzák meg. A toleranciagörbe két szélső értéke közé esik a populáció számára legkedvezőbb optimum. Ha a környezeti hatások értékei a szélső értékek felé mozdulnak el, ennek súlyos következményei lehetnek: ellenálló képesség gyengülése, pusztulás.

Az élőlény környezeti tényezőkkel szembeni jobbra elméletileg meghatározott tűrőképessége alapvetően faji sajátosság. A szabadföldi kísérletek eredményei azt mutatják, hogy csökkenő csapadék és emelkedő hőmérséklet hatására a fák növekedése visszaesik (MÁTYÁS 2004).

A gyakorlatban a toleranciahatár túllépését követő pusztulást általában szélsőséges időjárási viszonyok (aszályos évek) váltják ki, és ezt rendszerint a csökkent ellenálló képesség miatt a károsító szervezetek tömeges felbukkanása kíséri. Ilyen új típusú erdőkárok jelentek meg már a hetvenes évek végén kocsánytalan tölgyesekben, amelyeket akkor gombakárosításnak, vagy savas esők következményének tulajdonítottak (IGMÁNDY *et al.* 1986; PAPP és PAPP 1984; JAKUCS 1990).

Hazánkban négy zonális, azaz éghajlatilag meghatározott erdővegetációs öv különíthető el: a bükkösök, a gyertyános-tölgyesek, a cseres-(kocsánytalan) tölgyesek és az erdős puszta (erdős sztyep) zónája (MÁTYÁS 2004). A zónák közötti átlagos különbség mintegy ötvenhét milliméter csapadék évente, a nyári hőmérséklet tekintetében pedig 0,8 °C. Ez a különbség egymagában nem látszik soknak. Viszont a még legkedvezőbb éghajlat előrejelzések szerint is az évszázad közepére a Kárpát-medencei csapadék évi negyven milliméterrel csökkenhet, a nyári hőmérséklet pedig 1,1 °C-kal emelkedhet. Vagyis a feltételezett változások mértéke igen számottevő a zónák természetes klimatikus különbségeihez képest. Az eddig prognosztizált forgatókönyvek közül még a legenyhébb is egy teljes zónakülönbségnyi elmozdulást jelez előre (1. ábra).



1. ábra. Az erdősztyepp és a zonális erdő aránya Magyarországon a jelen klímában (balra), ill. 1°C-os nyári melegedést és 40 mm csapadékcsökkenést feltételezve (jobbra) az alföldi tölgyesek éghajlati határai alapján (MÁTYÁS 2004)

A melegedő-szárazodó klíma miatt számos, jelenleg optimum-közeli állomány kerülhet a jövőben klimatikus határhelyzetbe, ami a magyarországi dombvidékeken a kevésbé toleráns egyedek tömeges pusztulását okozhatja (BERKI *et al.* 2007; MÁTYÁS *et al.* 2007; GÁLOS *et al.* 2007). Az aszályosság jelentős mértékben befolyásolja kocsányos tölgyeseink egészségi állapotát. Kocsánytalan tölgyesekben a „magányos” aszályos évek általában nem okoznak jelentős pusztulást, ill. leromlást, csak 2-3 egymást követő aszályos év hatására mutatnak egészségi állapotromlást. Ha az aszályos időszakok gyakorisága és időtartama növekszik, akkor az eddigieknél is gyakoribb és nagyobb területen fellépő rovarkárra kell számítani. Új, kevésbé ismert, vagy „elfeledett” rovarfajok válhatnak jelentőssé (CSÓKA *et al.* 2007).

2.8. Az erdők szénmegkötése

A jelenlegi, és relatív gyors légköri szén-dioxid emelkedés helyzete befolyásolja a C körforgást és akkumulációt a szárazföldi ökoszisztémákban (ZAK *et al.* 2000). Ahhoz, hogy megértsük az erdei ökoszisztémák válaszát az emelkedő CO₂ koncentrációra, fontos, mert a Föld szárazföldi felszínének 43%-a erdőkkel borított, és ebből az élő és holt biomassza C tartalma 40%, a Föld primer produkciójának 72%-a (MELILLO *et al.* 1993). A jelenlegi tapasztalatok bizonyítják, és elméleti becslések is igazolják, hogy a mérsékelt övezeti erdők globálisan fontos és meghatározó tárolói a légköri CO₂-nak (WOFSTY *et al.* 1993; CIAIS *et al.* 1995; TANS *et al.* 1995; GOULDEN *et al.* 1996). Az erdők fái növekedve szén-dioxidot vonnak ki a levegőből, és az ebben lévő szenet a fatestükben és gyökereikben lekötve tartják. Többek véleménye szerint a mérsékelt övezeti erdők által megkötött és beépített C mennyisége elegendő lenne, hogy mérsékelje a CO₂ antropogén hatásokból eredő emelkedését, ekképpen potenciálisan lassítva a globális hőmérséklet növekedését (SCHIMMEL 1995; WOODWELL & MACKENZIE 1995). A biomassza gyors akkumulációja és a növények nitrogénigény-csökkenése az atmoszferikus depozíció hatására korai szukcessziós mérsékelt övi erdőkben nagyobb mértékű C-csökkenéshez vezethet. (PETERSON & MELILLO 1985; KAUPPI *et al.* 1992). Bármennyire is bizonytalan az előrejelzés, a jelenlegi, emelkedő légköri CO₂ koncentráció közvetlenül befolyásolja a fák növekedését, és az ökoszisztéma C-raktárakat (LAMARCH *et al.* 1984; KIENAST & LUXMOORE 1988; GRAYBILL & IDSO 1993). Számos fafaj esetében végzett kísérlet során kimutatták, hogy az emelkedő légköri CO₂

koncentráció lényegesen serkenti a C-asszimilációt és a növekedést (CEULEMANS & MOUSSEAU 1994; WULLSCHLEGER *et al.* 1995; CURTIS 1996, CURTIS & WANG 1998), ezzel igazolták, hogy a nagyobb fa növekmény, emelkedő CO₂ szint mellett tovább emelheti a mérsékelt övi erdők C megkötését. Számos szerző említi, hogy a fák növekedésének válasza az emelkedő CO₂-ra lényeges lehet, de eltérő mértékű az egyes fajok esetében (kísérleti körülmények között 0%-290%) (CEULEMANS & MOUSSEAU 1994; CEULEMANS *et al.* 1995; MCGUIRE *et al.* 1995, CURTIS & WANG 1998). Az emelkedő CO₂ koncentráció melletti nagyobb C asszimiláció és a növényi növekedés kísérő jelensége a levelek csökkenő N-tartalma is (MCGUIRE *et al.* 1995, COTRUFO *et al.* 1998; CURTIS & WANG 1998). Ezt bizonyítja az is, hogy a növények növekedése során a megnövekedett CO₂ szint következtében kevesebb N jut a karboxilációs enzimfolyamatoknak, és többet juttatnak más anyagcsere folyamatokhoz (DARKE & GONZÁLES-MELER 1997), befolyásolva ezzel a talajra jutó szerves anyag (lomb- és fa-avar) input minőségét, N-tartalmát.

Egy, közel nyolc évtized alatt Magyarországon végzett felmérés során, az erdők által megkötött szénmennyiség alig kétszerese az egész országban mérhető éves kibocsátásnak, vagyis az igen intenzív erdőtelepítés dacára a javarészt fosszilis energiahordozókból származó szénkibocsátást alig 2-3 %-ban tudták az erdőtelepítések ellensúlyozni (SOMOGYI 2006). Ilyen módon tehát nem lehet kompenzálni mindazt a kibocsátást, amely modern korunk eredménye, s aminek egyik fontos következménye a klímaváltozás.

Bármilyen nagy tehát egy erdei ökoszisztéma éves szénmegkötése, az elhalt szerves anyagok lebomlásából származó szénkibocsátás is jelentős. Különösen a talaj esetében nem zárható ki egy átmeneti szénkibocsátás sem. Ezért azt, hogy az egyenleg mikor és milyen mértékű, tehát szén-elnyelést vagy szén-kibocsátást mutat, csak egy részletesebb elemzés után lehet megállapítani.

2.9. Az LTER (*Long Term Ecological Research*)

Az LTER módszertana az Egyesült Államokban alakult ki, miután felismerték, hogy a Nemzetközi Biológiai Program (IBP) keretében szervezett mintaterületeken, sok szakember bevonásával, a hosszútávon folyó vizsgálatok milyen eredményesek, és milyen további eredményeket ígérnek. Kezdetől fogva az is világos volt, hogy az LTER kutatóhelyeket

hálózatba kell szervezni (KOVÁCS-LÁNG *et al.* 1998). Azóta az LTER, a terepi ökológiai vizsgálatok legeredményesebb módszertani keretévé vált.

A hosszú távú ökológiai kutatás nem egyszerűen csak hosszú időn keresztül végzett ökológiai vizsgálatokat jelent, hanem egy kutatási módszertant, meghatározott követelményekkel és feltételekkel (KOVÁCS-LÁNG *et al.* 2000).

Követelmények:

- a kutatás léptéke igazodjon a szupraindividuális jelenségek tér- és időbeli skálájához,
- hosszú távú legyen,
- az időtávhoz illeszkedően nagy, a vizsgált biomra vagy biomokra nézve reprezentatív mintaterületen folytatódjon,
- több ökológiai részterület kutatói vegyenek részt benne,
- az eredményeket közölni kell szakmai körökben (pl. oktatás és publikációk formájában) és a társadalom számára (pl. a természetvédelem és a gazdasági és állami irányítás felé) egyaránt.

Feltételek:

- a központi mintaterület kellően nagy és hosszútávon biztonságosan kutatható legyen,
- álljon rendelkezésre terepi kutatóállomás,
- épüljön ki megfelelő számítástechnikai háttér,
- az időjárást, a táj használatot, valamint a produkciót és populáció legfontosabb elemeit monitorozni kell,
- legyen a kutatás vezetése jól szervezett és átlátható.

Az IBP (*International Biological Programme*) tervezése 1961-ben kezdődött az International Council of Scientific Unions (ICSU, Tudományos Uniók Nemzetközi Tanácsa) szervezésében, maga a program 1964-ben indult. A programot 10 évre tervezték. Az IBP kutatások elsődleges célja a különböző ökoszisztémák, szárazföldek, tengerek, édesvizek, primer és szekunder produkciójának a felmérése, valamint az ezekre ható tényezők feltárására volt.

Az IBP és később a MAB (*Man and the Biosphere*) program keretében számos ország létrehozta a maga ún. nemzeti projektjét. A Síkfőkút Project komplex interdiszciplináris bioszféra kutatási program – amelyet 1972-ben Jakucs Pál indított egy hazai átlagos klímazonális cseres-tölgyes hosszú-távú ökológiai kutatására – már a MAB program keretében szerveződött.

Az IBP és a MAB projectek nagy része azonban egy idő után beszüntette tevékenységét, számos projekt azonban tovább folytatta a kutatást és ma is működik. Ezekből alakultak ki a mai értelemben vett hosszú távú ökológiai kutatást végző LTER projektek. Ilyen többek között a Síkfőkút Project, vagy az USA 26 LTER site-ja (www.lter.edu) is.

Az utóbbi évtizedekben az egyes országok LTER hálózatai nemzetközi hálózatokba tömörültek, ilyen pl. az USA LTER által létrehozott ILTER (International Long Term Ecological Research) hálózat (www.ilternet.edu), vagy az EU LTER-Europe hálózata (www.lter-europe.ceh.ac.uk/European_LTER.htm). Magyarországon három LTER kutatóhely működik (Balaton Project, Kiskun Project, Síkfőkút Project), amelyek hazánk legjellemzőbb biotopjainak a hosszú távú tanulmányozására létesültek. A hazai LTER-HU hálózat (www.lter-hu.hu) 1995-ben a kelet-közép-európai országok közül elsőként csatlakozott az ILTER hálózathoz (KOVÁCS-LÁNG *et al.* 2000).

3. Vizsgált terület

3.1. A Síkfőkút Project alapítása, története

A Síkfőkút Project interdiszciplináris hosszú távú bioszféra kutatási program az IBP (*International Biological Programme*) és a MAB (*Man and the Biosphere*) nemzetközi programok keretében, egy hazai klímazonális cseres-tölgyes erdő (*Quercetum petrae-cerris*) komplex kutatásának céljára alapították 1972-ben (JAKUCS 1973).

A modellterület az Északi-középhegységhez tartozó Bükk déli, dombvidéki táján, Egertől 6 km távolságra északkeleti irányban található (2. ábra). A Síkfőkút Project földrajzi koordinátái: é.sz. 47°90'; k.h. 20°46', tengerszint feletti magasság 320-340 m.



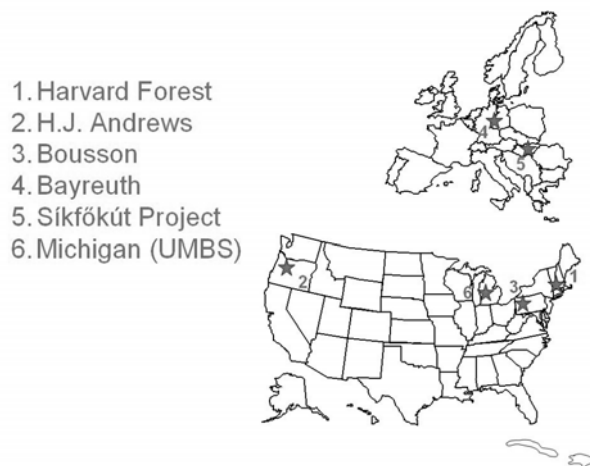
2. ábra. A Síkfőkút Project

A cseres-tölgyes erdő talaja agyagbemosódásos barna erdőtalaj (STEFANOVITS 1985), míg a FAO besorolás alapján Cambisols (IUSS WRB 2006; FEKETE *et al.* 2007). A Síkfőkút Project kijelölt erdő állományát a hosszú távú zavartalan vizsgálatok biztosítása érdekében az Országos Természetvédelmi Hivatal 9/1976. OTVH számú határozatával „kutatási célú természetvédelmi területté” nyilvánította (JAKUCS 1985; TANÁCSOK KÖZLÖNYE 1976). A 64 hektáros védett erdő ma a Bükki Nemzeti Park felügyelete alá tartozik. A Síkfőkút Project hosszú távú ökológiai kutatási projekt, fenntartásáról, a 2012-ig hatályos természetvédelmi kezelési terv intézkedik (TÓTH *et al.* 2003).

A '80-as évek végén a területet is érintő fapusztulás miatt jelentős változások következtek be, az erdő fa- (KOTROCZÓ *et al.* 2005; KOTROCZÓ *et al.* 2007; TÓTH *et al.* 2007; MÁZSA *et al.* 2007), cserje- (KÁRÁSZ *et al.* 1987; KÁRÁSZ *et al.* 2001; MISIK és KÁRÁSZ 2008) és a lágyszárú- (PAPP 2001; PAPP *et al.* 2006; KONCZ *et al.* 2008) szintjének faji összetételében,

struktúrájában is, így az 1990-es évek végétől egyre inkább az ún. long-term monitoring jellegű kutatások kerültek előtérbe. Ezekhez a vizsgálatokhoz alapul szolgáltak a '70-es évektől folyamatosan rögzített botanikai, zoológiai, mikrobiológiai, és mikroklimatikus viszonyokkal összefüggő adatsorok. A Síkfőkút Project több mint 30 éves vizsgálati adatsorai önmagukban is tudományos értéket jelentenek, ezek a magyarországi cseres-tölgyesre vonatkozó legrégebbi folyamatos long-term adatsorok.

1995-ben a magyarországi LTER hálózat, melynek a Síkfőkút Project is tagja, csatlakozott több nemzetközi hálózathoz is, így a GTOS-hoz (*Global Terrestrial Observing System*) és az ILTER hálózathoz. Új lendületet adott a kutatásoknak a Síkfőkút DIRT (*Detritus Input and Removal Treatment*) Project, vagyis az avarmanipulációs kísérletek megindítása, amely része az USA ILTER DIRT projectjének (3. ábra).



3. ábra. Az ILTER DIRT kutatóhelyek az Egyesült Államokban és Európában (a németországi Bayreuth kutatóhely az ILTER hálózaba nem tartozó DIRT site)

A hosszú távú, több évtizedre tervezett avarmanipulációs szabadföldi kísérlet (NADELHOFFER *et al.* 2004) azt vizsgálja, hogy a klímaváltozás hatására hogyan változik az avarprodukció, továbbá hogy az avar input mesterséges megváltoztatása, milyen módon befolyásolja a talaj hőmérsékletét, nedvességtartalmát, a talajban lévő szerves anyagok mennyiségét, a talaj C- és N- dinamikáját, a talajenzimek aktivitását, a mikroorganizmusok biomasszáját, a talajlégzést.

A Síkfőkút DIRT Project keretében kapott eredmények önmagukban is értékelhetők, azonban az ILTER DIRT projektbe való bekapcsolódás a

kutatás hatékonyságát jelentős mértékben megnöveli, ugyanis az azonos módszerekkel kapott nemzetközi eredmények alapján általánosabb érvényű következtetések vonhatók le.

3.2. A terület geológiai és talajtani jellemzése

A Síkfőkút Project és közvetlen környezetének felszínalaktanával részletesebben HEVESI (1985) foglalkozott. A Project a Déli-Bükk Nagy-Eged – Bükkbérc – Bükkös-tető vonulatához D-DK-ről támaszkodó hegyláb felszín-maradvány „nyaki részén” helyezkedik el (PAPP 1985), az Egri-Bükkalja kistájhoz tartozik (MAROSI és SOMOGYI 1990). Szűkebb környezetére – a hegyláb felszín más területeihez hasonlóan – a nagyfokú litológiai változatosság és geomorfológiai formagazdagság jellemző, ami a természetes növény- és talajtakaró jellegében is különbözik. A mozaikosság kialakulásában az emberi tevékenységnek számottevő szerepe volt és van ma is (mezőgazdasági művelés, rontott illetve telepített erdők, helyenként nagymérvű talajerózió).

A terület oligocén agyagain (ide tartozik a Síkfőkút Project túlnyomó része) és a miocén kavicsos képződményeken elsősorban harmadidőszaki üledékeken képződött agyagbemosódásos barna erdőtalajok (MAROSI és SOMOGYI 1990), a riolittufán barnaföldek, helyenként erubáz talajok alakultak ki (PAPP 1985). A Bükkaljának ezen a részén nagy foltokban kerül felszínre az általában oligocén agyagra települt vörösbarna, erősen tömődött, agyagos nyirokszerű kőzetmálladék, a Síkfőkút Project területén is felbukkanó foltját pedig agyagbemosódásos barna erdőtalaj fedi.

Az agyagbemosódásos barna erdőtalajok a lombos erdők sajátos erdőklíma hatására keletkeznek. A képződő kevésbé savanyú humusz vegyületek hatására és a kevesebb csapadék következtében a kilúgzási szintben mérsékelt a szilikátok szétesése, a kilúgzás viszonylag gyenge. Jellemző az agyagvándorlás, azaz a savanyú humuszanyagok hatására a kilúgzási szintből a bázisok kilúgozódnak, ugyanakkor az agyagrészek is elmozdulnak. A vándorló agyag a felhalmozási szintig jut el, ahol jellegzetes vörösbarna agyagos szintet hoz létre. Így a kilúgzási szinthez viszonyítva a felhalmozódási szintben másfélszer több az agyagos rész. A szelvény savanyú, mérsékeltén savanyú.

A Síkfőkút Project talaját részletesen STEFANOVITS (1985) tanulmányozta. Vizsgálatai szerint a Síkfőkút Project területén az agyagbemosódásos barna erdőtalaj két típusa található, amelyek főleg az alapkőzet tekintetében, továbbá az A₁ szint vastagságában és

kémhatásában különböznek egymástól. Az I. sz. talajszelvény vizsgálata szerint az egyik talajtípus kétrétegű talajképző kőzeten, azaz fosszilis talajszintre települt agyagon jött létre. A kőzet anyaga fosszilis agyagos-málladék lejtős anyagmozgásokkal áthalmozva. A II. sz. talajszelvény vizsgálata szerint a másik változat vörös agyagos kőzetmálladékon alakult ki. A málladék valószínűleg riolittufából keletkezett a harmadidőszak végén, vagy a negyidőszak eleji interglaciálisokban.

3.3. Klímaváltozási tendenciák

A '90-es évek közepére már rendelkezésre álltak a hosszú távú meteorológiai mérési adatsorok (TAR 1995; KISS és BERKI 1996; ANTAL *et al.* 1997). 1973 és 1995 között az évi átlagos hőmérséklet évente 0,11°C-ot emelkedett, ugyanakkor az évi csapadék mennyisége átlagosan évente 9,8-mm-el csökkent (ANTAL *et al.* 1997). Nem kétséges, hogy mindezek a folyamatok is jelentős szerepet játszottak a '80-as és '90-es évek nagy tölgypusztulásban (TÓTH *et al.* 2007).

Síkfőkút Project cseres-tölgyes erdejében is lejátszódott fapusztulás következtében megváltozott az erdő struktúrája (IGMÁNDY 1985; BORHIDI 1987; VAJNA 1989; BERKI 1991; TÓTHMÉRÉSZ 2001; KOTROCZÓ *et al.* 2007) is. Ennek következtében a terület mikroklimája is jelentősen átalakult (NAGY 1980; 1982; 1985a,b; ANTAL *et al.* 1995; JUSTYÁK 1995a,b; KISS 1995a,b; TAR 1995; KISS és BERKI 1996; ANTAL *et al.* 1997), szárazabb és melegebb lett (TÓTH *et al.* 2007). Az adatsorok alapján megállapítható, hogy 1978-tól 1994-ig a szabadföldi területen, de az erdő területen is az évi középhőmérséklet, a nyári félév átlaghőmérséklete, és a nyári átlaghőmérséklet növekszik. Az erdőterületen a hőmérsékletemelkedés nagyobb ütemű, mint a szabadföldi területen, ami a fák kipusztulásának tulajdonítható. A kipusztult fák helyén a talaj jobban felmelegszik, a gyengébb turbulencia miatt az erdőben hőtöbblet alakul ki, ami az erdő fokozódó felmelegedését eredményezi. A pusztuló erdőre jellemző az erdőklíma hőháztartási rendszerének átalakulása, amely közelít a fátlan területek mikroklimájához. Miután az évi középhőmérséklet a szabad területen is növekszik, megállapítottuk, hogy a napjainkban sokat emlegetett felmelegedést a Síkfőkút Project adatai is igazolják.

4. Módszerek

4.1. Az avarprodukción mérés

A síkfőkúti cseres-tölgyesben az avarprodukción korábban 1972-1976 között rendszeresen mérték (TÓTH *et al.* 1985). Ezeket a vizsgálatokat 2003-tól újraindítottuk, így a korábbi és jelenlegi adatok összehasonlításával lehetőségünk nyílt a klímaváltozás avarprodukción gyakorolt hosszú távú hatásának a tanulmányozására.

Az avarprodukción mérésre használt módszer hasonló volt a korábban használt mérési módszerhez. Síkfőkúton az avarprodukción mérésre 1972-1976 között 40 db egyenként $0,5 \times 0,5$ m, azaz $0,25$ m² gyűjtőfelületű ládát használtak (4. ábra), amelyek összes felülete 10 m² volt (TÓTH *et al.* 1985). A ládákat egyenlő számban a „C” és a „D” négyzetbe helyezték ki, egymástól 4-5 m-es távolságra. Az avargyűjtő ládák gyűjtőfelülete a talajtól kb. 20 cm-es magasságban helyezkedett el, ami lehetővé tette a cserjefajok avarprodukciónjának mérését is. A ládákat meghatározott időközönként, általában havonta, az őszi lombhullási időszakban 2 hetente ürítették. A begyűjtött avar a következő csoportokra válogatták szét: lombavar (fajonkénti bontásban), ágavar és egyébavar frakción. Ez utóbbi csoportba a nem azonosítható levélrészek, rügy, virág, termés, stb. kerültek. A szétválogatott avarfrakciónkat 48 órán keresztül 85°C-on szárították, majd frakciónként megmérték a tömegét.



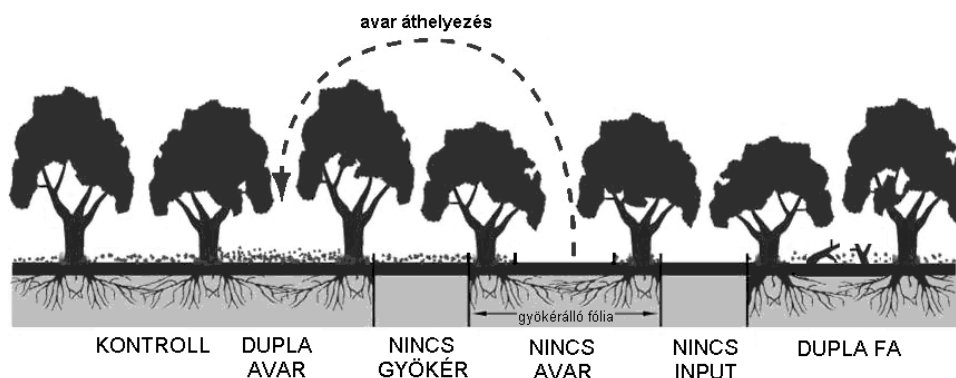
4. ábra. Az avarprodukción mérésre használt avargyűjtő ládák (A: 1972-1976 között, B: 2003-tól napjainkig)

Az avarprodukción mérését 2003-tól kezdődően felújítottuk, és ettől kezdve folyamatosan mérjük. Az avarprodukción mérésre 30 db egyenként $55,5 \times 36,5$ cm, azaz $0,2$ m² gyűjtőfelületű műanyag ládát használunk (4.

ábra), melynek összes gyűjtőfelülete 6 m². A mérést a korábbiakkal egyező módon végeztük.

4.2. A DIRT kísérletben alkalmazott kezelések

A DIRT koncepciót a Wisconsin Egyetemen 1957-ben dolgozták ki az ottani füves területek és erdő ökoszisztémák hosszú távú tanulmányozására (NEILSON & HOLE 1963). Az avar kezelések az 5. ábra és az 1. táblázat mutatja.



5. ábra. A DIRT Projectben alkalmazott kezelések (NADELHOFFER *et al.* 2004. alapján)

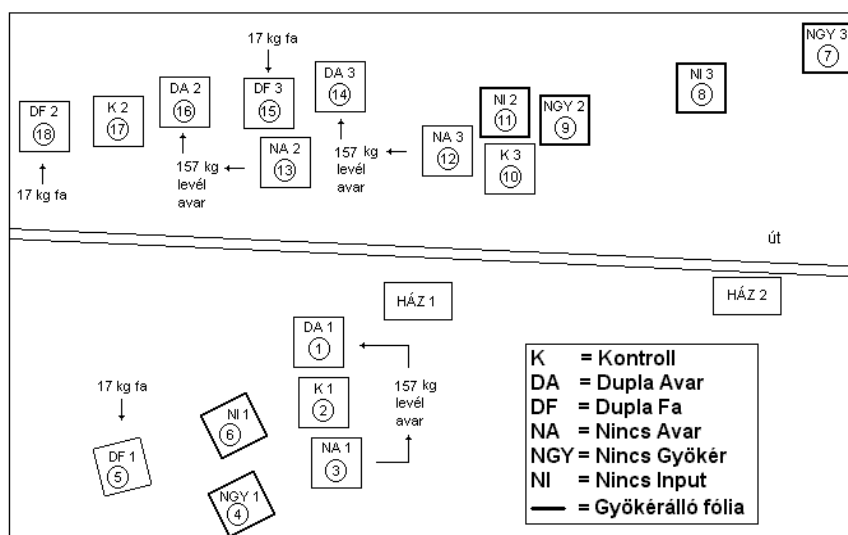
1. táblázat. A DIRT (Detritus Input and Removal Treatments) parcellák kezelése

A kezelés elnevezése	Leírás
Kontroll (K)	Normál avar input
Nincs Avar (NA)	A talaj feletti avar inputot eltávolítjuk a parcelláról. Az avar eltávolítása gereblyézéssel történik.
Dupla Avar (DA)	A talaj feletti lombavart megduplázzuk annak az avarnak a felhasználásával, amelyet a Nincs Avar kezelésről távolítottunk el.
Dupla Fa (DF)	A talajfeletti fa inputot ágdarabok hozzáadásával megduplázzuk.
Nincs Gyökér (NGY)	A gyökerek növekedését kizárjuk a parcellából. A parcellát körülárkoljuk. Az árokba olyan gyökérálló műanyag fóliát vagy műanyag lemezt helyezünk, amelyik megakadályozza, a gyökereknek a parcellába történő benövését. A gyökér-avarprodukciónak kizárására a parcella növényzetét eltávolítjuk.
Nincs Input (NI)	A föld feletti avar inputot, kizárjuk, mint a Nincs Avar kezelés esetében. A föld alatti gyökéravart kizárjuk, mint a Nincs Gyökérkezelés esetében.

4.3. A Síkfőkút DIRT project kísérleti parcelláinak létesítése és fenntartása

A talajban lévő szerves anyagok bomlásvizsgálatát a Síkfőkút DIRT (*Detritus Input and Removal Treatment*) Project keretében végezzük, amely része az USA ILTER DIRT Projectnek (3. ábra).

A síkfőkúti DIRT parcellákat 2000 novemberében állítottuk be. A parcellák kialakítása az USA DIRT Projektben alkalmazott módszerek szerint történt. A hatféle kezelés esetében három párhuzamos parcellát alakítottunk ki, így összesen $6 \times 3 = 18$ db, 7×7 m-es kísérleti parcella beállítására került sor (6. ábra).



6. ábra. A DIRT parcellák elhelyezkedése Síkfőkúton

A hosszú távú, több évtizedre tervezett, ún. avarmanipulációs szabadföldi kísérletben, a következő kezeléseket alkalmaztuk: Kontroll (K), Nincs Avar (NA), Dupla Avar (DA), Dupla Fa (DF), Nincs Gyökér (NGY), Nincs Input (NI).

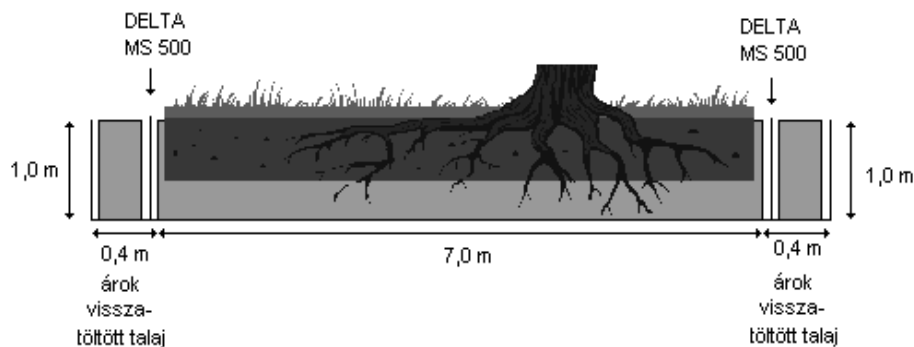
A Nincs Gyökér, illetve a Nincs Input kezelések esetében a parcellákat 1 m mély árokkal körbeárkolták. Az árok kiásása „Bobcat” típusú árokozás géppel történt (7. ábra).



7. ábra. A Nincs Gyökér és a Nincs Input parcellák körülárkolása Bobcat típusú árokásó géppel (FOTO: TÓTH J.A.)

A kiásott árkokba gyökérálló 1 m széles Delta MS 500 típusú, kb. 0,6 mm vastagságú, nagysűrűségű polietilén lemezt helyeztek, a gyökerek kívülről történő benövésének megakadályozására, majd az árkokat visszatemették (7. ábra és 8. ábra). Ezeknél a parcelláknál, a gyökerek növekedésének megakadályozására a cserjeszintet eltávolították.

A telepítési munkálatok megtervezése és kivitelezése során arra törekedtünk, hogy a területen egyetlen fát se kelljen kivágni, valamint a parcellák árkolásánál a munkagép soha nem került a parcella területére, hogy a talaj minél kisebb bolygatása is mellőzve legyen.



8. ábra. A DELTA MS 500-as műanyag lemez elhelyezése a talajban a Nincs Gyökér és a Nincs Input parcellák esetében a gyökerek benövésének megakadályozására (NADELHOFFER *et al.* 2004. alapján)

A parcellák karbantartása folyamatosan, a mintavételek alkalmával történik. A Nincs Avar parcellákról az avar rendszeresen átvisszük a Dupla Avar parcellákba, illetve a Dupla Fa parcellákba a faavar mennyiségét meg kell növelni. Ennek mértéke 17 kg faavar/év/parcella (JAKUCS 1985). A Nincs Gyökér és a Nincs Input kezelésű parcellákról a növényzetet rendszeresen el kell távolítani herbicides kezeléssel. Erre a célra a „Medallon” típusú, 480 g/l glifozát-ammónium hatóanyag tartalmú gyomirtó szert alkalmazzuk, amely évelő és magról kelő gyomnövények ellen hatásos, és hatóanyag tartalmát tekintve megegyezik a többi DIRT site-on alkalmazott szerekkel.

4.4. A Síkfőkút DIRT Projectben alkalmazott vizsgálati módszerek

A Síkfőkúton alkalmazott módszerek, az eredmények összehasonlíthatósága érdekében megegyeznek az ILTER DIRT project keretében alkalmazott módszerekkel. A módszerek kiválasztásánál az USA LTER talajtani kutatásokban alkalmazott módszerkönyvet tekintettük irányadónak (ROBERTSON *et al.* 1999). A módszerek beállítása az amerikai kutatók személyes részvétele és munkája mellett Síkfőkúton, illetve a Debreceni Egyetem Ökológiai Tanszékén történt.

Talajmintákat havi gyakorisággal, a terepi kiszállások alkalmával gyűjtöttük, rendszerint havi gyakorisággal, de a vizsgálatoktól függően, egyes esetekben csak háromhavonta. A talajvizsgálatainkhoz a talajmintákat Oakfield® típusú (G-model, Oakfield Apparatus Company, USA) talajmintavevővel vettük. Egy parcelláról (az elvégzendő vizsgálatok mennyiségétől függően), általában 4-6 almintát vettünk 15 cm-es mélységből, véletlenszerűen. Az almintákat összekevertük, homogenizáltuk, majd ezután használtuk fel az elemzésekhez.

4.4.1. A talajhőmérséklet mérése

A parcellák talajhőmérsékletének mérésére minden egyes parcellába 1 db ONSET gyártmányú StowAway® TidbiT® típusú talajhőmérséklet-mérő adatgyűjtőt (data-logger) helyeztünk ki, a parcellák közepére 10 cm-es talajmélységben. Ez a talajmélység STEFANOVITS (1985) Síkfőkúton végzett vizsgálatai szerint az agyagbemosódásos barna erdőtalaj biológiailag legaktívabb A₁ szintjével azonos. NAGY (1985b) szerint a

síkfőkúti erdőben a talajfelszíntől lefelé tartó napi melegedési, ill. hűlési hullám télen-nyáron egyaránt 10-15 cm-ig terjed.

A talajba helyezés előtt a data-loggereket parafilmbe csomagoltuk, úgy, hogy a fülben elhelyezkedő termisztoros részük szabadon maradjon. A becsomagolásra az optikai felszínük tisztán tartása érdekében volt szükség, mivel a data-loggerek optikai úton kommunikálnak a notebookkal. Az adatgyűjtőket úgy programoztuk be, hogy a talaj hőmérsékletét óránként rögzítsék. Az adatok letöltése meghatározott időközönként, általában félévente, évente történt.

A data-loggerek indítására és letöltésére a BoxCar Pro4 programot használtuk. A letöltött adatokat MS[®] Excel 2003 táblázatban kezeltük. Az óránként mért adatokból napi és havi átlagokat számoltunk. Későbbiekben ezekkel az átlagokkal dolgoztunk.

4.4.2. A talaj nedvességtartalmának meghatározása

A talaj nedvességtartalmának a meghatározását a hagyományos szárítószekrényes eljárással illetve a terepen TDR 300 (Time Domain Reflectometer) műszerrel mértük, amely a talaj nedvességtartalmát térfogatszázalékban méri.

A talaj nedvességtartalmának a meghatározásához a talajmintákat 15 cm-es talajmélységből gyűjtöttük. A mintákat a laboratóriumba zárt mintatartó tasakokban szállítottuk, amelyek megakadályozzák a párolgást. A laboratóriumban kimértünk egy adag nedves talajt (kb. 10 g-ot) az ismert tömegű fém dobozba (*tin* - jól zárható tetejű alumínium doboz). A nyitott dobozt 105 °C-on szárítottuk tömegállandóságig (amely kb. 24 órás szárítást jelentett). Amint a talajt állandó súlyúra szárítottuk, eltávolítottuk az edényt a szárítószekrényből, lezártuk a fedelét (a rehidratáció elkerülésére), majd hagytuk szobahőmérsékleten kihűlni, és ezután mértük meg az edényt fedőjével együtt.

A TDR-es mérést a talajlégzés mérésekkel megegyező időpontokban végeztük, minden terepi kiszállás alkalmával, havonta, a vödrök kihelyezésekor és összeszedésekor is. Parcellánként két-két mérést végeztünk 10 cm-es mélységben, melyek eredményeit átlagoltuk, majd a további számításokhoz ezeket használtuk.

4.4.3. A talaj pH mérése

A talaj pH-ját vizes szuszpenzióból mértük. 5 g légszáraz talajhoz 12,5 ml desztillált vizet adtunk. Összerázás után a szuszpenziót 30 percig állni

hagytuk. A pH mérésére Orion gyártmányú kombinált üvegelektrodát és Cole-Parmer digitális pH-mérőt használtunk. A méréseket a talajmintavételek alkalmával rendszeresen, háromhavonta mértük laboratóriumi körülmények között 2003-2005 között.

4.4.4. A talaj szerves anyag tartalmának meghatározása

A talaj szerves anyag tartalmát az izzítási maradékból számítottuk ki. Minden parcellából 15 cm-es mélységből 6-6 furatnyi talajmintát vettünk, amelyet homogenizáltunk. A talajmintákat átszitáltuk, 105°C-on tömegállandóságig kiszárítottuk, majd 5-5 g-ot két órán keresztül 600°C-on izzítottunk. Az izzítás előtti és utáni tömeg különbségéből meghatározható a százalékos szerves anyag tartalom.

A szerves anyag tartalmat többféle módszerrel lehet meghatározni (BALL 1964; ALEKSANDROVA and NAIDENOVA 1976; ORLOV and GRISINA 1981; NIKITIN 1999), és az egyes módszerek között korrekciós faktorok segítségével lehet összehasonlító vizsgálatokat végezni (BENEDIKTAS *et al.* 2006). Az általunk használt izzítási veszteség alapján meghatározott szerves anyag tartalom BALLENEGGER és GLÉRIA (1962) szerint több részletből adódik össze: abból a vízből, amely a talaj ásványos kolloidjaiban kémiai kötésben van; a szerves anyagból, amely izzításkor elég; a szénsavas sókban lévő szén-dioxidból, amely izzításkor elillan; és a talajban lévő, az izzításkor szintén elbomló és elillanó ásványos anyagokból. Ebből következik, hogy a mérés nem pontosan a szerves anyag tartalom eredményeket mutatja, hanem a fent említett egyéb veszteségeket is. A módszer azonban alkalmas a kezelések közötti különbségek feltárására.

4.4.5. A talaj szerves C- és N-tartalmának meghatározása

A talaj szerves szén és nitrogén tartalmának meghatározásához 1-2 g, 2 mm-es szitán átszitált, 60 °C-on szárított talajt használtunk. Mintavétel és mérés évente négy alkalommal, évszakonként történt.

A minták szerves szén és nitrogén tartalmának meghatározása Elementar Vario EL C-H-N-O-S analizátorral történt NAGY (2000) módszerével a DE-AMTC Agrokémiai és Talajtani Tanszékén. A módszer lényege röviden, hogy a porított és homogenizált talajmintát óncsónakba mérve 1000°C-nál magasabb hőmérsékletű kemencében nagy tisztaságú oxigén áramban elégetik. Ezen a hőmérsékleten a minták széntartalma CO₂-dá és vízzé, nitrogén tartalma pedig nitrogén-oxidokká alakul. A

kapott gázelegyet adszorbens oszlopokon vezetik át, amelyek töltetei egyrészt a gázelegy tisztítását végzik, másrészt az egyes összetevők időlegesen megkötődnek és szeparálódnak egymástól. Végül az egyes összetevők mennyiségét hővezetőképesség-méréssel állapítják meg.

4.4.6. Talajlégzés mérése

A talajlégzés mérésére a nátronmész (SL = Soda Lime) módszert (RAICH *et al.* 1990; GROGAN 1999) alkalmaztuk. A vizsgálatok rendszeresen, havonta történtek.

Minden parcellában két mérést végeztünk, és háromparcellánként vak mintát is vettünk. Fedővel ellátott fém dobozokba (*tin*) 60-60 g nátronmeszet mértünk be, és 24 órára 105°C-os WTC Binder-7200 típusú szárítószekrénybe helyeztük őket nyitott állapotban. Ezután megmértük a száraz tömegüket, és légmentesen lezártuk őket. Minden parcellára két nyitott dobozt helyeztünk, és mindegyiket lefedtük egy levágott peremű műanyag vödörrel. A vödrök alsó peremét 1-2-cm mélyen ágyasztuk a talajba, hogy megakadályozzuk a SL-nak a légkörrel való közvetlen érintkezését. Egy nap múlva összeszedtük a tin-eket, és laboratóriumi körülmények között ismét kiszárítottuk őket nyitott állapotban, 105°C-os szárítószekrényben. Miután kiszáradtak, megmértük a tömegüket. A kihelyezéskor és 24 óra elteltével, a felszedéskor is feljegyeztük a pontos időt és a talaj hőmérsékletét.

A két szárazanyag tömegből (kihelyezés előtti és utáni) az alábbi képlet segítségével lehet kiszámítani a nátronmész által elnyelt CO₂ szén mennyiségét:

$$C(mg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}) = \frac{(B - A - V) \cdot 1000 \cdot 1,69 \cdot 0,2729}{a \cdot t}$$

ahol:

- A = kihelyezés előtti száraztömeg (g)
- B = kihelyezés utáni száraztömeg (g)
- V = vak mérések (7 db) átlaga
- a = vödör által lefedett terület, itt 0,07122 m²
- t = elnyeletési idő (h)

A képletben szereplő faktorok és funkcióik (GROGAN 1999):

- 1000 – a mg és a g közötti átváltásért felelős
- 1,69 – A GROGAN féle korrelációs faktor (a nátronmészben található kristályvíz szárításkor történő veszteségét küszöböli ki)
- 0,2729 – a CO₂ széntartalmának aránya.

Az azonos kezelésű parcellák eredményeit átlagoltuk, és ezeket vetettük össze a talajhőmérsékleti és talajnedvességi adatokkal.

A nátronmész módszert több mint 30 éve használják szabadföldi körülmények között a talajból kiáramló CO₂ mennyiségének mérésére (MONTEITH *et al.* 1964).

A módszer pontatlansága abból származik, hogy a nátronmész CO₂ adszorpciós rátája ritkán van egyensúlyban a széndioxid kiáramlási rátájával. Ezt a hibát GROGAN (1998) által számított korrekciós tényező felhasználásával kiküszöböltük. Ezen hátrányok ellenére a nátronmész módszer használatának több előnye van; könnyű, integrált mérést szolgáltat napokon keresztül és így kiküszöbölhető az abiotikus faktorok napi változásának hatása, valamint nagy teljesítményű és gazdaságos, nagyszámú ismételtesben kiküszöbölhető a talaj térbeli heterogenitása (CROPPER *et al.* 1985; RAICH *et al.* 1990; ROCHETTE *et al.* 1991). Ezen okokból a nátronmész technikát valószínűleg a jövőben is alkalmazni fogják a szabadföldi CO₂ termelés mérésére (ANDERSON 1982; ZIBILSKÉ 1994; L. KOVÁCS 2008).

4.4.7. Hőmérsékleti koefficiens számítása (Q₁₀; Q₂)

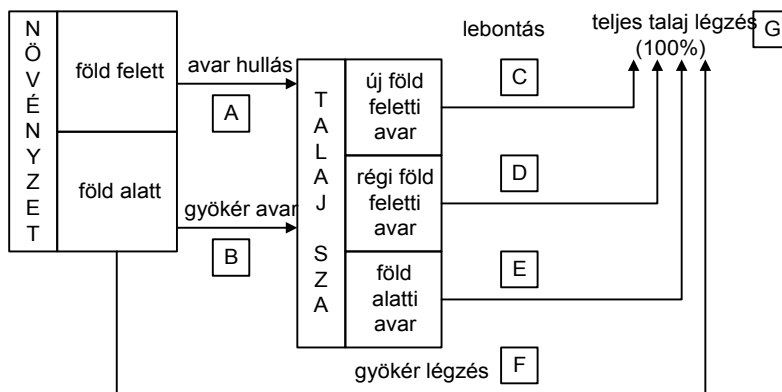
A talajhőmérséklet és a talajlégzés közötti összefüggést az $y = ae^{(bx)}$ összefüggés írja le, ahol:

y = az 1 óra alatt termelt CO₂-ban lévő C mennyisége (mg CO₂-C/h)
a = a görbe metszéspontja az „y” tengelyen
e = 2,71 (pontosabban 2,718281828) a természetes logaritmus alapja
b = az egyenlet meredeksége
x = a talaj hőmérséklete (°C).

Az exponenciális görbék egyenleteiből számíthatók a Q₁₀ értékek, ($Q_{10} = e^{b \cdot 10}$) amelyek azt mutatják, hogy 10°C-os hőmérséklet emelkedés hatására a kémiai reakciók sebessége (jelen esetben a talajlégzés intenzitása) hányszorosára növekedne (NADELHOFFER *et al.* 2004; BOONE *et al.* 1998). Ilyen mértékű hőmérsékletnövekedés a valóságban azonban egyetlen klíma forgatókönyv szerint sem várható, ezért realisabb képet kaphatunk, ha a Q₁₀ helyett a Q₂ értékét számítjuk ki. A Q₂ azt mutatja meg, hogy 2°C-os átlaghőmérséklet emelkedés hatására hányszorosára növekedne a talajlégzés.

4.4.8. Talajlégzés részösszetevőinek számítása

A talajlégzés részösszetevőinek kiszámítását NADELHOFFER *et al.* (2004) módszere alapján végeztük. Az egyes összetevők viszonyát a 9. ábra foglalja össze.



9. ábra. A talajlégzés részei (NADELHOFFER *et al.* 2004. alapján)

ahol:

A: az avarból bejutó szén mennyisége (gC/m²/év). Az avar széntartalma az avarprodukciónak és az avar széntartalmának ismeretében kiszámítható. A széntartalom meghatározása a VARIO EL C-H-N-O-S típusú elementáris analízátorral történt.

B: a gyökéravar széntartalma, ami megegyezik a gyökéravar lebontásából származó szén mennyiségével (E).

C: az új (egy éves) avartakaró lebontásából származó szén, ami a K és a NA parcellák különbségének és a DA és K parcellák különbségének átlaga.

$$\frac{(K - NA) + (DA - K)}{2}$$

D a régi (többéves) avartakaró lebontásából származó szén. Az avar lebontásából származó szén megegyezik az avarprodukciónak széntartalmával (egyensúlyi állapot).

$$A = C + D \Rightarrow D = A - C$$

E a gyökér avar lebontásából származó szén.

$$E = G - (C + D + F)$$

F a gyökérlégzés, ami a K és a NGY parcellák különbsége.

K – NGY

G a teljes talajlégzés, ez a K parcella értékével adható meg.

4.4.9. Alkalmazott statisztikai módszerek

Az óránkénti talajhőmérséklet adatokból parcellánként kiszámoltuk a napi középhőmérsékleteket, és ezeket az értékeket egytényezős variancia analízissel (ANOVA) hasonlítottuk össze. A talajlégzési eredmények értékeléséhez is variancia analízist használtunk, ekkor a különböző kezeléssel rendelkező parcellák szén-dioxid kibocsátásának átlagait hasonlítottuk össze a különböző mintavételi időpontokban. A varianciaanalízissel azt vizsgáltuk, hogy a különböző minták átlagai szignifikánsan különböznek-e egymástól. Szignifikancia szintként az 5%-ot választottuk ($p=0,05$), tehát az egyes időpontokban, a parcellák eredményeinek az átlaga akkor egyezik meg egymással, ha a varianciaanalízissel kapott p -érték nagyobb vagy egyenlő, mint 0,05. A talaj szén-dioxid kibocsátása és a másik két mért változó (talajnedvesség és talajhőmérséklet) közötti kapcsolat vizsgálatához korrelációanalízist alkalmaztunk, mellyel megállapítható, hogy két változó függ-e egymástól.

5. Eredmények és értékelésük

5.1. Az avarprodukciónak a távú változása

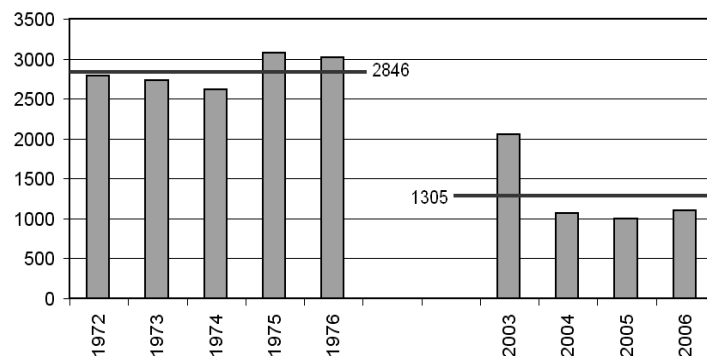
Az erdő fafaj összetétele és struktúrája is jelentős mértékben megváltozott, amelyre jellemző a nagyarányú tölgypusztulás, a relatív elcseresedés és az eljuharosodás (TÓTHMÉRÉSZ 2001; BOWDEN *et al.* 2006; TÓTH *et al.* 2006; KOTROCZÓ *et al.* 2007). Ezt a változást az erdő a lombavar-produkciójának minőségi és mennyiségi változása is jól tükrözi (2. táblázat).

A *Quercus petraea* levélavar mennyisége az 1970-es években mért értékekhez képest jelentősen csökkent, a *Quercus cerris* levélavar kismértékben növekedett, az *Acer campestre* levélavar pedig többszörösére nőtt. Összességében a teljes lombavar-produkció kis mértékben csökkent. A 2005-ben mért alacsony *Quercus petraea* levélavar produkció illetve a nagy törmelék mennyiség a nagy *Lymantria dispar* (gyapjas lepke) hernyó gradációjának következménye. A nagymértékű hernyórágás következtében a fák már a kora tavaszi időszakban szinte csupasszá váltak. Az avarprodukciónak nagymennyiségű hernyóürüléket, kisebb nagyobb levél fragmentumokat, törmeléket tartalmazott, ami az avarfrakciók elkülönítését, azonosítását szinte lehetetlenné tette, így ezeket az adatokat megfelelő óvatossággal kell kezelni. Az adatok sorából kiemelkedik még a 2004. évi nagy „egyéb avar” frakció is, ami a nagymennyiségű makktermésnek köszönhető.

2. táblázat. A Síkfőkút Project avarprodukcója ($\text{kg ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$)
(Q.p.=*Quercus petraea*; Q.c.= *Quercus cerris*; C.m.= *Cornus mas*;
A.c.= *Acer campestre*)

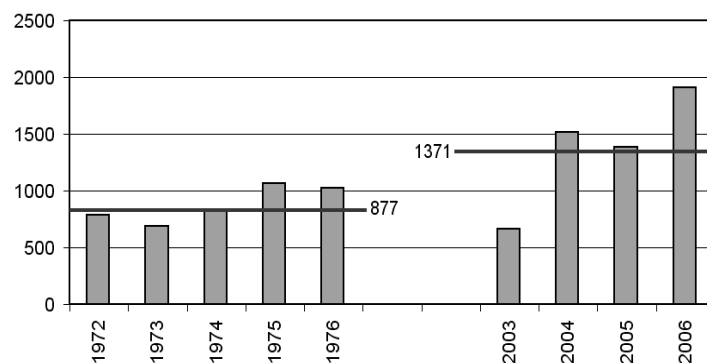
Év	Lombavar						Ágavar	Egyéb avar	Total avar
	Q. p.	Q. c.	C. m.	A. c.	Egyéb cserje	Összes lomb			
1972	2787	786	203	83	53	3912	458	178	4548
1973	2731	685	87	86	34	3623	526	516	4666
1974	2617	827	200	83	38	3765	689	686	5140
1975	3074	1063	277	114	39	4567	983	446	5995
1976	3019	1025	205	182	19	4450	1005	439	5894
2003	2056	666	210	674	54	3660	259	1159	5078
2004	1063	1516	256	636	73	3544	750	2550	6845
2005	994	1389	277	287	41	2988	878	5199	9063
2006	1105	1912	322	900	123	4362	360	481	5205

A korábbi (1972-1976 közötti) és a jelenlegi (2003-2006 közötti) időszak összehasonlítása alapján megállapítottuk, hogy a korábbihoz képest a *Quercus petraea* lombavar-produkciója több mint felére csökkent (10. ábra). Ennek az oka, hogy az eltelt több mint 30 év folyamán a *Quercus petraea* jelentős része, 68,40 % kipusztult. Az ezzel járó lombavarkiesést a *Quercus petraea* jelenlegi állománya nem tudta pótolni.



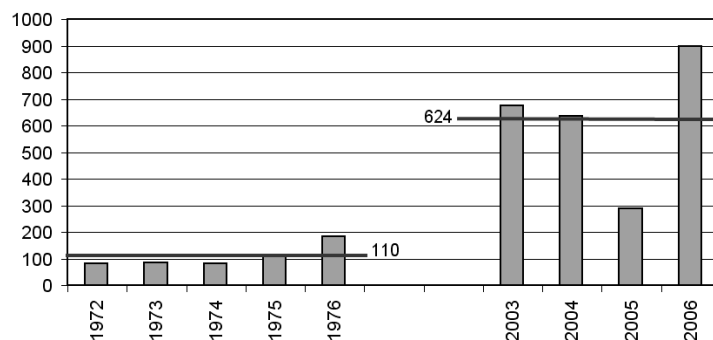
10. ábra. A *Quercus petraea* lombavarprodukciónak átlaga (kg ha⁻¹ év⁻¹)
(A vízszintes vonalak a csoportok átlagát mutatják)

Annak ellenére, hogy a *Quercus cerris* 15,87 %-a elpusztult, a *Q. cerris* lombavarja az 1972-76 közötti időszakhoz képest nem csökkent, hanem növekedett, vagyis a *Quercus cerris* erőteljes növekedésével nemcsak kompenzálta, hanem még túl is szárnyalta a korábbi időszakban mért avarprodukciónak (11. ábra).



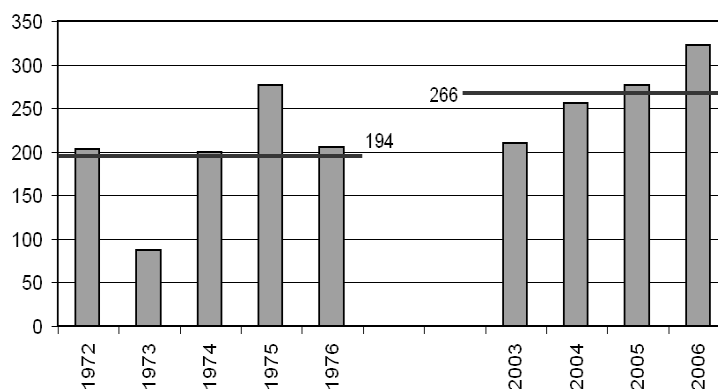
11. ábra. A *Quercus cerris* lombavarprodukciónak átlaga (kg ha⁻¹ év⁻¹)
(A vízszintes vonalak a csoportok átlagát mutatják)

Az *Acer campestre* lombavar-produkciója a korábbi időszakhoz képest közel hatszorosára emelkedett. Ez annak tulajdonítható, hogy az *Acer campestre* korábban még a cserje szintben fordult elő, mára pedig fává növe bekerült a faszintbe, ahol 28,17 %-os egyedszám részesedése alapján a második leggyakoribb fafajjá lépett elő (12. ábra).



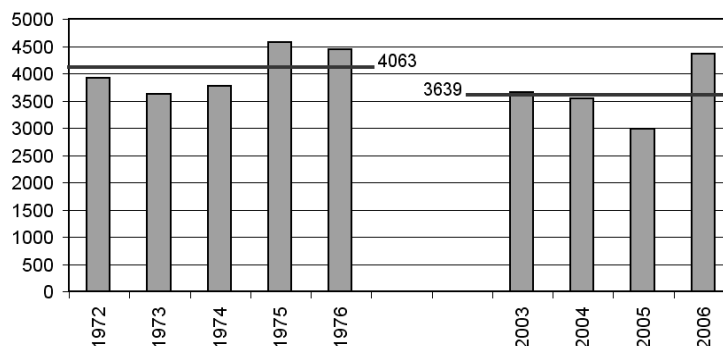
12. ábra. Az *Acer campestre* lombavartermelése (kg ha⁻¹ év⁻¹)
(A vízszintes vonalak a csoportok átlagát mutatják)

A *Cornus mas* lombavarja esetében jelentős különbség a mért időszakok között nem mutatható ki (13. ábra), csupán kismértékű növekedés figyelhető meg. Ez elsősorban a meglévő állomány erősödésével, a lékekben való terebélyesedésével magyarázható.



13. ábra. A *Cornus mas* lombavartermelése (kg ha⁻¹ év⁻¹)
(A vízszintes vonalak a csoportok átlagát mutatják)

A Síkfőkút Project teljes lombavar-produkciója (14. ábra) a korábbi időszakhoz viszonyítva csökkenést mutatott. Ha eltekintünk a 2005. évi hernyórágás által okozott bizonytalan lombavar-produkciós adatoktól, akkor a 2003, 2004 és a 2006-os évek átlaga $3639 \text{ kg ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ -től $3855 \text{ kg ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ -re növekszik, ami jól megközelíti az 1972-1976-os évek $4063 \text{ kg ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ -es átlagát. A teljes lombavar-produkcióban tehát kismértékű csökkenés figyelhető meg.



14. ábra. A Síkfőkút Project teljes lombavarprodukciója ($\text{kg ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$)
(A vízszintes vonalak a csoportok átlagát mutatják)

A *Quercus petraea* nagyarányú 68,40 % -os pusztulásából származó lombavar kiesését a két fafaj, a *Quercus cerris* és az *Acer campestre* részben kompenzálni tudta. Kérdés, hogy a klímaváltozás fokozódásával, azaz a felmelegedés és a szárazodás további növekedésével fenntartható-e ez a kompenzációs folyamat? A hosszú távú változás irányának, tendenciájának a megállapításához tehát további vizsgálatok szükségesek, éppen ezért az avarprodukcióval kapcsolatos vizsgálatokat az elkövetkező években tovább kell folytatni.

5.2. Az avarkezelés hatása a talajhőmérsékletre

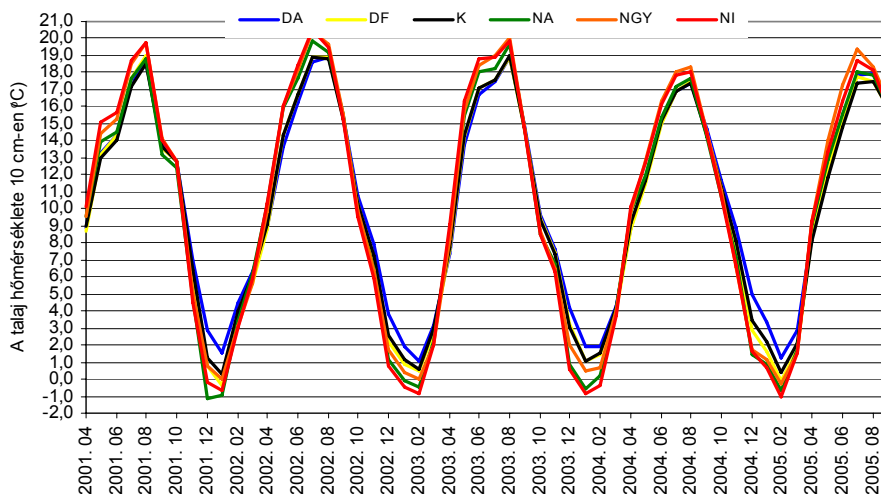
A talajhőmérséklet alakulását a napi és az évszakos hőmérsékletváltozás, alapvetően a be- és kisugárzás aránya határozza meg.

A napi hőmérsékletváltozás folyamán nappal a besugárzás a talajt felmelegíti, ezért a talaj hőmérséklete nő. Éjjel a nappali besugárzás megszűnésével nő a kisugárzás, a talaj lehűl. A talajhőmérséklet alakulásában érvényesül azonban egy másik hatás is, mégpedig az évszakoknak megfelelő évszakos hőmérsékletváltozás, ami szinusz

görbével jellemezhető (15. ábra). Az évszakos hőmérsékletváltozás görbéjén, hasonlóan a napi hőmérsékletváltozáshoz, ugyancsak felmelegedési és lehülési szakaszokat különíthetünk el. A napi és az évszakos változás együttes hatása alakítja ki a talaj felső 10 cm-es rétegére jellemző, jellegzetes alakú talajhőmérsékleti görbét (15. ábra). Valójában a helyzet ennél bonyolultabb, a felmelegedési szakaszban átmenetileg előfordulhatnak lehülési szakaszok, vagy a lehülési szakaszban átmeneti felmelegedési szakaszok. Mindezek a talajhőmérsékleti görbék alakját az ideálistól jelentős mértékben eltéríthetik.

A talajt borító avartakaró közismerten jó hőszigetelő tulajdonságánál fogva a tavaszi-nyári időszakban gátolja a talaj felmelegedését, a besugárzást, télen viszont megakadályozza a talaj kihűlését, a kisugárzást, ezáltal szabályozza a talaj hőmérsékletét.

A nyári időszakban a legmagasabb talajhőmérsékleti értékeket a Nincs Input parcellák esetében kaptuk (15. ábra és 16. ábra).



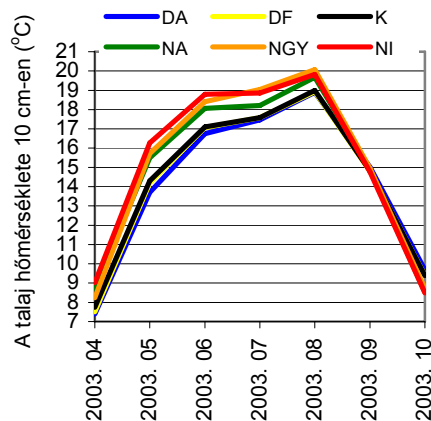
15. ábra. Az avarkezelések hatása a talaj havi átlaghőmérsékletére 10 cm-es talajmélységben 2001-2005 között

(Betűkódok magyarázata a 1. táblázatban.)

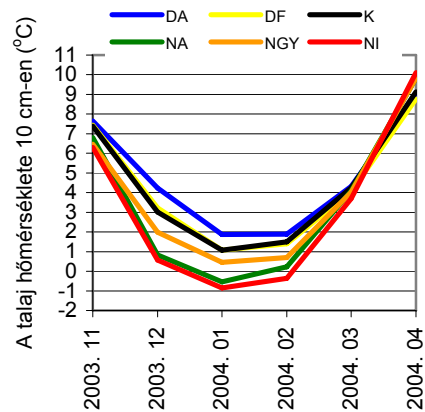
Ez egyrészt annak tulajdonítható, hogy hiányzik a növényzet árnyékoló hatása, így a besugárzás nagyobb, másrészt az avartakaró hiányában elmarad az avartakaró besugárzást gátló, szigetelő hatása is. A Nincs Gyökér, és a Nincs Avar parcellák talajának átlagos havi hőmérséklete ugyancsak nagyobb volt a Kontroll parcellákhoz viszonyítva. A Nincs Gyökér parcelláknál a növényzet hiánya, a Nincs Avar

kezeléseknél az avartakaró hiánya, eredményezte a magasabb talajhőmérsékletet. A tavaszi-nyári időszakban a Dupla Avar kezelés esetében mértük a legalacsonyabb talajhőmérsékletet, ami a dupla avarréteg fokozottabb besugárzást gátló, hőszigetelő hatásának tulajdonítható.

A téli időszakban az avartakaró gátolja a talaj kisugárzását, lehűlését. Ennek köszönhető, hogy a legmagasabb talajhőmérsékleti értékeket a dupla avarréteggel rendelkező Dupla Avar parcellákban mértük (15. ábra és 17. ábra). Figyelemre méltó, hogy a Dupla Avar parcellákban a talaj hőmérséklete soha sem süllyedt fagypont alá. Avartakaró hiányában (Nincs Avar, Nincs Input) a talaj kisugárzása igen nagy volt, ami a talaj erőteljes lehűlését, gyakori átfagyását eredményezte, így ezekben a parcellákban mértük a legalacsonyabb talajhőmérsékleti értékeket.



16. ábra. Avarkezelések hatása a talaj hőmérsékletére egy nyári időszakban 10 cm-es talajmélységben



17. ábra. Avarkezelések hatása a talaj hőmérsékletére egy téli időszakban 10 cm-es talajmélységben

Megállapítható, hogy a felmelegedési szakaszban, a tavaszi-nyári hónapokban a Nincs Avar, a Nincs Gyökér és a Nincs Input kezelésű parcellák talaja melegebb, mint a Kontroll, a Dupla Fa és a Dupla Avar kezelésű parcellák talaja. Ebben az időszakban a felmelegedés növekvő sorrendben általában a következő: DA<DF<K<NA<NGY<NI.

A fentebb említett felmelegedési sorrend az őszi hónapokban, szeptemberben és októberben azonban fokozatosan megszűnik, majd a nappali felmelegedés további gyengülésével megfordul, azaz a Nincs Avar, a Nincs Gyökér és a Nincs Input kezelésű parcellák talaja jobban lehül,

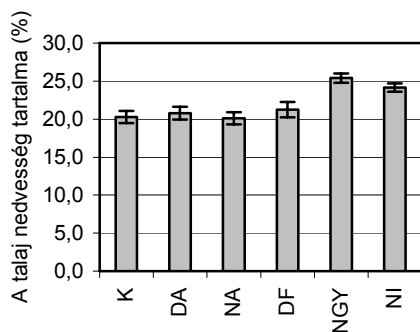
hidegebbé válik, mint a Kontroll, a Dupla Fa és a Dupla Avar kezelésű parcellák talaja. A parcellák talajhőmérséklete a téli időszakban növekvő sorrendben általában a következő volt: NI, NA<NGY<DF< K<DA.

Különösen jelentős az avartakaró szerepe a téli hónapokban a talaj átfagyásának megakadályozása szempontjából. A Dupla Avar parcellák esetében a talaj hőmérséklete a vizsgálati periódus folyamán egyetlenegyszer sem csökkent a fagypont alá. Ezzel szemben az avar nélküli (Nincs Avar, Nincs Input) parcellák talajhőmérséklete hosszú időn keresztül, hetekig, hónapokig fagypont alatt maradt.

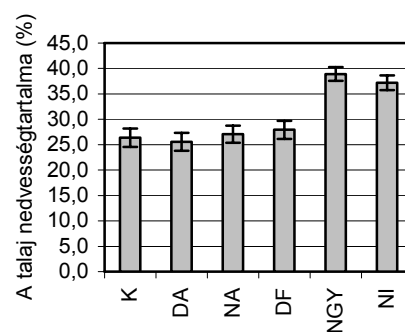
A különböző vastagságú avartakaró tehát jelenős szabályozó hatást fejt ki talaj hőmérsékletére, különösen a nyári és a téli időszakban, amikor is szignifikáns különbség mutatható ki az eltérő avarkezelésű parcellák talajhőmérséklete között. Ez azért lényeges, mert a talajhőmérséklet jelentősen befolyásolja a talaj-mikroorganizmusok aktivitását, így a lebontó folyamatok intenzitását, és a talajlégzést is.

5.3. Az avarkezelés hatása a talaj nedvességtartalmára

A talaj nedvességtartalma mind tömegszázalékban, mind térfogatszázalékban hasonlóan alakult (18. ábra és 19. ábra).



18. ábra. A talaj nedvességtartalma tömegszázalékban, 0-15 cm-es talajmélységben (A 2002-2005. évi mérések átlaga)



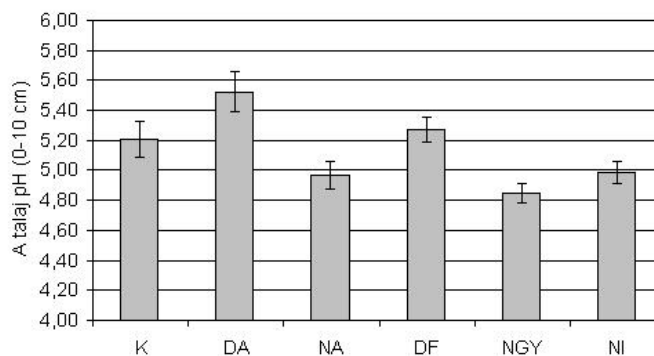
19. ábra. A talaj nedvességtartalma térfogatszázalékban 0-12 cm-es talajmélységben (A 2002-2005. évi mérések átlaga)

A Dupla Avar a Nincs Avar és a Dupla Fa parcellák talajának nedvességtartalma nem különbözött lényegesen a Kontrolltól (18. ábra és 19. ábra). Ezzel szemben szignifikánsan nagyobb nedvességtartalom

figyelhető meg a Nincs Gyökér és a Nincs Input parcellák esetében. Ezt a növényzet hiányának, a transpiráció elmaradásának tulajdonítjuk, de szerepet játszik a nagyobb talajnedvesség-tartalom kialakulásában a parcellák körülárkolása is. A nagyobb nedvességtartalom kedvező a talaj szerves anyag lebomlására, ennek következtében ezekben a parcellákban hosszú időn keresztül a legnagyobb mértékű volt a szerves anyag lebomlása (21. ábra).

5.4. Az avarkezelés hatása a talaj pH-ra

A csökkenő avarbevitel a talaj pH-ját csökkenti (20. ábra). Véleményünk szerint ez azzal magyarázható, hogy az avarbomlás során keletkező savas intermediereket, humuszanyagokat, a csökkenő avar input csökkenő bázikus kation tartalma nem tudja kellően pufferni. Ezzel szemben a Dupla Avar kezelésnél a talaj pH-ja növekedett, ami a nagyobb avarbevitellel járó nagyobb bázikus kation tartalom kioldódásának, nagyobb puffer kapacitásának köszönhető.



20. ábra. A talaj pH-ja 0-15 cm közötti talajrétegben
(A 2003-2005. évi mérések átlaga)

5.5. Az avarkezelés hatása a talaj szerves anyag tartalmára

A szerves anyag tartalomban a parcellák telepítése utáni, első évben a különböző kezelések között nem volt különbség (21. ábra). Ez abból fakadt, hogy ilyen rövid idő nem volt elegendő ahhoz, hogy a kezelések „beálljanak”. Két év elteltével azonban a kezelések közötti különbségek már kimutathatók. 2003-ban, a NGY és NI kezelések esetén, vagyis ahol

valamilyen formában megvontuk az avar, a szerves anyag tartalomban már csökkenés tapasztalható. Azoknál a kezeléseknél viszont, ahol az avar inputot megdupláztuk, a szerves anyag tartalom növekedés még nem volt számottevő.

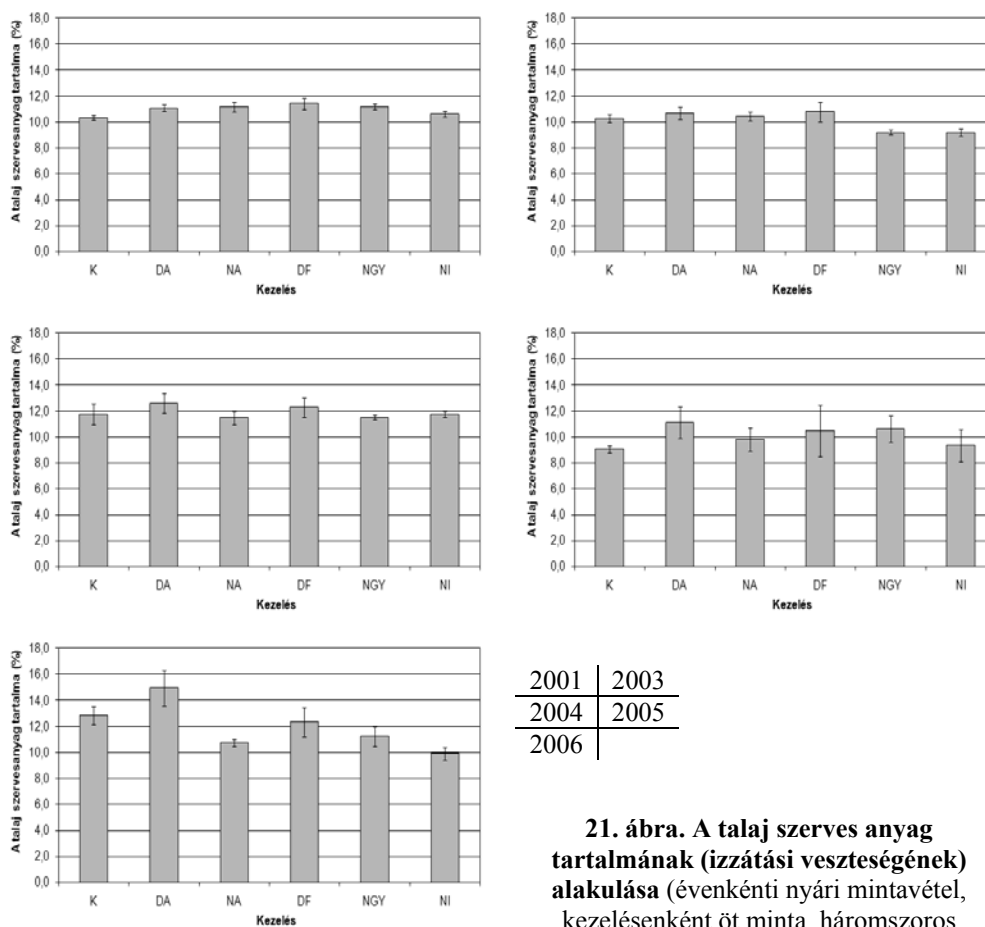
A 2004-es évben a fenti tendencia tovább folytatódott, és itt már megfigyelhető a DA kezelések esetében a szerves anyag tartalom növekedés, valamint a NA kezelések esetén a szerves anyag tartalom csökkenése. Ez utóbbi azzal magyarázható, hogy a NGY és NI kezelések esetén a körülárkolás, valamint a hiányzó növényzet következtében elmaradó transzspiráció miatt szignifikánsan magasabb a parcellák nedvesség tartalma. A NA kezelések esetén a nedvesség tartalom nem olyan magas, ezért ez csökkenti a mikrobiális aktivitást, vagyis a szerves anyagok bontását. További változás az évben, hogy a DF kezelések esetében elkezdődik egy kismértékű, de még nem szignifikáns növekedés. Ezekben a kezeléseknél a később elkezdődő szerves anyag akkumuláció azzal magyarázható, hogy a faavart alkotó anyagok (pl. lignin) a mikroorganizmusok számára nehezebben hozzáférhetőek, bomlásuk sokkal lassabb folyamat.

2005-ben vett talajminták eredményei viszont már azt mutatták, hogy a kezelések hatására a DA és K parcellák százalékos szerves anyag tartalma közötti különbség megnőtt. Viszont azoknál a kezeléseknél, ahol megvontuk az avar, vagyis ahol nincs szerves anyag input, a csökkenés még nem szignifikáns. Ebben az évben, az ország több érdekéhez hasonlóan Síkfőkúton is egy igen jelentős tényező, a gyapjas lepke (*Lymantria dispar* L.) hernyójának rágása következtében extra szerves anyag többlet került a talajra. Ez legelőször a hernyók jelentős mennyiségű ürülékéből, majd az általuk lerágott avartörmeléből állt, amely a talaj felszínére hullott. Ebből a többlet szerves anyagból a hernyóürülék nagy mennyisége a 2005-ös mintákban, különösen az avar nem tartalmazó kezeléseken fokozottan meglátszott, ugyanis a közvetlen talajfelszínre hullott szerves ürülék a csapadékkal gyorsan a talajba mosódva, emelte a szerves anyag tartalmát. Ez meglátszik a talajlégzés értékekben is (25. ábra), hisz a 2005-ös talajlégzés értékek kezelésektől függetlenül is magasabbak voltak a többi év értékeitől.

A kutatás hatodik évében (2006-ban) kitűnt, hogy az avarinput hosszú távú megváltoztatása jelentős hatással van a talaj szerves anyag tartalmára. A többlet avar bevitellel nő a talaj szerves anyag tartalma, az avar megvonás viszont csökkenti a talaj szerves anyag tartalmát. Az avarkezelések hatása azonban csak hosszabb távon 5 éves kezelés után, a

2006-os vizsgálati eredmények alapján vált egyértelművé és szignifikánssá.

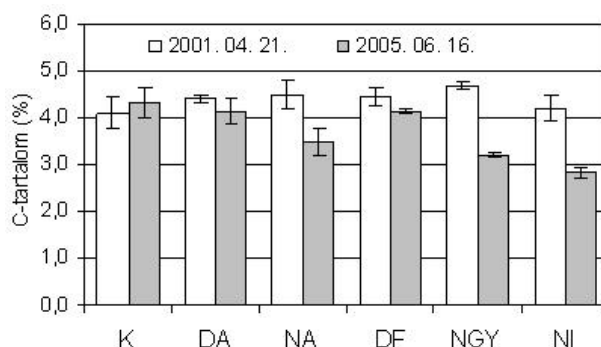
A fentiek alapján megállapítható, hogy ha a klímaváltozás hatására nőne az avarprodukciónak ez csak hosszabb távon növelné a talaj szerves anyag tartalmát. Az avarprodukciónak kapcsolatos eddigi vizsgálati eredményeink viszont azt mutatják, hogy a lombavar produkció kis mértékben csökkent, ami hosszabb távon a talaj szerves anyag tartalmának a csökkenését, a talaj leromlását fogja eredményezni.



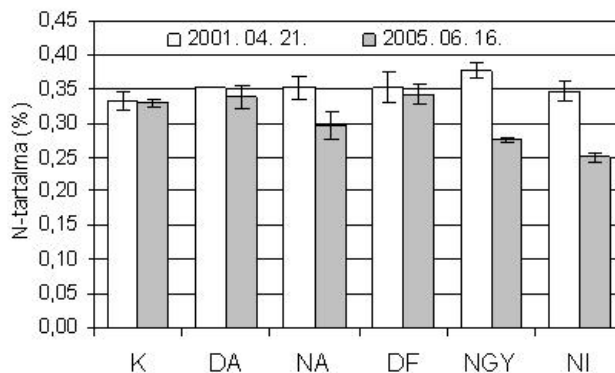
21. ábra. A talaj szerves anyag tartalmának (izzátási veszteségének) alakulása (évenkénti nyári mintavétel, kezelésenként öt minta, háromszoros ismételtsben)

5.6. Az avarkezelés hatása a talaj szerves szén- és nitrogén tartalmára, a C:N arányra

A többlet szerves anyag bevitel a Dupla Avar és a Dupla Fa parcellákban, kezdetben nem, csak később, 2-3 év elteltével növelte a talaj szerves C-tartalmát (22. ábra). A Kontroll, a Dupla Avar a Dupla Fa parcellákban a talaj szerves N-tartalma 4 év után lényegében nem változott (23. ábra).



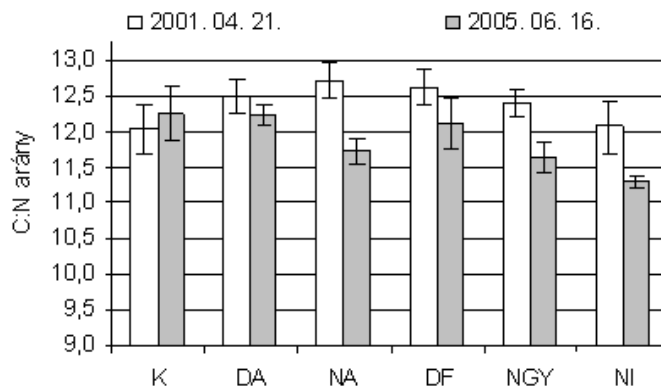
22. ábra. A talaj szerves széntartalma 0-15 cm-es talajmélységben



23. ábra. A talaj szerves nitrogéntartalma 0-15 cm-es talajmélységben

Azoknál a kezeléseknél, ahol a talajba jutó szerves anyag mennyiségét csökkentettük (Nincs Avar, Nincs Gyökér és Nincs Input) 1-2 év után már elkezdett csökkenni a talaj szerves C- és N-tartalma és C:N aránya is (24. ábra). Az avarprodukció hosszú távú csökkenése tehát gyorsabban csökkent a talaj szerves anyagainak C- és N-tartalmát, ami

hosszú távon a termőhely leromlását eredményezi. Ilyen szempontból tehát az avarprodukció csökkenése káros.



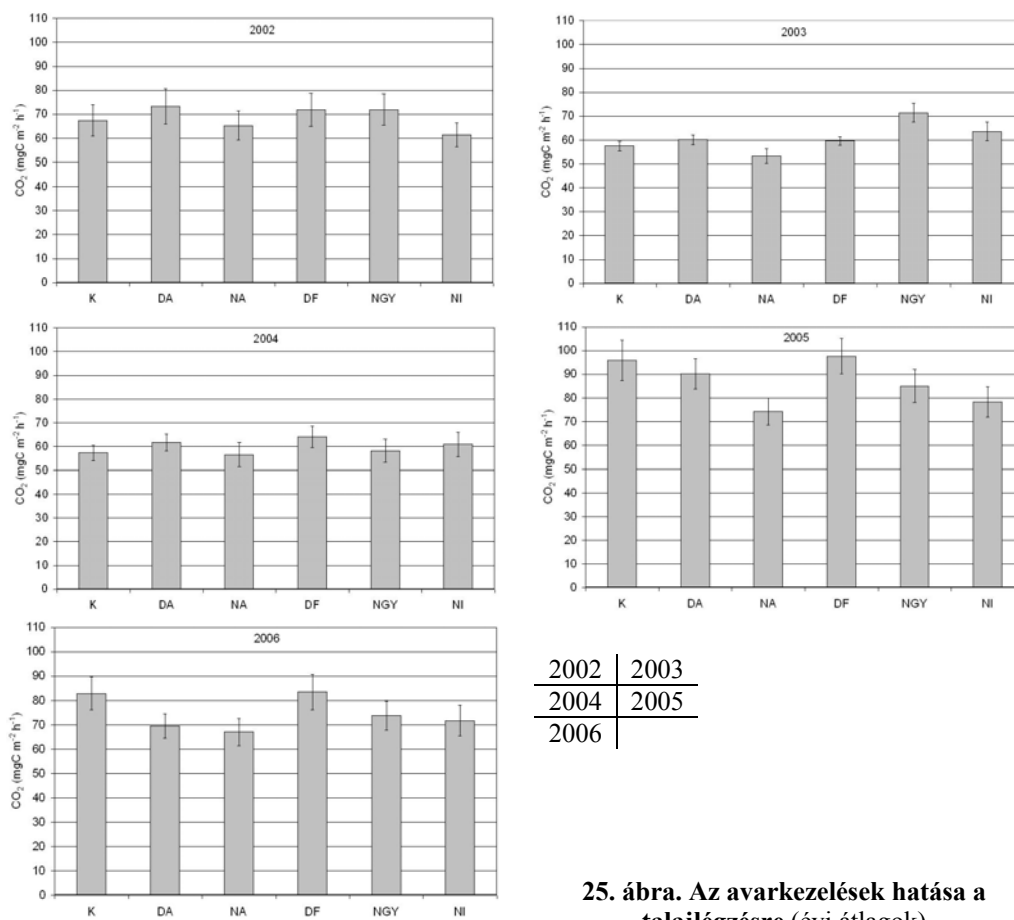
24. ábra. A talaj szén-nitrogén arányának (C:N) változása

5.7. Az avarkezelések hatása a talajlégzésre

A talajlégzést meghatározza a levegő hőmérséklete. A kísérlet második és harmadik évében, 2003-ban és 2004-ben a NGY és a NI kezelésű parcellák szén-dioxid kibocsátása lényegében magasabb volt a Kontroll kezeléshez viszonyítva (25. ábra). Ennek az az oka, hogy az alapítást követő években a parcellák talajában a megmaradó növényi gyökerek bomlásuk során folyamatos tápanyag utánpótlást biztosítva a mikroorganizmusoknak, azok szén-dioxid kibocsátását fokozták. Másrészt a NGY és NI parcellák körülárkolása, valamint a herbicides kezeléssel eltávolított növényzet hiányából adódó, transpiráció elmaradás magasabb nedvességtartalmat eredményez ezeknél a kezeléseknél. Ez további kedvezőbb körülményeket biztosít a lebontó mikrobák tevékenységének. Ugyanebben a két évben a NA kezelések esetén a CO₂-kibocsátás nem haladta meg a Kontroll kezelést, valamint a NGY, NI kezelések értéke alatt maradt. Ezt azzal indokoljuk, hogy ebben a kezelésben a talajban maradt növényi maradványok lebontásához nem áll rendelkezésre elegendő nedvességtartalom a lebontó folyamatokhoz.

2005-ben változás figyelhető meg. A NGY, NI és a NA kezelésű parcellák kibocsátásának aránya csökkent a K, DA és a DF kezelésű parcellákhoz képest (25. ábra). A kezelések közötti tendenciák szépen láthatóak, ugyanakkor érdemes megfigyelni, a fentebb már említett gyapjas lepke (*Lymantria dispar*) hernyórágás hatásait is, amely a CO₂-

kibocsátásban is jelentkeznek. A többi évhez képest, ebben az időszakban a talajlégzés intenzitása sokkal fokozottabb a talajba jutó szerves törmelék és hernyóürülék mennyiségének következtében. Ez utóbbi a csapadékkal gyorsan a talajba mosódva a mikroorganizmusok számára könnyebben hozzáférhető, nagy mennyiségű szerves tápanyagforrás, fokozta a lebontó folyamatok intenzitását, ezáltal a talajlégzés mértékét is (25. ábra).



25. ábra. Az avarkezelések hatása a talajlégzésre (évi átlagok)

2006-ban ez a tendencia folytatódott. A parcellák létrehozása utáni időszakban tapasztalt NGY és NI kezelésű parcellák nagyobb arányú CO₂-kibocsátásának fokozatos csökkenése figyelhető meg, ami a talajban található több éves avar fokozatos lebomlásával magyarázható. Ezek az eredmények egyezést mutatnak CROW *et al.* (2006) vizsgálataival is, aki az Andrews Forest site-on végzett talajlégzés méréseket. Szerinte a NI parcellák CO₂ kibocsátásának csökkenése a manipulációt követő 5-6 év

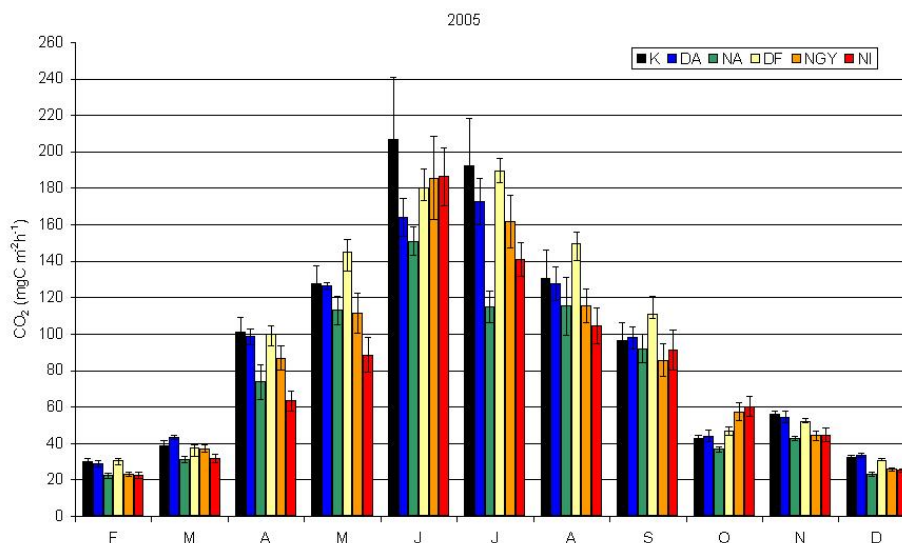
után jelentkezik, ami azzal magyarázható, hogy a különböző kezelések „beállásához” elegendő időnek kell eltelnie.

Szintén ebben az évben a Dupla Avar kezelések talajlégzés értékei alacsonyabbak voltak a Kontrollhoz képest. Ebben az esetben arra következtettünk, hogy az előző év plusz szerves törmeléke (a hernyók rágása alkalmával a parcellák felszínére hulló levéltörmelék) még nem jutott be a talajba olyan mértékben, mint a többi kezelés esetén az alatta található dupla avarréteg vastagsága miatt. Másrésről a talaj hőmérséklete sokkal kiegyenlítettebb, nem érvényesülnek a légköri hőmérséklet ingadozását befolyásoló tényezők olyan mértékben. A Kontroll kezeléshez képest mért tartósan alacsonyabb hőmérséklet is csökkenti a mikrobiális aktivitást, ezáltal a talajlégzés mértékét. Ezt a megállapítást igazolják FEKETE (2009) 2006-os talajlégzés mérésének eredményei is. Laboratóriumi körülmények között, azonos hőmérsékleten, közvetlenül az avartakaró nélküli talajmintákból mért talajlégzés értékei szerint a DA kezelés CO₂-kibocsátás értékei magasabbak a K kezelés értékeitől.

5.8. A talajlégzés szezonális változása

A talajlégzés szezonális változása jól követi a talajhőmérséklet változását (15. ábra). Minden évben hasonló dinamikájú, a tavaszi hónapokban emelkedik, maximumát a nyári hónapokban (június, július) éri el, majd ősszel csökken (26. ábra).

Megfigyeltük, hogy egész évben a Nincs Avar kezelésű parcellák CO₂ kibocsátása alacsonyabb volt a Kontroll parcellákhoz képest. Ez annak tulajdonítjuk, hogy ezen kezelések esetén a talajban lévő szerves anyag mennyisége a folyamatos utánpótlás hiánya miatt lecsökkent, a csökkenő szerves anyag bevitel következtében a talaj mikroorganizmus közösségei alkalmazkodnak a korlátozott forrásokhoz, anyagcsere aktivitásuk kevésbé intenzívvé válik, és ez által csökken a talaj CO₂ kibocsátása.

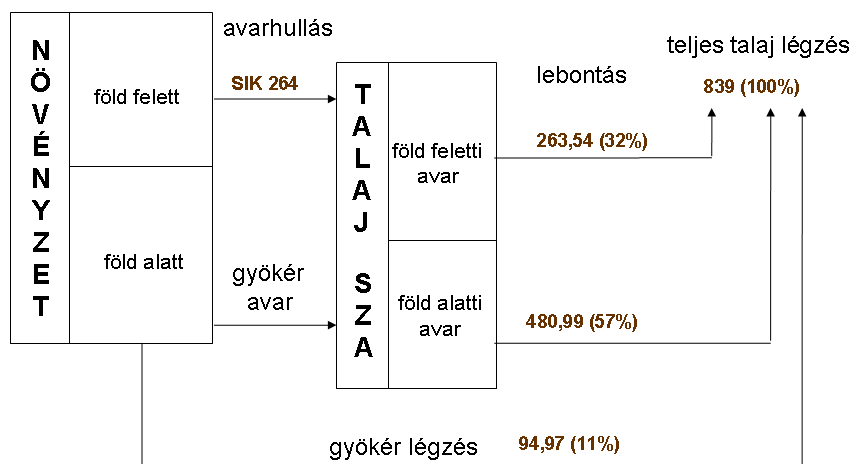


26. ábra. A talajlégzés szezonális változása 2005-ben

Hasonló tendenciát figyeltünk meg a Nincs Input és a Nincs Gyökér kezelések esetében is. Itt 2005-ben csak a nyár végi, őszi időszakban figyelhető meg, hogy a CO₂-kibocsátás értéke meghaladta a Kontroll értékét. Annak ellenére, hogy ott is korlátozott a szerves anyag input, a parcellák nedvességtartalma magasabb a Nincs Avar kezelésekhez képest. Másrészt a fentebb már említett hernyógradáció eredményeként a közvetlen talajfelszínre hulló hernyóürülék egy gyors, extra tápanyagforráshoz juttatva a talaj-mikroorganizmusokat, valamint párosulva egy magasabb nedvességtartalommal, fokozta a talajlégzés mértékét. A szerves anyag (mint a lebontó mikroorganizmusok táplálékforrása) limitáció mellett a kezelések esetén a nedvességtartalom is jelentős befolyásoló tényezőként szerepel.

5.9. A talajlégzés részösszetevőinek megoszlása

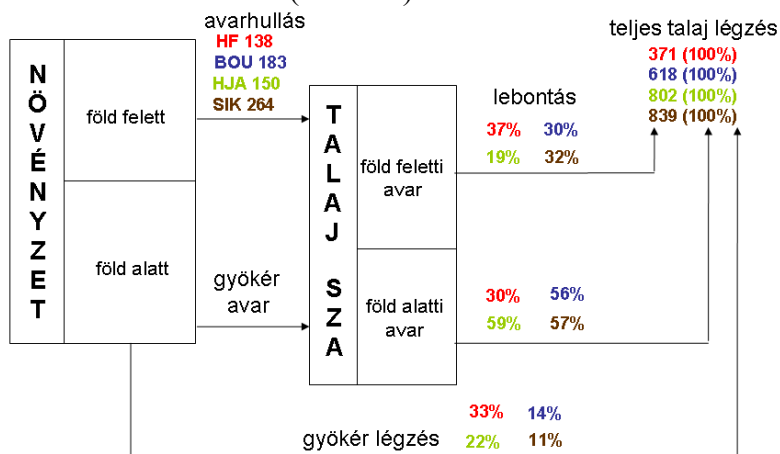
Az egy év alatt (2005) bekerülő szén mennyisége m²-enként 264 g, amihez a több éves avarprodukciónak átlagával számoltunk. A teljes talajlégzés során 839 g C m⁻² távozik a talajból évente, aminek közel egyharmadát a föld feletti avar, míg több mint felét a föld alatti avar teszi ki. A gyökérlégzésből származó hozzájárulás csupán 11 %-a a teljes talajlégzésnek (27. ábra).



27. ábra. A talajlégzés részösszetevőinek alakulása a síkfőkúti erdőben 2005-ben (g C m⁻² év⁻¹)

5.10. A talajlégzés részösszetevőinek megoszlása a többi DIRT site-tal történő összehasonlítás alapján

A többi DIRT területen is történtek vizsgálatok a talajlégzés részösszetevőinek becslésére (28. ábra).



28. ábra. A talajlégzés részösszetevőinek összehasonlítása a DIRT site-okon 2005-ben (g C m⁻² év⁻¹) (HF: Harvard Forest; BOU: Boussan Forest; HJA: Andrews Forest; SIK: Síkfőkút Project)

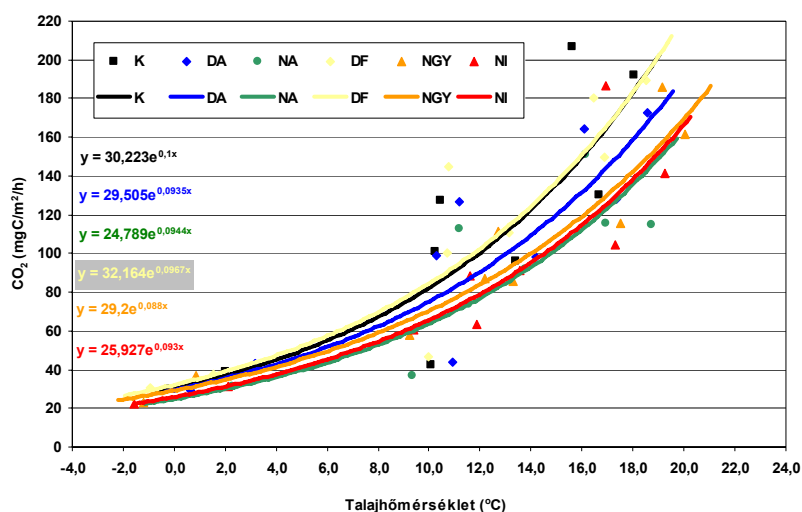
BOWDEN *et al.* (1993) az USA keleti partján fekvő két lombhullató erdőben (Bousson- és Harvard Forest) végzett kutatási eredményei alapján kimutatta, hogy a produktívabb Bousson site-nál, a relatív gyökér légzésből származó hozzájárulás (14%) kevesebb, mint fele a Harvard Forest területén (33%). Ezzel szemben a föld alatti avar hozzájárulás a Bousson-nál 56% volt, azaz közel duplája a Harvard Forset-en mért értéknek (30%). Ezek az eredmények megegyeznek HENDRICKS *et al.* (1993) hipotézisével, mely szerint a N hozzáférhetőség, amely gyakran limitálja a produktivitást a mérsékelt övezeti ökoszisztémákban, szabályozza az arányt a standing biomassza és a gyökér turnover rátája között. Ha a 2005. év adatait tekintjük (27. ábra), a Síkfőkúton kapott eredmények a Bousson site-hoz hasonló arányokat mutatnak.

Vagyis a talajlégzés részeinek megoszlását vizsgálva az tapasztaltuk, hogy Síkfőkúton a Bousson site-hoz hasonlóan a föld alatti avar hozzájárulás nagyobb arányban vesz részt a talajlégzésben, feltehetően a magasabb N-input következtében.

5.11. A talajhőmérséklet hatása a talajlégzésre

A talajlégzés és a talajnedvesség közötti korrelációt vizsgálva a 2006. év adataival bezárólag azt találtuk, hogy a két változó között szignifikáns kapcsolat figyelhető meg. Tehát több éves mérések alapján a talajnedvesség kis mértékben befolyásolja a talaj szén-dioxid kibocsátását. Ezt igazolja az USA Maine tagállamában végzett vizsgálat is; méréseik alapján megállapították, hogy a szárazabb években átlagosan alacsonyabb volt a kibocsátás, mint a nedvesebb évben.

Megvizsgáltuk a talajlégzés és a talajhőmérséklet közötti összefüggést is. A talaj CO₂ kibocsátását ábrázoltuk a talajhőmérséklet függvényében (29. ábra).



29. ábra. A talajhőmérséklet és a talajlégzés közötti összefüggés a kezelések figyelembevételével (2001-2005)

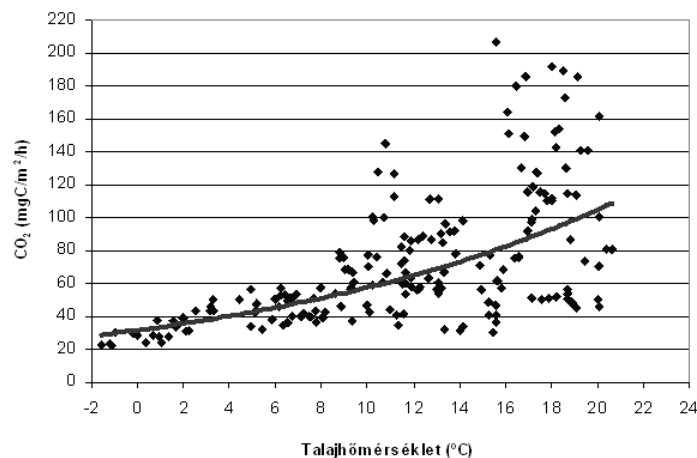
A grafikon alapján megállapítottuk, hogy a talaj hőmérsékletének növekedésével a CO₂ efflux minden kezelés esetében növekvő tendenciát mutat (29. ábra). Annak eldöntésére, hogy a tapasztalt kapcsolat szignifikáns-e, kezelésenkénti korrelációanalízist alkalmaztunk, melynek eredményét a 3. táblázatban foglaltuk össze.

3. táblázat. Kezelésenkénti korrelációanalízis eredménye a talajhőmérséklet és a CO₂ kibocsátása között

	t_s	$t_{0,05[29]}$
Kontroll	2,855	2,045
Dupla avar	3,226	2,045
Nincs avar	3,981	2,045
Dupla fa	3,230	2,045
Nincs gyökér	7,136	2,045
Nincs input	5,464	2,045

Megállapítottuk, hogy a talajból történő CO₂ kiáramlás és a talajhőmérséklet közötti kapcsolat az összes parcella esetében szignifikáns. A Nincs Gyökér és Nincs Input kezelésű parcellák esetében a legszorosabb ez a kapcsolat.

A talajlégzés és a talajhőmérséklet közötti összefüggést megvizsgáltuk a kezeléstípusok figyelmen kívül hagyásával is. Az eredményeket az előzőekhez hasonlóan ábrázoltuk (30. ábra).



30. ábra. A talajhőmérséklet hatása talajlégzésre a kezelésektől függetlenül (2002-2005. évi átlagok)

Ebben az esetben a korrelációanalízis segítségével megállapítottuk, hogy a két mért változó között szignifikáns kapcsolat van.

5.12. A klímaváltozás várható hatása a talajlégzésre (Q_{10} ; Q_2)

A talajhőmérséklet növekedésével a talaj $\text{CO}_2\text{-C}$ kibocsátása minden kezelés esetében exponenciálisan növekedett (29. ábra). A Q_{10} értéke azt mutatja, hogy 10°C -os hőmérséklet emelkedés hatására a kémiai reakciók, vagyis ebben az esetben a talajlégzés sebessége, hányszorosára növekedne. 10°C -os hőmérsékletnövekedés a valóságban azonban egyik előrejelzés szerint sem várható, ezért realisabb képet kaphatunk, ha a Q_{10} helyett a Q_2 értékét számítjuk ki. A Q_2 azt mutatja meg, hogy a századvégére várható 2°C -os átlaghőmérséklet emelkedés hatására hányszorosára növekedne a talajlégzés. A 4. táblázatban a Síkfőkút DIRT Project és a Harvard Forest Q_2 értékeit hasonlítottuk össze.

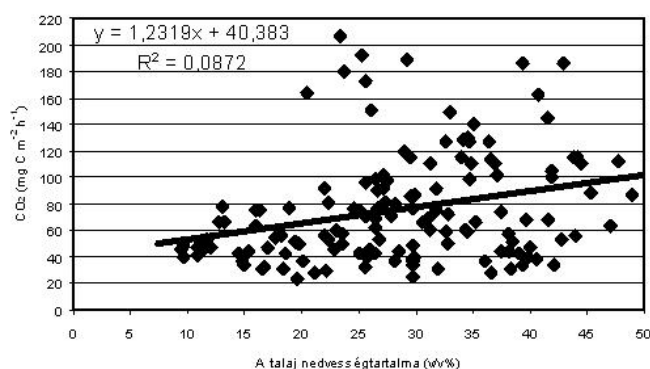
4. táblázat. Síkfőkút (SIK) és a Harvard Forest (HFR) talajlégzési Q_2 értékei

Kezelés	Q_2	
	SIK (5 év)	HFR (5 év)
Kontroll	1,2214	1,2712
Dupla Avar	1,2056	1,2586
Nincs Avar	1,2078	1,2763
Dupla Fa	1,2134	-
Nincs Gyökér	1,1924	1,1901
Nincs Input	1,2044	1,1853

A táblázat adataiból megállapítottuk, hogy Síkfőkúton 2°C-os talajhőmérséklet emelkedés hatására kb. 20 %-os talajlégzés növekedés várható, míg a nedvesebb és hűvösebb klímájú Harvard Forest esetében ennél valamivel nagyobb (23 %-os) talajlégzés növekedés következne be. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy a hőmérséklet emelkedése sem fokozhatja korlátlanul a talajlégzést. A CO_2 -nak a légkörbe távozásával ugyanis a talajnak csökken a szerves anyag tartalma is, ami ezáltal limitálja a táplálékforrást a lebontó folyamatokhoz, visszafogva a talajlégzésből származó kibocsátást. Látható tehát, hogy ez igen összetett, ugyanakkor jól szabályozott folyamat.

5.13. A talaj nedvességtartalmának hatása talajlégzésre

Megvizsgáltuk, van-e összefüggés a talajlégzés és a talajnedvesség között. A talaj CO_2 kibocsátását a nedvességtartalom függvényében ábrázoltuk a kezelésektől függetlenül (31. ábra).



31. ábra. A talaj nedvességtartalmának hatása talajlégzésre (2001-2006-os évek átlaga)

Az ábráról leolvasható, hogy a nedvességtartalom növekedésével a talaj CO₂ kibocsátása emelkedik. A két tényező kapcsolatának vizsgálatára korrelációanalízist alkalmaztunk. Az analízis eredménye: az általunk vizsgált periódusban, a talajlégzés és a talajnedvesség között pozitív korrelációs kapcsolat figyelhető meg ($t_s=5,3856 > t_{0,05[190]}=1,96$).

5.14. DIRT site-ok fontosabb adatainak összehasonlítása az eddigi vizsgálati eredmények alapján

Az DIRT site-ok fontosabb adatait a síkfőkúti adatokkal való összehasonlításban az 5. táblázat mutatja. A táblázat adatai alapján jól látható, hogy az USA keleti partján fekvő, csapadékosabb (1050 mm év⁻¹) lombhullató erdő, a Boussan Forest esetében a lombavar-produkció széntartalma (2110 kg ha⁻¹év⁻¹) hasonló az igen alacsony (550 mm év⁻¹) csapadékú síkfőkúti avar széntartalmához (2180 kg ha⁻¹év⁻¹). Az avar N-tartalma viszont alacsonyabb (31,1 kg ha⁻¹év⁻¹) mint Síkfőkúton (40 kg ha⁻¹év⁻¹), amely a közel kétszeres N-depozíció (16 kg ha⁻¹) következménye.

A vizsgált site-ok közül a Boussan Forest A₀₀ szintjének a legmagasabb a szén (51257 kg ha⁻¹év⁻¹) és a nitrogén tartalma (3539 kg ha⁻¹év⁻¹), ami a legalacsonyabb C:N arány (14) kialakulását eredményezi.

Az Andrew site egy nedvesebb klímán tenyésző fenyőerdő terület, ahol sokkal kisebb a N-depozíció (2 kg ha⁻¹év⁻¹), és sokkal nagyobb a durva ág input (2600 kg ha⁻¹év⁻¹) a többi helyekhez viszonyítva. Itt kifejezetten magas az avar N-tartalma (146 kg ha⁻¹év⁻¹), de ebből kevés mennyiség jut a talajba a fenyő tűlevelek lassú bomlásának következtében. Ugyanakkor a talaj relatív magas széntartalma (25600 kg ha⁻¹év⁻¹) a fentebb említett nagymennyiségű, durva ágavar produkció eredménye.

A Síkfőkúti területhez fafaj-összetételében legjobban hasonlító Harvard Forest site, ami egy keleti lombhullató tölgyerdő, alacsonyabb évi hőmérséklettel (6 °C), kétszeres évi csapadékmennyiséggel (1120 mm év⁻¹) jellemezhető, a talajlégzéssel felszabaduló szén mennyisége (3710 kg ha⁻¹év⁻¹ CO₂-C) mégis alacsonyabb a Síkfőkúti (5019 kg ha⁻¹év⁻¹ CO₂-C) területhez képest. Amint eredményeink is igazolták, a magasabb hőmérséklet fokozza a talaj mikrobiális aktivitását, ezáltal a talajlégzést. Mivel Síkfőkúton az évi átlaghőmérséklet magasabb (10°C) a Harvard Forest-hez (6°C) képest, az intenzívebb talajlégzést Síkfőkúton ez okozza. A talajlégzés intenzitásának emelkedése a csapadék mennyiségével nem feltétlen növekszik hasonló mértékben. Ugyanis a Síkfőkútinál jelentősebb

csapadékú Harvard Forest, Andrews Forest és Boussan Forest területek talajlégzése lényegesen nem különbözik a Síkfőkúton mért értékektől.

A Michigan-i „kiugró” értéket ($10930 \text{ kg ha}^{-1}\text{év}^{-1} \text{ CO}_2\text{-C}$) azzal magyarázhatjuk, hogy a site-ot 2004-ben alapították, és a táblázat értékei a 2005-ös eredményeket mutatják, vagyis a többi terület több éves adataival ellentétben itt csak egy év adatai láthatók.

5. táblázat. A DIRT site-ok fontosabb adatainak összehasonlítása. UMBS: University of Michigan Biological Station (MI); **HF:** Harvard Forest LTER (MA); **HJA:** Andrews Forest LTER (OR); **BOU:** Boussan Forest (PA); **SIK:** Síkfőkút ILTER (HU)
*(HORVÁTH *et al.* 2005)

		UMBS	HF	HJA	BOU	SIK
Avarprodukción (kg ha⁻¹ év⁻¹)						
Szén	levél + törmelék	1163	1380	1730	2110	2180
	faág	208	-	2600	-	227
	totál	1569	-	4330	-	2930
Nitrogén	levél + törmelék	15	22	146	31,1	40
	faág	-	-	29	-	5
	totál	-	-	175	-	55
C:N	levél + törmelék	78	63	119	68	55
	faág	-	-	897	-	45
Talajfelszín (kg ha⁻¹)						
Szén	A ₀₀ szint (A _F BOU)	11113	16687	25600	51257	-
Nitrogén	A ₀₀ szint (A _F BOU)	463	744	256	3539	-
C:N	A ₀₀ szint (A _F BOU)	24	23	100	14	20
Talajlégzés (CO₂-C, kg ha⁻¹ év⁻¹)		10930	3710	6430	6180	5019
Átlagos évi hőmérséklet (°C)		6,2	6,0	7,9	8,3	10
Csapadékmennyiség (mm év⁻¹)		750	1120	2370	1050	550
Csapadék N input (kg ha⁻¹ év⁻¹)		5,3	8,0	2,0	9,1	16*
Talajtípus		Spodosol	Inceptisol	Andisol	Alfisol	Cambisol
Alapítási év		2004	1990	1997	1991	2000

6. Összefoglalás

A Síkfőkút Project kutatási programot 1972-ben az IBP és a MAB nemzetközi programok keretében alapították egy hazai cseres tölgyes erdő komplex kutatására (JAKUCS 1973). A területet 1976-ban természetvédelmi területté nyilvánították. A terület védelmének ma is az a célja, hogy zavartalan körülményeket biztosítson a már 37 éve folyó Síkfőkút Project elnevezésű, több évtizedre kiterjedő, komplex ökológiai kutatások számára. Miután az elmúlt évtizedek folyamán, a területen erdőművelési vagy egyéb roncsolással járó mintavételezési tevékenységet nem folytattak, valamint a termőhelynek megfelelő fafaj összetétel jellemző, így az erdő ma már természet közelinek tekinthető.

A hosszú távú meteorológiai adatsorok kimutatták, hogy az 1980-as évektől az erdő melegebbé, szárazabbá vált (ANTAL *et al.* 1997). A klímaváltozás hatására az erdő fafaj összetétele (TÓTHMÉRÉSZ 2001; KOTROCZÓ *et al.* 2007; TÓTH *et al.* 2007) és struktúrája (PAPP *et al.* 2006; KONCZ *et al.* 2008; MISIK és KÁRÁSZ 2008) is kedvezőtlen irányban megváltozott. A fafaj összetétel változásra jellemző a kocsánytalan tölgy erőteljes visszaszorulása, a relatív elcseresedés, valamint az eljuharosodás.

Ez felvetette annak a kérdésnek a tanulmányozását, hogy a melegebb és szárazabb erdőklíma hatására változik-e a talajra jutó avar mennyisége és minősége, az avarbomlás sebessége, illetve ennek milyen következményei lesznek a talajban lejátszódó biológiai folyamatokra, a szerves anyagok átalakulására, a széntartalomra, valamint a talajból távozó szén mennyiségére. A kérdés tanulmányozása nagy jelentőségű, mivel az avarbomlás térben és időben szabályozza a talajba jutó tápanyagok mennyiségét, ami hatással van az erdő növekedésére és egészségi állapotára is.

Vizsgálatainkat a Síkfőkút DIRT Project keretében végeztük, amely része az USA ILTER (*International Long-Term Ecological Research*) DIRT (*Detritus Input and Removal Treatment*) Projectnek. A nemzetközi hálózatban jelenleg négy amerikai kutatóhely (Harvard Forest, Bousson Forest, H. J. Andrews Forest, Michigan Biological Station), és Európából két kutatóhely (Bayreuth Forest, Síkfőkút Project) vesz részt. A DIRT Projectet hosszú távú, több évtizedre kiterjedő vizsgálatra tervezték, az avar input és a talaj szerves anyag képződés bonyolult biológiai és kémia összefüggéseinek a vizsgálatára és feltárására.

A síkfőkúti DIRT parcellákat 2000 novemberében állítottuk be. A parcellák kialakítása az USA DIRT Projektben alkalmazott módszerek szerint történt. A hosszú távú, több évtizedre tervezett, ún.

avarmanipulációs szabadföldi kísérletben, a következő kezeléseket alkalmaztuk: Kontroll (K), Nincs Avar (NA), Dupla Avar (DA), Dupla Fa (DF), Nincs Gyökér (NGY), Nincs Input (NI). A hatféle kezelés esetében három párhuzamos parcellát alakítottunk ki, így összesen $6 \times 3 = 18$ db, 7×7 m-es kísérleti parcella beállítására került sor.

A Síkfőkúton alkalmazott módszerek, az eredmények összehasonlíthatósága érdekében megegyeznek az ILTER DIRT project keretében alkalmazott módszerekkel. A módszerek kiválasztásánál az USA LTER talajtani kutatásokban alkalmazott módszerkönyvet tekintettük irányadónak (ROBERTSON *et al.* 1999).

A talajvizsgálatainkhoz a talajmintákat Oakfield® típusú talajmintavevővel 15 cm-es mélységből vettük. A parcellák talajhőmérsékletének mérésére talajhőmérséklet-mérő adatgyűjtőt (*data-logger*) helyeztünk ki. A data-loggerek a parcellák közepén, 10 cm mélyen találhatók, és óránként rögzítették az adatokat. A talaj nedvességtartalmának a meghatározását a hagyományos szárítószekrényes eljárással illetve a terepen TDR 300 (*Time Domain Reflectometer*) műszerrel mértük. A talaj pH-ját vizes szuszpenzióból mértük, Orion gyártmányú kombinált üvegelektroddal és Cole-Parmer digitális pH-mérővel. A minták szerves szén és nitrogén tartalmának meghatározása Elementar Vario EL C-H-N-O-S analizátorral történt NAGY (2000) módszerével a DE-AMTC Agrokémiai és Talajtani Tanszékén. A talajlégzés mérésére a nátronmész (SL = *Soda Lime*) módszert (RAICH *et al.* 1990; GROGAN 1999) alkalmaztuk. A talajlégzés részeinek számítását NADELHOFFER *et al.* (2004) módszere alapján végeztük. A talajhőmérséklet és a talajlégzés közötti összefüggést, illetve az ennek segítségével számolható hőmérsékleti koefficiens (Q_2) NADELHOFFER *et al.* (2004) és BOONE *et al.* (1998) leírásai alapján végeztük. Az eredmények statisztikai kiértékelése egytényezős varianciaanalízissel (ANOVA) és korreláció vizsgálattal történt, 5%-os szignifikancia szinten ($p=0,05$).

A fafajok minőségi és mennyiségi összetételének hosszú távú változását a lombavar-produkció változása jól követi. Méréseinkből megállapítottuk, hogy a korábbi (1972-1976 közötti) és a jelenlegi (2003-2006 közötti) időszak között a *Quercus petraea* lombavar-produkciója több mint felére csökkent, a *Quercus cerris* levélavar kismértékben növekedett, az *Acer campestre* levélavar pedig többszörösére nőtt. Összességében a teljes lombavar-produkció mennyisége csökkent. A *Quercus petraea* nagyarányú 68,40 % -os pusztulásából származó lombavar kiesését a két fafaj, a *Quercus cerris* és az *Acer campestre* részben kompenzálni tudta.

Annak a kérdésnek a megválaszolására, hogy a klímaváltozás hatására a lombavar produkció milyen irányba fog változni, további vizsgálatok szükségesek.

A különböző vastagságú avartakaró jelenős szabályozó hatást fejt ki talaj hőmérsékletére. Megállapítható, hogy a felmelegedési szakaszban, a tavaszi-nyári hónapokban a Nincs Avar, a Nincs Gyökér és a Nincs Input kezelésű parcellák talaja melegebb, mint a Kontroll, a Dupla Fa és a Dupla Avar kezelésű parcellák talaja. Ebben az időszakban a felmelegedés növekvő sorrendben általában a következő volt: DA<DF<K<NA<NGY<NI. Különösen jelentős az avartakaró szerepe a téli hónapokban a talaj átfagyásának megakadályozása szempontjából. A Dupla Avar parcellák esetében a talaj hőmérséklete a vizsgálati periódus folyamán egyetlenegyszer sem csökkent a fagypont alá. Ezzel szemben az avar nélküli (Nincs Avar, Nincs Input) parcellák talajhőmérséklete hosszú időn keresztül, hetekig, hónapokig fagypont alatt maradt.

Az avarkezelések hatására a talaj nedvességtartalma mind tömegszázalékban, mind térfogatszázalékban hasonlóan alakult. A Dupla Avar, a Nincs Avar és a Dupla Fa parcellák talajának nedvességtartalma nem különbözött lényegesen a Kontrolltól. Ezzel szemben szignifikánsan nagyobb nedvességtartalom figyelhető meg a Nincs Gyökér és a Nincs Input parcellák esetében, amit a növényzet hiányának, a transpiráció elmaradásának tulajdonítunk, de szerepet játszik a nagyobb talajnedvességtartalom kialakulásában a parcellák körülárkolása is.

A csökkenő avarbevitel a talaj pH-ját csökkenti, mivel az avarbomlás során keletkező savas intermediereket, humuszanyagokat, a csökkenő avar input csökkenő bázikus kation tartalma nem tudja kellően pufferni. Ezzel szemben a Dupla Avar kezelésnél a talaj pH-ja növekedett, ami a nagyobb avarbevitellel járó nagyobb bázikus kation tartalomnak, a nagyobb puffer kapacitásának köszönhető.

Méréseink szerint a szerves anyag tartalom változásában, a parcellák telepítése utáni, közvetlen mintavétel alkalmával a különböző kezelések között gyakorlatilag nem volt különbség. Két év elteltével, ahol valamilyen formában megvontuk az avar, a szerves anyag tartalomban már csökkenés tapasztalható. Azoknál a kezeléseknél viszont, ahol az avar inputot megdupláztuk, a szerves anyag tartalom növekedés még nem olyan számottevő. 2005-ben vett talajminták eredményei viszont már azt mutatták, hogy a kezelések hatására a DA és K parcellák százalékos szerves anyag tartalma közötti különbség megnőtt. A kezeléseknak megfelelő eredményt a telepítés után 5 évvel kaptuk meg, amikor is a DA, NA és NI parcellákon kapott adatokból kitűnt, hogy az avarprodukció

hosszabb távon van hatással a talaj szerves anyag tartalmára, és a kezelések értékei távolodnak egymástól; annyival nagyobb a Dupla Avar kezelésen mért érték a Kontrollhoz viszonyítva, mint amennyivel kisebb a Nincs Avar és a Nincs Input parcellákon. Megállapítottuk azt is, hogy az avar megvonása a szerves anyagoknak a viszonylag gyors csökkenését eredményezte a talajban. Ezzel bizonyítottuk, hogy a szerves anyag utánpótlás hiánya már rövidebb távon is a talaj gyors leromlásához vezet.

Azoknál a kezeléseknél, ahol a talajba jutó szerves anyag mennyiségét csökkentettük (Nincs Avar, Nincs Gyökér és Nincs Input) 1-2 év után már elkezdett csökkenni a talaj szerves C- és N-tartalma és C:N aránya is. Az avarprodukció hosszú távú csökkenése tehát csökkenti a talaj szerves anyagainak C- és N-tartalmát, ami hosszú távon a termőhely leromlását eredményezi. Ilyen szempontból az avarprodukció csökkenése káros.

A talaj szén-dioxid kibocsátásának tanulmányozása során megállapítottuk, hogy a kísérlet első 3 évében a talajlégzésben a kezelések között szignifikáns különbség nem, vagy alig volt kimutatható. Ennek az oka, hogy még a kezelések „beállításához” szükséges idő nem állt rendelkezésre. Négy év elteltével figyelhető meg lényeges változás a talajlégzés értékeinél. A NGY, NI és a NA kezelésű parcellák kibocsátásának aránya csökkent a K, DA és a DF kezelésű parcellákhoz képest. 2006-ban a NGY és NI kezelésű parcellák még nagyobb arányú CO₂-kibocsátásának fokozatos csökkenése figyelhető meg, ami a talajban található több éves avar fokozatos lebomlásával magyarázható. Ugyanakkor a Dupla Avar kezelések talajlégzés értékei alul maradnak a Kontroll képest.

Síkfőkúton az egy év alatt (2005), az lombavar-produkcióval bekerülő szén mennyisége m²-enként 264 g. A teljes talajlégzés során 839 g C m⁻² távozott a talajból, aminek közel egyharmadát a föld feletti avar, míg több mint felét a föld alatti avar teszi ki. A gyökérlégzésből származó hozzájárulás csupán 11 %-a a teljes talajlégzésnek. A többi DIRT területen is történtek vizsgálatok a talajlégzés részösszetevőinek becslésére. Összehasonlítva az eredményeket, a Síkfőkúton a Bousson site-hoz hasonlóan a föld alatti avar hozzájárulás nagyobb arányban vesz részt a talajlégzésben, feltehetően a magasabb N-input következtében.

Kimutattuk, hogy a talaj hőmérséklet növekedése a talajlégzést exponenciálisan növeli. A globális felmelegedés következtében, ha a talaj átlaghőmérséklete a XXI. század végére 2°C-al emelkedne, ez a szárazabb klímájú síkfőkúti cseres-tölgyesben kb. 20 %-os talajlégzés növekedést eredményezne, míg a nedvesebb klímájú Harvard Foresten 23%-ost. A

talajból történő többlet CO₂ kiáramlás pozitív visszacsatolásban tovább fokozhatja az üvegházhatást, a felmelegedést.

Megállapítottuk, hogy a nedvességtartalom növekedésével a talaj CO₂ kibocsátása emelkedik. A korreláció analízis eredménye szerint az általunk vizsgált periódusban, a talajlégzés és a talajnedvesség között pozitív korrelációs kapcsolatot állapítottunk meg.

Eredményeinkkel reméljük, hogy hozzájárultunk a talajban lejátszódó folyamatok jobb megismeréséhez, a klímaváltozás erdő talajra gyakorolt hatásainak feltárásához, általánosabb érvényű összefüggések megfogalmazásához. Ezáltal lehetőség nyílik a közvélemény és a döntéshozók tájékoztatására, a szükséges beavatkozások, cselekvési tervek kidolgozására és megvalósítására.

7. Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni témavezetőimnek, **Dr. Tóth János Attila**, egyetemi docensnek, és **Dr. Tóthmérész Béla**, egyetemi tanárnak, akik kutatómunkám irányítóiként a kutatás minden fázisában részt vettek, és akinek mind szakmailag, mind emberileg sokat köszönhetek.

Külön köszönettel tartozom **Krakomperger Zsoltnak** értékes szakmai tanácsaiért, a kiértékelésben és a szerkesztésben nyújtott segítségével. Köszönöm **Koncz Csabánénak** (Mucinak) a vizsgálatok során nyújtott segítségét, és akinek emberileg is nagyon sokat köszönhetek, és köszönet **Skonc Erzsébetnek** a stilisztikai, nyelvtani és földrajzi jellegű javításokért, valamint **Dr. Balázs Sándor** főiskolai tanárnak támogatásáért.

Köszönettel tartozom a DE TTK Ökológia Tanszéknek, hogy munkámban a tanszéki eszközök rendelkezésre bocsátásával segítséget nyújtott, valamint **Dr. Schnitchen Csabának**, akinek nem csak szakmailag, de emberileg is sokkal tartozom, valamint köszönet illeti **Dr. Nagy Péter Tamást** számos műszeres mérés elvégzéséért.

A teljesség igénye nélkül köszönöm az alábbiakban felsorolt kollégáknak és barátoknak a terepi- és a labormunkák során nyújtott segítségét: **Koncz Gábor, Veres Zsuzsa, Agócs József, Nánásy Tibor, Vasenszki Tamás, Rácz Barbara, Kovács Zsófia Eszter, Boros Gergely, Kiss Tibor, Soltész Emese, Nagy Ágnes, Szijjártó Zsuzsanna, Dobránszki Dénes, Lukács József.**

Továbbá köszönet illeti a nemzetközi kutatóhálózat tagjait, akik a DIRT project alapításánál, a parcellák telepítésénél, valamint a módszerek beállításánál, betanításánál tevékenyen részt vettek síkfőkúti látogatásuk vagy az USA-beli látogatásunk alkalmával: **Dr. Kate Lajtha** (OR), **Dr. Richard D. Bowden** (PA), **Dr. Bruce Caldwell** (OR), **Dr. Kristin Vanderbilt** (NM), **Dr. Knute Nadelhoffer** (MI), **Dr. Jacqueline A. Aitkenhead-Peterson** (TX), **Patricia Micks** (MI) & **Jim Le Moine** (MI).

Végül, de nem utolsónak szeretném megköszönni **Családomnak**, hogy végig mellettem álltak, mert támogatásuk nélkül nem juthattam volna el ideig!

8. Summary

8.1. Introduction

During the last few decades the long-term meteorological data of Síkfőkút Forest (Hungary) indicates the global climate change. The forest climate became dryer and warmer (ANTAL *et al.* 1997). Due to the climate change the forest's structure and species composition have been changing dramatically. From 1972 till now the 68 % of *Quercus petraea* and 15 % of *Q. cerris* tree individuals died and in the gaps new tree species (*Acer campestre*, *A. tataricum*) grow up from the shrub layer into the canopy level (TÓTH *et al.* 2006).

The climate change also affects the soil organic matter (SOM). The SOM is a critical component of ecosystems, it provides cation exchange and water holding capacity, and it acts as a major control on soil pH. SOM also strongly promotes soil aggregation, and retains water for use by plants. Soil C accumulation and turnover are important global processes: soils contain about 1.5×10^{18} g C, which is 2-3 times bigger than the total amount of C in vegetation (SCHLESINGER 1990). The C flux between soils and the atmosphere is huge, with soil respiration representing about 10 times the C flux due to fossil fuel combustion (WATSON *et al.* 1990). Thus, any change in rates of soil C turnover has a remarkable effect to the global C cycle. The litter input quantity and quality are taken into account under most scenarios of global climate change, but the resulting effects on SOM stability and turnover cannot now be predicted accurately. The level of SOM is influenced by litter production and added soluble organic material as input, and decomposition and leaching as output. The climate change affects on the input and output too. The goal of the DIRT project is to assess how rates and sources of plant litter inputs control the accumulation and dynamics of organic matter and nutrients in forest soils over decadal time scales.

Within the scope of 'Síkfőkút' DIRT Project and ILTER DIRT Project and according to the general aims of those, the dissertation deals with the following questions:

1. What sort of modifications have been caused by climatic changes in qualitative and quantitative composition of the leaf-litter production of 'Síkfőkút' *Quercetum petraeae-cerris* forest?

2. How are soil humidity and temperature effected by the artificial modifications in litter input?
3. How the organic material content of soil is influenced by litter treatments?
4. How the soil respiration and soil CO₂ efflux are influenced by litter manipulation treatment (DIRT)?
5. How the increasing temperature caused by the global warming influence the soil respiration? (According to climate researchers, the average temperature will rise to 2 degrees Celsius for the end of the century.)
6. What connections can be found among soil temperature, humidity and soil respiration?
7. What kind of conclusions can be drawn, if we comparing our findings with the results of other DIRT sites?

8.2. Material and methods

8.2.1. The research area

The Síkfőkút ILTER site was established in 1972 (JAKUCS 1973). The long-term research connected to the IBP (*International Biological Programme*) and the MAB (*Man and the Biosphere*) international programs and concentrated on the structure, production and function of the ecosystem. The experimental site of 64 ha is located in the south part of the Bükk Mountains in North Hungary at 320-340 m altitude. GPS coordinates: N 47°90' E 20°46'. This forest has belonged to the Bükk National Park since 1976, which protects this territory from anthropogenic influence. The site has brown forest soils with clay illuviation (STEFANOVITS 1985) and the type of the soil according to the FAO Soil Classification is Cambisols (IUSS WRB 2006; FEKETE *et al.* 2007). The site has *Quercetum petraeae-cerris* community.

8.2.2. The LTER (Long-term Ecological Research) and the DIRT (Detritus Input and Removal Treatments)

The effect of climate change on the SOM level and soil processes was studied in framework of ILTER DIRT (International Long-Term

Ecological Research, Detritus Input and Removal Treatments) project. The ILTER network was developed by American and Hungarian scientists in 2000 (KOVÁCS-LÁNG *et al.* 2000). The ILTER DIRT now includes six temperate forest sites including an oak forest at the Harvard Forest (MA), a black cherry/sugar maple-dominated forest in the Bousson Experimental Forest (PA), an old growth coniferous forest at the H.J. Andrews Experimental Forest (OR), an oak forest at the Michigan Biological Station, (MI), a pinewood forest in Bayreuth Forest (Germany) and an oak forest in Sikkút Forest (Hungary).

The original DIRT treatments, designed by Dr. Francis Hole at the University of Wisconsin Arboretum (NEILSON & HOLE 1963), consist of chronically altering plant inputs to forest soils by regularly removing surface litter from permanent plots and adding it to others. With the DIRT method can be studied how rates and sources of plant inputs control accumulation and dynamics of soil organic matter (SOM) and nutrients in forest soils, so this method is very applicable tool to study the effect of climate change on the SOM and soil processes. Plant litter inputs have been manipulated at the DIRT plots. Six different treatments applied in this project. The Control (C) plots were covered with the normal quantity of litter. Litter was totally cleared from the No Litter (NL) plots. On the Double Litter (DL) plots the litter quantity was doubled. The Double Wood (DW) plots were covered by normal quantity of leaf litter and quantity of wood debris doubled. With regard to the No Roots (NR) plots the roots were excluded by inserting impenetrable barriers in backfilled trenches to the top of the horizon C. In the case of No Inputs (NI) plots the aboveground inputs were excluded and the belowground inputs were provided as in No Roots plots. Each plot is 7m × 7m, and every treatment was repeated in three times.

8.2.3. Methods

The main standard for selection of the methods was the method book (ROBERTSON *et al.* 1999) what use in all LTER sites too. The soil samples were taken randomly, from the top 15 cm layer, using an Oakfield soil sampler (G model). The measure of litter production was applied same methods as in 1972-76 for details see TÓTH *et al.* (1985). The soil temperature was measured hourly in each 18 plots by Onset StowAway[®] TidbiT[®] temperature loggers in 10 cm soil dept. Data presented are the average of hourly temperature readings for each day of the year. The soil moisture was measured monthly by conventional oven

dry method at 105°C and TDR (*Time Domain Reflectometer*) instrument on the field. The soil pH was measured quarterly by Cole-Parmer pH meter. To determine the carbon, nitrogen content and C/N ratio elemental analyzer as Elementar Vario EL C-H-N-O-S was applied (NAGY 2000). The soil respiration was measured monthly by Soda Lime method (RAICH *et al.* 1990, GROGAN 1998) simultaneously in all 18 plots on each collection date. The effects of treatments were statistically evaluated with analysis of variance (ANOVA).

8.3. Results and discussion

8.3.1. Long-term changes of the litter production

The long-term change of the litter production reflects the change of tree species composition (TÓTH *et al.* 2006). We examined long-term changes in vegetation composition and litter production in a sessile oak-turkey oak forest at the Síkfőkút ILTER in northeast Hungary. Since the early 1970s, widespread oak deterioration occurred; long-term data show warmer, drier conditions from 1973-2000. The leaf litter production of *Q. petraea* considerably decreased the *Q. cerris* and *Acer campestre* increased. The total leaf litter production slightly decreased. The quantity of total litter production was no change in, but can be observed change in litter quality. The big debris fraction and the smallest leaf litter production is consequence of the huge *Lymantria dispar* (L) gradation in 2005.

8.3.2. The effect of litter manipulation on soil temperature

The litter on the soil surface acts as a heat insulation layer. Therefore, the litter treatments influence on the soil temperature. This effect can be seen on soil temperature curve as amplitude change. The size of amplitude is in decreasing order: NI>NL>NR>C>DW>DL. The biggest amplitude characterizes an extreme soil temperature and the smallest amplitude relatively constant soil temperature. In the spring and summer months the soil temperature was higher in exclusion treatment (NI>NR>NL) as in the Control. In these treatments the heat insulation litter layer (NI, NL) was missed and/or the shade effect of plant was also missed (NI, NR), so the soil warm up was quicker than in other treatments. The highest temperature was measured in NI and the lowest in DL.

This situation was opposite to the winter months. In exclusion treatments (NI, NL), where the heat insulation litter layer was missed, the

soil cooled down very fast, the temperature decreased below zero. In the winter months the lowest temperature was measured in NI and the highest in DL. In DL treatment the temperature never fell below zero due to double heat insulation litter layer. This is essential because the soil temperature in a large measure influence the activity of soil microorganisms so the degradation process and the soil respiration too.

8.3.3. The effect of litter manipulation on soil moisture

The soil moisture content both in w/w % and in v/v % was similar to each other. The soil moisture of Double Litter, No Litter and Double Wood treatments were no differ from Control plots. At the same time, significant differences can be seen in soil moisture content at NR and NI treatment. In these plots, the biggest soil moisture content is a consequence of the missing plant transpiration and trench of plots. The higher moisture content is favorable to degradation of soil organic matter so in these plots the degradation of SOM was fast.

8.3.4. The effect of litter manipulation on soil pH

The soil pH decreased in the exclusion (NL, NR, NI) treatments and increased in DL, DW treatments. The soil pH decrease due to that in the NL, NR, NI treatment with decreasing litter input decreases the cation input too. The decreased soil cation content decreases the soil buffer capacities which is unable neutralize the acidic substances developed by litter decomposition. In the DL and DW treatment with the increasing litter input increase the cation input too, which result higher soil buffer capacity and pH.

8.3.5. The effect of litter manipulation on organic matter content

Changes of organic material content do not show significant differences among treatments in the first year after the creation of parcels. This can be explained by the short investigational period, which was not enough for treatments to have the required effect. However, the differences between the treatments have become apparent for the end of the second year. In 2003, organic material content decreased in case of 'No Root' and 'No Input' treatments, which implied litter withdrawal. Doubling of litter input has not significantly increased the organic material content yet.

The same tendency could be observed in 2004, when 'Double Litter' treatment has already increased the organic material content, while 'No

Litter' treatment has decreased the organic matter content. In the latter case, decreasing concentrations of organic matters can be explained by the fact that in case of 'No Root' and 'No Input' treatments, humidity of parcels is significantly higher as a consequence of the surrounding of parcels with a ditch and the absence of vegetation, which caused the lack of transpiration. In case of 'No Litter' treatments, humidity is moderately high. This decreases the microbial activity and consequently, the decomposition of organic matters. An additional change could be observed in that year as well. In case of 'Double Wood' treatments, slight increase can be shown; however, it has not been significant yet. In these treatments, later accumulation of organic matters can be explained by the fact that components of litter (e.g. lignin) are less available for microorganisms and consequently, their decomposition is a more slowly process.

As a consequence of treatments, the results of soil samples showed increasing difference between the percentile organic material content of 'Control' parcel and that of 'Double Litter' parcel in 2005. However, the decrease was not significant in case of litter withdrawals for lack of organic material input. In this year, extra amount of organic matters felt to the soil as a result of gypsy moth caterpillars' (*Lymantria dispar* L.) chewing activity. This phenomenon could be observed in 'Síkfökút' forest as well as in other forests of the country. Primary, the large amount of organic material consisted of the caterpillars' faeces while later it comprised large amounts of leaf-litter, which felt down to the soil surface as a consequence of caterpillars' chewing activity. In 2005, additional organic material content of samples comprised large amounts of caterpillars' faeces, which was primarily apparent in case of 'No Litter' treatments. Organic material content of the soil was increased by the organic faeces which felt down directly to the soil surface and was washed in quickly by precipitation. This statement is supported by the results of soil respiration, since apart from treatments these results were higher in 2005 than in the other years.

In the 6th year of the researches (2006), the effect of long-term changes of litter input on the organic material content of soil became evident. Additional litter input increases the organic material content of soil, while organic material content of soil decreases as a consequence of litter withdrawal. However, significant and definite effects of litter treatments were proved only by the results of 2006, after a long-term treatment.

As we can establish on the basis of the previous facts, it is only long-term growing of litter production, which increases the organic material

content of the soil. However, our results show slight decrease in case of litter production, which will lead to decreasing organic material content and deterioration of the soil after a long time.

8.3.6. The effect of litter manipulation on soil organic carbon and nitrogen content and C:N ratio

In 'Double Litter' and 'Double Wood' parcels, additional organic material input did not increase the organic carbon content of soil at first. Increasing organic carbon content was observed only later, after 2 or 3 years. In 'Control', 'Double Litter' and 'Double Wood' parcels, organic nitrogen content of the soil remained practically constant during 4 years.

In case of 'No Litter', 'No Root' and 'No Input' treatments, we decreased the amount of organic materials which were added to the soil. As a consequence, organic carbon- and nitrogen content and C:N ratio of the soil have begun to decrease as early as in the 1st and 2nd years. Accordingly, long-term declining of litter production quickly decreases the C- and N- content of soil organic materials, which will possibly deteriorate the soil after a long time. From this point of view, decreasing litter production has a harmful effect on the soil.

8.3.7. The effect of litter manipulation on soil respiration

In the 2nd and 3rd years of the experiment (2003 and 2004), CO₂ emission of 'No Root' and 'No Input' parcels was higher than that of 'Control' parcel. This can be explained by the fact that in the first years after the creation, the remained roots in the soil served as food supplies for microorganisms and consequently, enhanced their CO₂ emission. On the other hand, surrounding the 'No Root' and 'No Input' parcels with ditches as well as the absence of plant transpiration (after herbicide treatment of vegetation) led to higher soil humidity of these parcels. This provides further advantageous circumstances for the activity of decomposing microbes. In the same years, neither the CO₂ emission of 'Control' treatment nor that of 'No Root' and 'No Input' treatments was exceeded by the results of 'No Litter' parcels. This can be explained by the humidity values which are not enough for microorganisms to decompose the plant remains in the soil. CO₂ emission changed in 2005. Emission rate of 'No Root', 'No Input' and 'No Litter' parcels decreased in proportion to the rates of 'Control', 'Double Wood' and 'Double Litter' treatments. At the same time, effects of gypsy moth (*Lymantria dispar*) caterpillars' chewing

activity can be shown in CO₂ emission as well. As a consequence of organic fragments and caterpillar faeces, intensity of soil respiration shows larger increase in this period than in other years. Caterpillar faeces were quickly washed into the soil by precipitation. It formed large and easily available organic food supply for microorganisms. Therefore, through the enhancement of decomposition processes, it increased the soil respiration as well.

The tendency was the same in 2006. Namely, in the period after the establishment of parcels the considerable CO₂ emission of 'No Root' and 'No Input' parcels gradually decreased as a consequence of the decomposition of litter which has been in the soil for years. These results are in agreement with CROW *et al.* (2006). According to them, decrease of CO₂ emission in 'No Input' parcels can be observed 5 or 6 years after the manipulation. This can be explained by the fact that treatments need a given time to be effectual. In the same year, soil respiration values of 'Double Litter' treatment did not exceed the results of 'Control' treatment. These points to the fact that additional organic fragments of the previous year (i.e. the leaf-fragments, which fell down to the soil as a consequence of caterpillar chewing activity) have not got into the soil in such quantities as in case of the other treatments (as a consequence of the thick double layer of leaf-litter). Additionally, soil temperature is more equable since influencing factors of air temperature are less effective. Temperature, which is steadily lower than in the 'Control' parcel, also decreases microbial activity and consequently, the rate of soil respiration. This statement is supported by the results of FEKETE (2009), who measured the soil respiration in 2006. According to the soil respiration results, which were measured directly from soil samples without litter cover, at the same temperature and on laboratory scale, 'Double Litter' treatment resulted in higher CO₂ emission than 'Control' treatment.

8.3.8. Distribution of soil respiration component

In 2005, C-input was 264g per m² per year, for which we used the average value of litter production of the years. During the total soil respiration, C-output is 839 g per m² per year, one third of which comprises the aboveground litter, while half of it comprises the belowground litter. Root respiration forms only 11 per cent of total soil respiration.

Estimation of the components of soil respiration was carried out on the other DIRT sites as well. As BOWDEN *et al.* (1993) proved in two deciduous forests (Bousson- and Harvard Forest) on the East Coast of the

United States, relative portion of root respiration on the more productive Bousson-site (14%) is less than a half, than that of Harvard Forest (33%). In contrast, contribution of belowground litter was 56% in case of Bousson Forest, which is twice as much as in the Harvard Forest (30%). These results are in agreement with HENDRICKS *et al.*'s (1993) hypothesis according to which the ratio between the rates of standing biomass and root turnover is regulated by the availability of nitrogen that often limits productivity in ecosystems of the temperate zone. In 2005, a result of Síkfökút shows similar proportions as on the Bousson-site. The belowground litter in total soil respiration is larger than the aboveground litter respiration, proportion of explained by the higher N-input.

8.3.9. Connection between soil respiration with soil moisture and soil temperature

Macro and microclimatic changes and seasonality strongly influence temperature and moisture content of the soil, that affect on soil microbial processes proved. We found that increasing soil moisture the soil respiration also increasing. The assay of two factor connection (soil respiration and soil moisture) we used correlation analyses. This analyzes show that in the measured period (2001-2006) between the soil respiration and soil temperature there is positive correlation in all treatments. Our results shows that soil moisture influence to the soil carbon-dioxide efflux to a lesser degree than soil temperature.

The seasonal changes of soil respiration correspond with the seasonal changes of soil temperature well. With increasing soil temperature, the soil respiration is exponentially rising too. Soil respiration response to soil temperature was strongly and significantly influenced by treatment, and treatment effects increased with time. The assay of two factor connection (soil respiration and soil temperature) we used correlation analyses. This analyzes show that in the measured period (2001-2006) between the soil respiration and soil temperature there is positive correlation among in all treatments. This significant connection is most strong between No Root and No Inputs plots.

8.3.10. The effect of climate change on soil respiration (Q_2)

The seasonal changes of soil respiration correspond with the seasonal changes of soil temperature well. With increasing soil temperature, the soil respiration is exponentially rising too. Soil respiration response to soil

temperature was strongly and significantly influenced by treatment, and treatment effects increased with time. The Q_2 shows how many times the soil respiration will raise if the yearly average soil temperature increases with 2°C. We compare Q_2 values of Síkfökút site to Harvard Forest site. If the yearly average soil temperature grew by 2°C at the dry SIK site, the soil respiration would increase by 20 % (see at C). The increase would be higher (23 %) at the wet HFR site (see at C). The increasing soil respiration could accelerate the global warming by positive feedback mechanism.

We have to emphasize that increase of temperature can not enhance the soil respiration endlessly, because CO₂ emission decrease the organic material content of the soil, which limits the food supply for decomposing microorganisms and simultaneously, inhibits the emission of soil respiration. On the whole, this is a complex but well regulated process.

8.3.11. Compare of the main data of US and European DIRT sites

Some important data of nitrogen- and carbon circulation of some US DIRT sites were compared with those of Síkfökút-site.

In case of Boussan Forest, which is a deciduous forest on the East Coast of the US, carbon content of the aboveground litter (2110 kg ha⁻¹year⁻¹) is similar to the carbon content of Síkfökút (2180 kg ha⁻¹year⁻¹), where the precipitation is as less as 550 mm year⁻¹. However, N-content of litter (31,1 kg ha⁻¹year⁻¹) is much higher in Síkfökút. Presumably, this can be explained by the fact that N-deposition is nearly twice as much (16 kg ha⁻¹) as in Boussan Forest. At the same time, outstanding nitrogen- (3539 kg ha⁻¹year⁻¹) and carbon (51257 kg ha⁻¹year⁻¹) content of the rich soil in Boussan Forest leads to lower C:N ratio (14). Andrew-site is a more humid pine-forest, where N-deposition (2) is lower and the input of rough branches (2600 kg ha⁻¹year⁻¹) is larger than on the other sites. On this site, N-content of litter is significantly high (146 kg ha⁻¹year⁻¹), but only a small part of it gets into the soil because of the slow decomposition of pine-needles. However, relatively high carbon content of the soil (25600 kg ha⁻¹year⁻¹) can be explained by the aforementioned large quantities of rough branch production. Regarding the species composition, Harvard Forest site is the most similar to Síkfökút site. Harvard Forest site is an eastern deciduous oak-forest, with lower yearly average temperature (6 °C), where precipitation is twice as much (1120 mm year⁻¹) as on Síkfökút site. Nevertheless, smaller quantities of carbon are released during respiration (3710 kg ha⁻¹year⁻¹ CO₂-C) than on Síkfökút-site (5019 kg ha⁻¹year⁻¹ CO₂-

C). As it is supported by our results, higher temperatures enhance the microbial activity of soils and consequently the soil respiration. The yearly average temperature is higher on Síkfökút (10 °C) than on Harvard Forest-site (6°C), which probably leads to more intensive soil respiration. Contrary, we can also prove that increasing amount of precipitation is not essentially followed by growing intensity of soil respiration. Namely, there are not significant differences between the soil respiration results of more humid areas (Harvard Forest, Andrew Forest, Boussan Forest) and Síkfökút-site. The outstanding values of 'Michigan'(10930 kg ha⁻¹year⁻¹ CO₂-C) can be explained by the fact that the site was established in 2004, while the values shows the results of 2005 i.e. it contains data only from one year in contrast with the other sites where measurements lasted for years.

9. Irodalom

- Aber, J.D., Melillo, J.M., Nadelhoffer, K.J., McClaugherty, C. and Pastor J. (1989): Fine root turnover in forest ecosystems in relation to quantity and form of nitrogen availability. A comparison of two methods. *Oecologia* **66** (3): 317-321.
- Ács F., Breuer H., Tarczay K. és Drucza M. (2005): A talaj és az éghajlat közötti kapcsolat modellezése. *Agrokémia és Talajtan* **54**: 3–4 p. 257–274.
- Aleksandrova, L.N., Naidenova, O.A., (1976): Laboratory Practice in Soil Science. Kolos, Leningrad.
- Anderson. J. P. E. (1982): Soil respiration. Pages 831-871 in: A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney, (eds): *Agronomy Monograph Number 9: Part 2. Chemical and biological properties*. 2nd edition. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Antal E., Justyák J., Tar K. (1995): A talaj nedvességének alakulása a síkfőkúti cseres-tölgyes erdőtársulásban. – *Erdő és Klíma*. Debrecen. 106-117.
- Antal E., Berki I., Justyák J., Kiss Gy., Tarr K. és Vig P. (1997): a síkfőkúti erdőtársulás hő- és vízháztartási viszonyainak vizsgálata az erdőpusztulás és az éghajlatváltozás tükrében. Debrecen, 83 p.
- Ball, D.F., (1964): Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils. *J. Soil Sci.* **15**: 84–92.
- Ballenger R., Gléria J. (1962): Talaj- és trágyavizsgáló módszerek. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 174. p
- Berki, I. (1991): Eichensterben in Nordungarn. Die Rolle des Nährstoffmangels. *Allgemeine Forstzeitschrift*, **46**: 74–78.
- Berki I., Móricz N., Rasztovits E., Vig P. (2007): A bükk szárazság tolerancia határának meghatározása. In: Mátyás Cs., Vig P. (szerk.): *Erdő és klíma V.*, NYME Sopron, 213-228.
- Béres Cs., Fenyvesi A., Raschi, A., Ridder, H. W. (1998): Field experiment on water transport of oak trees measured by computer tomograph and magnetic resonance imaging. *Chemosphere* **36**: 4-5. 925-930.
- Béres Cs. (1999a): A fák vízforgalma I. *Élet és Tudomány* **54** (50): 1586-1588.
- Béres CS. (1999b): A fák vízforgalma II. *Élet és Tudomány* **54** (51): 1615-1617.
- Boone, R. D., Nadelhoffer, K. J., Canary J. D., Kaye, J. P. (1998): Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration. *Nature* **396**: 570-572.
- Borhidi, A. (1987): Az erdőpusztulás nitrogénmodellje és a tölgypusztulás taxonómiai vonatkozásai. *Erdészeti kutatások*, **79**: 237–240.
- Borken, W., Muhs, A. & Beese, F. (2002): Changes in microbial and soil properties following compost treatment of degraded temperate forest soils. *Soil Biol. Biochem.* **34**: 403-412.
- Bowden, R.D., Nadelhoffer, K.J., Boone, R.D., Melillo, J.M., and Garrison, J.B. (1993): Contributions of aboveground litter, belowground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Can. J. For. Res.* **23**: 1402-1407.

- Bowden, R.D., Nagel, L., Kotrocó Zs., Krakomperger Zs., Papp M. and Tóth J.A. (2006): Long-term change in vegetation composition and biomass in a Central European oak forest at the Síkfőkút International Long-Term Ecological Research (ILTER) Site, Hungary. Mid-Atlantic Ecology Conference. Ecology in the Field. New Jersey School of Conservation. Branchville, New Jersey, April 8-9 2006. Mid-Atlantic Chapter of the Ecological Society of America (MAESA) 2-3 pp.
- Bray, J. Roger & E. Gorham (1964): Litter production in forest of the world. *Adv. Ecol. Res.* Vol.: **2**: 101-157.
- Bruce, K.D., Jones, T.H., Bezemer, T.M., Thompson, L.J. & Ritchie, D.A. (2000): The effect of elevated atmospheric carbon dioxide levels on soil bacterial communities. *Global Change Biol.* **6**: 427-434.
- Ciais, P., P. P. Tans, M. Trolier, J. W. C. White, and R. J. Francey. (1995): A large northern hemisphere terrestrial CO₂ sink indicated by the 13C/12C ratio of atmospheric CO₂. *Science* **269**: 1098-1102.
- Cotrufo, M. F., P. Ineson, and A. Scott. (1998): Elevated CO₂ reduces the nitrogen concentration of plant tissues. *Global Change Biology* **4**: 43-54.
- Ceulemans, R., M. Mousseau (1994): Effects of elevated atmospheric CO₂ on woody plants. *New Phytologist* **127**: 425-446.
- Ceulemans, R., X. N. Jiang and B. Y. Shao. (1995): Effects of elevated atmospheric CO₂ on growth, biomass production and nitrogen allocation of two *Populus* clones. *Journal of Biogeo.* **22**: 261-268.
- Cropper, W. P, K. C. Ewel, and J. W. Raich. (1985): The measurement of soil CO₂ evolution in situ. *Pedobiologia* **28**: 35-40.
- Crow, S.E., Sulzman, E.W., Rugh, W.D., Bowden, R.D., Lajtha, K. (2006): Isotopic analysis of respired CO₂ during decomposition of separated soil organic matter pools. *Soil Biology & Biochemistry.* **38**: 3279-3291.
- Curtis, P. S. (1996): A meta-analysis of leaf gas exchange and nitrogen in trees growth under elevated carbon dioxide. *Plant Cell and Environment* **19**: 127-137.
- Curtis, P. S., and X. Z. Wang. (1998): A meta-analysis of elevated CO₂ effects on woody plant mass, form, and physiology. *Oecologia* **113**: 299-313.
- Csóka Gy., Koltay A., Hirka A., Janik G. (2007): Az aszályosság hatása kocsánytalan tölgyeseink és bükköseink egészségi állapotára. *In: Mátyás Cs., Vig P. (szerk.): Erdő és klíma V., NYME Sopron*, 229-239.
- Davidson, E. A. & Janssens, I.A. (2006): Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* **440**: 165-173.
- Davidson, E. A., Janssens, I.A. & Luo, Y. (2006): On the variability of respiration in terrestrial ecosystems: moving beyond Q₁₀. *Global Change Biol.* **12**: 154-164.
- Dick, R. P. (1994): Soil enzyme activities as indicators of soil quality. *In: Doran, J.W., Coleman, D. C., Bezdicek D. F., Stewart, B. A. (eds.), Dering Soil Quality for a Sustainable Environment.* American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 107-124.
- Dore, S., Hymus, G.J., Johnson, D.P., Hinkle, C.R., Valentini, R. & Drake, B.G. (2003): Cross validation of open-top chamber and eddy covariance measurements of ecosystem CO₂ exchange in a Florida scrub-oak ecosystem. *Global Change Biol.* **9**: 84-95.

- Drake, B. G., and M. A. González-Meler. (1997): More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO₂? *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **48**: 609-639.
- Dunn, S. (2001): Az energiatermelés széntelenítése. *In: A világ helyzete 2001. Föld Napja Alapítvány*, pp. 98-121.
- Eissenstat, D.M. and Yanai, R.D. (1997): The Ecology of Root Lifespan. *Advances in Ecological Research* **27**: 1-60.
- Ewel, K. C., Cropper, W. P., Jr., and Gholz, H. L. (1987): Soil CO₂ evolution in Florida slash pine plantations. II. Importance of root respiration. *Can. J. For. Res.* **17**: 330-333.
- Fang, C. & Moncrieff, J.B. (2001): The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biol. Biochem.* **33**: 155-165.
- Fehér D. (1942): Vizsgálatok az erdő szénsav táplálkozásáról. *Erdészeti kísérletek* **44**, p. 166-199.
- Fekete, I., Varga, Cs., Kotroczó, Zs., Krakomperger, Zs., Tóth, J. A. (2007): The effect of temperature and moisture on enzyme activity in Síkfőkút Site. *Cereal Research Communications Volume* **35**, Issue 2: 381-385.
- Fekete I. (2009): Avarkezelések hatása a síkfőkúti DIRT parcellák talajainak mikrobiális aktivitására és szerves anyag tartalmára. Doktori értekezés (*Kézirat*). Debreceni Egyetem, Természettudományi Kar.
- Gálos B. Ph. Lorenz, D. Jacob. (2007): Klímaváltozás – szélsőségesebbé válnak száraz nyaraink a 21. században? *In: Mátyás Cs., Vig P. (szerk.): Erdő és klíma V., NYME Sopron*, 57-67.
- Gouide, A. (1989): *The Nature of the Environment*. 2nd ed. Basil Blackwell. Cambridge, Massachusetts.
- Goulden, M. L., J. W. Munger, S. M. Fan, S. M. Daube, and S. C. Wofsy. (1996): Exchange of carbon dioxide by a deciduous forest: response to interannual climate variability. *Science* **271**: 1576-1578.
- Göran I. Ågren, Riitta Hyvönen (2003): Changes in carbon stores in Swedish forest soils due to increased biomass harvest and increased temperatures analysed with a semi-empirical model. *Forest Ecology and Management* **174**: 25-37
- Graybill, D. A., and S. B. Idiso. (1993): Detecting the aerial fertilization effect of atmospheric CO₂ enrichment from tree-ring chronologies. *Global Biogeochemical Cycles* **7**: 81-95.
- Gregorich, E.G., Carter, M. R., Angers, D. A., Monreal, C. M., Ellert, B. H. (1994): Towards a minimum data set to assess soil organic-matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, Vol. **74**: 367-385.
- Grogan, P (1998): CO₂ flux measurement using soda lime: correction for water formed during CO₂ adsorption. *Ecology*. **79**: 1467-1468.
- Halvorson, J. J., Smith, J. L., Papendick, R. I. (1996): Integration of multiple soil parameters to evaluate soil quality: A field example. *Biology and Fertility of Soils*, Vol. **21**: 207-214.

- Hanson, P.J., Edwards, N., Garten, C.T. & Andrews, J.A. (2000): Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. *Biogeochemistry* **48**: 115-146.
- Haszpra L., (2004): Üvegházhatás, üvegházgázok. *Természet Világa*, II. különszám, 21-24.
- Hayden, B. P. (1998): Ecosystem feedbacks on climate at the land-landscape scale. *Philos. Trans. R. Soc. London. Ser. B.* **353**: 5–18.
- Hendrey, G.H., Lewin, K.F. & Nagy, J. (1993): Control of carbon-dioxide in unconfined field plots. *In*: Schulze, E.D. & Mooney, H.A. (eds.): Design and execution of experiments on CO₂ enrichments. Commission of the European Communities, Dissemination of Scientific and Technical Knowledge Unit, Brussels, pp. 309-328.
- Hendricks J.J., Nadelhoffer K.J. and Aber J. (1993): Assessing the role of fine roots in carbon and nutrient cycling. *TREE* **8** (5): 174-178.
- Hevesi A. (1985): Geomorphology, geological structure. *In*: Jakucs (ed.): Ecology of an oak forest in Hungary. Results of „Síkfőkút Project” 1. – Akadémiai Kiadó, Bp. pp.: 15-16.
- Horváth, L., E. Führer and K. Lajtha. (2005): Nitric oxide and nitrous oxide emission from Hungarian forests: link with atmospheric N deposition. *Biogeosciences Discussions*, **2**: 703-723.
- Hund-Rinke, K. & Simon, M. (2007): Bioavailability assessment of contaminants in soils via respiration and nitrification tests. *Environ. Pollut.*
- Igmándy, Z. (1985): A kocsánytalan tölgy pusztulása Magyarországon. *Magyar Tudomány*, **30**: 456–459.
- Igmándy Z., Béky A., Pagony H., Szontágh P. és Varga F. (1986): A kocsánytalan tölgy pusztulás helyzete hazánkban 1985-ben. *Az Erdő* **35**(6): 255-259.
- IPCC (2007): Summary for Policymakers. *In*: Climate Change (2007): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IUSS Working Group WRB. (2006): World reference base for soil resources. A framework for international classification, correlation and communication. *World Soil Resources Reports No. 103*. FAO, Rome.
- Jakucs P., (1973): „Síkfőkút Project”. Egy tölgyes ökoszisztéma környezetbiológiai kutatása a bioszféra-program keretén belül. *MTA Biol. Oszt. Közl.* 16:11-25. [SP No. 1.]
- Jakucs, P. (1983): A hazai tölgyállományok egészségi állapotának ökológiai szemléletű vizsgálata (*Kézirat*) 232 p.
- Jakucs P. (1985): Aims and preparation of research. *In*: Jakucs P. (ed.) Ecology of an Oak Forest in Hungary. Result of "Síkfőkút Project". Akadémiai Kiadó, Budapest, 1985.
- Jakucs P. (1990): A magyarországi erdőpusztulás ökológiai megközelítése. *Fizikai Szemle* 1990/**8**.

- Jankauskas, B., A., Slepeticene, G., Jankauskiene, M.A. Fullen, C.A. Booth. (2006): A comparative study of analytical methodologies to determine the soil organic matter content of Lithuanian Eutric Albeluvisols. *Geoderma* **136**: 763–773 p.
- Jolánkai M., Láng I., Csete L., (2004): Hatások és alkalmazkodás. *Természet Világa* II. különszám, 16-18.
- Jones, C.D., Cox, P. & Huntingford, C. (2003): Uncertainty in climate-carbon-cycle projections associated with the sensitivity of soil respiration to temperature. *Tellus* **55B**: 642-648.
- Justyák J. (1995a): Mikroklimatológiai vizsgálatok főbb eredményei cseres tölgyes társulásban. – *Erdő és Klíma*. Debrecen, 28-37.
- Justyák J. (1995b): A Síkfőkúti erdő tényleges evapotranspirációja. – Berényi Dénes professzor születésének 95. évfordulója tiszteletére rendezett tudományos emlékülés előadásai. Debrecen. 34-49.
- Justyák J. & Szász G. (2001): Az éghajlat, a növényzet, és a talaj övezetes elrendeződése a Földön. Kossuth Egyetemi Kiadó. Debrecen.
- Kárász I., Szabó E., Korcsog R. (1987): A síkfőkúti tölgyes cserjeszintjének strukturális változásai 1972 és 1983 között. I. Egyedszám, sűrűség, diverzitás, borítás és a méretek változása. – *Acta Acad. Paed. Agr. NS.* **18**: 51-80. [SP No. 102.].
- Kárász I. (2001): A síkfőkúti erdő cserjeszintjének strukturális változásai. In: *Ökológia az ezredfordulón I.* (Szerk: Borhidi Attila és Botta-Dukát Zoltán), MTA, Budapest. 213-221.
- Kauppi, P. I., K. Mielikäinen, and K. Kuusela. (1992): Biomass and carbon budget of European forests, 1971-1990. *Science* **256**: 70-74.
- Kaye, J.P. and Hart, S.C. (1998): Restoration and canopy-type effects soil respiration in a Ponderosa Pine – Bunchgrass ecosystem. *Soil Science Society Am. J.* **62**: 1062-1072.
- Ke, X., Winter, K. & Filser, J. (2005): Effects of soil mesofauna and farming management on decomposition of clover litter: a microcosm experiment. *Soil Biol. Biochem.* **37**: 731-738.
- Kerényi A. (1995): Általános környezetvédelem. Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged.
- Kienast, F., and R. J. Luxmoore. (1988): Tree-ring analysis and conifer growth response to increased atmospheric CO₂ levels. *Oecologia* **76**: 487-495.
- Kiss Gy. (1995a): A talajnedvesség-tartalom időbeli változása a debreceni Nagyerdőben és a Síkfőkút Projecten. – *Erdő és Klíma*. Debrecen. 118-125.
- Kiss Gy. (1995b): A csapadék a légnedvesség és a hőmérséklet tendenciái Debrecenben és Síkfőkúton. – Berényi Dénes professzor születésének 95. évfordulója tiszteletére rendezett tudományos emlékülés előadásai. Debrecen. 136-143.
- Kiss Gy., Berki I. (1996): Study on time series of some climatological elements of the Síkfőkút Project. – *Carpathian Meteorology*, Visegrád (Hungary), Budapest, 177-182.
- Kogel-Knabner, I. (1992). *Forest Soil Organic Matter: Structure and Formation*. Bayreuth, Germany, Bayreuther Bodenkundliche Berichte.
- Koncz G., Papp M., Matus G., Török P., Kotrocó Zs., Krakomperger Zs., Tóth J. A. (2008): Egy észak-magyarországi cseres-tölgyes erdő magkészlete és

- struktúrájának változása 1973 óta. Aktuális Flóra- és Vegetációkutatás a Kárpát-medencében VIII. Gödöllő, Kitaibelia **XIII**/1. 112. p.
- Kotroczó Zs., Krakomperger Zs., Koncz G., Papp M., R.D. Bowden, Tóth J.A. (2005): Egy cseres-tölgyes erdő fafaj összetételének és struktúrájának hosszú-távú változása (Síkfőkút Project). III. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia (MTBK) "Az élőhelyek védelmében" Eger, 2005. november 3-6. 142 p.
- Kotroczó Zs., Krakomperger Zs., Koncz G., Papp M., R.D. Bowden, Tóth J.A. (2007): A Síkfőkúti cseres-tölgyes fafaj összetételének és struktúrájának hosszú-távú változása. Természetvédelmi Közlemények **13**. pp. 93-100.
- Kotroczó, Zs., I., Fekete, J. A., Tóth, B., Tóthmérész, S., Balázsy (2008): Effect of leaf- and root-litter manipulation for carbon-dioxide efflux in forest soil. Cereal Research Communications Volume **36**. Suppl., 663-666.
- Kovács-Láng, E., Herodek, S., Tóth J. A., (1998): LTER in Hungary. In: The International Long Term Ecological Research Network. Compiled by the US LTER Network Office Albuquerque New Mexico, 38-43.
- Kovács-Láng, E., Herodek, S., Tóth, J. A., (2000): Long Term Ecological Research in Hungary. In: The International Long Term Ecological Research Network. Perspectives from Participating Networks. Compiled by the US LTER Network Office Albuquerque New Mexico, 38-40
- Krakomperger Zs, Tóth J. A., Varga Cs., Tóthmérész B. (2008): The effect of litter input on soil enzyme activity in an oak forest. Cereal Research Communications Vol. **36**. 323-326.
- Kuzyakov, Y. (2006): Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods. Soil Biol. Biochem. **38**: 425-448.
- LaMarche, V. C., D. A. Graybill, H. C. Fritts, and M. R. Rose. (1984): Increasing atmospheric carbon dioxide: tree ring evidence for growth enhancement in natural vegetation. Science **225**: 1019-1021.
- Lellei-Kovács E. (2008): Főbb kérdések és megoldások a talajlégzés vizsgálatának témakörében. In: Talaj - vegetáció - klíma kölcsönhatások. Köszöntjük a 70 éves Láng Editet (szerk: Kröel-Dulay Gy., Kalapos T. and Mojzes A.) pp. 135-146. MTA ÖBKI, Vácrátót
- Lellei-Kovács, E., Kovács-Láng, E., Kalapos, T., Botta-Dukát, Z., Barabás, S. and Beier, C. (2008a): Experimental warming does not enhance soil respiration in a semiarid temperate forest-steppe ecosystem. Community Ecology **9**, 29-37.
- Lellei-Kovács, E., Kovács-Láng, E., Kalapos, T., Botta-Dukát, Z. (2008b): Soil respiration and its main limiting factors in a semiarid sand forest-steppe ecosystem – results of a climate simulation experiments. Cereal Research Communications Volume **36**. Suppl., 1223-1226.
- Marosi S., Somogyi S. (1990): Magyarország kistájainak katasztere II. kötet, MTA FKI., Budapest
- Mátyás Cs., (2004): A természetes növénytakaró, az erdő klímaérzékenysége. Természet Világa, II. különszám, 70-73.
- Mátyás Cs., Nagy L., Ujváriné J. É. (2007): Klimatikus stressz és a fafajok genetikai válaszreakciója az elterjedés szárazsági határán: elemzés és előrejelzés. In: Mátyás Cs., Vig P. (szerk): Erdő és klíma V., NYME Sopron, 241-255.

- Mázsa K., Kotrocó Zs., Horváth F., Aszalós R., R. D. Bowden, Bölöni J., Krakomperger Zs., Papp M. és Tóth J. A. (2007): A tölgypusztulás hosszútávú következményei a Síkfőkút Projekt és a Vár-hegy erdőrezervátum faállomány-szerkezetében. *In* Lakatos F.-Varga D. (szerk.) Erdészeti, Környezettudományi, Természetvédelmi és Vadgazdálkodási Tudományos Konferencia (EKTV-TK) 2007. december 11. Sopron pp. 122-123.
- McDowell, W.H., and G.E. Likens. (1988): Origin, composition, and flux of dissolved organic carbon in the Hubbard Brook valley. *Ecological Monographs* **58**: 177-195.
- McGuire, A. D., J. M. Melillo, and L. A. Joyce. (1995): The role of nitrogen in the response of forest net primary to elevated atmospheric carbon dioxide. *Annual Review of Ecology and Systematics* **26**: 473-503.
- Melillo, J. M., A. D. McGuire, D. W. Kicklighter, D. Moore III, C. J. Vorosmarty, and A. L. Schloss. (1993): Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature* **363**: 234-240
- Mika J. (2000): Hazai éghajlati forgatókönyvek. III. Erdő és Klímakonferencia, Debrecen, június 7-9., p. 9-23.
- Mika J. (2004): Globális klímamodellek. *A Természet Világa*, II. különszám, 33-36.
- Misik T., Kárász I. (2008): A Síkfőkúti cseres-tölgyes erdő cserjeszintjének fiziognómiai struktúra változásai a klímaváltozás tükrében. *A Magyar Biológiai Társaság XXVII. Vándorgyűlése*, 2008. szeptember 25-26. p. 153-157.
- Monteith, J. L., G. Steicz, and K. Yabuki. (1964): Crop photosynthesis and the flux of carbon dioxide below the canopy. *Journal of Applied Ecology* **1**:321-337.
- Nadelhoffer, K., Boone, R., Bowden, R. D., Canary, J., Kaye, J., Micks, P., Ricca, A., McDowell, W., Aitkenhead, J. (2004): The DIRT experiment. *In*: Foster, D. R., Aber, D. J. (eds) *Forests in Time*. Yale Univ. Press, Michigan.
- Nagy L. (1980): Kurzweilige Strahlungsbilanz des Eichenwaldes von Síkfőkút. (Short-wave radiation balance in the sessile and turkey oak forest of Síkfőkút.) – *Acta Biol. Debrecina* **17**: 29-40. [SP No. 79.]
- Nagy L. (1982): Kurzweilige Strahlungsinterzeption des Eichenwaldes bei Síkfőkút. *In*: Unger, K., Schuh, J. (eds): *Umwelt-Stress*. Martin Luther-Univ. Halle-Wittenberg., Wissenschaftliche Beitr. 1982/35/P.17/: 298-302
- Nagy L. (1985a): Climate of Bükkalja. *In*: Jakucs (ed.): *Ecology of an oak forest in Hungary. Results of „Síkfőkút Project”* 1. - Akadémiai Kiadó, Bp. pp. 19-32.
- Nagy L. (1985b): Weather conditions in the sample area during the research period. *In*: Jakucs (ed.): *Ecology of an oak forest in Hungary Results of „Síkfőkút Project”* I. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 58-103.
- Nagy P. T. (2000): Égetéses elven működő elemanalizátor alkalmazhatósága talaj- és növényvizsgálatokban. *Agrokémia és Talajtan* **49**. No. 3-4.
- Neilson, G. A., and Hole, F. D. (1963): A study of the natural processes of incorporation of organic matter into soil in the University of Wisconsin Arboretum. *Wisc. Acad. Rev.* **52**: 231-227.
- Nikitin, B.A., (1999): A method for soil humus determination. *Agric. Chem.* **3**: 156–158.
- Northup, R.R., Z. Yu, R.A. Dahlgren, and K.A. Vogt. (1995): Polyphenol control of nitrogen release from pine litter. *Nature* **377**: 227-229.

- Nováki B., Bálint G., (2004): Éghajlatváltozás és víz. Természet Világa II. különkiadás, 60-64
- Orchard, V.A. & Cook, F.J. (1983): Relationship between soil respiration and soil moisture. *Soil Biol. Biochem.* **15**: 447-454.
- Orlov, D.S., Grisina, L.A., (1981): Guide in Chemistry of Humus. MGU, Moscow.
- Palm, C. A. and P. A. Sanchez. (1991): Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.* **23**: 83-88.
- Pálvölgyi T., (2004): A globális éghajlatváltozás kilátásai. Természet Világa, II. különszám, 13-16.
- Papp L, Papp M. (1984): Összehasonlító vizsgálatok egészséges és pusztuló kocsánytalan tölgyek gyökérzetén. *Az Erdő.* **33**. p. 345-347
- Papp M. (2001): Változások a lágyszárú növényzetben a síkfőkúti cseres-tölgyes erdőben és környékén 25 év távlatában. *In: Ökológia az ezredfordulón I. (Szerk: Borhidi Attila és Botta-Dukát Zoltán), MTA, Budapest.* 223-230.
- Papp M., Koncz G., Kotroczó Zs., Krakomperger Zs., Matus G., Tóth J.A. (2006): Cseres-tölgyes erdő lágyszárú szintjének hosszútávú vizsgálata. *Aktuális Flóra- és Vegetációkutatás a Kárpát-medencében VII., Debrecen, Kitaibelia* **11**. (1) 71 p.
- Papp S. (1985): Soil of Bükkalja. – In: Jakucs (ed.): Ecology of an oak forest in Hungary. Results of „Síkfőkút Project” 1. - Akadémiai Kiadó, Bp. pp.: 16-19.
- Peterson, B. J., and J. M. Melillo. (1985): The potential storage of carbon caused by eutrophication of the biosphere. *Tellus* **37B**: 117-127.
- Phillips, D. L. & Shure, D.J. (1990): Patch-size effects on early succession in southern Appalachian forests. *Ecology*, **71**: 204–212.
- Phillipson, J., Putman, R. J., Steel, J., and Woodel, S. R. J. (1975): Litter input, litter decomposition, and evolution of carbon dioxide in beech woodland – Wythman Woods, Oxford. *Oecologia*, **20**: 203-217.
- Pielke, R. A. (1998): Climate prediction as an initial value problem. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **79**. 2743–2746.
- Prihoda, A. (1982): Odumáráná Dubv. Lesnicke Práce, p. 3436.
- Qualls, R. G., B. L. Haines, and W. T. Swank. (1991): Fluxes of dissolved organic nutrients and humic substances in a deciduous forest. *Ecology* **72**: 254-266.
- Raich, J. W., and Nadelhoffer, K.J. (1989): Belowground carbon allocation in forest ecosystems: Global trends. *Ecology* **70**: 1346-1354.
- Raich, J. W., R. D. Bowden, and P. A. Steudler. (1990): Comparison of two static chamber techniques for determining carbon dioxide efflux from forest soils. *Soil Science Society of America Journal* **54**: 1754-1757.
- Raich, J. W., and Schlesinger, W.S. (1992): The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, **44B**: 81-99.
- Redfern, D.B. (1973): Growth and behaviour of *Armillaria mellea* rhizomorphs in soil. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* **61**: 569-581.
- Reiners, W. A. (1968): Carbon dioxide evolution from the floor of three Minnesota forests. *Ecology*, **49**: 471-483

- Robertson G.P., Bledsoe C.S, Coleman D.C. and Sollins P. (eds.) (1999): Standard Soil Methods for Long Term Ecological Research. Oxford University Press, New York.
- Robock, A. (1998): Evaluation of the AMIP soil moisture simulations. *Global Planet Change*. **19**: 181–208.
- Rochette, P., R. L., Desjardins, and E. Pattey. (1991): Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields. *Canadian Journal of Soil Science* **71**: 189-196.
- Rodin, L.E. Bazilevitch N.I., (1967): Production and mineral cycling in terrestrial vegetation. Oliver and Boyd, Edinburgh.
- Rütze, M., Liese, W. (1980): Biologie und Bedeutung der amerikanischen Eichenwelke. Mitt. Bundesforschungsanstaltf. Forest u. Holwirtschaft Hamburg-Reinbeck No. **128**: 1-109.
- Schimel, D. S. (1995): Terrestrial ecosystem and the carbon cycle. *Global Change Biology* **1**: 77-91.
- Schimel, J. P., K. Van Cleve, R. G. Cates, T. P. Clausen, and P. B. Reichardt. (1996): Effects of balsam poplar (*Populus balsamifera*) tannins and low molecular weight phenolics on microbial activity in taiga floodplain soil: implications for changes in N cycling during succession. *Canadian Journal of Botany* **74**: 84-90.
- Schlesinger, W.H. (1977): Carbon balance in terrestrial detritus. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **8**: 51-81.
- Schlesinger, W.H. (1990): Evidence from chronosequence studies for low carbon-storage potential of soils. *Nature* **348**: 232-234.
- Schnitzer M., Neyroud J., A. (1975): Further investigations on chemistry of fungal humic acids. *Soil Biology & Biochemistry* Vol. **7**: 365-371.
- Seely, B. and K. Lajtha. 1996. Application of a ¹⁵N tracer to simulate and track the fate of atmospherically-deposited N in the coastal forests of the Waquoit Bay Watershed, Cape Cod, MA. *Biogeochemistry*.
- Sellers, W. D. (1965): *Physical Climatology*, University of Chicago Press. Chicago–London.
- Singh, J. S., and Gupta, S. R. (1977): Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *Bot. Rev.* **43**: 449-528.
- Søe, A.R.B., Giesemann, A., Anderson, T.H., Weigel, H.J. & Buchmann, N. (2004): Soil respiration under elevated CO₂ and its partitioning into recently assimilated and older carbon sources. *Plant Soil* **262**: 85-94.
- Sollins, P., P. Homann, and B. A. Caldwell. (1996): Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma* **74**: 65-105.
- Somogyi Z., és Horváth B. (2006): Az 1930 óta telepített erdők szénlekötéséről. *Erdészeti Lapok*, 2006. szeptember.
- Somogyi Z. (2007): A klíma, a klímaváltozás és a fanövekedés néhány összefüggéséről. In: Mátyás Cs., Vig P. (szerk): *Erdő és klíma V.*, NYME Sopron, 281-294
- Spycher, G., P. Sollins, and S. Rose. (1983): Carbon and nitrogen in the light fraction of a forest soil: vertical and distribution and seasonal patterns. *Soil Sci.* **135**: 79-87.

- Stefanovits, P. (1985): Soil conditions of the forest. *In*: Jakucs, P. (ed.) Ecology of an Oak Forest in Hungary. Results of „Síkfőkút Project” I. Akadémiai Kiadó, Budapest, 50-57.
- Stevenson, F. J. (1994): Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. New York, NY, John Wiley & Sons.
- Stoyan, Helmut, De-Polli, H., Böhm, S. (2000): Spatial Heterogeneity of Soil Respiration and Related Properties at the Plant Scale. *Plant and Soil*. **222**: 1–2., 203–214.
- Strickland, T. C., and P. Sollins. (1994): Improved method for separating light- and heavy-fraction organic material from soil. *Soil sci. Soc. Am. J.* 51:1390-1393.
- Szabó I. M., (1986): Az általános talajtan biológiai alapjai. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, p. 218.
- Szabó I. M., (1989): A bioszféra mikrobiológiája II. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Szabó I. M., (1992): Az általános talajtan biológiai alapjai. Magyar Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Szalai S., (2004): Igazolják-e a felmelegedést a megfigyelt adatok? *Természet Világa* II. különszám, 48-50.
- Szász G. (1963): A vízháztartás klimatikus tényezőinek vizsgálata Magyarországon. Debreceni Agrártudományi Főiskola Tudományos Közleményei. 49–71. Debrecen.
- Tanácsok Közlönye (1976): Az Országos Természetvédelmi Hivatal Elnöke **8/1976.** OTVH számú határozata. (Tanácsok Közlönye 1976. június 26. XXV/27. sz.).
- Tans, P. P., I. Y. Fung, and T. Takahashi. (1995): Storage versus flux budgets: the terrestrial uptake of CO₂ during the 1980s. Pages 351-366. *In* G. M. Woodwell and F. T. Mackenzie, editors. Biotic feedbacks in global climate system: will the warming feed the warming? Oxford University Press, Oxford. UK.
- Tar K. (1995): A Síkfőkúti erdő hőmérsékletének statisztikai szerkezetéről. – *Erdő és Klíma*. Debrecen. 100-105.
- Tjoelker, M.G., Oleksyn, J. & Reich, P. (2001): Modelling respiration of vegetation: evidence for a general temperature-dependent Q₁₀. *Global Change Biol.* **7**: 223-230.
- Tóth J. A., Hammer I., (1977): Quantitative microbial studies on the soil of Síkfőkút Project”. *Acta. Biol. Debrecina*, **14**: 33-44.
- Tóth J. A., Papp B.L., Jakucs P. (1985): Litter production of the forest. - *In*: Jakucs (ed.): Ecology of an oak forest in Hungary. Results of „Síkfőkút Project” I. - Akadémiai Kiadó, Budapest, 211-225 pp.
- Tóth J. A. (2003): a klímaváltozás várható hatásai az elhalt szerves anyag lebontási folyamataira. Kutatási metodika. Erdő és Klíma NKFP 1. sz. részjelentés (*kézirat*).
- Tóth J. A., Papp M., Molnár V. A. (2003): A Szöllőskei-erdő Természetvédelmi Terület kezelési terve. Bükk Nemzeti Park Igazgatóság, Eger
- Tóth J. A., Papp M., Krakomperger Zs., Kotroczó Zs. (2006): A klímaváltozás hatása egy cseres-tölgyes erdő struktúrájára (Síkfőkút Project). A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. KvVM – MTA „VAHAVA” project zárókonferenciája. Időjárás és éghajlat: hatások és intézkedések. Poszter. Budapest, 2006. március 9.

- Tóth, J. A., K. Lajtha, Zs. Kotroczó, Zs. Krakomperger, B. Caldwell, R. D. Bowden, M. Papp (2007): The effect of climate change on soil organic matter decomposition. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* Vol. **3**, pp. 75-85.
- Tóthmérész B. (2001): A síkfőkúti erdő fapusztulási dinamikájának monitoringja. *In: Ökológia az ezredfordulón I. (Szerk: Borhidi Attila és Botta-Dukát Zoltán)*, MTA, Budapest, 211-212.
- Trascar-Cepeda, C., C. Leiros, F. Gil-Sotres, and S. Seoane. (1998): Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. *Biol. Fertil. Soils* **26**: 100-106.
- Upadhyay, H.P. (1981): A Monograph of Ceratocystis. The Univ. of Georgia Press, Athens.
- Vajna, L. (1989): A kocsánytalan tölgy pusztulásának kórok- és járványtani kérdései. *Az Erdő*, **38**: 169-175.
- Wang, G. & Eltahir, L. A. B. (2000): Ecosystem dynamics and the Sahel drought. *Geophys. Res. Lett.* **27**: 795-798.
- Varga, Cs., I., Fekete, Zs., Kotroczó, Zs., Krakomperger, Gy., Vincze (2008): The Effect of litter on soil organic matter (SOM) turnover in Síkfőkút site. *Cereal Research Communications Volume* **36**. Suppl., 547-550.
- Watson, R. T., Rodhe, H., Oeschinger, H., and Siegenthaler, U. (1990): Greenhouse gases and aerosols. *In* *Climate Change: IPCC scientific assessment*. Edited by J. T. Houghton, G. J. Jenkins, and J. J. Ephraïm. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 1-40.
- White, L.G. (1955): Toxin production by the oak wilt fungus *Endoconidiophora Fagacearum*. *Amer. J. Bot.* **442**: 759-764.
- Wilson, J. M. & Griffin, D.M. (1975): Water potential and the respiration of microorganisms in the soil. *Soil Biol. Biochem.* **7**: 199-204.
- Wofsy, S. C., M. L. Goulden, J. W. Munger, S. M. Fan, P. S. Bakwin, B. C. Daube, S. L. Bassow, and F. A. Bazzaz. (1993): Net exchange of carbon dioxide in a mid-latitude forest. *Science* **260**: 1314-1317.
- Woodwell, G. M., and F. T. Mackenzie, editors. (1995): Biotic feedbacks in global climate system: Will the warming feed the warming? Oxford University Press, Oxford, UK.
- Wullschlegel, S. D., W. M. Post, and A. W. Emanuel. (1995): On the potential for a CO₂ fertilization based on 58 controlled exposure studies. Pages 85-107. *In* G. M. Woodwell and F. T. Mackenzie, editors. Biotic feedbacks in global climate system: Will the warming feed the warming? Oxford University Press, Oxford, UK.
- Zak, D. R., K. S. Pregitzer, P. S. Curtis, C. S. Vogel, W. E. Holmes, and J. Lussenhop. (2000): Atmospheric CO₂, Soil-N availability, and allocation of biomass and nitrogen by *Populus tremuloides*. *Ecological Applications* **10**: 34-46.
- Zibilske, L. M. (1994): Carbon mineralization. Pages 835-864 in R. W. Weaver, J. S. Angle, and P. S. Bottomley, (eds): *Methods of soil analysis: Part 2. Microbiological and Biochemical properties*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.

10. Tudományos tevékenység jegyzéke

10.1. A témában elhangzott előadások, posztterek

- Tóth J.A.; Fekete I.; Krakomperger Zs.; Lukács J.; Kotroczó Zs. (2001): A Síkfőkút DIRT Project keretében alkalmazott talajmikrobiológiai módszerek. XVI. Mikrobiológiai Tudományos Ülés, Nyíregyháza.
- Tóth J.A., Kotroczó Zs., Krakomperger Zs., K. Lajtha, K. Vanderbilt, B. Caldwell, R.D. Bowden (2004): DITR Project Létesítése a síkfőkúti LTER kutatási területen. A Magyar Tudományos Akadémia Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Testületének és a Magyar Professzorok Világtanácsának 13. évi Tudományos Ülése, Nyíregyháza.
- Tóth J.A., Krakomperger Zs., Kotroczó Zs., K. Lajtha, K. V., B. Caldwell, R.D. Bowden (2004): A Síkfőkút DIRT Project kutatási eredményei. A Magyar Tudományos Akadémia Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Testületének és a Magyar Professzorok Világtanácsának 13. évi Tudományos Ülése, Nyíregyháza.
- Tóth J.A., Zs. Kotroczó Zs., Krakomperger, J. Lukács, M. Papp, K. Lajtha, R.D. Bowden, B. Caldwell, K. Vanderbilt (2004): Síkfőkút ILTER DIRT Project (Hungary) Előadás, Vácrátót
- Kotroczó Zs., Z. Krakomperger, M. Papp, R.D. Bowden and J.A. Tóth (2005): Thirty-one years of change in vegetation composition of a Central European oak forest at the Síkfőkút ILTER. INTECOL ESA Joint Meeting in Montreal, Quebec, Canada
- Tóth J.A., Krakomperger Zs., Kotroczó Zs., Lukács J., Fekete I. (2005): A klímaváltozás várható hatása a talaj szerves anyagainak bomlására (Síkfőkút DIRT Project). A Magyar Tudományos Akadémia Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Testületének és a Magyar Professzorok Világtanácsának XIV. évi Tudományos Ülése, Nyíregyháza.
- Fekete, I., Varga, Cs., Kotroczó Zs., Krakomperger, Zs., Tóth, J.A., Simon, L. (2005): Effect of Litter on Polyphenol-Oxidase Activity on Forest Soil in the Frame of Síkfőkút DIRT Project. Proceedings of the International Scientific Conference, Innovation and Utility in the Visegrad Fours. Vol. 1. Environmental Management and Environmental Protection, Nyíregyháza, Hungary
- Fekete, I., Varga, Cs., Kotroczó Zs., Krakomperger, Zs., Tóth, J. A. (2005): The effect of litter on microbial enzyme activity in the frame of Síkfőkút long-term project. ELLS Summer University, Soil – Plant – Microbe Interactions Fundamentals and Applications, Uppsala, Sweden.
- Tóth J.A., Kotroczó Zs., Krakomperger Zs. (2006): A talaj szerves anyag bomlási sebességének alakulása a klímaváltozás hatására (Síkfőkút DIRT Project). Globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. KvVM-MTA Zárókonferenciája, Budapest 2006. márc. 9.
- Bowden, R. D., L. Nagel, Z. Kotroczó Zs., Krakomperger, M. Papp, and J.A. Tóth (2006): Long-term change in vegetation composition and biomass in a Central European oak forest at the Síkfőkút International Long-Term Ecological Research (ILTER)

- Site, Hungary. Mid-Atlantic Ecology Conference. „Ecology in the Field” April 8-9, 2006. New Jersey, MAESA
- Tóth J. A., Kotroczó Zs., Krakomperger Zs., Lukács J., Fekete I., Papp M., Koncz G. (2006): Interkontinentális hosszú-távú avarmanipulációs terepkísérlet a talaj szerves anyag bomlás vizsgálatára. 7. Magyar Ökológus Kongresszus, Budapest 2006. szept. 4.-6. 207. p.
- Krakomperger Zs., Kotroczó Zs., Fekete I., Veres Zs., Koncz G., Papp M., Tóth J. A. (2006): Talajenzim-aktivitás mérési eredmények a Síkfőkút DIRT Project keretében. 7. Magyar Ökológus Kongresszus, Budapest 2006. szept. 4.-6. 123. p.
- Kotroczó Zs., Krakomperger Zs., Lukács J., Veres Zs., Koncz G. Papp M., Fekete I., Tóth J. A. (2006): Erdőtalaj szerves szénttartalmának dinamikája különböző avarinputok hatására. 7. Magyar Ökológus Kongresszus, Budapest 2006. szept. 4.-6. 111. p.
- Fekete I., Varga Cs., Kotroczó Zs., Krakomperger Zs., Tóth J. A., (2006): Litter affected changes in soil microbial activity in Síkfőkút site. X. Congress of Croation Society of Soil Science. Soils functions in the environment, Sibenik, Croatia.
- Tóth J. A., Krakomperger Zs., Kotroczó Zs., Koncz G., Veres Zs., Papp M., (2008): A klímaváltozás hatása a Síkfőkúti cseres-tölgyes avarprodukcijára és talajdinamikai folyamataira. Talajtani Vándorgyűlés. Nyíregyháza, 2008. május 28-29. p. 27.
- Kotroczó Zs., L. Halász J., Krakomperger Zs., Fekete I., D. Tóth M., Vincze Gy., Varga Cs., Balázsy S., Tóth J. A. (2008): Erdőtalaj szerves-anyag mennyiségének változása avarmanipulációs kísérletek hatására (Síkfőkút Project). Talajtani Vándorgyűlés. Nyíregyháza, 2008. május 28-29. p. 22.
- Vasenszki, T., Zs. Veres, Zs. Kotroczó, G. Koncz, Zs. Krakomperger, S. Balázsy, J. A. Tóth. (2008): The effect of different litter input on soil respiration in an oak forest. Magyar Mikrobiológiai Társaság Nagygyűlése. 2008. október 15. - 17., Keszthely
- Kotroczó Zs., G. Koncz, J. L. Halász, I. Fekete, Zs. Krakomperger, M. D. Tóth, S. Balázsy, J. A. Tóth. (2008): Litter decomposition intensity and soil organic matter accumulation in Síkfőkút DIRT site. Magyar Mikrobiológiai Társaság Nagygyűlése. 2008. október 15. - 17., Keszthely
- Kotroczó Zs., Krakomperger Zs., Veres Zs., Vasenszki T., L. Halász J., Koncz G., Papp M., Tóthmérész B., Tóth J.A. (2008): Talajlégzés vizsgálatok hosszú-távú avarmanipulációs modellkísérletekben. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia. 2008. november 6.-9., Nyíregyháza

10.2. A témában megjelent szakcikk

- Fekete, I., Varga, Cs., Kotroczó Zs., Krakomperger, Zs., Tóth, J. A. (2007): The effect of temperature and moisture on enzyme activity in Síkfőkút Site. Cereal Research Communications Volume 35, Issue 2, 381-385.
- Tóth, J. A., K. Lajtha, Zs. Kotroczó, Zs. Krakomperger, B. Caldwell, R. D. Bowden, M. Papp (2007): The effect of climate change on soil organic matter decomposition. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica Vol. 3: 75-86.

- Tóth J. A., K., Lajtha, Kotroczó Zs., Krakomperger Zs., B., Caldwell, R. D., Bowden, Papp M. (2007): A klímaváltozás hatása az elhalt szerves anyag lebontási folyamataira. In: Erdő és Klíma V. NyME, Sopron. pp. 307-322.
- Varga, Cs., I., Fekete, Zs., Kotroczó Zs., Krakomperger, Gy., Vincze (2008): The Effect of litter on soil organic matter (SOM) turnover in Síkfőkút site. Cereal Research Communications Volume 36. Suppl., 547-550.
- Kotroczó Zs., I., Fekete, J. A., Tóth, B., Tóthmérész, S., Balázsy (2008): Effect of leaf- and root-litter manipulation for carbon-dioxide efflux in forest soil. Cereal Research Communications Volume 36. Suppl., 663-666.
- Fekete, I., Varga, Cs., Kotroczó Zs., Krakomperger, Zs., Vallner, J., Simon, L., Tóth, J. A. (2008): The effect of the kind of litter matter on enzyme activity in Cambisols tested in field experiment. Journal of Polish Ecology. (*in press*)
- Tóth J. A., Krakomperger Zs., Kotroczó Zs., Koncz G., Veres Zs., Papp M., (2008): A klímaváltozás hatása a Síkfőkúti cseres-tölgyes avarprodukcijára és talajdinamikai folyamataira. Talajvédelem Különszám, pp. 543-554.
- Kotroczó Zs., L. Halász J., Krakomperger Zs., Fekete I., D. Tóth M., Vincze Gy., Varga Cs., Balázsy S., Tóth J. A. (2008): Erdőtálg szerves-anyag mennyiségének változása avarmanipulációs kísérletek hatására (Síkfőkút Project). Talajvédelem Különszám, pp. 431-440.

10.3. Egyéb előadások, posztetek

- Kotroczó Zs., Krakomperger Zs., Koncz G., Papp M., R.D. Bowden, Tóth J.A. (2005): Egy cseres-tölgyes erdő fafaj összetételének és struktúrájának hosszú-távú változása (Síkfőkút Project). III. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia (MTBK) "Az élőhelyek védelmében" Eger, 2005. november 3-6.
- Mázsa, K., Zs. Kotroczó, R. Aszalós, R.D. Bowden, J. Bölöni, F. Horváth, G. Kovács, Zs. Krakomperger, M. Papp, J.A. Tóth. (2005): Forest dynamical processes: decline and regeneration in sessile oak forests in the Bükk mts., Hungary. International Conference "Bridging The Gap - policies and science as tools in implementing Sustainable Forest Management", Alnarp, South Sweden
- Papp M., Koncz G., Kotroczó Zs., Krakomperger Zs., Matus G., Tóth J.A. (2006): Cseres-tölgyes erdő lágyszárú szintjének hosszú-távú vizsgálata. Aktuális Flóra- és Vegetációkutatás a Kárpát-medencében VII., Debrecen, Kataibelia 11. (1) 71 p.
- Tóth J.A., Papp M., Krakomperger Zs., Kotroczó Zs. (2006): A klímaváltozás hatása egy cseres-tölgyes erdő struktúrájára (Síkfőkút Project). Globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. KvVM-MTA Zárókonferenciája, Budapest 2006. márc. 9.
- Koncz G., Papp M., Kotroczó Zs., Krakomperger Zs., Matus G., Tóth J.A. (2006): A lágyszárú magkészlet szerepe cseres-tölgyes erdőben. 7. Magyar Ökológus Kongresszus, Budapest 2006. szept. 4.-6. 109. p.
- Kotroczó Zs., Krakomperger Zs., Koncz G., Papp M., R.D. Bowden, Tóth J.A. (2007): A Síkfőkúti cseres-tölgyes fafaj összetételének és struktúrájának hosszú-távú változása. Természetvédelmi Közlemények 13 pp. 93-100.
- Mázsa K., Kotroczó Zs., Horváth F., Aszalós R., R. D. Bowden, Bölöni J., Krakomperger Zs., Papp M. és Tóth J. A. (2007): A tölgypusztulás hosszú-távú következményei a

- Síkfőkút Projekt és a Vár-hegy erdőrezervátum faállomány-szerkezetében in Lakatos F.-Varga D. (szerk.) Erdészeti Tud. Konferencia 2007. december 11. Sopron – a szekcióülések előadásainak és posztereinek kivonata pp. 25.
- Halász L., J., Kotroczó Zs., D. Tóth M., Vincze Gy., N. Boyko, Balázsy S. (2008): Hulladéklerakók talaj mikroorganizmus közösségeinek és enzim aktivitásának vizsgálata a Felső-Tisza árterein. Talajtani Vándorgyűlés. Nyíregyháza, 2008. május 28-29. p. 41.
- Tóth D., M., L. Halász J., Kotroczó Zs., Vincze Gy., Simon L., Balázsy S. (2008): A talaj fémszennyezésének hatása a parlagfű (*Ambrosia elatior* L.) fémtartalmára tenyészedényes kísérletben. Talajtani Vándorgyűlés. Nyíregyháza, 2008. május 28-29. p. 38.
- Tóth D., M., J. L. Halász, Zs. Kotroczó, Gy. Vincze, L. Simon, S. Balázsy. (2008): Examining the connections between metal contamination of soil and microbial colonies of ragweed (*Ambrosia elatior* L.) through pot experiments. Magyar Mikrobiológiai Társaság Nagygyűlése. 2008. október 15. - 17., Keszthely
- Halász L. J., M. Szathmáry, M. D. Tóth, Zs. Kotroczó, Z. Dinya, S. Balázsy. (2008): Changes in the fatty acid composition of bacillus strains in contaminated soils. Magyar Mikrobiológiai Társaság Nagygyűlése. 2008. október 15. - 17., Keszthely
- Krakomperger Zs., Kotroczó Zs., Koncz G., Papp M., Veres Zs., Tóthmérés B., Tóth J.A. (2008): Egy cseres-tölgyes erdő fa-megújulási dinamikájának vizsgálata. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia. 2008. november 6.-9., Nyíregyháza
- Papp M., Koncz G., Kotroczó Zs., Krakomperger Zs., Tóth J.A. (2008): Egy cseres-tölgyes lágyszárú növényzetének válasza avarmanipulációra. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia. 2008. november 6.-9., Nyíregyháza
- Rácz B., Vallner J., Kotroczó Zs., Dobi L. (2008): A BISEL program alkalmazása a középiskolában a természet védelméért. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia. 2008. november 6.-9., Nyíregyháza
- Koncz G., Papp M., Matus G., Török Péter., Kotroczó Zs., Krakomperger Zs., és Tóthmérés B. (2008): Milyen egy cseres-tölgyes erdő "emlékezete": magkészet vizsgálatok a Síkfőkút Projektben. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia. 2008. november 6.-9., Nyíregyháza

10.4. Egyéb szakcikk

- Tóth D., M., J., L. Halász, Zs. Kotroczó, Gy., Vincze, L., Simon (2008): Effect of cadmium, nickel, copper and zinc on metal uptake of ragweed (*Ambrosia elatior* L.) in pot experiments. Cereal Research Communications Volume 36. Suppl., 619-622.
- Halász L., J., Kotroczó Zs., D. Tóth M., Vincze Gy., N. Boyko, Balázsy S. (2008): Hulladéklerakók talaj mikroorganizmus közösségeinek és enzim aktivitásának vizsgálata a Felső-Tisza árterein. Talajvédelem Különszám, pp. 281-290.
- Tóth D., M., L. Halász J., Kotroczó Zs., Vincze Gy., Simon L., Balázsy S. (2008): A talaj fémszennyezésének hatása a parlagfű (*Ambrosia elatior* L.) fémtartalmára tenyészedényes kísérletben. Talajvédelem Különszám, pp. 227-236.