

## 9. Tematikus csoport: Szénkészlet és talajtermékenység

Koordinátor: Führer Ernő

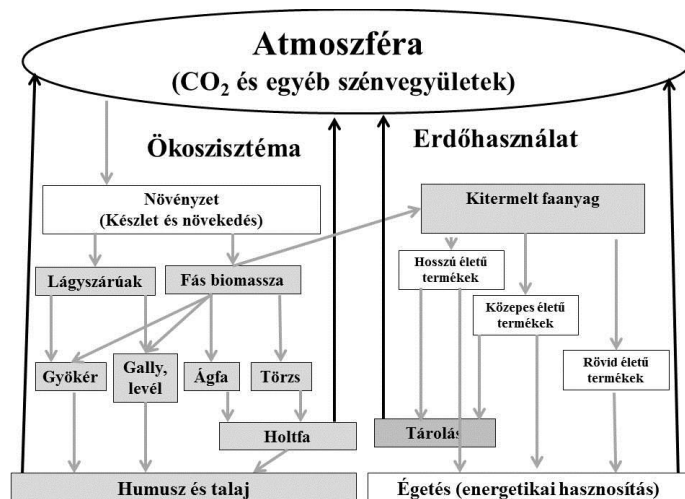
B.3	A talaj szervesanyag-tartalmának (avar, humusz, ásványi talaj) zonalitással összefüggő változása	NAIK ERTI	Führer Ernő
B.4	Erdei ökoszisztémák szénkészletének klímához való változása	NymE EMK	Bidló András
C.1	Az erdők regionális szénlektetésének becslése erdőleltár adatok felhasználásával	NAIK ERTI	Somogyi Zoltán

### Eredmények összefoglalása

Az erdei ökoszisztémák anyagforgalmában kiemelkedő szerepet játszik a szén. A növények a levegő CO<sub>2</sub>-jét felvéve azt szerves anyaggá alakítják át, amely a növények elhalása után a talajra ill. a talajba kerül. Az erdők szénkörforgalma dinamikus kapcsolatban áll a környezettel, ezért azt jelentősen befolyásolják a termőhelyi, ezen belül is a klimatikus tényezők. Az erdei ökoszisztéma számos széntárolót foglal magában, így pl. a faállományt (föld feletti és föld alatti dendromassza), vagy a talajt és annak részeként az avartakarót (9.1 ábra). Magyarországon, az erdő szerves-anyagában megkötött és tartósan tárolt szénkészlet nagyságát és változását először Führer és mtsai (1991) becsülték meg. Majd ezt követően még számos publikáció látott napvilágot (Führer 1994, Führer és Molnár 2003, Führer és Mátyás 2005, Führer és Jagodics 2009, ÁESZ 2005, Buzás 2007, Somogyi és Zamolodchikov 2007, Barcza és mtsai 2008, Juhász és mtsai 2008, Somogyi 2008a,b, 2010, Bidló és mtsai 2011a,b, Juhász és mtsai 2011).

A témacsoportba tartozó témák az erdők egyes tározóinak szénkészletére vonatkozóan adnak különböző megközelítésben számszerű adatokat, egyrészt konkrét erdőrészlet szintű mérések (B.3 és B.4), másrészt modellszámítások alapján (C.1). Amíg a B.3 téma az avar- és humuszszint, valamint a föld alatti dendromassza szénkészletét, addig a B.4 téma az ásványi talaj szénkészletét becsli, a C.1 téma pedig az összes széntároló változását modellezi. A konkrét mérések eredményei többé-kevésbé alátámasztják a modellszámítások eredményeit, néhány ellentmondás feloldására további vizsgálatok szükségesek. Ugyanis a zalai bükkösök föld feletti és föld alatti biomasszájában tárolt szénmennyiség a modell alapján alul-, míg az avar széntartalma felülbecsült. A talaj egyes rétegeinek szénkészlete megfelelő értékű.

A modellezés eredményei mutatják, hogy 2100-ra a föld feletti biomassza hektáronkénti szénkészlete 42 %-kal lesz kevesebb annál, mint ami változatlan klímaviszonyok esetén lenne. A bükk fafajt ezért minél előbb érdemes lesz lecserélni kocsánytalan tölgyre, vagy cserre. Ez a javaslat valamennyi fatermési osztályra vonatkozik. A hosszú életkorú bükk esetében a döntés elsősorban a felújításkor történik. Ez módosulhat, ha felújításkor elegyes erdő keletkezik, és így későbbre tolható annak eldöntése, hogy mely fafaj termesztése folytatható a jövőben is.



9.1 ábra: Erdei ökoszisztémák széntárolói (A szürke nyíl mutatja az egyik „tárolóból” a másikba áramlást, a fekete nyíl a szén-dioxid légkörbe kerülését)

### B.3 A talaj szervesanyag-tartalmának (avar, humusz, ásványi talaj) zonalitással összefüggő változása

Führer Ernő / NAIK ERTI

#### A kutatás módszerének rövid ismertetése:

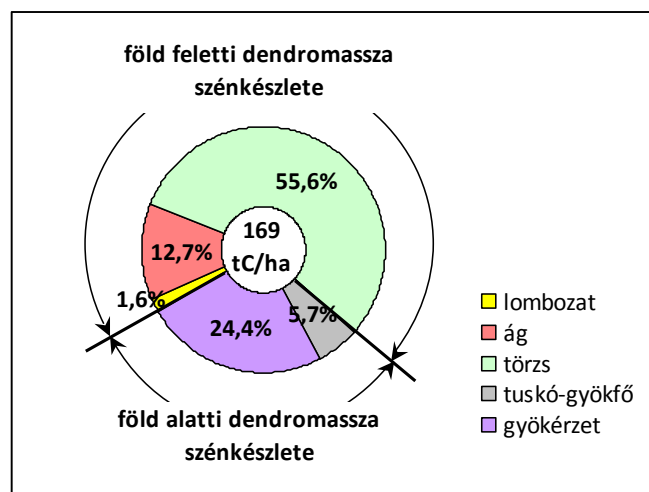
**Ad)a.** A kutatás során a Gödöllői-dombság erdészeti tájban, Valkó közelében tipikus kocsánytalan tölgyes ill. cseres klímában található cseres faállomány szervesanyag-mennyiségét határoztuk meg kompartmentek (levél, hajtás, ágak, törzs, gyökér) szerinti bontásban, majd laboratóriumi vizsgálatokkal mértük azok elemi szén és nitrogéntartalmát. Az így kapott eredményeket a vizsgált állomány egy hektárjára vonatkoztatva értékeltük. Ezután a mért adatokat összehasonlítottuk más klímában tenyésző klímajelző fafajok hasonló mérési eredményeivel (Führer és Jagodics 2009; Marjanović és mtsai 2011). Összefüggést kerestünk a föld feletti és a föld alatti dendromassza aránya és a klíma között. Egy összetett függvényt alkalmaztunk, mely a dendromassza föld feletti és föld alatti szénkészletének arányát (klímafüggő arányszám) adja meg a FAI függvényében. A FAI értékeket és a hozzá tartozó arányszámokat táblázatos formában is megadtuk. Ezzel a módszerrel az erdőtervi élőfakészletben tárolt szén mennyiségéből számíthatjuk a föld alatti dendromassza (gyökérzet, tuskó) szénkészletét, továbbá amennyiben a föld feletti dendromassza (élőfakészlet) tömege a klímaszenáriók szerint változni fog, úgy a kifejlesztett függvény segítségével számítható a módosuló földalatti dendromassza szénkészletének nagysága.

**Ad)b.** Az erdei ökoszisztémákban a fák elhalt levelei és ágai, valamint egyéb részei évente a talajra hullva avartakarót képeznek. Az ebből képződő humusz és a belőle felszabaduló tápanyagok az erdőtalaj termékenységének a forrása. Az egyes faállományok humuszszintje jelentős szénkészlettel rendelkezik, aminek nagyságát az eltérő klímaviszonyok befolyásolják (meleg-nedves viszonyok a humuszlebomlást elősegítik). Ezért növekvő tengerszint feletti magasságtól függő különböző klimatikus feltételek mellett határoztuk meg a humusz szénkészletét annak érdekében, hogy a várható klímaváltozási szenáriók hatását becsülni tudjunk. Az avar- és humuszvizsgálatok során a kijelölt faállományokban 5-5 ponton vettünk mintákat egy 50x50 centiméteres keret segítségével. A mintavételek 2006-ban és 2010-ben lombhul-

lás után, 2013-ban lombhullás előtt és után történtek. A mintavételezés során elkülönítettük a talaj felszínéről begyűjtött bomlatlan avart (L), a már bomlásban lévő avart (F) és az intenzíven bomló (H), túlnyomórészt finom anyagokat tartalmazó szerves-anyagot, a humuszt, ami sok esetben keveredik a felső ásványi talajréteggel. A minták kémiai összetételének elemzése során meghatároztuk azok szén- és nitrogéntartalmát, valamint a legfontosabb tápanyagok mennyiségét. A szén és nitrogén arányával jellemezni tudjuk a humusz típusát (nyers humusz, televény, szelíd humusz), ami viszont kihat a termőhely termőképességére, azaz az állományok fatermésére, ill. növekedési viszonyaira. Az egyes szintek (L, F, H) mennyiségi adatait a tengerszint feletti magasság szerint értékelve hoztuk összefüggésbe a klímával.

### A kutatás konkrét eredményeinek összefoglalása:

**Ad)a/1.** A vizsgált cseres ökoszisztéma föld feletti szervesanyag-mennyisége szénkészletben kifejezve hektáronként összesen 118 tonna volt (9.2 ábra). A cserjék szerves-anyagát is figyelembe véve a lombzatban található szén tömege ebből hektáronként 3 t, az ágszerkezetben pedig 21 t széntömeg tárolódik. A dendromasszát tekintve a faállomány törzsei a legnagyobb széntárolók, ebben a kompartmentben egy hektárra vetítve 94 t szén halmozódott fel. Összességében tehát a föld feletti szénkészlet 2 %-a a lombzatban, 18 %-a az ágszerkezetben és 80 %-a a törzsekben található. Az ökoszisztéma föld alatti szénkészlete a föld felettinél kisebb, 51 t/ha. Ennek 20 %-át a tuskó és gyökfő tömege teszi ki, 80 %-át pedig a termőréteget sűrűn behálózó, különböző átmérőcsoportba sorolható gyökérszövet adja. A vizsgált cseres ökoszisztéma föld alatti és föld feletti dendromasszájában összességében tehát 169 t az egy hektárra számított szénkészlet. Ennek 30 %-a a föld alatti dendromasszában, 70 %-a pedig a föld felettiben található.

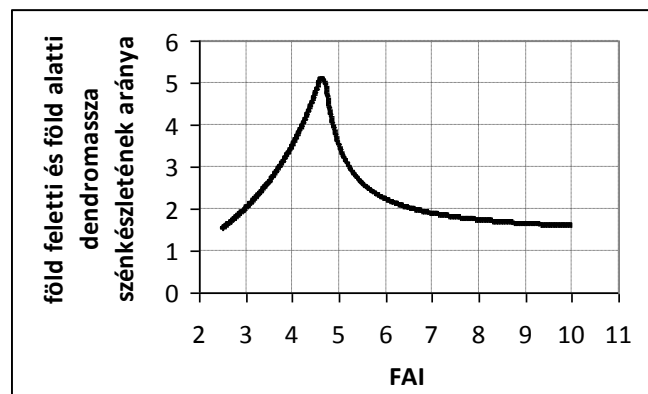


9.2 ábra: A cseres faállomány szénkészletének megoszlása a kompartmentek szerint

**Ad)a/2.** Azonos talaj- és hidrológiai adottságok mellett a termőképességet, azaz a földfeletti és a földalatti dendromassza – fafajtól független – szénegyenértékben kifejezett nagyságát a klíma határozza meg. A különböző erdei ökoszisztémák fái a rendelkezésükre álló termőréteget azonos mértékben, jól behálózzák, a klimatikus adottságoktól függően azonban az élőfakészletükben tárolt szénkészlet jelentősen különbözik egymástól. Amennyiben az élőfakészlet széntartalmát a gyökér, a gyökfő és a tuskó együttes széntartalmához viszonyítjuk, akkor egyértelműen látszik, hogy a föld alatti dendromassza egységnyi tömegű szénkész-

letére egy a klímától függő föld feletti élőfakészleti szénkészlet tartozik. Más szóval, kedvezőbb klímaadottságok mellett arányaiban kisebb tömegű föld alatti dendromassza szükséges a föld feletti dendromassza megtermeléséhez. Ez az eredmény arra enged következtetni, hogy a klímában bekövetkező negatív tendenciák várhatóan a föld feletti dendromassza nagyságát, összességben pedig a faállományok élőfakészletét fogják csökkenteni.

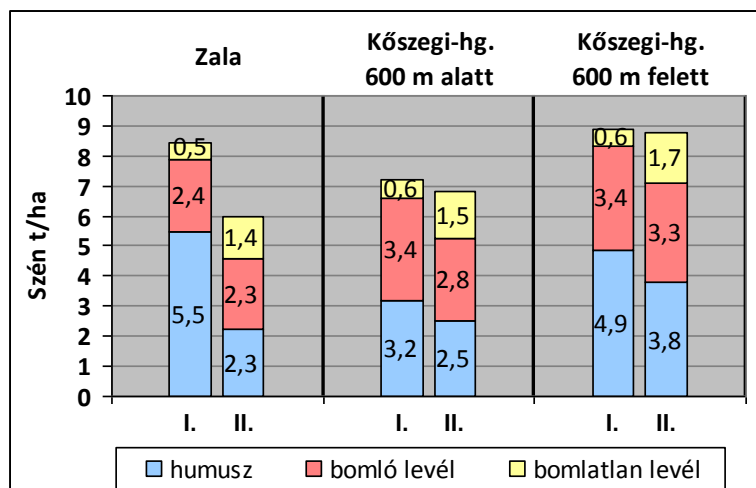
Ha tehát ismerjük a föld feletti dendromassza, azaz az élőfakészlet erdőtervi nagyságát, az alapján pedig a benne tárolt szén mennyiségét, akkor a klímafüggő (fafajtól független) arányszámmal osztva számítható a föld alatti dendromasszában tárolt szénkészlet nagysága is. A konkrét mérési eredmények és egyéb elméleti megfontolások alapján kidolgoztuk azt az elméleti összetett görbét (9.3 ábra), aminek pontjai az erdészeti szárazsági index (FAI) függvényében megfelelően közelítik a föld feletti és a föld alatti dendromassza szénkészletének viszonyát kifejező klímafüggő arányszámokat. Az ideális körülmények között elért maximális aránytól, amelyet 4,70 és 4,80 FAI érték között vesz fel a görbe, balra és jobbra is egy-egy exponenciális jellegű csökkenést feltételezünk, ahol az előbbi egy gyorsabb, utóbbi egy lassabb ütemű csökkenő jelleggel bír. 2,5 alatti és 10 feletti átlagos FAI értékkel a magyarországi viszonyok között gyakorlatilag nincs értelme foglalkozni. Ennek megfelelően az élőfakészlet szénkészletéből számszerű adatok segítségével becsülhetjük a föld alatti dendromassza aktuális nagyságát, és amennyiben az élőfakészlet változni fog, akkor annak várható értékét is.



9.3 ábra: A föld feletti és föld alatti dendromassza szénkészletének aránya a FAI függvényében

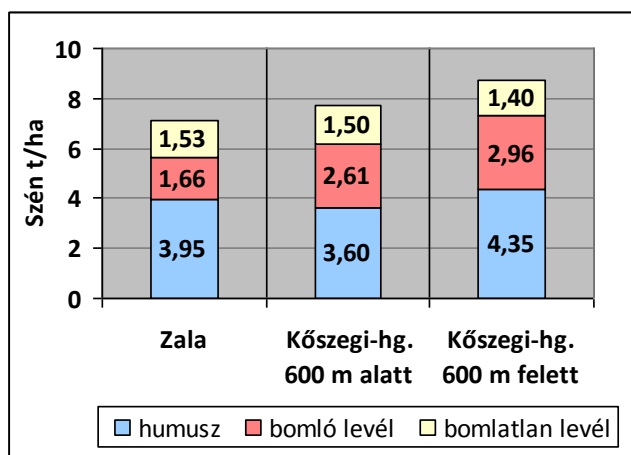
**Adj/1.** A klímaváltozásra leggyorsabban az avar- és humuszszint reagál, hiszen az eddigi állapot, a felhalmozódás és lebomlás egyensúlya megbomlik, és mindez az erdei ökoszisztémák anyagforgalmára is ki fog hatni. Az avar- és humuszvizsgálatokat zalai (300 tszf. magasság alatti) és kőszegi-hegységi (600 tszf. magasság alatti és a feletti) bükkösökben végeztük el. A három csoportra jellemző klímaadatok mutatják, hogy a zalai területek az EQ index alapján a bükk számára határhelyzetűek (EQ=28), mégpedig nem a csapadék, hanem a meleg hőmérsékletű július miatt, és a FAI index (FAI=5,28) is már gyertyános-tölgyes klímát jelez. A Kőszegi-hegységben fekvő területek egyértelműen bükkös klímájúak, hűvösebbek és nedvebbek, mint a zalai kísérleti parcellák. A dombvidéki jellegű (zalai) táj csapadékviszonyai főleg tavasszal és nyáron térnek el a hegyvidéki jellegű (kőszegi) táj csapadékviszonyaitól, de a hőmérsékleti eltérések is tavasszal és nyáron nagyobbak, mint ősszel és télen. Azaz míg Zalához viszonyítva az alacsonyabban fekvő kőszegi területeken a tavaszi és a nyári csapadékösszegek 21 és 32 %-kal nagyobbak, addig ősszel és télen csak 12 és 3 %-kal több a csapadék.

**Adj/b/2.** Az avar- és humuszvizsgálatokat 2013 őszén kétszer végeztük el. Először szeptember végén a lombhullást megelőzően, majd pedig azt követően december elején. Átlagban azt mondhatjuk, hogy az ép levél, a bomló levél és a humusz széntartalma együttesen 6 és 9 t/ha között mozog (9.4 ábra). A két mérési időpontban gyűjtött minták eredményei közti különbségek különösen a zalai területeken voltak szembetűnők. Amíg a hegyvidék magasabb zónájában a három szint összes szénkészlete a lombhullás után 1 %-kal, az alacsonyabban fekvő területeken pedig 6 %-kal volt alacsonyabb, mint a lombhullás előtt, addig a zalai dombvidéki területeken már 29 %-kal. Az nyilvánvaló, hogy az ép levél szénmennyisége a frissen lehulló levélzet miatt mindhárom területcsoporton belül növekedett. A humusz széntartalmának csökkenése volt a legjellemzőbb, de amíg a hegyvidéken a humusz leépülés mértéke csak 21-22 %-os volt, addig Zalában több, mint 50 %-os. Ha az okokat keressük, akkor azt mondhatjuk, hogy 2013 őszén a klíma jelentősen eltért a sok éves átlagtól, az átlaghőmérséklet 1-2°C-kal, a csapadék pedig 30-40 %-kal volt annál magasabb. Vagyis a melegebb és nedvesebb ősz a már bomló avartakaró és a humuszsint lebomlását egyaránt elősegíti, ill. gyorsítja.



9.4 ábra: A 2013 őszén a lombhullást megelőzően (I) és azt követően (II) gyűjtött minták szénmennyisége

**Adj/b/3.** Lombhullást követő mintavételekre a kísérleti parcellákban 2006-ban és 2010-ben is sor került. A három időpontban végzett vizsgálatok átlageredményei mutatják (9.5 ábra), hogy Zalában a legkisebb a három szint együttes szénkészlete (7,14 t/ha), ezt követik a Kőszegi-hegység alacsonyabban fekvő (7,71 t/ha), majd pedig a magasabban fekvő területeinek értékei (8,71 t/ha). A humuszsztinben tárolt szén mennyisége a legnagyobb tétel az összes szénkészleten belül, Zalában több, mint 50 %, a Kőszegi-hegységben pedig 50 % alatti.



9.5 ábra: Az avartakaróban és a humuszsztintben tárolt szénmennyiség 2006-ban, 2010-ben és 2013-ban szedett minták átlagában

#### B.4 Erdei ökoszisztémák szénkészletének klímfüggő változása

Bidló András / NymE EMK

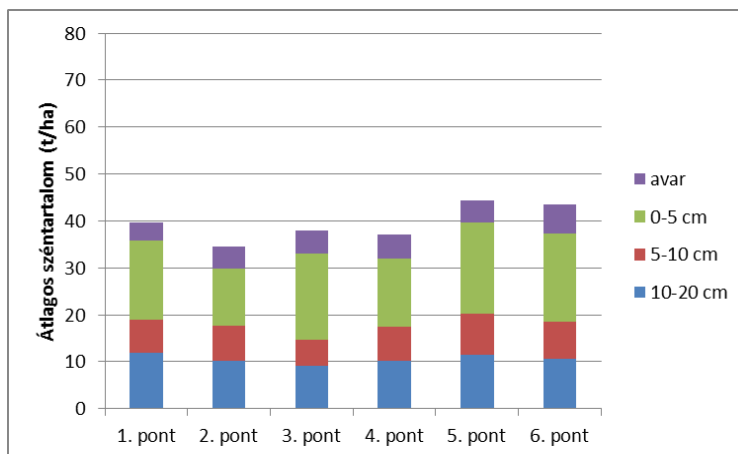
##### A kutatás módszerének rövid ismertetése:

A téma célkitűzésének megfelelően különböző klímájú területek eltérő faállományokban a talaj felső 20-30 cm-es, illetve egyes esetekben felső 110 cm-es rétegéből Vér-féle hengerrel bolygatatlan talajmintákat vettünk. Ezen mintáknak laboratóriumban meghatároztuk a térfogattömegét és szerves széntartalmát. A terepi és a laboratóriumi vizsgálatok alapján számítottuk az egyes területek talajainak (beleértve az avartakaró) szénkészletét.

##### A kutatás konkrét eredményeinek összefoglalása:

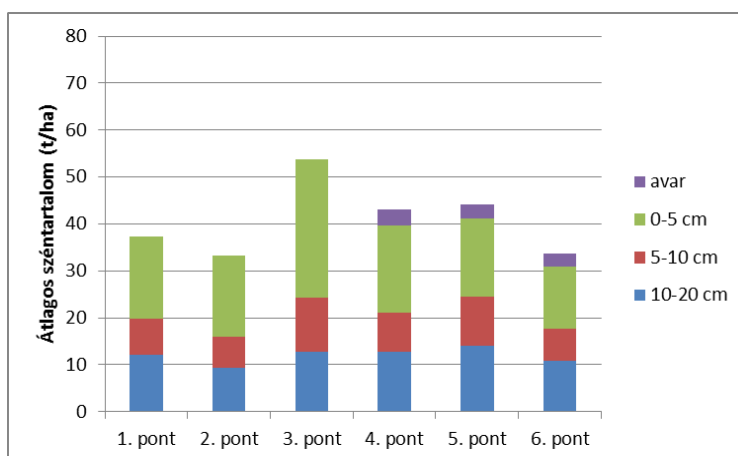
**Ad)1.** Zala megye területén Szentpéterföldre, Oltárc és Tornyiszentmiklós bükköseiben, de további helyszíneken is vizsgáltuk a faállományok talajainak szerves szénkészletét. Az összehasonlíthatóság érdekében, elsősorban a felső 20, illetve 30 cm-es réteg, illetve az avartakaró szénkészletét határoztuk meg.

*Szentpéterföldre* területén hat pontban vettünk talajmintákat (9.6 ábra). Az átlagos szerves széntartalom 39,5 t/ha, a legmagasabb 44,4 t/ha, a legalacsonyabb pedig 34,5 t/ha volt. Az avar átlagos széntartalma 4,9 t/ha, a 0-5 cm szint átlagos szerves széntartalma 16,7 t/ha, az 5-10 cm rétegé 7,3 t/ha volt. Az egyes pontok széntartalmában nagyobb különbségek nem adódtak.



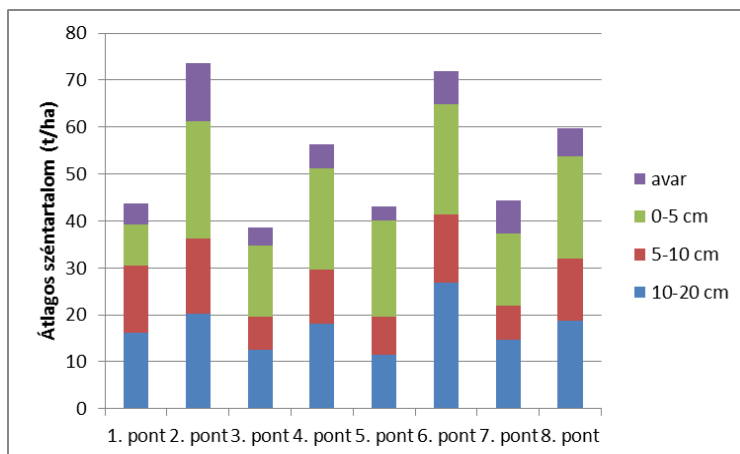
9.6 ábra: Szentpéterfőlde községhatárban az avar- és talajrétegek szénkészlete (C t/ha)

Oltárc községhatárban szintén hat pontban vettünk mintát (9.7 ábra). A felső 20 cm-es rétegből vett minták átlagos széntartalma 42,4 t/ha volt. A legmagasabb széntartalom 53,7 t/ha, a legalacsonyabb pedig 33,3 t/ha volt. Az avartakaróban átlagosan 3,1 t/ha szerves szén volt, ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy csak három pontban tudtunk az avartakaróból mintákat gyűjteni. A 0-5 cm-es rétegben 18,8 t/ha, az 5-10 cm-es rétegben 8,5 t/ha, míg a 10-20 cm-es rétegben 12,0 t/ha volt az átlagos széntartalom. Az eredmények nagyban hasonlítanak Szentpéterfőldei mintákhoz, ennek oka a termőhelyi feltételek, ill. az állományok hasonlóságában keresendő.



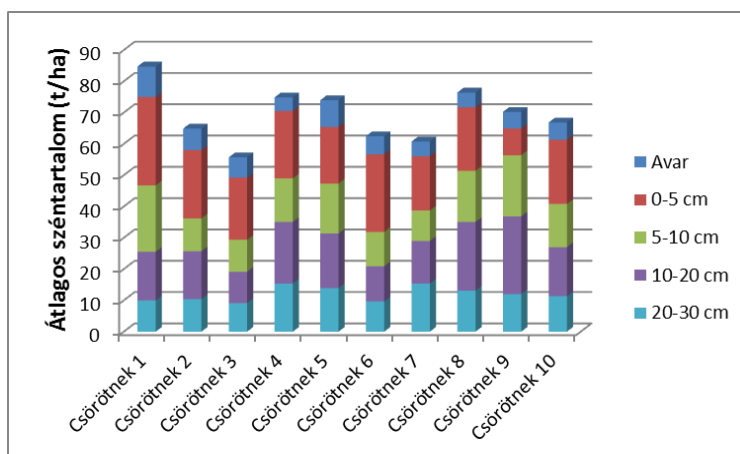
9.7 ábra: Oltárc községhatárban az avar- és talajrétegek szénkészlete (C t/ha)

Tornyiszentmiklós községhatárban 8 pontban vettünk mintát bükkös állományokban (9.8 ábra). A minták átlagos szerves szénkészlete 53,9 t/ha volt. A minimális érték 38,6 t/ha, a maximális érték 73,6 t/ha volt. Az avartakaróban tárolt szén mennyisége 6,1 t/ha, a 0-5 cm-es rétegben 18,9 t/ha, az 5-10 cm-es rétegben 11,6 t/ha, míg a 10-20 cm-es rétegben 17,3 t/ha volt. További vizsgálatot igényel annak megállapítása, hogy az egyes pontok között miért volt ilyen nagy különbség.



9.8 ábra: Toronyzentmiklós községhatárban az avar- és talajrétegek szénkészlete (C t/ha)

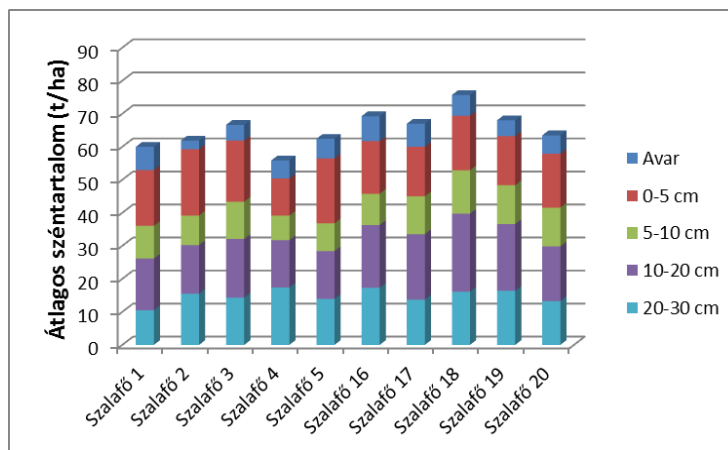
Csörötnek községhatárban 10 pontban vettünk mintát (9.9 ábra). A területen az átlagos széntartalom 69,1 t/ha, a legmagasabb széntartalom 84,8 t/ha, a legalacsonyabb pedig 55,7 t/ha volt. Az egyes szinteket vizsgálva az avar átlagos széntartalma 6,2 t/ha, a 0-5 cm-es rétegé 20,1 t/ha, az 5-10 cm-esé 14,2 t/ha, a 10-20 cm-es réteg átlagos széntartalma 16,5 t/ha, míg a 20-30 cm-es rétegé 12,1 t/ha volt. Az eredményekből jól látható, hogy a széntartalom fentről lefelé csökken. Ugyanakkor az egyes mintavételi pontok között nagyobb különbségek jelenhetnek meg, ami felhívja a figyelmet a talajtulajdonságok térbeli mozaikosságára.



9.9 ábra: Csörötnek községhatárban az avar- és talajrétegek szénkészlete (C t/ha)

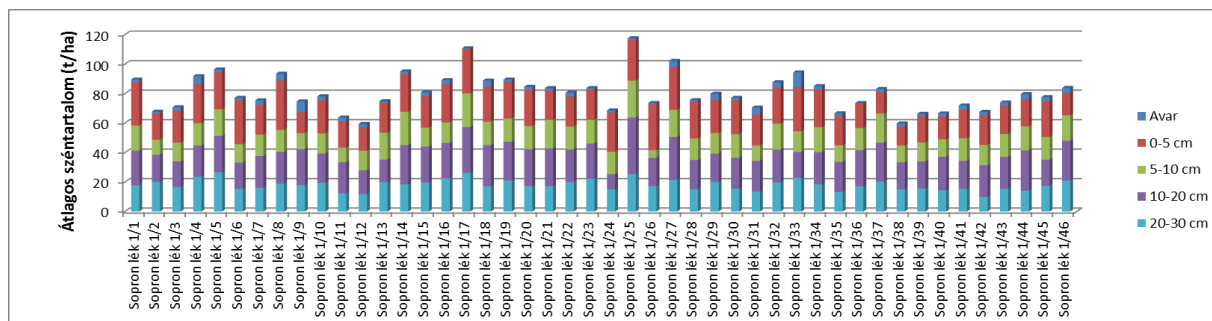
A Szalafő községhatárban található Óserdő erdőrezervátum területén is vizsgáltuk az állomány talajában található szén mennyiségét (9.10 ábra). Az területen található erdő több fafajjal (erdei fenyő, lucfenyő, bükk, nyír, gyertyán, stb.) jellemezhető. A területen vett minták átlagos széntartalma 65,0 t/ha volt. Az egyes pontok között nem volt jelentős eltérés, így a legmagasabb széntartalom 75,7 t/ha, a legalacsonyabb pedig 55,9 t/ha volt. Az avartakaróban átlagos 5,7 t/ha, a 0-5 cm-es rétegben 16,5 t/ha, az 5-10 cm-es rétegben 10,4 t/ha, a 10-20 cm-es rétegben 17,6 t/ha, míg a 20-30 cm-es rétegben 14,9 t/ha mennyiségű szén volt.





9.10 ábra: Szalafő községhatárban az avar- és talajrétegek szénkészlete (C t/ha)

A soproni Dalos-hegyen egy kocsánytalan tölgyes állományban vettünk talajmintákat. A területen nyitott 6 talajszelvény alapján megállapítható volt, hogy a földtani és a klimatikus hatások eredményeképpen a barna erdőtalajokhoz tartozó agyagbemosódásos barna erdőtalaj alakult ki (Bidló et al. 2014b). Az állományban három egymáshoz közel álló területen vettük a mintákat, ezek eredményét külön-külön értékeljük. A 1. számú területen vett 46 pontban, az átlagos széntartalom 80,5 t/ha volt (9.11 ábra). A legnagyobb érték 117,6 t/ha, a legalacsonyabb pedig 59,5 t/ha. Az avar átlagos széntartalma, viszonylag alacsony 2,6 t/ha. Jelentősebb volt viszont, a felső 5 cm-es réteg széntartalma (22,4 t/ha). Az ez alatt fekvő 5-10 cm-es rétegben 15,1 t/ha szenet mértünk. A 10-20 cm-es réteg átlagos széntartalma 22,3 t/ha, a 20-30 cm-es rétegé pedig 18,1 t/ha volt.



9.11 ábra: Sopron Dalos-hegy 1. számú terület eredményei

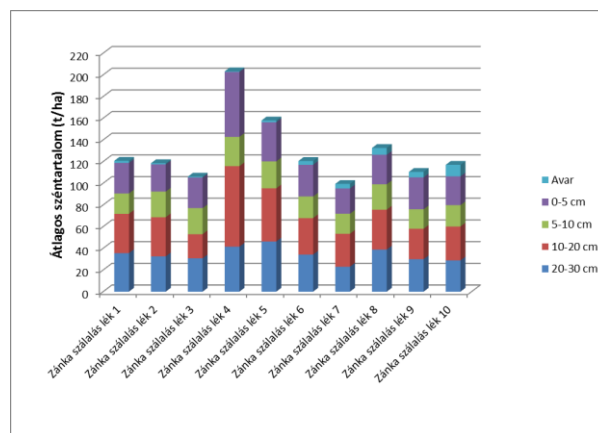
Hasonló eredményeket kaptunk a 2. számú területen, ahol az átlagos széntartalom nagysága 71,4 t/ha (maximum: 92,3 t/ha, minimum: 44,0 t/ha). Az avartakaróban 2,6 t, a 0-5 cm-es rétegben 20,6 t, az 5-10 cm-es rétegben 14,0 t, a 10-20 cm-es rétegben 18,5 t, míg a 20-30 cm-es rétegben 15,8 t volt hektáronként a tárolt szénkészlet nagysága.

A 3. számú terület adatai is hasonló értéket adtak, az átlagos széntartalom 77,6 t hektáronként, a legmagasabb érték 116,4 t/ha, a legalacsonyabb pedig 52,0 t/ha volt. Az avar átlagos széntartalma 3,2 t, a 0-5 cm-es rétegé 20,6 t, az 5-10 cm-esé 14,4 t, a 10-20 cm-esé 21,8 t, míg 20-30 cm között 17,7 t szerves szenet mértünk hektáronként.

Mivel Sopronban viszonylag sok mintát vettünk, közel azonos körülmények között érdemes ebből néhány következtetést levonni. Megállapítható, hogy az avar és a talajminták szerves széntartalmának nagy a szórása. Még egy homogénnek tűnő faállományban is, a talajtulajdonságok igen mozaikosak. Ezért ahhoz, hogy megbízható eredményeket kapjunk több, pár-

huzamos mérésre van szükségünk. Ugyanakkor a mozaikosság ellenére tendenciák jellemzésére már pár mérés is alkalmas.

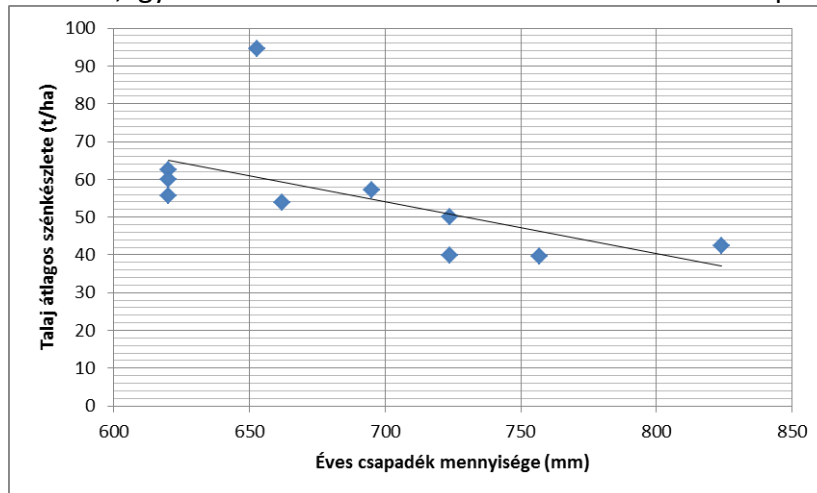
Az eddigi mérőhelyektől eltérő klímájú Zánka községhatárban 10 pontban vizsgáltuk a talaj szénkészletét (9.12 ábra). A területen végzett termőhelyfeltárás alapján (Bidló et al. 2014a) a száraz tölgyes alatt homokkövön kialakult barnaföld található. A területen az átlagos széntartalom 128,6 t/ha volt. Nagy különbséget tapasztaltunk a legmagasabb (203,3 t/ha) és a legalacsonyabb (99,4 t/ha) értékek között. Ugyanakkor a legtöbb minta értéke az átlag körüli volt. Az avar átlagos széntartalma 3,6 t/ha, a 0-5 cm-es rétege 31,3 t/ha, az 5-10 cm-es rétege 21,8 t/ha, a 10-20 cm-esé 37,8 t/ha, míg a 20-30 cm-es rétege 34,1 t/ha volt. A vizsgált területek közül ebben a száraz tölgyesben találtuk a legmagasabb széntartalmat. Véleményünk szerint ennek oka az, hogy a talaj viszonylag gyorsan kiszárad, így a lebontási folyamatok az év egy részében lelassulnak. Ez teszi lehetővé, hogy a viszonylag kis biomassza termelés ellenére nagy mennyiségben halmozódjon fel szén a talajban.



9.12 ábra: A talaj felső rétegének széntartalma Zánka községhatárban

Vizsgálataink megmutatták, hogy az erdei ökoszisztémák talajának széntartalma elérheti, egyes esetekben meghaladhatja a föld feletti dendromassza szervesanyagában tárolt szén mennyiségét.

**Ad)2.** Szentpéterfölde, Oltárc, Tornyiszentmiklós, Csörötnek, Szalafő, Sopron-1,-2 és 3, valamint Zánka községben végzett vizsgálataink alapján elemeztük, hogy milyen összefüggés van a talaj felső 20 cm-es rétegeinek szerves szénkészlete és a klimatikus viszonyok között. Megállapítható volt, hogy az egyes területek évi átlaghőmérséklete alig befolyásolta a talaj szervesanyagának szén-mennyiségét. Szorosabb kapcsolatot adódott az évi csapadék mennyiségével (9.13 ábra). A csapadék növekedésével csökken a talajokban tárolt szerves szén. Mivel a több csapadék általában nagyobb növekedést eredményez, így azzal számolhatunk, hogy nagyobb föld feletti biomasszához, sok esetben kisebb földalatti biomassza társul. Ennek oka, véleményünk szerint az, hogy a szárazabb területeken csökken a talajokban tárolt szerves szén lebomlása, így az felhalmozódik a nedvesebb területekhez képest.



9.13 ábra: Összefüggés az éves csapadék mennyisége és a talajban tárolt szerves szén mennyiség között

Természetes, hogy a viszonylag kisszámú vizsgálat miatt a fenti kapcsolat inkább hipotetikus, de mindenképpen felhívja a figyelmet arra, hogy a klímaváltozás hatására bekövetkező növekedés csökkenése nem biztos, hogy együtt jár az erdei ökoszisztéma szénkészletének drasztikus csökkenésével.

### C.1a Az erdők regionális szénlekötésének becslése erdőleltár adatok felhasználásával

Somogyi Zoltán / NAIK ERTI

#### A kutatás módszerének rövid ismertetése:

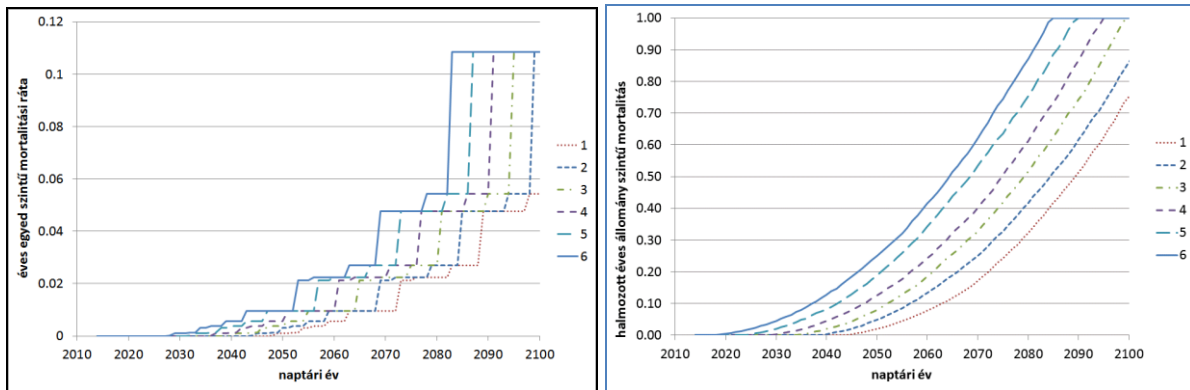
A hazai erdők szénlekötését csaknem tíz éve nemzetközileg elfogadott módszerek (Gytarsky és mtsai 2003, Eggleston és mtsai 2006, IPCC 2006) hazai adaptációja (Somogyi 2008a, 2010) alapján becsülik. A becslés saját fejlesztésű, és a hivatkozott nemzetközi módszertanra épülő szénkörforgalmi modellel, az un. **CASMOFOR modellel** ([www.scientia.hu/casmofofor](http://www.scientia.hu/casmofofor)) történt bükk fafajra a fenti folyamatok becslése.

A bükkös erdőrészek területének nagyságát a zalai erdőállomány-adattárból válogattuk le a modellezéshez szükséges kor, elegyarány, termőhelyi típusok és fatermési osztályok szerinti megoszlásban.

A különböző mértékű, a jövőben lezajló *fapusztulást* közvetlenül nem lehet modellezni, hanem feltételezésekkel kellett élni, mégpedig a következő kategóriákban:

- a korábbinál nagyobb mértékű egyedenkénti mortalitás anélkül, hogy az a faállomány létét veszélyeztetné (9.14 ábra bal oldali grafikon);

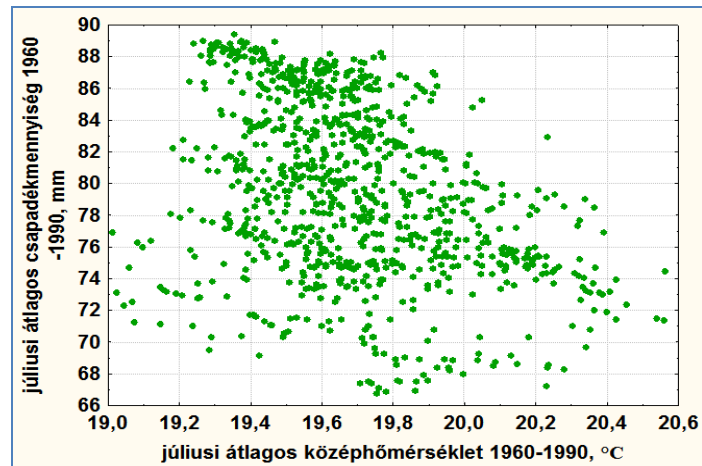
- kor-független, felújítási kényszert eredményező mortalitás (9.14 ábra jobb oldali grafikon).



9.14 ábra. Éves egyedszintű többlet-mortalitás (bal oldal) és halmozott állomány-szintű mortalitás (jobb oldal)

A kumulatív értékek a bükk potenciális területvesztésére nézve Móricz és mtsai (2013) által elvégzett elemzésre építve, exponenciális függvény szerint nőnek, majd azokból éves értékeket számoltunk.

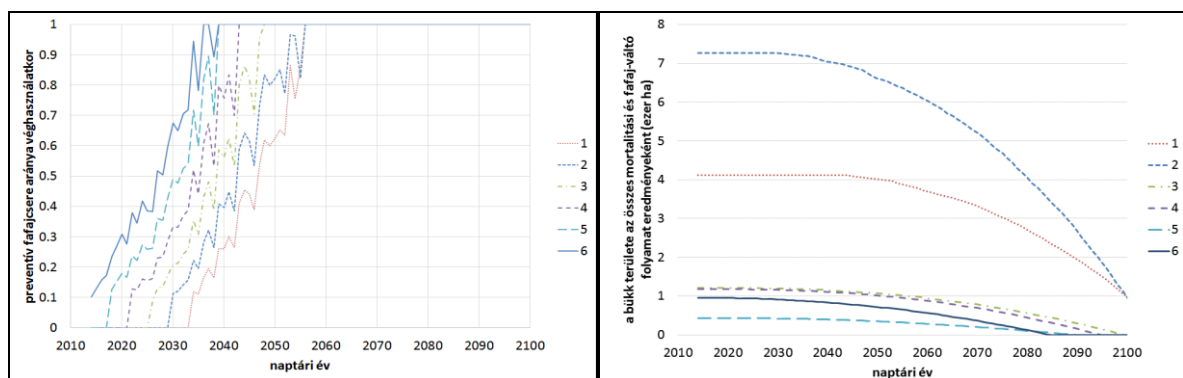
A fák jövőbeli növekedésére vonatkozó becslések alapja „a klímaváltozás előtti időkre” érvényes fatermési táblák. A jelen projekt első évében Veperdi Gábor levezette fatermési összefüggések alapján az országos modellt igazítottuk a zalai körülményekhez. Ezt a modellt a várható klímaváltozás REMO modell Jacob és mtsai (2007) által publikált scenárió alapján módosítottuk. E scenárió szerint a várható hőmérséklet-emelkedés (kb. 3,7 °C) sokkal nagyobb, mint a bükk által elfoglalt területen jelenleg mérhető hőmérsékleti tartomány szélessége (kb. 1,5 °C; 9.15 ábra). Ezért nem a bükknek a Zalában megfigyelhető, közelmúlra érvényes hőmérséklet-növekedés összefüggését (hasonló vonatkozik a csapadékra is), hanem a Somogyi (2008b) által a bükk különböző klímátípusaira levezetett növekedési görbéket használtuk. Ezek közül a bükkös és cseres-tölgyes klímátípusra érvényes átlagmagasság-kor görbék között 80 éves referencia-korban 7 m-es különbség van a bükkös klímátípus javára. A fenti 3,7 °C hőmérséklet-emelkedés 2100-ig valamivel több, mint az említett két klímátípus átlaghőmérséklete közötti különbség. Ha e különbségtől eltekintünk, és feltételezzük, hogy a bükkös klímátípusból 2100-ra majd cseres-tölgyes lesz, akkor a fenti különbséget véve a hőmérséklet-emelkedés (potenciálisan) éves szinten kb. 0,1 m átlagmagasság csökkenéssel egyenértékű. Ha azonban figyelembe vesszük azt, hogy a fák a hőmérséklet-emelkedés hatására legalábbis egy ideig gyorsabban nőhetnek (Somogyi 2008b), és hogy a jelenlegi előrejelzések szerint a csapadék mennyisége nyáron ugyan csökken majd, de az egész éves összeget tekintve nem, akkor reálisabbnak tűnik a fenti növekedés-lassulás mértékét kisebbre: a számolt érték felére (0,05 m évente) és lineárisnak, a térfogat-növedéket pedig ezzel azonos mértékűnek venni.



9.15 ábra. A zalai bükk állományok elhelyezkedése a középhőmérséklet-csapadék térben

Feltételeztük még, hogy a *gyökér / föld feletti biomassza aránya* olyan mértékben nő, ahogyan a termőhely „romlik” (vagyis ahogyan a fanövededés sebessége csökken), és az arány a fanövedekési sebesség jövőbeli változásával arányosan romlik tovább, ill. hogy a *holt szervesanyag lebomlási sebessége* előbb nő, majd csökken.

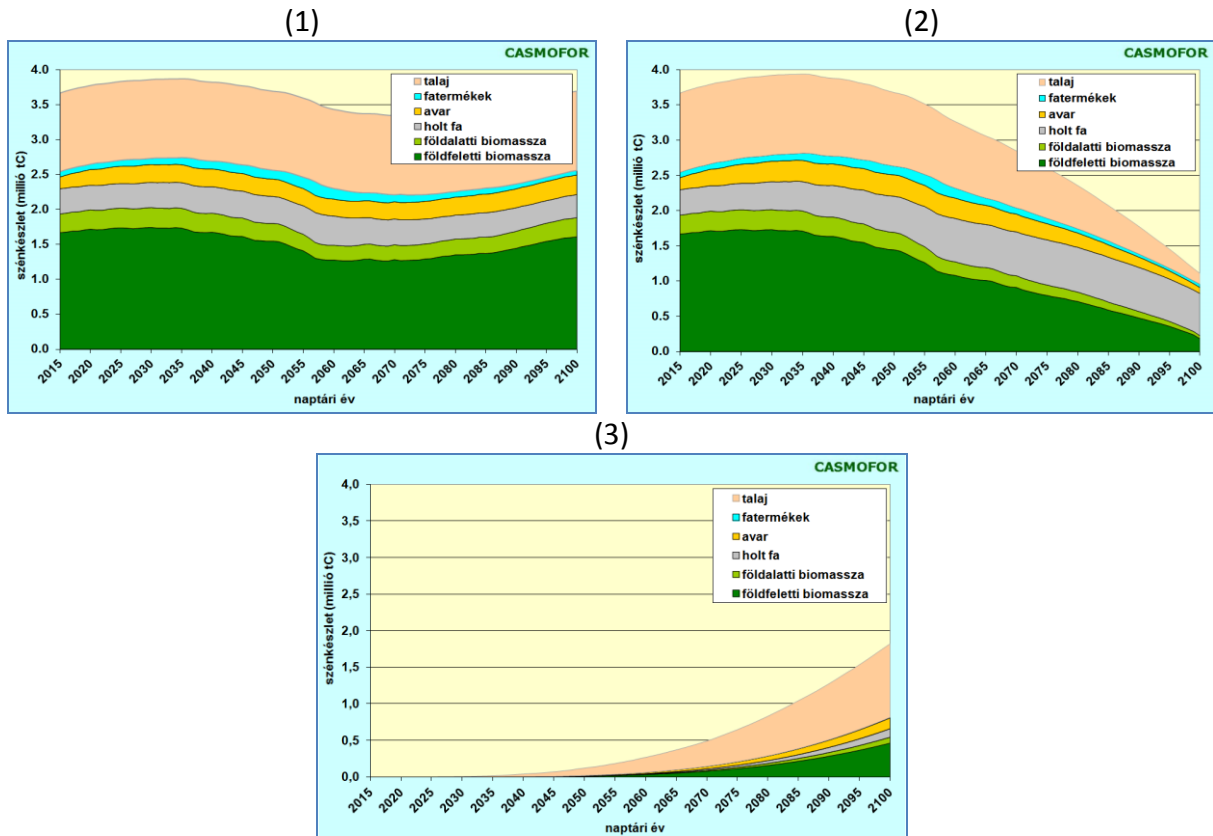
Az erdőpusztulások kezelhetők a szabványos erdőnevelési modellekből adódó gyérítési fanyagként egészen addig a mértékig, amíg a mortalitás mértéke el nem éri a normál esetben alkalmazott gyérítés mértékét. Amint azonban nő a mortalitás mértéke, további gyérítésekre is szükség lesz. Mindkét esetben a CASMOFOR modell az erdőből kikerülő fát automatikusan nem a „fatermékek” széntárolóba, hanem a „holt fa” széntárolóba teszi át. Ha azonban a sűrűség-független mortalitás mértéke meghaladja a potenciális gyérítés mértékét, akkor a többletet más módszerrel kell a biomasszából levonni és a „holt fa” széntárolóba áthelyezni. Az erdőpusztulást okozó mortalitás esetén a CASMOFOR szintén automatikusan kiszámítja a mortalitás és a fakitermelés nagyságát. Feltételeztük azt is, hogy – ahogyan azt a tartamos fagazdálkodás megköveteli – egy véghasználat után megtörténik a felújítás, mégpedig amíg lehet, ugyanazzal a fafajjal: a bükkal. A klímaváltozás azonban ezt a gyakorlatot is felülírhatja, és azt eredményezheti, hogy egyes fafajokat már nem tudunk megtartani és felújítani korábbi termőhelyükön. Az erdőgazdálkodók prevenciós célból elkezdhetik más fafajjal (kocsánytalan tölgygel) lecserélni a bükköt („preventív fafajcsere”, 9.16a ábra), és a pusztulással érintett, felújítandó erdőterületeket is kocsánytalan tölgygel, és nem bükkal újítják fel. A feltételezett preventív és a szükséges fafajcsere miatt a bükk területe gyakorlatilag nullára csökken (9.16b ábra).



9.16 ábra. (a) A preventív fafajcsere feltételezett mértéke; (b) a bükk területének alakulása az egyes fatermési osztályokban.

## A kutatás konkrét eredményeinek összefoglalása:

A modellezési eredmények szerint (9.17 ábra): (1) a „klímaváltozás nélküli” alapszenárió hullámzó szénkészleteket mutat a korosztály-eloszlás folyamatos változása miatt; (2) a bükk által elfoglalt területek fapusztulások és mortalitás miatti csökkenése eredményeként csökken a fakészlet; (3) a fajaváltás miatt nő az eredeti bükk területre ültetett kocsánytalan tölgy fakészlete.



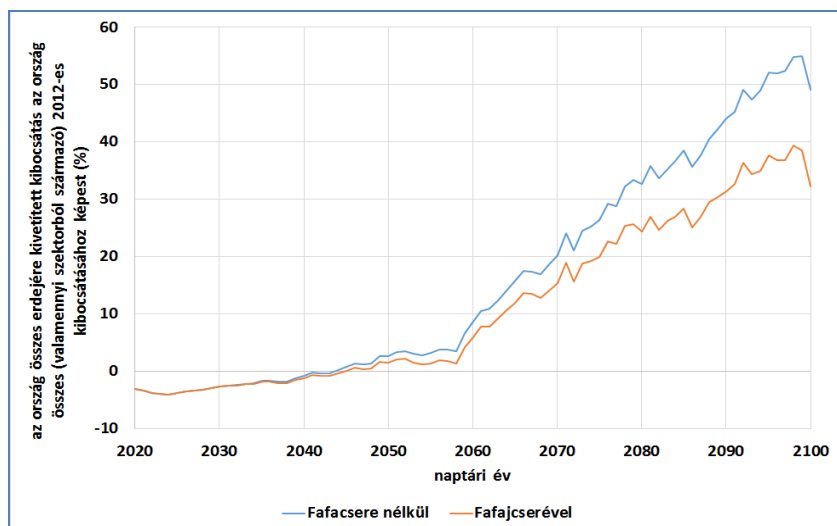
9.17 ábra. A szénkészletek alakulása (1) az alapszenárióban; (2) a klímaváltozás-szenárióban a bükk esetében; (3) a klímaváltozás-szenárióban a bükkpótló tölgy felújítások esetében.

A fenti változatok eredményeként (azokat külön-külön, ill. együtt figyelembe véve) a következő főbb megállapítások tehetők:

(1) jelentősen visszaesik a földfeletti biomassa mennyisége;

(2) jelentősen, de a biomasszánál kevésbé esik vissza az összes szénkészlet nagysága. Mindkét esetben a legnagyobb jelentősége a klímaváltozás miatti mortalitásnak van, a fanövekedés-csökkenés jelentősége elhanyagolható. Az elszáradt fák kitermelése kis mértékben csökkenti az összes szénkészletet, viszont szükség lehet rá a felhalmozódó sok holt fa miatti meg-növekedett erdőtűz-veszély következtében;

(3) a fenti szénkészlet-csökkenés olyan nagy mértékű, hogy ha feltételezzük, hogy az ország összes erdeje hasonló mértékben pusztul majd, akkor a jelenlegi összes éves kibocsátás 40-55%-a is lehet majd a faszáradásból eredő kibocsátás (ami tovább erősítheti majd a klímaváltozást), függően attól, hogy elvégezzük-e a fajcserét vagy nem (9.18 ábra).



9.18 ábra. A területről származó kibocsátások (pozitív számok) és elnyelések (negatív számok) a klímaváltozás hatására a jelenlegi összes kibocsátás százalékában, feltételezve, hogy az ország összes erdejében hasonló kibocsátások és elnyelések lesznek

#### Hivatkozott irodalom:

- ÁESZ (2005): Hungary 2005. Global Forest Resources Assessment, Country Report 023, Rome.
- Barcza, Z., Haszpra, L., Somogyi, Z., Hidy, D., Churkinak, G., Horváth, L. (2008): Estimation of the biospheric carbon dioxide budget of Hungary using the BIOME-EGC model. *Időjárás – Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 113: 203–219.
- Bidló A., Horváth A., Kámán O., Szűcs P., Varga Zs. (2011a): Szén-, illetve humusz-tartalom meghatározási módszerek összehasonlító értékelő vizsgálata. *Kutatási jelentés, Sopron*, 22 p.
- Bidló A., Horváth A., Šimková, I., Szűcs P. (2014a): Termőhelyfeltárás Zánka község határ száraza tölgyeseiben. In.: Bidló A., Horváth A., Szűcs P. (szerk): *Kari Tudományos Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron, megjelenés alatt*
- Bidló, A., Juhász, P., Szűcs, P., Ódor, P. (2011b): Carbon stock of the soil in some West-Hungarian forested lands, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 13, EGU2011-7803, EGU General Assembly.
- Bidló A., Kovács G., Schmidt P., Szűcs P., (2014b): Talajtani vizsgálatok Dalos-hegyi kocsánytalan tölgyesben. In.: Bidló A., Horváth A., Szűcs P. (szerk): *Kari Tudományos Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron, megjelenés alatt*
- Buzás Z. (2007): Erdészeti politikánk „jutalma”. *Erdészeti Lapok*, 142 (7-8): 253–255.
- Eggleston, H. S., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (eds) (2006): IPCC 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Hayama, Japan.
- Führer E. (1994): A klímaváltozás és a szénforgalom összefüggése az erdőgazdálkodásban. *Biotechnológia és környezetvédelem*, 1.
- Führer E., Jagodics A. (2009): A klímajelző fafajú állományok szénkészlete. „KLÍMA-21” Füzetek, 57: 43–55.
- Führer E., Járó Z., Márkus L. (1991): A magyarországi erdők szénmegkötő képessége. In: Faragó T., Iványi Zs., Szalai S. (szerk.): *Az éghajlat változékonysága és változása [Climate*

- variability and change]: okok, folyamatok, regionális hatások különös tekintettel a lehetséges társadalmi - gazdasági következményekre, a nemzetközi együttműködésből adódó feladatokra: Témafeltáró tanulmány [causes, processes, regional impacts with special emphasis on the socio-economic impacts and the tasks related to the international cooperation]. 100 p. Budapest: OMSZ, 1991. pp. 1.5./1-1.5./13. (ISBN:963-7702-35-0)
- Führer E., Mátyás Cs. (2005): A klímaváltozás hatása a hazai erdők szénmegkötő képességére és stabilitására. *Magyar Tudomány*, 166(7): 837–841.
- Führer E., Molnár S. (2003): A magyarországi erdők élőfakészletében tárolt szén mennyisége. *Faipar*, 6(2): 16–19.
- Gytarsky, M., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F., Penman, J. (eds) (2003): IPCC 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Intergovernmental panel of climate change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama Japan.
- IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. (Eds.: Eggleston, H. S., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K.), IGES, Hayama, Japan.
- Jacob, D., Barring, L., Christensen O.B., Christensen, J.H., de Castro, M., Deque, M., Giorgi, F., Hagemann, S., Hirschi, M., Jones, R., Kjellstrom, E., Lenderink, G., Rockel, B., van Ulden A.P., van den Hurk B.J.J.M., (2007): An inter-comparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day climate. *Climatic Change*, doi:[10.1007/s10584-006-9213-4](https://doi.org/10.1007/s10584-006-9213-4)
- Juhász P., Bidló A., Heil B., Kovács G., Patocskai Z. (2008): Bükkös állományok szénmegkötési potenciálja a Mátrában. *Talajvédelem Különszám, Talajvédelmi Alapítvány, Bessenyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza*, pp. 409–416.
- Juhász P., Bidló A., Ódor P., Szűcs P. (2011): Erdőtalajok széntartalmának vizsgálata őrségi fenyőelegyes lombdőkben. In.: Lakatos F.; Polgár A., Kerényi-Nagy V. (szerk.): Tudományos Doktorandusz Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Konferencia-kötet, Sopron, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, pp. 149–153.
- Marjanović, H., Alberti, G., Balogh, J., Czóbel, Sz., Horváth, L., Jagodics, A., Nagy, Z., Ostrogović, M.Z., Peressotti, A., Führer, E. (2011): Measurements and estimations of biosphere-atmosphere exchange of greenhouse gases – Forests. In: Haszpra, L. (ed): *Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective*. Springer Science+Media B.V., Dordrecht – Heidelberg – London – New York. 121-156.
- Móricz, N., Rasztovics, E., Gálos, B., Berki, I., Eredics, A., Loibl, W. (2013): Modelling the Potential Distribution of Three Climate Zonal Tree Species for Present and Future Climate in Hungary. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 9.1:85–96. DOI: [10.2478/aslh-2013-0007](https://doi.org/10.2478/aslh-2013-0007).
- Somogyi, Z. (2008a): A hazai erdők üvegház hatású gáz leltára az IPCC módszertana szerint. *Erdészeti Kutatások* 92:145-162. url: [http://www.scientia.hu/cv/2008/Somogyi\\_EK\\_2008.pdf](http://www.scientia.hu/cv/2008/Somogyi_EK_2008.pdf)
- Somogyi, Z. (2008b): Recent trends of tree growth in relation to climate change in Hungary. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica*, Vol. 4:17-27.
- Somogyi, Z. (2010): CASMOFOR. In: Somogyi, Z., Hidy, D., Gelybó, Gy., Barcza, Z., Churkina, G., Haszpra, L., Horváth, L., Machon, A., Grosz, B.: Modeling of biosphere–atmosphere exchange of greenhouse gases: Models and their adaptation. In: Haszpra, L. (ed): *Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective*, pp. 201-228.



Somogyi, Z., Zamolodchikov, D. (2007): Forest resources and their contribution to global carbon cycles. In: Köhl, M., Rametsteiner, E. (eds): State of Europe's Forests 2007. The MCPFE report on sustainable forest management in Europe. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe (MCPFE–UNECE–FAO) Liaison Unit Warsaw, Warsaw, pp. 3–17.