



ökoszisztéma-
szolgáltatások

a természet ajándékai



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Regionális
Fejlesztési Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

SZÉCHENYI 2020

A tűzifatermelés, az éghajlat- és a mikroklíma-szabályozás, mint ökoszisztéma-szolgáltatások értékelése



sokszínű zöld
a természetem

KEHOP-4.3.0-VEKOP-15-2016-00001



ökoszisztéma-
szolgáltatások
a természet ajándékai

KEHOP-4.3.0-VEKOP-15-2016-00001

A közösségi jelentőségű természeti értékek hosszú távú megőrzését és fejlesztését, valamint az EU biológiai sokféleség stratégia 2020 célkitűzéseinek hazai szintű megvalósítását megalapozó stratégiai vizsgálatok.

Nemzeti ökoszisztéma-szolgáltatások térképezése és -értékelése projektlem
(NÖSZTÉP)

II/2M Ökoszisztéma-szolgáltatások térképezésére és értékelésére vonatkozó integrált modell kialakítása 2.1-2.3

**A TŰZIFATERMELÉS, AZ ÉGHAJLAT- ÉS A MIKROKLÍMA-
SZABÁLYOZÁS MINT ÖKOSZISZTÉMA-SZOLGÁLTATÁS ÉRTÉKELÉSE
– AZ ÖKOSZISZTÉMA-ÁLLAPOTTÓL A TÉNYLEGESEN IGÉNYBE VETT
ÖKOSZISZTÉMA-SZOLGÁLTATÁS ÉRTÉKELÉSÉIG**

A KLÍMA SZAKÉRTŐI MUNKACSOPORT TANULMÁNYA

Szerkesztette: Koncz Péter



Kedvezményezett: Agrárminisztérium

Budapest, 2021.



A dokumentumot készítette: Koncz Péter, Horváth László, Somogyi Zoltán, Kottek Péter, Weidinger Tamás, Ács Ferenc, Kröel-Dulay György, Fogarasi József, Molnár András, Pásztor László, Popp József

Konzorciumvezető: Agrárminisztérium

A projektben résztvevő partnerintézmények:

Lechner Tudásközpont (LTK)
Talajtani és Agrokémiai Intézet (TAKI)
Ökológiai Kutatóközpont (ÖK)
Agrárgazdasági Kutatóintézet (AKI)

Kapcsolat:

Levelezési cím: 1052 Budapest, Apáczai Csere János utca 9.

E-mail: okoszisztemaszolgalatasok@termeszetem.hu

Információk a projektről:

<https://termeszetem.hu/hu>

Hivatkozás:

A publikáció megosztható és sokszorosítható. Felhasználása esetén használandó hivatkozás a következő:

Koncz P., Horváth L., Somogyi Z., Kottek P., Weidinger T., Ács F., Kröel-Dulay Gy., Fogarasi J., Molnár A., Pásztor L., Popp J. (2021): A tűzifatermelés, az éghajlat- és a mikroklíma-szabályozás mint ökoszisztéma szolgáltatás értékelése – Az ökoszisztéma állapottól a ténylegesen igénybe vett ökoszisztéma-szolgáltatás értékelésig. *A közösségi jelentőségű természeti értékek hosszú távú megőrzését és fejlesztését, valamint az EU biológiai sokféleség stratégia 2020 célkitűzéseinek hazai szintű megvalósítását megalapozó stratégiai vizsgálatok projekt, Ökoszisztéma-szolgáltatások projektelem.* Budapest, Agrárminisztérium, Budapest, pp. 191

Szövegközi hivatkozás: Koncz et al. (2021)

DOI szám: [10.34811/osz.klima.tanulmany](https://doi.org/10.34811/osz.klima.tanulmany)

A KEHOP-4.3.0-VEKOP-15-2016-00001 „A közösségi jelentőségű természeti értékek hosszú távú megőrzését és fejlesztését, valamint az EU biológiai sokféleség stratégia 2020 célkitűzéseinek hazai szintű megvalósítását megalapozó stratégiai vizsgálatok” című projekt az Európai Regionális Fejlesztési Alap (ERFA), valamint a Környezeti és Energiahatékonysági Operatív Program és a Versenyképes Közép-Magyarország Operatív Program támogatásával valósult meg.

Tartalom

1. Klíma és Energia Szakértői Munkacsoport (SzMCs) szakértői (Koncz Péter)	3
2. Az SZMCS munkája az 1-3. ütemben (Koncz Péter)	6
3. Az értékelt ökoszisztéma-szolgáltatások áttekintése (Koncz Péter, Horváth László, Weidinger Tamás)	11
4. Az egyes ökoszisztéma-szolgáltatások értékelése (Koncz Péter).....	12
4.1 Növényi energia - fakitermelés/tűzifa (Kottek Péter, Koncz Péter)	13
4.1.1 Állapot indikátor	16
4.1.2 Potenciális ÖSz	22
4.1.3 Tényleges ÖSz, felhasználás	29
4.1.4 Jóllet.....	35
4.1.4.1 A tűzifa égetés okozta légszennyezés hatásai a levegő- és életminőségre (Horváth László)	35
4.1.5 Trade-off-ok	41
4.1.6 Jövőképelemzés	42
4.2 Növényi energia - energianövények, szántóföldi melléktermékek (Molnár András, Fogarasi József, Koncz Péter)	44
4.2.1 Energianövények.....	44
4.2.1.1 Állapot indikátor	44
4.2.1.2 Potenciális ÖSz	44
4.2.1.3 Tényleges ÖSz, felhasználás	45
4.2.1.4 Jóllet, szinergiák és trade-off-ok	46
4.2.2 Szántóföldi melléktermékek.....	48
4.2.2.1 Állapot indikátor	49
4.2.2.2 Potenciális ÖSz	49
4.2.2.3 Tényleges ÖSz, felhasználás	49
4.2.2.4 Jóllet.....	50
4.2.2.5 Jövőképelemzés, szinergiák és trade-off-ok.....	50
4.3 Éghajlat-szabályozás.....	51
4.3.1 Az ökoszisztémák szerepe az éghajlat-szabályozásban (Koncz Péter, Horváth László, Somogyi Zoltán)	51
4.3.2 Az ökoszisztémák üvegházgáz mérlegeinek komponensei, rendszerhatárok (Horváth László, Koncz Péter).....	54
4.3.3 Üvegházgáz forgalom becslésére alkalmas módszerek (Koncz Péter)	58
4.3.4 Éghajlat-szabályozás – kaszkád	59
4.3.4.1 Állapot indikátor	59
4.3.4.2 Potenciális ÖSz (Koncz Péter, Somogyi Zoltán)	70
4.3.4.3 Tényleges ÖSz, felhasználás (Koncz Péter, Horváth László – modell, Somogyi Zoltán-Nemzeti Üvegházgáz Leltár).....	72
4.3.4.4 Jóllet (Koncz Péter, Horváth László)	84
4.3.4.5 Jövőképelemzés (Koncz Péter, Horváth László).....	84
4.3.4.5 Gazdasági elemzés (Koncz Péter).....	87
4.4 Mikroklíma-szabályozás (Weidinger Tamás, Ács Ferenc, Koncz Péter)	92
4.4.1 Az ökoszisztémák szerepe a mikroklíma-szabályozásban	92
4.4.2 Mikroklíma-szabályozáshoz köthető indikátorok	94
4.4.3 Mikroklíma-szabályozás - kaszkád szintek.....	99
4.4.3.1 Állapot indikátorok	100

4.4.2.2 Potenciális ÖSz	107
4.4.2.3 Tényleges ÖSz, felhasználás	115
4.4.2.4 Jóllet	127
4.4.2.5 Jövőkép elemzés	133
4.4.2.6.5 Trade-off, szinergiák elemzése	134
5. Áttekintés (Koncz Péter).....	136
6. Következő lépések (Koncz Péter).....	139
7. Mellékletek.....	140
7.1 Folyónövedék és átlagnövedékek számítása (Somogyi Zoltán)	140
7.2 Melléklet A talaj szerves szén (SOC), illetve szervesanyag tartalma (SOM) és a termés hozam közti összefüggés (Horváth László, Koncz Péter)	141
7.3.1 Biogeokémiai modellek (Horváth László, Koncz Péter)	142
7.3.2 Országos üvegházgáz mérleg készítése a Biome-BGCMag 2.0 modell felhasználásával (Fodor Nándor, Hidy Dóra és Barcza Zoltán)	145
7.3.3 Különböző modellbeállítások mellett vizsgált további térképek az üvegházgáz forgalomra vonatkozóan (Koncz Péter, Horváth László)	154
7.4 A nemzeti üvegházgáz leltár célja, módszerei, rendszerhatárai (Somogyi Zoltán)	159
7.5 Tájléptékű mikroklima szabályozási indikátorok paraméterei (Weidinger Tamás, Ács Ferenc)	165
7.6 Melléklet Potenciális párolgás (PET) számítás (Weidinger Tamás, Ács Ferenc)	170
7.7 Feddema-féle éghajlat-osztályozás (Ács Ferenc, Weidinger Tamás)	170
7.8 Melléklet. Párolgás-számítás 1D csőbőr modellel i) a talaj paramétereinek ii) a talaj és a felszínborítottság figyelembevételével (Weidinger Tamás, Ács Ferenc)	173
7.9 Melléklet. Átlagos (mm/m) és relatív (%) talajvízkészlet értékek az 1981-2010 és a 2015-ös évre (Weidinger Tamás, Ács Ferenc)	177
8. Irodalom.....	182

1. Klíma és Energia Szakértői Munkacsoport (SZMCs) szakértői (Koncz Péter)

Vezető: Koncz Péter (pkoncz@gmail.com, Ökológiai Kutatóközpont) 2018. 07. 23-tól, előtte Kiss Márton (SZTE)

Szakterülete: Növényi ökofiziológia, farmok üvegházgáz mérlege, agrárium, természetvédelmi kezelések, arktikus klímaváltozás

Tagok:

- Ács Ferenc (ELTE)

Szakterülete: Mikroklíma, klímaosztályozások, felszín-bioszféra-légkör kölcsönhatások, talaj-parametrizációs eljárások, párolgás (2019. február 1-től tag.)

- Fogarasi József (AKI)

Szakterülete: Klímaváltozás hatásának modellezése mikroszinten vállalatokra, növénytermesztési ágazatra lebontva, mikroszimulációs modell-előrejelzések, AKI adatok felhasználása

- Horváth László

Szakterülete: Háttérszennyezettség-monitoring, bioszféra és a légkör közti nyomanyagcsere (kén- és nitrogénvegyületek, ózon), erdők nitrogén-körforgalma (nedves/száraz ülepedés, erdőtalaj N-kibocsátása)

- Kottek Péter (NFK, Erdészeti Igazgatóság)

Szakterülete: Erdészet, fakitermelés, erdőállomány-prognózisok, erdők szénkészlete

- Kröel-Dulay György (MTA ÖK)

Szakterülete: Növényökológia, klímaváltozás ökológiai hatásai, terepi kísérletek, növényi biomassza-kérdéssel kapcsolatban szakirodalmi ismeretek

- Popp József (DE GTK)

Szakterülete: Biomassza energetikai felhasználásával kapcsolatos globális és hazai kérdések (2017. december 14-től 2018. december 14-ig volt tag).

- Somogyi Zoltán (NAIK ERTI)

Szakterülete: Erdők szénforgalmának modellezése, erdők üvegházgáz leltárának készítése és módszertani fejlesztése (IPCC), a klímaváltozás erdőkre gyakorolt hatásának vizsgálata (Somogyi Zoltán 2019. 07. 31-ig volt tagja az SZMCS-nek, az általa képviselt Nemzeti Üvegházgáz Leltár adatokat beépítettük a tanulmányba.)

- Weidinger Tamás (ELTE)

Szakterülete: Határréteg-meteorológia, felszíni energiamérleg-komponensek mérése és modellezése, mikrometeorológia, mikroklíma, éghajlat (2019. február 1-től tag).

Az SZMCS munkájához hozzájáruló szakértők (36), NÖSZTÉP konzorciumi partnerek, akik munkáját ezúton is köszönjük:

Agrárgazdasági Kutatóintézet (AKI)

- Kis-Csatári Eszter (tesztüzemek üvegházgáz (ÜHG) kibocsátása)
- Miskó Krisztina (AKI részvétel koordinációja)
- Molnár András (növényi energiaforrások)
- Vigh Enikő Zita (tesztüzemek ÜHG kibocsátása)
- Zubor-Nemes Anna (tesztüzemek ÜHG kibocsátása)

Agrárminisztérium (AM)

- Baranyai-Nagy Anikó (Természetmegőrzési Főosztály)
- Csókáné Szabados Ildikó (Nemzeti Parki és Tájvédelmi Főosztály majd Erdőkért és Földügyekért felelős Államtitkárság)
- Kisné Fodor Livia (ökológiai referens, NÖSZTÉP projektelem vezető Agrárminisztérium, Természetmegőrzési Főosztály)
- Pádárné Török Éva (Tájkarakter és Zöldinfra projektelem kapcsolódások)
- Zsembery Zita (adatgyűjtés, térinformatika, talajadatok, ESZIR, MePar adatok)
- VSZP tagok: Körmöczi László és Sipos Ferenc (véleményüket az AM közvetítette)

Budapesti Corvinus Egyetem (BCE)

- Marjainé Szerényi Zsuzsanna (éghajlat-szabályozás gazdasági értékelése)
- Széchy Anna (éghajlat-szabályozás gazdasági értékelése)

ELTE, Meteorológiai Tanszék

- Barcza Zoltán (modellezés)
- Breuer Hajnalka (mikrometeorológia)

ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem Kiválósági Központ

- Hidy Dóra (modellezés)

Lechner Tudásközpont

- Belényesi Márta (térképezés)
- Lehoczki Róbert (térképezés)
- Petrik Ottó (térképezés)
- Pataki Róbert (térképezés)

MTA Talajtani Kutatóintézet (Talajtani Kutatóintézet -TAKI)

- Pásztor László (talajok széntartalma, AgroMo kapcsolódás)
- Koós Sándor (talajok széntartalma, AgroMo kapcsolódás)

MTA Agrártudományi Kutatóközpont (ATK)

- Fodor Nándor (modellezés)

MTA Ökológiai Kutatóközpont (ÖK)

- Arany Ildikó (ÖSz-ek integrációja)
- Czucz Bálint (koncepcionális tervezésében való közreműködés)
- Fabók Veronika (Kulturális SZMCS új vezetője, kapcsolódás; erdők rekreációs értéke)
- Kiss Márton (Városi SZMCS vezető, kapcsolódás: LAI, párologtatás, mikroklíma)
- Kovács-Hostyánszki Anikó (Pollináció SZMCS vezető, SZMCS-k koordinációja)
- Rezneki Rita (Élelmiszer SZMCS vezető, kapcsolódás: talajértékszám, terméshozam)
- Tanács Eszter (adatbázisok, ESZIR, alaptérkép)
- Török Katalin (témafelelős, SZMCS-k koordinációja)
- Vári Ágnes (Hidrológia SZMCS vezető, kapcsolódás: árvízi kockázatcsökkentés és erdősítés: ártéri tájgazdálkodás)
- Zölei Anikó (Kulturális SZMCS volt vezetője, kapcsolódás; erdők rekreációs értéke)

Szent István Egyetem (SZIE)

- Kovács Eszter (értékelési módszerek)
- Kollányi László (Zöld Infrastruktúra, ZI fejlesztési elem szakértő, mikroklíma)

2. Az SZMCS munkája az 1-3. ütemben (Koncz Péter)

1. ütem

Az ökoszisztéma-szolgáltatások értékelése és térképezése az alkalmazott koncepcionális keretrendszer kaszkádszintjeinek megfelelően több ütemben valósult meg. Az 1. ütemben az elsődleges feladatot jelentő állapotindikátor-fejlesztéshez szükséges volt a teljes értékelési folyamat, vagyis a különböző kaszkádszinteken alkalmazandó indikátorok, vizsgálati módszerek előzetes, vázlatos áttekintése. Az SZMCS munkáját az 1. táblázat foglalja össze.

A bővülő feladatok miatt az SzMCs munkájában személyi változásokra volt szükség; Kiss Márton, a Klíma és Energia SzMCs korábbi koordinátora 2018 júliusától a városi ökoszisztéma-szolgáltatások (ÖSz) munkacsoportot koordinálta. Az új SZMCS vezető (Koncz Péter) 2018. július végén lépett be a projektbe.

2. ütem

A 2. ütem a 2. kaszkád szintre fókuszált, de ezzel párhuzamosan a teljes értékelési folyamatot, vagyis a különböző kaszkádszinteken alkalmazandó indikátorokat, vizsgálati módszereket is áttekintettük.

Számos megbeszélést, egyeztetést tartottunk. Mindezeknek köszönhetően szélesebb körben sikerült megvitatni a felmerült kérdéseket és szakmai konszenzusra jutni. Meghatározott célfeladatokra a 2. ütemben szerződést kötöttünk a szakértőkkel.

Az első munkafázishoz képest a 2. ütemben a fakitermelés/tűzifa produkció, az éghajlat- és a mikroklíma szabályozás esetében végeztünk részletesebb elemzést az 1-3. kaszkád szintekre vonatkozóan. A szántóföldi melléktermékek, bioüzemanyag célú energiaültetvények esetében áttekintettük a szolgáltatások hazai állapotát és javaslatokat fogalmaztunk meg az adat-hiányok kezelésére vonatkozóan. Az SZMCS munkáját a 2. ütemben az 1. táblázat foglalja össze.

3. ütem

A 3. munkafázis (2019. 04. 01. - 2019. 12. 31.) a 3. kaszkád szintre, illetve a térképezésre fókuszált, de ezzel párhuzamosan szükséges volt a teljes értékelési folyamat, vagyis a különböző kaszkádszinteken alkalmazandó indikátorok, vizsgálati módszerek áttekintése. Az SZMCS munkáját az 1-3. ütemben az 1. táblázatban foglaltuk össze. Az indikátorok, térképek áttekintő táblázatát az „5. Ütemterv” fejezetben adtuk meg.

Számos megbeszélést, egyeztetést tartottunk. A 3. ütemben és véglegesítettük az 1-3. kaszkád szintek indikátorait és térképeit. Elkészültek az 1-3. kaszkád szinthez tartozó térképek a fakitermelés/tűzifa produkció, az éghajlat-szabályozás és a mikroklíma-szabályozás tekintetében. Az elérhető adatok szintjén elkészültek a térképek, illetve adathiány miatt további térképek nem készíthetők.

A növényi energia/tűzifa célú fakitermelés esetében 6 új térképet készítettünk és egy meglévőt használtunk fel (összesen 7). A növényi energia/szántóföldi melléktermékek esetében egy meglévő térképet használtunk fel. Az éghajlat-szabályozás esetében 17 darab új térkép készült

el és két térkép már rendelkezésre állt (összesen 19). A mikroklíma-szabályozás esetében 3 meglévő térképet használtunk fel és 28 db új készült (14 féle indikátor kategóriában, tehát ez „nettó” 14, mert egy indikátornak adott esetben többféle variánsa van. Tehát összesen 51 darab új térkép készült (ami valójában 32 db-ot jelent, mert egy indikátornak többféle variánsa is van) és 8 meglévőt használtunk fel; ez összesen bruttó 59 db és nettó 40 db térkép.

Egy-egy szolgáltatás pár oldalban is összefoglalható a térképekkel együtt, de fontos, hogy az eredeti cél szerint összefoglaljuk a releváns adatbázisokat, megközelítéseket és módszertant, illetve különböző alternatívákat fogalmazzunk meg a későbbi felhasználási céltól függően, továbbá rövid szakmai alapokat nyújtunk, amelyek ismerete nélkülözhetetlen az eredmények helyes értelmezéséhez. A tanulmány más SZMCS és munkafolyamat (gazdaság, hidrológiai elemzés) számára közvetlenül felhasználható adattáblákat is tartalmaz, amelyeket pl. a módszertani leírásokkal együtt egy repozitóriumban is el lehetne helyezni, csökkentve ezáltal a szöveg terjedelmét. A felhasználói céloktól függően később célcsoport specifikus ismeretterjesztő tanulmányok készíthetők csak az új eredményekre, térképekre vagy pl. a módszertanra fókuszálva.

Az SZMCS 2020. március 31-én befejezte a munkáját, de az anyagok szintézisét az SZMCS vezető továbbfejlesztette.

4. ütem

Az elemzések, térképek véglegesítése elkészült. Az 1-3 szinten kiválasztott indikátorok egymással összefüggenek (pl. azonos a dimenziójuk), sikerült elérni, hogy egy logikai egység mentén épüljön föl a kaszkád modell. Az indikátorok adott esetben egymásból levezethetőek, az 1-3 szint indikátorai egy szerves egységet képeznek. A különböző szolgáltatások összehasonlításához azonos alapot szolgáltat, hogy több esetben a különböző SZMCS-k azonos indikátort választottak elsősorban a kaszkádok első szintjén. A 4. ütemben megtörtént a segítségnyújtás (adatátadás, elemzés, diskurzus) a gazdasági, jóllét és jövőképelemzés számára, továbbá elkészültek a szintézisek és metaadat leírások. Egyeztetések zajlottak a Zöld Infrastruktúra fejlesztési elemmel.

Jelen tanulmány a többi SZMCS tanulmánnyal, illetve a NÖSZTÉP ismeretekkel (Kovács-Hostyánszki és mtsai 2019) együtt alkot koherens egységet, bővebben; <http://www.termeszetem.hu/hu/>.

1. táblázat: A Klíma és Energia SZMCS munkája az 1-3. ütemben

1. ütem

Esemény	Időpont	Cél/Eredmény
Alakuló ülés	2017.12.14.	Ütemterv meghatározása (partnerekkel, szakértőkkel történő egyeztetések meghatározása)
Kaszád rendszerek átbeszélése	2018.02.05.	Szolgáltatások kaszkád rendszerének feltárása, azonosítása
AM egyeztetés	2018.04.19.	Klíma és Energia Munkacsoport irányvonalainak egyeztetése (AM)
Adatforrásokkal kapcsolatos egyeztetések	2017.11.01. - 2018.07.01.	Adatforrásokkal kapcsolatos egyeztetések
Munkaátadás	2018.07.20.	Munkaátadás, állapotindikátorok megbeszélése
MAES egyeztetés	2018.07.26.	MAES egyeztetés, eddigi és tervezett feladatok bemutatása
SZMCS vezetők megbeszélése	2018.08.13-14.	„NOSZTEP_MAES_Megval_1.szszakasz_tanulmány_Klíma és Energia.doc” egyeztetés az SZMCS-vel
AKI adat egyeztetés	2018.08.14.	AKI adat egyeztetés
Egyeztetés az SZMCS szakértőkkel	2018.08.15-23.	Egyeztetés az SZMCS szakértőkkel
1. tanulmány véglegesítés	2018.08.23-30.	Tanulmány véglegesítés, beküldés

2. ütem

Esemény	Időpont	Cél/Eredmény
AM megbeszélés	2018.09.07.	SZMCS-k szakmai előrehaladásának áttekintése
AKI feladatok áttekintése	2018.09.12.	Adategyeztetés (ÜHG, energiaültetvények, melléktermékek)
AM egyeztetés	2018.09.13.	Klíma és Energia-AM, irányvonalak megbeszélése
Klíma és Zöld Infra megbeszélés	2018.09.29.	Mozaikosság szerepe a táji mikroklíma szabályozásban
AgroMo modell tesztelése	2018.09.27.	AgroMo modell tesztelése
BFKH FTFF megbeszélés	2018.10.10.	Térképezhetőségek átbeszélése
MePAR megbeszélés	2018.10.26.	A legfontosabb tudnivalók MePAR-ról
Mikroklíma szakértő bevonása	2018.10.31.	Weidinger Tamás mikroklíma szakértő bevonása
1. Klíma és Energia ülés	2018.11.08.	Indikátorok, kaszkád szintek körvonalazása
1.Műhelytalálkozó	2018.11.13.	Állapotindikátorok megvitatására

Esemény	Időpont	Cél/Eredmény
4. kaszkád szint megbeszélés	2018.12.12.	4. szint megbeszélése (AM)
TAKI egyeztetés	2019.01.09.	Klíma SZMCs és TAKI egyeztetés
OMSZ egyeztetés	2019.01.17.	adategyeztetés
NÉBIH egyeztetés	2019.01.25.	Kottek Péter bevonása
3. Klíma és Energia ülés	2019.02.13.	1-3. kaszkád szintek átbeszélése
Mikroklíma egyeztetés	2019.03.01.	Mikroklíma 1-3 kaszkád szint indikátorainak véglegesítése
AgroMo egyeztetés	2019.03.05.	Az AgroMo modell alkalmazási lehetőségei az ÜHG forgalom térbeli modellezésében

3. ütem

Esemény	Időpont	Cél/Eredmény
AgroMo modell használata	2019.04.18.	Workshop keretében szimulációkat alkalmaztunk, futtattuk az AgroMo modell-t. A BiomeBGC-AgroMo modell a tervek szerint üvegházgáz mérleget fog modellezni.
Jólléti megbeszélés	2019.05.02.	Az érintettek azonosítása az SZMCS által vizsgált ŐSz-ok eseteiben
Megbeszélés az üvegházgáz mérleg modellezéséről	2019.05.16.	Üvegházgáz mérleg ökoszisztéma léptékű modellezése a NÖSZTÉP céljaihoz
Éghajlat szabályozás 1-3 szint térképezése ÜHG leltár alapján	2019.05.17	A Nemzeti Üvegházgáz Leltár alapú térképezésnek nincs relevanciája
Mikroklíma indikátorok, térképezés, megbeszélés	2019.06.13.	Mikroklíma indikátorok térképezése
Trade-off, szinergiák elemzése	2019.06.27.	Trade-off, szinergiák elemzése (táblázatok)
Mikroklíma indikátorok térképezésének megbeszélése	2019.07.04.	Mikroklíma indikátorok térképezése (algoritmusok felvázolása)
Gazdasági elemzés megbeszélése	2019.07.16.	Gazdasági elemzéshez SZMCS input adatok (éghajlat-szabályozás, ÜHG mérleg adatok), gazdasági elemzés elvének megbeszélése

Esemény	Időpont	Cél/Eredmény
4. SZMCS ülés	2019.11.28.	Klíma és Energia 4. SZMCS ülés, 3. szint elemzése, gazdasági és jóléti elemzések
ZI és SZMCS közti megbeszélés	2019.11.11.	Eddig munkák, feladatok összefoglalása, ŐSz indikátor táblázatok frissítése
5. SZMCS ülés	2019.12.09.	Klíma és Energia 5. SZMCS ülés, 3. szint térképeinek véglegesítése
Online, személyes és telefonos egyeztetések	2019.04.01.- 2020.03.31.	A térképek elkészítése, elemzése (jellemzően kisebb, csoportos online munkák alakultak ki).

4. ütem

Esemény	Időpont	Cél/Eredmény
NÖSZTÉP szintézis megbeszélés	2020.07.01	Szintézis anyagok előkészítése
Segítség nyújtás cikkekhez, szintézis anyagokhoz, jóléti, gazdasági elemzéshez	Rendszeres; online, skype, e-mail kapcsolat	Szintézis anyagok
Metaadatok elkészítése, térképi adatállományok átadása	2020.08.10.	Metaadatok
ZI számára adatok átadása, értelmezése	Rendszeres; online, skype, e-mail kapcsolat	Klíma SZMCS indikátorainak ZI általi felhasználása

3. Az értékelt ökoszisztéma-szolgáltatások áttekintése (Koncz Péter, Horváth László, Weidinger Tamás)

A Klíma és Energia SZMCS tanulmánya négy ökoszisztéma-szolgáltatással foglalkozik: **1) növényi energia - fakitermelésből származó fa/tűzifa, 2) növényi energia - energiaültetvények, szántóföldi melléktermékek, 3) éghajlat-szabályozás és 4) mikroklíma-szabályozás (városon kívül)**. Cél e szolgáltatások állapotának felmérése, a szolgáltatásokhoz kapcsolt természetvédelmi döntéshozatal számára közvetlenül felhasználható, informatív indikátorok és térképek elkészítése, illetve hosszútávon segítségnyújtás országos tájtervezési stratégiák előkészítéséhez. Cél továbbá rámutatni adott esetben az adathiányokra, és elősegíteni a felek/szakértők/ágazatok közti kommunikációt.

A négy ökoszisztéma-szolgáltatás **előzetes kiválasztásának** (interjúk, szakértői egyeztetések, hazai és külföldi szakirodalom) alapjait a NÖSZTÉP projektben készült külön tanulmány tartalmazza (Bereczki et al. 2017, MTA ÖK 2018). Az interjúk során a növényi energiaforrások közé sorolt tűzifa, illetve az éghajlat-szabályozás többször is felmerült fontos ökoszisztéma-szolgáltatásként. A projekt előkészítő szakasza során az **interjúalanyok** jelentős szerepet tulajdonítottak az erdőknek és a vizes területeknek (élőhelyeknek) az éghajlat-szabályozásban, mindazonáltal nem említették külön a globális és lokális éghajlat-szabályozást. Később, a **priorizáló műhelymunkák** során ezek a szolgáltatások kiemelt fontosságúnak bizonyultak, így a projekt keretein belül térképezendő szolgáltatások közé kerültek, illetve elkülönült a globális éghajlat-szabályozás és a lokális mikroklíma-szabályozás (Kovács-Hostyánszki és mtsai 2018). A növényi energiaforrásokon belül elkülönítettük a tűzifa hozam, a bioüzemanyag célú energianövények és a szántóföldi melléktermékek kérdéskörét.

Fontos, hogy a NÖSZTÉP projekt **konceptcionális alapjait**, az ökoszisztéma-szolgáltatások indikátor alapú (Müller and Burkhard 2012) és kaszkád szintű elemzésének, térképezésének módszertani alapjait, a definíciókat korábban már szintén megadták (Arany et al. 2016, Kovács-Hostyánszki és mtsai 2019). A projekt keretében már elkészült nyilvánosan is elérhető, országos **Ökoszisztéma-alaptérkép** (Tanács és mtsai 2018, <http://alapterkep.termesztem.hu>). A térkép 20 × 20 m-es, raszteres felbontású. Az egyes ökoszisztéma-szolgáltatások indikátorainak térképezéséhez az alaptérképet felhasználtuk.

A négy ökoszisztéma-szolgáltatás értékelését külön-külön, a kaszkádok szintjén tárgyaljuk. Fontos, hogy a jólléti szint (4. kaszkád szint) értékelését, a jövőkép- és a szinergia és trade-off elemzést a tanulmányban megfogalmazottaknál részletesebben társadalomtudományi szakértők részvételével végezték el 2020 tavaszán. Jelen tanulmányban javaslatok, ötletek szerepelnek a 4. szint indikátoraira vonatkozóan.

A jövőkép, szintézis, szinergia és trade-off elemzések során lehet a különböző szolgáltatásokat összekapcsolni, összehasonlítani (Nelson et al. 2007). Bár erre nagy szükség van, de az SzMCs keretien belül ennek csak az előkészítése történhetett meg az eszköztárak (adatbázisok) összegyűjtésével, az egyes szolgáltatások esetében az indikátorok meghatározásával, jellemzésével. **A NÖSZTÉP keretében egy pillanatfelvétel készülhetett el – amennyiben lehetőség volt - 2015-re, a projekt bázisévére vonatkozóan.** Későbbi pillanatfelvételek segítségével (3-5-10 év múlva) az ökoszisztéma-szolgáltatások állapotában bekövetkezett változások is elemezhetővé válnak.

4. Az egyes ökoszisztéma-szolgáltatások értékelése (Koncz Péter)

A négy szolgáltatás az alábbi gondolatmenet alapján kapcsolható össze. A természeti erőforrások fenntartható használatára, illetve a klímaváltozás mérséklésére (mitigációra) és az ahhoz való alkalmazkodásra (adaptáció) egyre égetőbb szükség van (IPCC 2013). Ezt a fosszilis tüzelőanyagok felhasználásának, illetve az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásának csökkentésével, illetve az ökoszisztémák szén-dioxid megkötő kapacitásának növelésével, valamint a megújítható növényi energiaforrások felhasználási arányának javításával is elő lehet segíteni (Johnston et al. 2009, Minasny et al. 2017). Ugyanakkor a növényi energiaforrások energetikai célú felhasználása erősen vitatott, mivel csak részben megújuló energiaforrások és csak hosszú távon váltják ki a fosszilis hordozók felhasználását, a légszennyezés miatt rövidtávon pedig kifejezetten károsak. A növényi anyagok égetése során keletkező PM_{2,5} (korom) és PM₁₀ aeroszol részecskék okozta környezeti és egészségügyi problémák növekednek (Losonczy 2012). Az erdősítés ezekkel szemben win-win (nyertes-nyertes) stratégia, mert az erdők hozzájárulnak a levegő szűréséhez, a szén-megkötő kapacitás növeléséhez, ezáltal az éghajlat-szabályozásához, sőt a kedvező mikroklíma kialakításához is. Az erdőtelepítés során azonban az ökológiai szempontok figyelembe vétele fontos, mind a hely, mind a fajok kiválasztásánál. Az erdők számos további (ökológiai) szabályzó (oxigéntermelés, talajképzés, talajerózió elleni védelem, víztisztítás, szervesanyag-termelés, biodiverzitás fenntartása, vízvisszatartás, élőhely biztosítása stb.), illetve kulturális (beleértve rekreációs) szolgáltatást is nyújtanak (erdőtípustól függően). Látható, hogy az ökoszisztémák értékelésénél a későbbiekben különösen fontos lesz a különböző szolgáltatások integrálása, a különböző ökoszisztéma-szolgáltatások együttes értékelése (Nelson et al. 2007).

4.1 Növényi energia - fakitermelés/tűzifa (Kottek Péter, Koncz Péter)

Az erdők szerteágazó funkciói közül vitathatatlanul fontos szerepet tölt be a **faanyag különböző célú felhasználása, így a fában raktározott energia felszabadítása is, tehát a tűzifa használata**. Az ökoszisztéma-szolgáltatások prioritizálása során kiemelték, hogy a társadalom szempontjából a tűzifa jelentősége megnövekedett az elmúlt időben (Kovács-Hostyánszki és mtsai 2018). A háztartási tűzifa felhasználása fontos **társadalmi kérdés**, főleg a szegényebb népség számára, ami szembeállítható az okozott levegőszennyezéssel (Bajomi 2018). A műhelymunkán pl. a biomassa égetés a **légszennyezés** (korom, télen súlyosbodó PM - particulate matter, finomszemcsés anyagok - terhelés) egyik fő okaként lett megnevezve a nyilvánvaló társadalmi szerepének elismerése mellett (megjegyzendő, hogy a szemét, háztartási hulladék égetése, illetve az erőművek okozta szennyezés szintén jelentős légszennyezéssel jár). Egy adott élőhelytípus, az erdő hasznosítási módjának mérlegelése (pl. faanyag-kitermelés, rekreáció, természetvédelem stb.) mindenképpen jelentős kutatási kérdés lehet, mivel ezen szolgáltatások sokszor trade-offban vannak, azaz az erdő egyik irányú hasznosítása rontja egy másik ikányú szolgáltatását. A tűzifa/fahasznosítás, mint ellátó ökoszisztéma-szolgáltatás jelenlegi fontossága ellenére sem szabad szem elől téveszteni a hosszú távú fenntarthatóságot, mint elsődleges szempontot (fontos, hogy hol, milyen jellegű a kietremelés módja).

Magyarországon az erdőgazdálkodás alá vont terület nagysága (az Országos Erdőállomány Adattárban nyilvántartott terület) 2016-ban 20,6 ezer km² volt, ezen belül az erdőrészek területe 94% volt. Az erdőterület 58%-a gazdasági elsődleges rendeltetésű, 35%-a védelmi elsődleges rendeltetésű volt (a természeti környezet, vagy különböző létesítmények védelmét szolgáló erdők), és alig 1%-ot tettek ki a közjóléti elsődleges rendeltetésű erdők (parkerdők, tanerdők, kísérleti erdők, vadasparkok). De fontos, hogy a gazdasági erdők is szolgálnak közjóléti célokat, hiszen az erdők hármaskörét – gazdasági, védelmi, közjóléti – minden erdő betölti kisebb-nagyobb mértékben. **Az országos összes folyónövedékhez képest a fakitermelések aránya 51-62% között változott az elmúlt 10 évben** (az 1. ábrán jelzett időszakban 70%). 2015-ben 56% volt az arány; a fahasználat 7,3 millió m³ volt, míg az éves folyónövedék 13,1 millió m³. Viszonyításként; az élőfakészlet a hazai erdőkben 2016-ban 381,9 millió m³ volt az Országos Erdőállomány Adattár alapján. A fakitermelések arányát az erdőben maradó **nettó felhalmozás (növekmény, lásd az alábbi példát)** segítségével határozzuk meg oly módon, hogy a fakitermelések mennyiségét viszonyítjuk a fakitermelések és az erdőben maradó fakészlet (növekmény) összegéhez. E mutató **jól jellemzi az erdők biológiai faanyag-termelési kapacitásának kihasználtságát**, ami 58-72% közé esik (2015-ben 58%; a növekmény 5,2 millió m³).

Példa az éves élőfakészlet-mérlegre és komponenseire (a 2015-ös év durván kerekített éves mennyiségeivel):

Folyónövedék = összes fás produkció (13 millió m³)

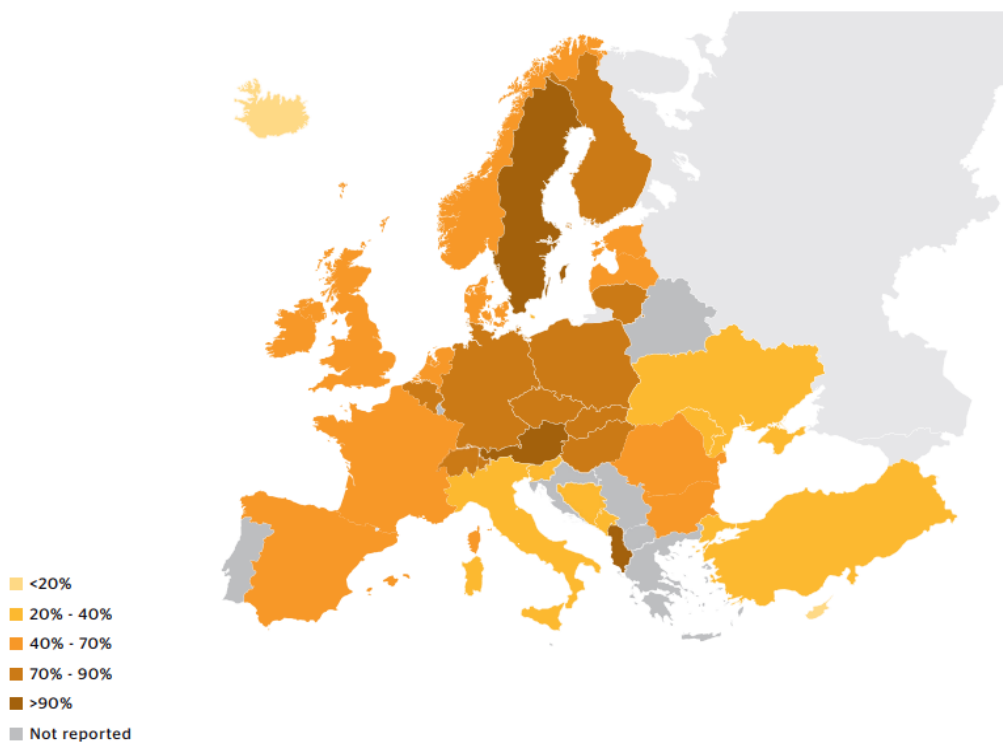
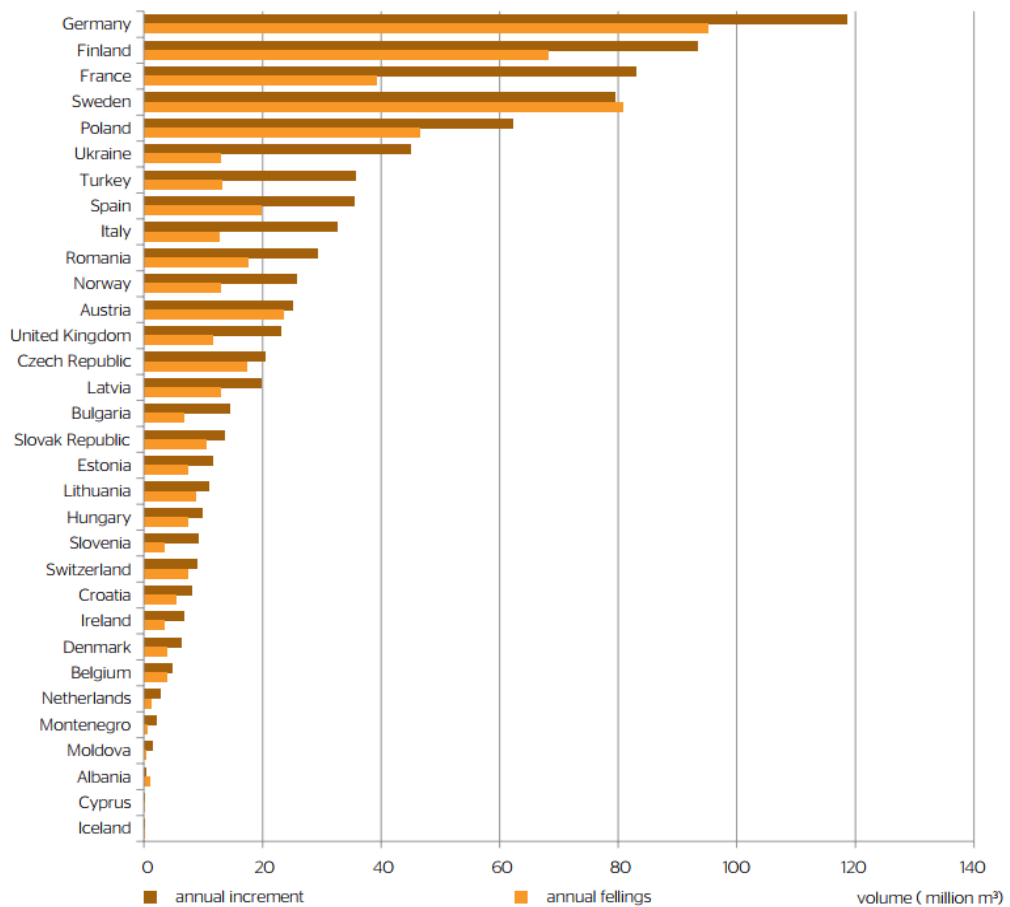
Fahasználat = amit kitermelnek, bruttó (7 millió m³)

Mortalitás = természetes pusztulat (2 millió m³)

Növekmény = ami az erdőben marad, tehát ennyivel növekedett az élőfakészlet egy év alatt (4 millió m³)

Az éves élőfakészlet-mérleg tehát (millió m³): 13 = 7 + 2 + 4

Fontos, hogy bár a tűzifa alapvetően megújuló energiaforrás, de nem mindig és nem minden körülmények között újul meg. Az erdők használatával kapcsolatban számos nemzetközi és hazai program indult (REDD+, Nemzeti Erdőstratégia stb.), szövetség működik (pl. Forest Stewardship Council, ProSilva stb.) és szabályozás született (NATURA 2000 területek kezelése, 2009. évi XXXVII. törvény az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról). A magyarországi fakitermelés intenzitása széles európai összehasonlításban is és az ökológiai adottságokra nézve hozzánk hasonló közép-európai régióban is teljesen átlagosnak mondható, 70 % feletti (1. ábra).



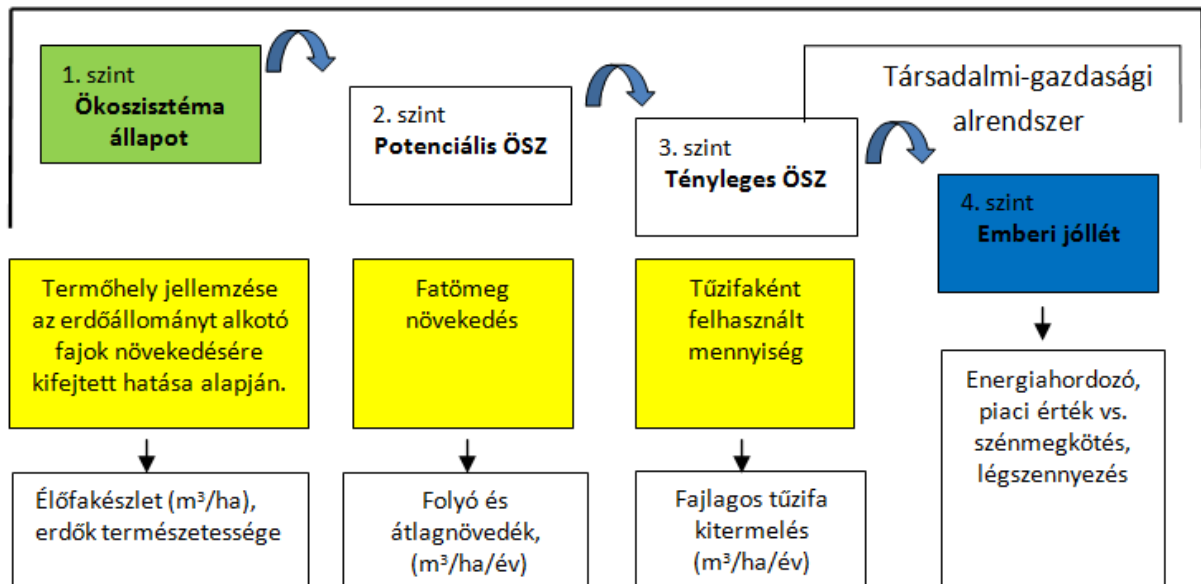
1. ábra Az éves fakitermelések és a folyónövedék mennyisége (oszlopdiaagramon) és ezek aránya (térképen) Európában, 2007-2012 között, ötéves átlagokkal. Forrás: SoEF 2015.

Fakitermelés/Tűzifa – kaszkád

4.1.1 Állapot indikátor

- Mi az adott indikátor?

A növényi energia (kitermelt fa, tűzifa) esetében az 1. kaszkád szint indikátora az **élőfakészlet** (m^3/ha) és az erdők **természetességi állapota** (2. ábra).



2. ábra A növényi energia – tűzifa célú fakitermeléshez kapcsolt indikátorok a kaszkád négy szintjén.

- Miért az adott indikátort választottuk? Milyen külföldi és hazai példák vannak az indikátor ökoszisztéma szolgáltatás alapú értékelésére?

A 4. SZMCS ülés alkalmával konszenzus alakult ki a szakértők között, hogy az **élőfakészlet** alkalmas leginkább a **termőhely aktuális állapotának jellemzésére**, illetve a **természetességi** mutató az, ami szorosan kapcsolódik az erdők állapotának jellemzéséhez. Az élőfakészlet az erdő állományokat alkotó élő fák összes föld feletti fatömege hektárra vetítve. Az indikátort választást alátámasztja többek között az is, hogy az élőfakészlet **jól jellemzi a termőhely biofizikai tulajdonságát**, amelyből a faanyag-produkció, tehát a potenciális és a tényleges felhasználási szint is levezethető. A döntésben közrejátszott, hogy külsős vélemények alapján (AM, SZMCS vezetők) a korábban javasolt átlagnövedék indikátor nehezen értelmezhető, nehezen kommunikálható és nem közérthető, hogy hogyan jellemzi a szolgáltatás állapotát.

Az első kaszkád szinten más irodalmakban az élőhely- (Haines-Young and Potschin 2010, Biodiversity 2015), illetve a talajtípust és a tájhasználatot adták meg (Burkhard and Maes 2017), de ezek túl általános jellemzők, amelyekkel szemben az élőfakészlet és a természetességi mutató sokkal érzékenyebb indikátora az ökoszisztéma (erdő) állapotának, illetve az élőfakészlet azonos dimenzióban lévén a tűzifa-kihozattal, azzal közvetlenül összevethető. Általánosságban elmondható, hogy jó termőhelyen magas az élőfa-készlet, míg rosszabb termőhelyen a produkció, élőfakészlet alacsony.

- Milyen adatbázisból, hogyan számoltuk ki az indikátort?

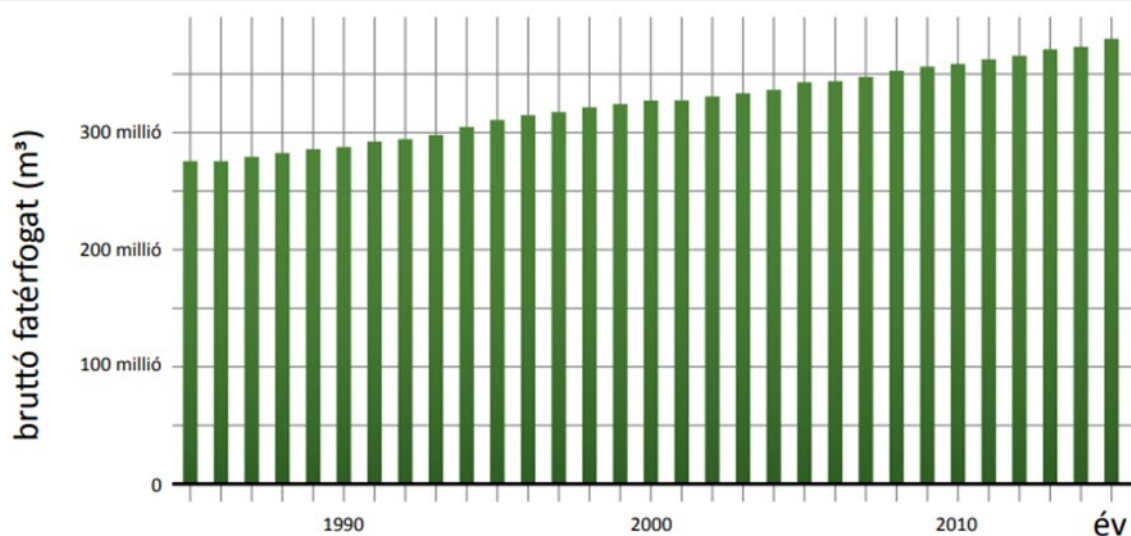
Az élőfakészlet és a természetességi adatokat az **Országos Erdőállomány Adattár (OEA)** erdőrészesletekre vonatkozóan adja meg. A NÖSZTÉP számára az OEA az **Erdészeti Szakigazgatási Információs Rendszeren (ESZIR)** keresztül elérhető. Az SZMCS, illetve a NÖSZTÉP szakértők körében, különösen az erdőkkel foglalkozó szakértők körében konszenzus alakult ki abban a tekintetben, hogy a legátfogóbb, releváns adatokat az Országos Erdőállomány Adattár tartalmazza. Ezzel szemben az Erdőleltárban az adatok pontszerű felvételezésen alapulnak (<https://portal.nebih.gov.hu/erdoleltar/>), amelyeknek korlátozott a térbeli kiterjeszhetősége.

A **természetességi** mutató széles körűen elterjedt indikátor (Bartha 2005), leírását a NÖSZTÉP ökoszisztéma-alapállapot értékelés keretében is összefoglalták (Tanács és mtsai 2019). Fontos, hogy a NÖSZTÉP keretében egy új erdő természetességi mutatót is kidolgoztak egy természetvédelmi szempontú, összesített erdőállapot minősítés alapján (Tanács és mtsai et al 2019).

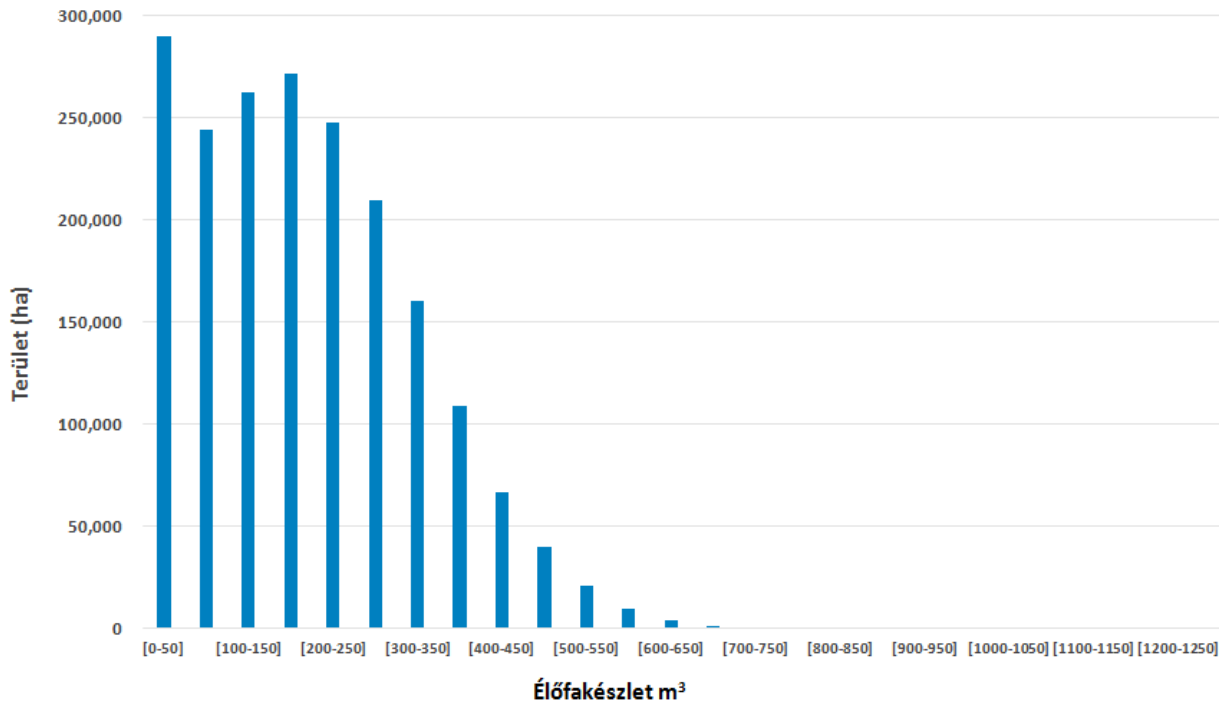
- Milyen értékeket vesz fel az indikátor?

Az **élőfakészlet** a hazai erdőkben **2015-ben 378 millió bruttó m³** volt az Országos Erdőállomány Adattár alapján (NÉBIH 2015). Az elmúlt három évtizedben **a magyar erdők élőfakészlete folyamatosan, átlagosan évi 3,3 millió m³-rel növekedett** (3. ábra) (NÉBIH 2015).

Az élőfakészlet eloszlását tekintve megállapítható, hogy legnagyobb kiterjedéssel az alacsony élőfakészlettel bíró erdők rendelkeznek (0-50 m³/ha) (4. ábra). Et azzal magyarázható, hogy a fiatal és alacsony élőfakészletű korosztályok az erdőállományban (tartamos gazdálkodás mellett) mindig jóval nagyobb területűek, mint az idős, nagy élőfakészletű állományok. Nagy területen találhatóak továbbá a 150-200 m³/ha élőfakészlettel bíró erdők, de az ennél nagyobb élőfakészletű erdők gyakorisága egyre kisebb, a grafikonon a 700 m³/ha fölötti erdők összes kiterjedése már nem is látszik ezek összesen 872 hektáron találhatóak (4. ábra).

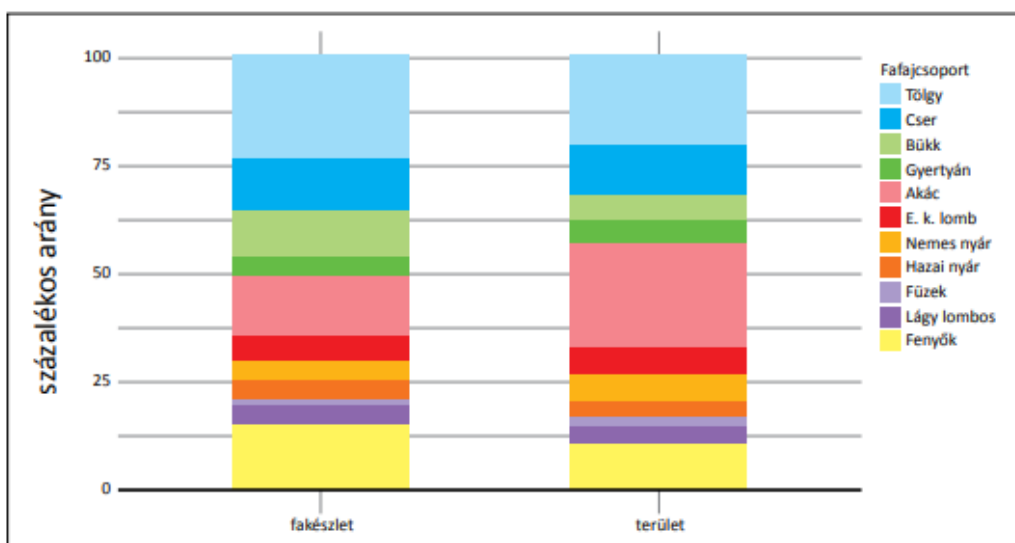


3. ábra Az élőfakészlet változása (NÉBIH 2015)



4. ábra Az élőfakészlet eloszlása (m³/ha)

Magyarországon a **tölgy fajcsoport a legnagyobb élőfakészletű, a legnagyobb területen viszont akácot találunk** (5. ábra) (NÉBIH 2015). Az ennél részletesebb adatokat a tényleges szolgáltatás kaszkád szintnél, azzal történő összehasonlítás során adjuk meg.



5. ábra Fajcsoportok terület és élőfakészlet megoszlása (NÉBIH 2015)

A **természetességi** mutató az erdőtörvényben (2009. évi XXXVII. törvény) szereplő definíciók alapján a **fafajösszetételt** (különös tekintettel az idegenhonos fajok arányára), az **eredetet** (mag vagy sarj), és a faállomány **szerkezetét** veszi figyelembe. Ezek alapján 6 különböző természetességi csoportba sorolták az erdőket: faültetvény, kultúr-, átmeneti-, származék-, természetszerű- és természetes erdők. Az erdők természetességi mutatójának térképe a 3. szinthez kapcsolódva különösen fontos, ahol azt vizsgáljuk, hogy jellemzően milyen típusú erdőben történik tűzifa célú fakitermelés.

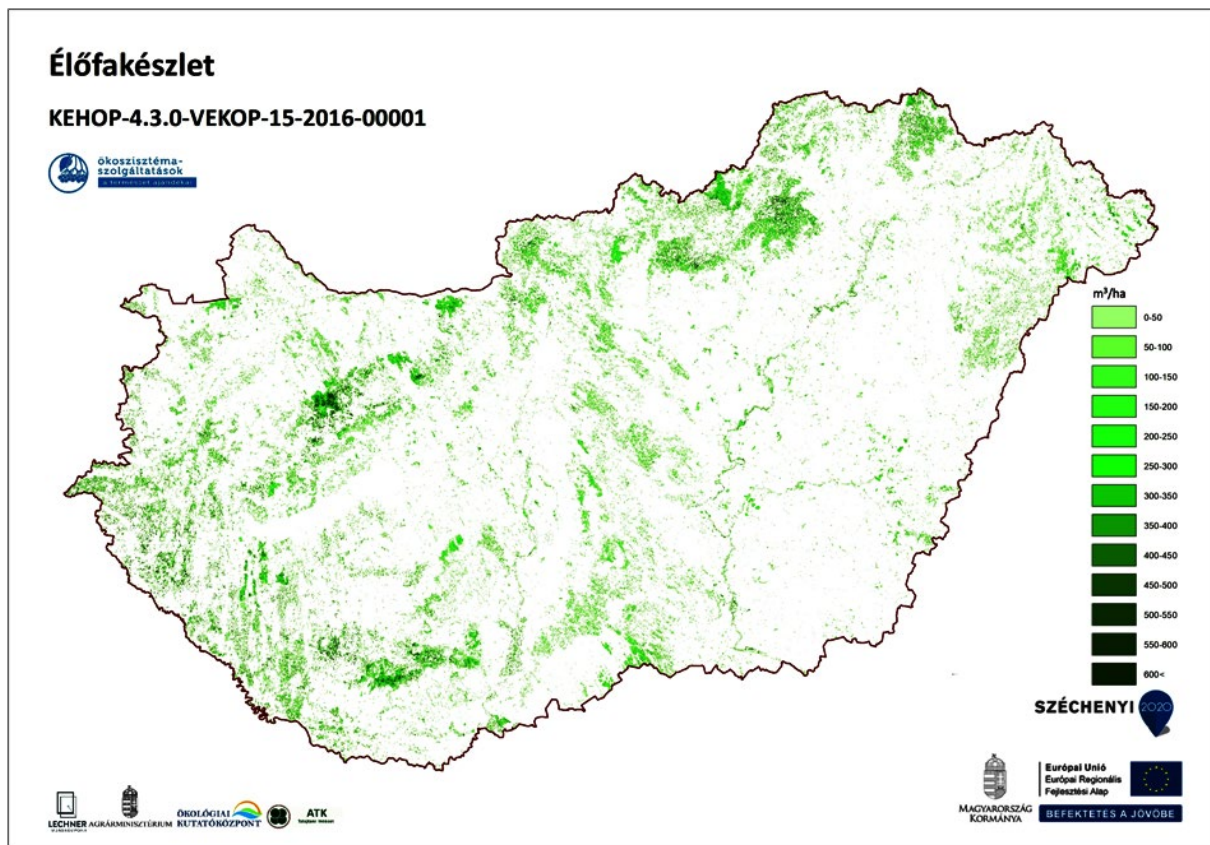
- **Hogyan térképezhető az indikátor? Mit ábrázolnak a térképek?**

Az **élőfakészlet** adatokat az **Országos Erdőállomány Adattár** (OEA) erdőrészletekre vonatkozóan, azon belül fafajonként adja meg. A NÖSZTÉP számára az OEA az **Erdészeti Szakigazgatási Információs Rendszeren** (ESZIR) keresztül elérhető.

Az Országos Erdőállomány Adattárban nyilvántartott élőfakészletet az erdészeti igazgatás a körzeti erdőtervezés folyamatában, 10 éves visszatérési idővel határozza meg terepi mérések és megfigyelések alapján erdőrészletenként, azon belül elsősorban korcsoportonként és fafajonként. A 10 éves cikluson belül a faállományok növekedését algoritmusokkal modellezik, az észlelt fáhasználatokat és az erdőkárok okozta csökkenést a fakészletből levonják.

Az élőfakészlet adatokat (m^3/ha) a NÖSZTÉP céljaihoz szükséges formában Kottek Péter állította elő. Az OEA adatsor a fafajsorok fatérfogatát tartalmazza hektáronként (m^3/ha), ez alapján számolható ki a 20×20 méteres raszterre eső élőfakészlet. A 2015-ös év adatait elemeztük.

Látható, hogy az **északi-középhegységi és a dunántúli erdők magas élőfakészlettel** rendelkeznek (6. ábra). Nógrád és Borsod-Abaúj-Zemplén megyében nagy mennyiségben találunk **tölgyeseket**, illetve bükkösöket, míg az **Alföldre** (Bács-Kiskun megye), illetve a Nyugat-Dunántúlra (Vas és Zala megye) az ültetett fenyvesek, akácok jellemzők (NÉBIH 2015). Az **Alföldön**, bár nagy kiterjedésű **akác- és nemesnyár-ültetvények** találhatóak, de jellemzően alacsony hektáronkénti élőfakészlettel rendelkeznek (mivel jellemzően rövid vágásfordulójú, fiatal állományokról van szó, ugyanakkor a rosszabb termőhely miatt is alacsonyabb az élőfakészlet, mint a hegyvidéki jobb termőhelyű, csapadékosabb területeken).

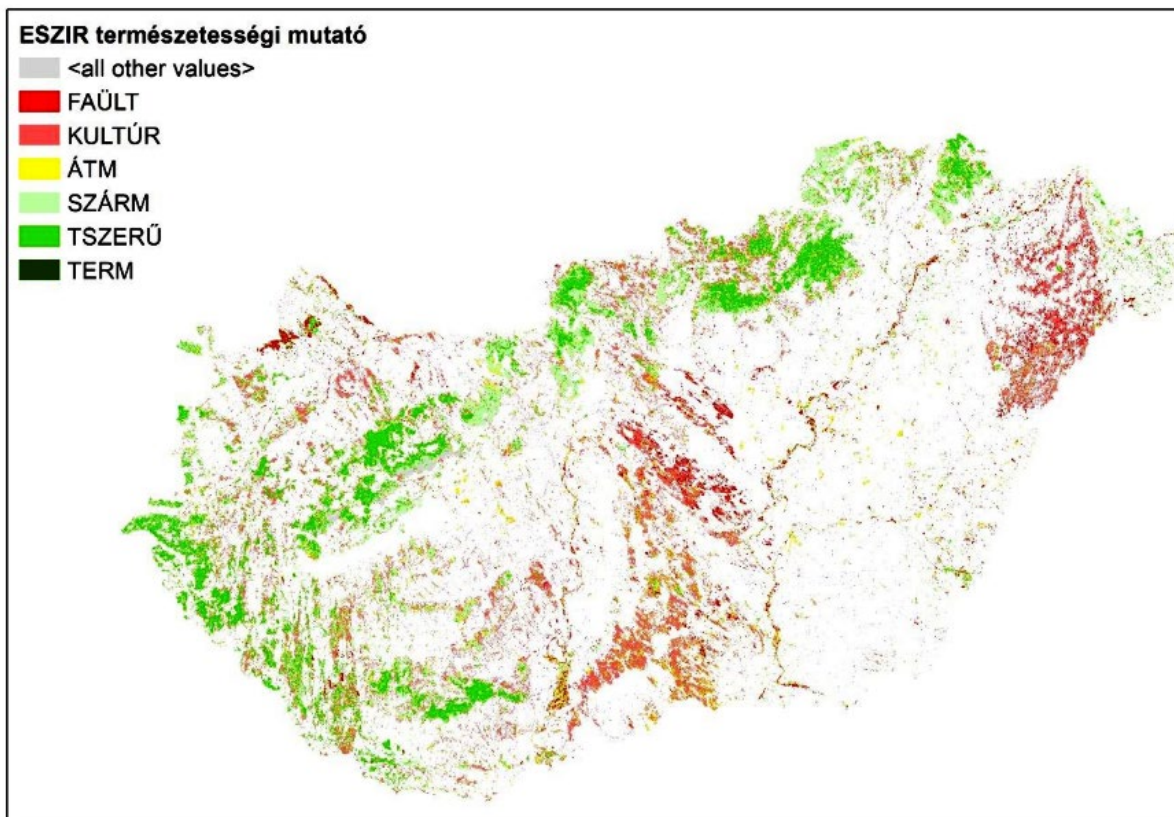


6. ábra Erdők föld feletti élőfakészlete (m³/ha). Készítette: a NÖSZTÉP keretében a Lechner Tudásközpont az Országos Erdőállomány Adattár alapján.

A természetességi mutató térkép alapján megállapítható, hogy az **erdők többsége a származék (32%) és a természetszerű (21%) erdő kategóriába** tartozik és ezek elsősorban a hegyvidéki területeken találhatóak (7. ábra) (NÉBIH 2016). Jelentős ugyanakkor a **kultúrerdők (33%)** és a **faültetvények (6%)** kiterjedése is elsősorban a Nyírségben és a Dél-Alföldön (Homokhátság, Duna-sík). Az **átmeneti erdők aránya 7%**, míg a **természetes erdőké csak 0,01%**.

A **természetes folyamatokat** követő, ökológiailag is értékesebb erdőszerkezet kialakulását eredményező erdőkezelési módok aránya tovább növekedett, de még mindig nagyon alacsony a részesedése. Ezek közé tartozik a **szálaló/folyamatos erdőborítást biztosító** (rendszeres és gyakori, kis területű fahasználatok), az átalakító (a vágásos üzemmódból a szálaló üzemmódba való áttérés) és a faanyagtermelést nem szolgáló (jellemzően rossz termőhelyen lévő erdők, ahol gazdasági kitermelés nem éri meg) üzemmód (NÉBIH 2016). Ezek összterülete 2004-ben 25 ezer ha volt, amely 2015-re 150 ezer hektárra emelkedett, ami az összes erdőterület 4 %-a.

Megjegyzendő, hogy a legtöbb erdőt **2004 után is** az Alföldön és a Nyírségben telepítették, s a **telepített fajok közül kiemelkedő jelentőségű az akác és a tölgy.**



7. ábra A hazai erdők állapota az ESZIR természetességi mutató alapján (a kép forrása: Tanács et al 2019)

- Melyek az indikátor korlátai?

Amennyiben a döntéshozók és a további felhasználók számára a céloktól függően az élőhely, illetve a talajtípus adataira, térképeire van szüksége, úgy azokat mások már elkészítették és felhasználhatóak. Így tehát a NÖSZTÉP Ökoszisztéma-alaptérkép, a MÉTA adatbázis, illetve az MTA-TAKI talaj információs rendszere (DoSoReMi) már tartalmazza az erdőkre vonatkozó élőhely és talaj (pl. szemcseméret frakciók, szervesanyag-tartalom, termőréteg vastagság stb.) adatokat.

Az Országos Erdőállomány Adattárban nyilvántartott élőfakészletet az erdészeti igazgatás és a körzeti erdőtervezés folyamatában, 10 éves visszatérési idővel határozza meg terepi mérések és megfigyelések alapján erdőrésztelenként, azon belül fafajonként. A 10 éves cikluson belül a faállományok növekedését algoritmusokkal modellezik, az észlelt fahasználatokat és az erdőkárok okozta csökkenést a fakészletből levonják. Ezeknek az eljárásoknak a hibái, illetve az adatgyűjtés korlátai mind beépülnek az aktuális élőfakészlet adataiba. A pontatlanság elfogadott mértéke 20-30% – a szakmai normák szerint erdőrésztelenként ennyivel térhet el a valós élőfakészlet a nyilvántartott adattól. A fakészlet-bebecslés megbízhatósága és pontossága manapság sok kritikát kap, amire a közeljövőben a távérzékelési módszerek bevezetése jelenthet megoldást; de az mindenképpen elmondható, hogy az élőfakészlet-adatok a faállományok kor- és fafajok szerint változatosságát viszonylag jól írják le, és nagyon jó felbontású, térinformatikai feldolgozásra alkalmas információt adnak.

A természetességi mutató algoritmikusan képezett indikátor, melynek alapadatai az OEA-ban nyilvántartott faállomány-leírásból származnak, illetve az ugyanott rendelkezésre álló, a cserjeszintre vonatkozó információkat használják. A természetességi mutató tehát a faállomány összetételére, szerkezetére reflektál. Ez jelenti a korlátait is: nem veszi figyelembe (alapadatok híján) az ökoszisztéma egyéb alkotóit, a légyszárúakat, az állatvilág változatosságát, a talaj életközösségét stb.

Az ökológiai értékelés további korlátja a természetességi mutató léptéke, mely erdőrésztelenszintű (pár hektáros terület-méretre vonatkozik). Sem az erdőrésztelen belüli változatosságot (pl. tisztások, lékek, erdőszél, különböző mozaikos társulás-foltok stb.) nem írja le; sem a nagyobb, táj léptékű szempontokat nem veszi figyelembe.

4.1.2 Potenciális ÖSz

- Mi az adott indikátor?

A **folyónövedék és átlagnövedék** (fatermőképesség) ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{év}$) a 2015-ös évre vonatkoztatva.

A **folyónövedék a faállományok korától számított következő 10 éves időszakban várható összatermésének (összes faprodukciónak) átlagos egy évi növedéke ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{év}$)** (képletekkel lásd Veperdi 2008). A gyakorlatban a faállomány terepi felvételének évétől kezdődően az elkövetkező 10 éven át konstans és változatlan folyónövedéket használnak. A mutató az erdőrésztelenben található különböző fafajokhoz tartozó egyedek összes növedékét fejezi ki hektáronként. (Az erdőrésztelenek az erdőgazdálkodás területi alapegységei, a klasszikus definíció szerint termőhelyi, faállomány szerkezeti és kezelési jellemzők tekintetében

egyneműnek tekinthetők; napjainkban azonban inkább már tulajdonjogi meghatározottságúak; az erdőrészek területe átlagosan 3,7 ha.)

Egyszerűbb megfogalmazás szerint a folyónövedék a faállomány által évente termelt összes biomassza vágáslap feletti része (a vágáslap, a fa kivágásának síkja, kb. 20 cm-rel a talaj felszíne felett, a vágáslap alatti rész a gyökér és a tuskó). A folyónövedék számított mennyiség, terepen közvetlenül nem határozható meg, ehelyett **fatermési táblákból** becsüljük. A fatermési táblák fafajonként és termőhelyi osztályonként határozzák meg a folyó és átlag növedéket a mintaterületek fakészletének részletes, faegyedenkénti detektálásából és a fakészlet változásából (Solymos 1969). A termőhelyi osztályok a talaj, a fekvés és a klíma által meghatározott termőképességi csoportok. Az osztályozás alapelve az, hogyha két faállomány ugyanazon korban ugyanakkora fatömeggel bír, akkor a termőhelyi jóságuk is egyforma és viszont, amelyik faállománynak a területegységre vonatkoztatott fatömeg a nagyobb, az jobb termőhelyen áll.

A 2. kaszkád szint másik indikátora az **átlagnövedék** (fatermőképesség), amely **az erdő átlagos éves összfatermésének növekedése ($m^3/ha/év$)** területegységre és tetszőleges időtartamra (évre) vonatkoztatva (Veperdi 2008). A potenciális szolgáltatás a folyamatos és hosszútávon is fenntartható igénybevétel melletti átlagos szolgáltatásnak tekinthető. Praktikusan általában hosszabb, az adott faállomány vágásfordulójával összemérhető hosszúságú időszakot alkalmaznak (25-75 év). (A vágásforduló a tarvágásos üzemmód ciklusideje, tehát bele értendő a felújítási szakasz is, amikor a terület a fás vegetáció által többé vagy kevésbé borítatlan.) Meghatározása a faállomány kora és átlagmagassága alapján történik. Természetesen ez nem jelenti azt, hogy a rendelkezésre álló átlagnövedéket (a faállomány összfatermésének átlagos éves növekedését) ki is termelik, illetve kitermelendő. Ez egy indikátor, ami a hosszútávon elérhető hozamot, a potenciált jelenti, de nem az erdőgazdálkodás üzemmódjára utal.

- **Miért az adott indikátort választottuk?**

Az indikátorválasztást alátámasztja, hogy a folyónövedék **jól jellemzi az erdőrészek éves fatömeg-növekedésének mértékét**. A 2. kaszkád szint indikátoraként azért használtuk az átlagnövedéket is, mert az a **tartamos (fenntartható) gazdálkodás mellett elérhető hosszú távú produktíót jellemzi jól**. A folyónövedékhez képest leginkább vonatkozási idejében tér el: a folyónövedék a pillanatnyi produktíót, az átlagnövedék a vágásforduló időtartamát jellemzi.

Az erdőrészekenkénti (hektáronkénti) folyónövedék és az átlagnövedék közti különbséget, azok matematikai definíciójával a 7.1. mellékletben mutatjuk be részletesebben. Az alábbiakban nagyon leegyszerűsítve összefoglaljuk a folyó- és átlagnövedék közti különbséget.

Az átlagnövedék azt mutatja, hogy mekkora a teljes vágásforduló alatt (pl. 100 év alatt) az évi átlagos fakészlet növekedés ($m^3/ha/év$). Fiatal korban a növekedés gyors (pl. $20 m^3/ha/év$), a növekedési csúcs után pedig lelassul (pl. $10 m^3/ha/év$); ezt mutatja a folyónövedék kor szerinti lefutása. Ha 100 éves korban, vágásforduló végén kivágják a fákat, akkor a fenti példánál maradva az átlagnövedék $(20 + 10) / 2 = 15 m^3/ha/év$. Ebben az esetben az első 50 évben tehát $20 m^3/ha/év$ majd a második 50 évben $10 m^3/ha/év$ volt a növekedés (a példa elméleti,

leegyszerűsítő, magyarázó célú, a gyors és lassú növekedési szakasz sem egyforma hosszúságú, a szakaszokon belül a folyónövedék valójában nem konstans stb., a valósághoz közelebbi értékeket lásd a 7.1. mellékletben). A folyó- és átlagnövedék is függ a termőhely minőségétől; jobb termőhelyen gyorsabb a fanövekedés, míg gyengébb termőhelyen lassabb. Az átlagnövedék jobban jellemzi a teljes vágásforduló alatti növekedést, így a termőhely jóságát (potenciált). Az átlagnövedék, a potenciális kaszkád szint definíciója alapján az ökoszisztéma-állapot jellemzők függvényében maximálisan elérhető potenciális szolgáltatást fejezi ki. A tényleges felhasználás az ebből valóságosan is tűzifaként felhasznált mennyiséget jelöli. Az ökoszisztéma rövidtávú potenciális szolgáltatását pedig a folyónövedék fejezi ki, tehát azt, hogy rövid távon milyen képességei vannak az ökoszisztéma a szolgáltatás ellátása szempontjából.

- **Milyen külföldi és hazai példák vannak az indikátor ökoszisztéma-szolgáltatás alapú értékelésére?**

A kitermelhető fa mennyiséget ($m^3/ha/év$) mások pl. modellek alapján becsülték meg 2050-re vonatkozóan és ezt ábrázolták térképen, illetve azt is jelölték, hogy hol javasolható természetvédelmi stratégiát követni (amelyre itthon például a NATURA 2000 fenntartási tervek nyújtanak lehetőséget), hol alkalmazható intenzívebb kitermelés és hol találhatóak a konfliktus területek (Burkhard and Maes 2017). Ez azonban már a jövőkép-elemzés munkafolyamatához tartozik. Németországra nézve a felhasználható faanyag átlagos éves mennyiségét térképezték (az ÖSz értékelése során nem foglalkoztak a kaszkád más szintjeivel), ami átlagosan $11,2 m^3/ha/év$ volt (2002-2012) jelentős területi különbségek mellett (Grünwald et al. 2017). Az EcoKarst projektben a Szlovén Erdészeti Szolgálat szakemberei egy előre meghatározott kitermelhető mennyiséget (allowable cut, erdőtervi lehetőség, éves megengedett kitermelhető mennyiség) adtak meg a potenciális szintnél, ami a növedéknek egy előre meghatározott hányada erdőfejlődési fázis (kor) és erdőtípus szerint.

- **Milyen adatbázisból, hogyan számoltuk ki az indikátort?**

A folyónövedék és átlagnövedék adatokat az **Országos Erdőállomány Adattár** (OEA) erdőrészletekre vonatkozóan, azon belül fafajonként adja meg. A NÖSZTÉP számára az OEA az **Erdészeti Szakigazgatási Információs Rendszeren** (ESZIR) keresztül elérhető. Az adatok a fatermési táblákból olvashatóak ki és ezek kerülnek be az OEA adatbázisába az adott faállomány fafaja, eredete (mag vagy sarj), kora és átlagmagassága alapján. A 2. kaszkád szinten az erdőrészlet adatokat az elemzések során az elérhető adatok alapján aggregálni kellett **erdészeti közigazgatási** egységenként.

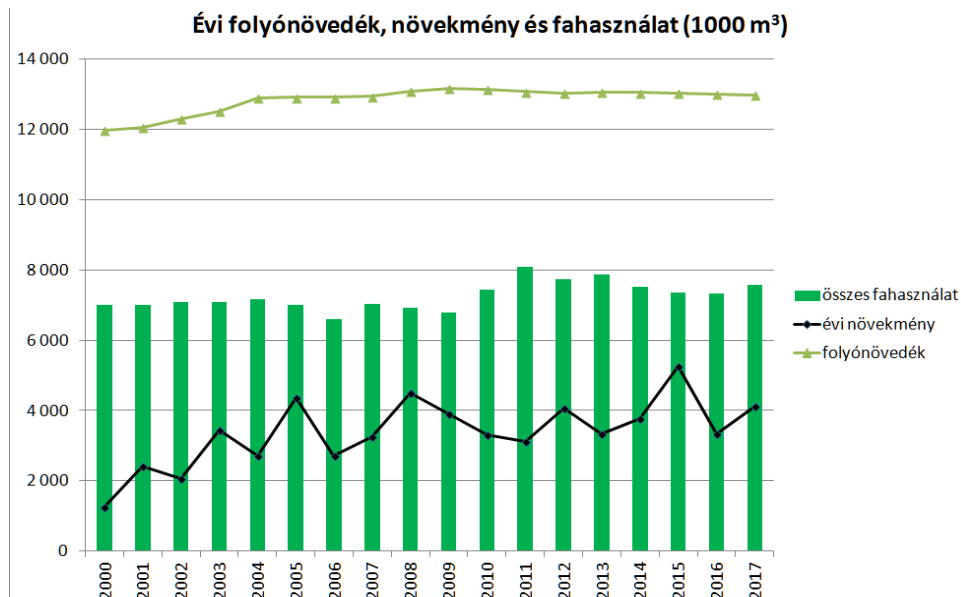
- **Milyen értékeket vesz fel az indikátor?**

Az országos összes folyónövedék alakulása hosszú időn keresztül meglehetősen **stabil, majdnem változatlanul 13 millió m^3 körüli** (8. ábra). Enyhe növekedése az erdőállomány területnövekedésének tudható be. A 2015-ös év ilyen szempontból átlagosnak tekinthető.

Az egyes erdőrészletekben a folyónövedék függ a fafajtól, az adott állomány korától és a termőhely jóságától. Az éves hektáronkénti folyónövedék lehetséges maximumai az alkalmazásban lévő fatermési táblák szerint ($m^3/ha/év$); nemesnyárok 58, akác 34, hazai nyárok és egyéb lágylombosok 26, fenyők 25, tölgyek 24, cser 18, bükk 17, gyertyán 12.

Az új eredményeket az elkészült térkép elemzése során alább, illetve az átlagnövedéssel való összehasonlítás során adjuk meg (a következő 4.1.2 fejezetben).

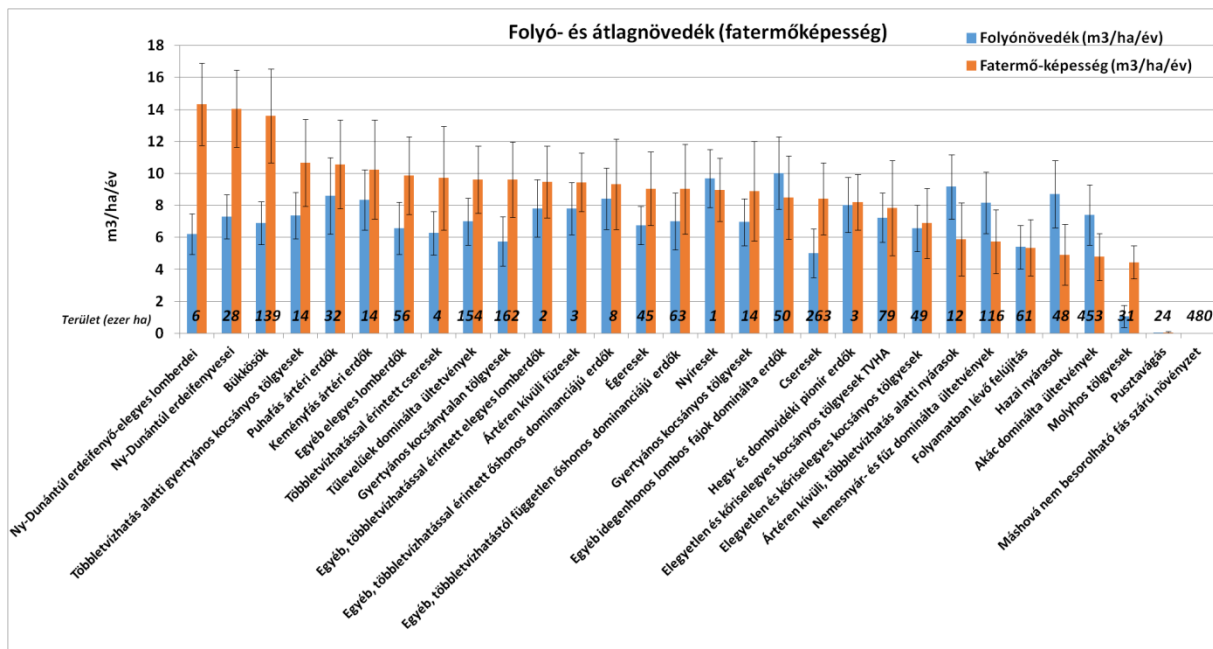
A fakitermelés mértéke régóta a növedék alatt marad, ami az élőfakészlet emelkedését vonja maga után (8. ábra).



8. ábra Az országos összes folyónövedék, az éves bruttó fakitermelések, és az erdőkben maradó gyarapodás (a növekmény) alakulása 2017-ig. Adatforrás: Országos Erdőállomány Adattár, illetve Országos Statisztikai Adatfelvételi Program (OSAP) adatgyűjtések, NÉBIH Erdészeti Igazgatóság.

A hektáronkénti **átlagnövedék** fafaj- és termőhely- függő. Az egyes fafajcsoportok esetében a maximális átlagnövedék az alábbiak szerint alakul ($m^3/ha/év$): nemesnyárak 40, akác 28, hazai nyárak és egyéb lágylombosok 26, tölgyek 20, fenyők 16, cser 14, bükk 14, gyertyán 10. Ezek a fajcsoportok az erdőrészekben elegyesen fordulnak elő, illetve a maximumot ritkán érik el, ezért az élőhely-kategóriákra számolt átlagnövedékek ennél alacsonyabbak, illetve ettől eltérőek. Az Országos Erdőállomány Adattár erdőrészekre vonatkoztatott folyó- és átlagnövedék értékét a NÖSZTÉP élőhely-kategóriákra vonatkoztatva a 9. ábra mutatja (a részletes adatok az adatbázisból, illetve az elkészült térkép alapján elérhetőek). Ez alapján a legnagyobb átlagnövedéssel (fatermőképességgel) a nyugat-dunántúli erdei fenyvesek rendelkeznek (bár csekély területük miatt bármiféle általánosítás esetleges), amelyeket a bükkösök, gyertyános kocsányos tölgyesek, ártéri erdők követnek. A fűzesek, égeresek nyíresek, kocsánytalan tölgyesek, cseresek közepes, míg a legalacsonyabb fatermőképességgel rendelkező élőhelyeken nemesnyár és fűz dominálta ültetvényeket, akácot (élőhely-kategóriákat tekintve ezek a legnagyobb kiterjedésűek), nyarast, illetve molyos tölgyeseket találunk. Az élőhelytérkép alapján jelentős kiterjedésű a máshová nem besorolható fás szárú növényzet, de ezek a faállományok nincsenek nyilvántartva az Országos Erdőállomány Adattárban, ezért nem szerepel itt adat. Az értékekben a sokéves erdőgazdálkodás tükröződik vissza, tehát a rosszabb termőhelyekre jellemzően akácot, hazai nyarast ültettek. Ezek eseteiben a folyónövedék nagyobb, mint a fatermőképesség, ami az állományok fiatal korára

utal (az akác káros természetvédelmi hatásáról lásd; Botta-Dukát és Mihály 2006). Hasonló a helyzet az idegenhosok dominálta erdők esetében, tehát az aktuális folyónövedék magasabb, mint a fatermőképesség. Fontos megismételni, hogy ahol a folyónövedék nagyobb volt, mint az átlagnövedék, ott a fák az intenzív növekedési szakaszban voltak. Látható, hogy a bükkösök és tölgyesek nem érik el a potenciált, tehát a folyónövedék átlagosan alul marad az átlagnövedékhez (fatermőképességhez) képest, s ennek oka ezen állományok változatos korszerkezete, illetve relatív idős kora. **Tűzifa ellátás szempontjából a meglévő akácosokat, idegenhosos fákkal dominált faültetvényeket érdemes felhasználni, illetve érdemes az idegenhosos fafajokat kitermelni az elegyes erdőkből.** Az erdőborítottság fenntartása legtöbb esetben továbbra is indokolt, de javasolt áttérni az őshonos fafajokra támaszkodó, természetközeli gazdálkodásra. Lokálisan, termőhelytől függően a gyeperdőmozaikok, erdőssztyepek kialakítása is fontos lehet.



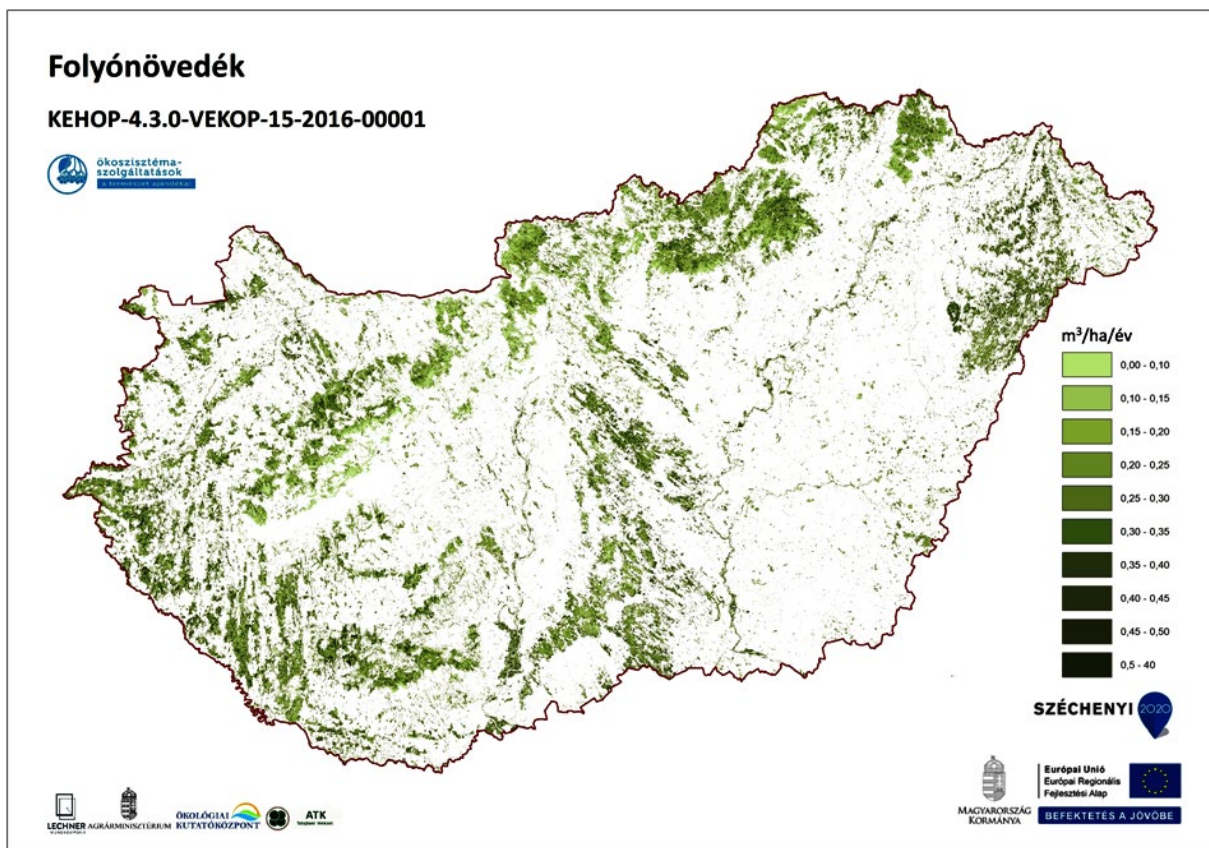
9. ábra A folyónövedésk (összes faprodukció) és az átlagnövedék (fatermőképesség) értékek élőhely-kategóriánként és az élőhelykategóriák területei (Nagyítson rá a képre!)

- **Hogyan térképezhető az indikátor?**

Az erdőrészlet területére, illetve az ennek megfeleltethető pixelek halmazára **adjuk meg az 1 ha-ra eső folyónövedéket és átlagnövedéket,** az érintett erdőrészleten belül előforduló fafajokra összesen (pl. egy 50 éves cseres-tölgyesben ez kb. 5,0 m³/ha/év-et jelenthet). Ezáltal összehasonlítható a különböző erdőrészletek teljesítménye, azaz produkciója (a későbbi kaszkád szinteken pedig a tűzifa-előállító képessége); ezért is ezt választottuk alap-indikátornak. A térkép a Lechner Tudásközponttal egyeztetve elkészültek (10. ábra).

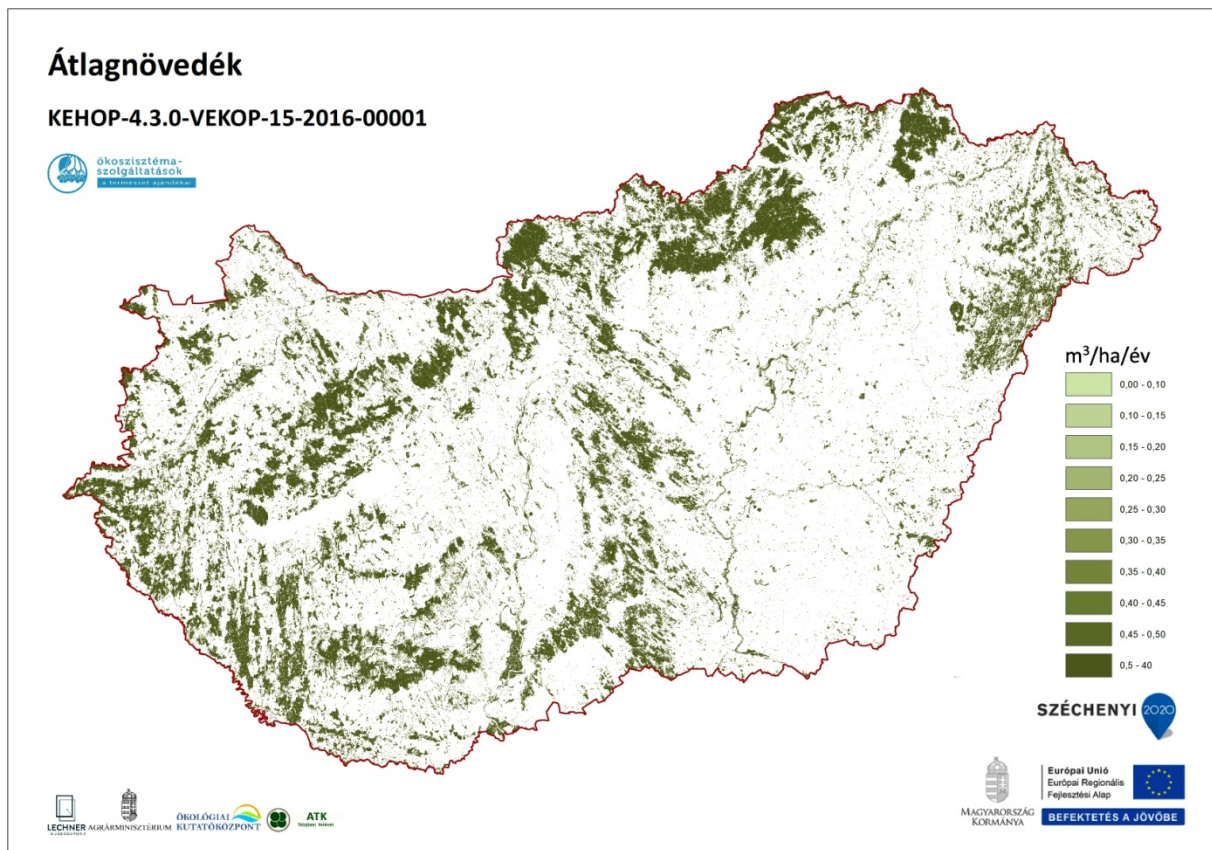
- Mit ábrázolnak az elkészült térképek?

A **folyónövedék** térképen a sötétzöld a magas, míg a világoszöld szín az alacsony folyónövedéket jelenti (10. ábra). Jól kirajzolódnak a hegy-, illetve dombvidéki területek magas folyónövedék értékei (gyertyános kocsánytalan tölgyesek, cseresek, bükkösök a középhegységekben és a Dél-Dunántúlon), ugyanakkor figyelemre méltóan magas értékeket látunk a homokhátsági (akácosok, nemesnyárasok és fűzesek) és a nyírségi (akácosok és többletvízhatás alatt álló erdők érdekes mozaikja!) területeken is. A térképi adatbázist használva a folyók mentén szűk sávban feltűnőek a természetyszerűbb galériaerdők (puhafás ártéri erdők, keményfás ártéri erdők) (10. ábra). Ezek az erdők a produkció mellett fontos, más ökológiai funkcióval (szűrés, vízmegtartás) is rendelkeznek.



10. ábra Országos folyónövedék térkép (m³/ha/év), a fakitermelés/tűzifa ŐSZ 1. kaszkádszint indikátora. Készítette: a NÖSZTÉP keretében a Lechner Tudásközpont az Országos Erdőállomány Adattár alapján.

Az **átlagnövedék** térképen a sötétzöld a magas, míg a világoszöld szín alacsony átlagnövedéket jelent (11. ábra). A folyónövedékhez képest itt élesebben kirajzolódnak a hegyvidéki területek magasabb átlagnövedék értékei a dombvidéki területekhez képest. Élesen elkülönülnek az akácosok és egyéb faültetvények a tölgyesektől, bükkösöktől. Míg az akácosok és egyéb faültetvények magas folyónövedék és alacsony átlagnövedék értékekkel rendelkeznek addig a tölgyesek, bükkösök esetében fordított a helyzet.



11. ábra Országos átlagnövedék térkép (m³/ha/év). Készítette: a NÖSZTÉP keretében a Lechner Tudásközpont az Országos Erdőállomány Adattár alapján.

- Melyek az indikátor korlátai?

Az átlagnövedék a folyónövedékhez hasonlóan számított mennyiség, a fatermési táblák készítésekor (1960-1980-as évek) felvételezett adatgyűjtésekből származnak, ilyen módon nem időjárás-függők és nem reflektálnak az azóta ismert klimatológiai változásokra sem. A folyónövedék csak az adott faállományok fafaj-összetételétől, korától és fatermőképességétől függ. Az adat területi felbontása azonban igen részletes, térinformatikai felhasználásra alkalmas.

Az Országos Erdőállomány Adattárban (OEA) a faállományok fakészletét 10 évente mérik fel. Két felmérés között minden évben növedékesítik, azaz hozzáadják a becsült növekedést. A növedék-becslés nem időjárás-függő, hanem egy 10 éves átlag. Minden évben levonják belőle az ismert (az igazgatás tudomására jutó, azaz bejelentett vagy helyszíneli) fakitermeléseket. Az OEA fakészlet-becslésnek megvannak a maga ismert korlátjai (limitációi), így pl. a feltételezett összes faállomány kb. 5-10%-a nincs nyilvántartva, nagy a bizonytalansága a fakészlet-becslésnek, nagy a bizonytalansága a növedékesítésnek, nem lehet tudni minden fahasználatról stb. Az egyes konkrét faállományok valódi fakészlete eltérhet a nyilvántartott adattól. Ezt csak sokkal intenzívebb és drágább terepi adatgyűjtéssel lehetne pontosítani. Bíztható, hogy távérzékelési módszerekkel 5-10 év múlva sokkal jobb eredményeket is el lehet majd érni (teljes lefedettség, jó területi felbontás és időjárás-függő adatsorok).

4.1.3 Tényleges ÖSz, felhasználás

- **Mi az adott indikátor?**

A 3. kaszkád szint indikátora a **tűzifaként kitermelt fa mennyisége (m³/ha/év)**.

- **Miért az adott indikátort választottuk?**

A tűzifaként kitermelt mennyiség a potenciálisan elérhető folyónövedék (m³/ha/év) egy része. Fafajtól, termőhelytől, kezelésektől, gazdasági helyzettől, felhasználási igénytől stb. függően a faanyag hasznosítása eltérő. Az összes folyónövedék egy része hasznosul tűzifaként, más része iparifa-választékokban kerül kitermelésre (épületfa, fagyártmányfa, papírfa stb.), és számolni kell a kitermelési-technológiai veszteségekkel, apadékkal is, ami az erdőben maradó részeket (tuskó, vékonyabb-vastagabb ágak, korhadt részek, eselék), továbbá a szállítás és a feldolgozás során lehulló részeket jelenti. Az apadék összegyűjtése esetén gazdaságilag hasznosulhat, de jellemzőbb, hogy a területen marad, így ökológiai értelemben hasznosul (pl. mikroélőhelyek keletkeznek). A folyónövedékből továbbá számottevő mennyiség gyarapítja az erdő élőfakészletét (növekmény), a fakészlet egy része szintén az erdőben marad és holtfává alakul (mortalitás). Egyrészt fontos, hogy a természetközeli módszerekkel, alacsony bolygatási szint mellett kezelt erdőkben az élőfakészlet nagyobb része alakul holtfává, mint az intenzívebb erdőgazdálkodás mellett; másrészt a természetközeli kezelés koncepciójában a holtfa az erdőben is marad – s ezen keresztül az erdő szénkészletének gazdagításában, fenntartásában, így a klíma szabályozásában, a biodiverzitás növelésében (élőhely), és a talajerózió elleni védelemben is hasznosul.

Az ökoszisztéma-szolgáltatás alatt a tűzifa-szolgáltatást, tehát a hazai kitermeléseket értjük. A magyarországi tűzifa felhasználás külkereskedelmi forrásokból is táplálkozik, a Magyarországra összegzett teljes tűzifa felhasználás így nem lenne alkalmas indikátora a magyar erdők szolgáltatásainak.

- **Milyen külföldi és hazai példák vannak az indikátor ökoszisztéma szolgáltatás alapú értékelésére?**

A faanyag-produkciót sokféleképpen térképezték, az egyszerű indikátoroktól (m³/ha kitermelt fa) kezdve az összetett modell eredmények ábrázolásáig (European Forest Information SCENario Model EFISCEN, the Global Forest Model, G4M) (Fagerholm and Palomo 2017).

- **Milyen adatbázisból, hogyan számoltuk ki az indikátort?**

A tűzifa-kitermelés alapadata az Országos Erdőállomány Adattár bruttó fahasználati statisztikája, mely erdőrészletenként tartalmazza az adott évben kitermelt bruttó faanyag mennyiségét. Az Adattárba az adatok a körzeti erdőtervezés folyamatában kerülnek be, mely 10 évenként, rotációs rendszerben minden nyilvántartott erdőrészletet érint és terepi bejárás, méréseken illetve távérzékelte adatokon alapul. A kitermelt famennyiség tűzifa- és iparifa arányára vonatkozó adatok pedig a Nemzeti Földügyi Központ Erdészeti Főosztály által gondozott, az erdőgazdálkodók nagy hányadát elérő, kérdőíves OSAP 1257-es és 1260-as adatgyűjtésekből származnak.

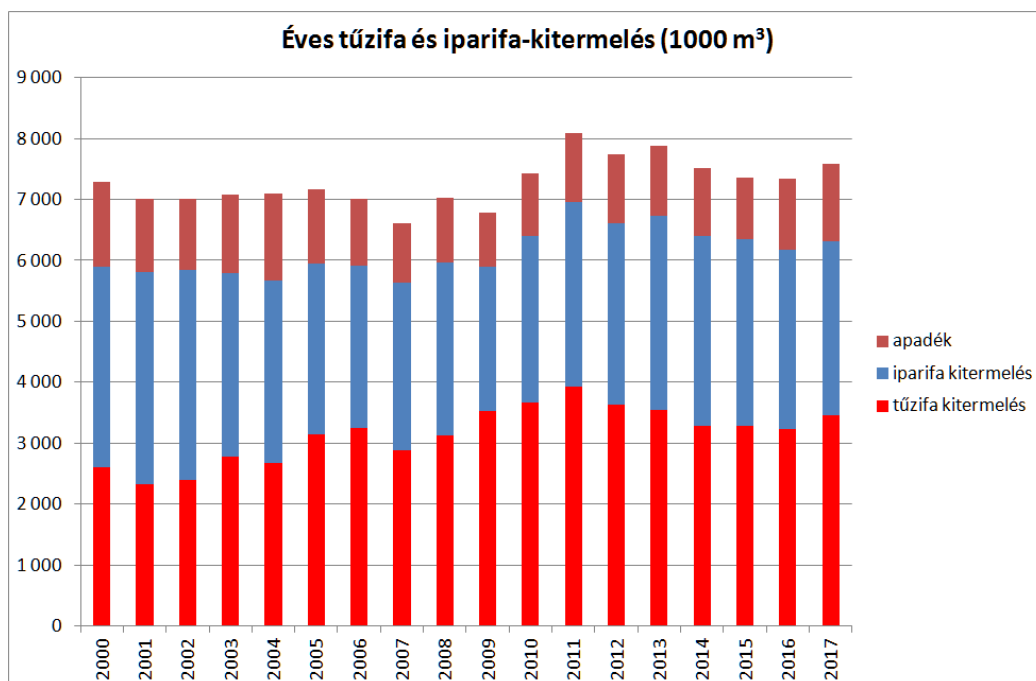
A bruttó és nettó fakitermelések gazdálkodói szektoronkénti, fafajcsoportonkénti és területi egységenkénti összerendeléséből becsülhető a tűzifa-kitermelés. A becslés természete miatt erdőrészlet-szinten nem állja meg a helyét, de területi felbontása várhatóan község- vagy megye-szinten elfogadható. A tűzifa felhasználás helyét a kitermelés helyéhez képest közgazdaságilag elsősorban a faanyag árába épülő szállítási költségek határozzák meg. A jelenlegi infrastruktúra mellett általánosságban elmondható, hogy a tűzifa minőségű faanyag maximum 50-100 km-es szállítási költséget bír el, és az ebből adódó bizonytalanság nagyjából azonos a vázolt tűzifa-kitermelési becslés területi élességével.

- **Milyen értékeket vesz fel az indikátor?**

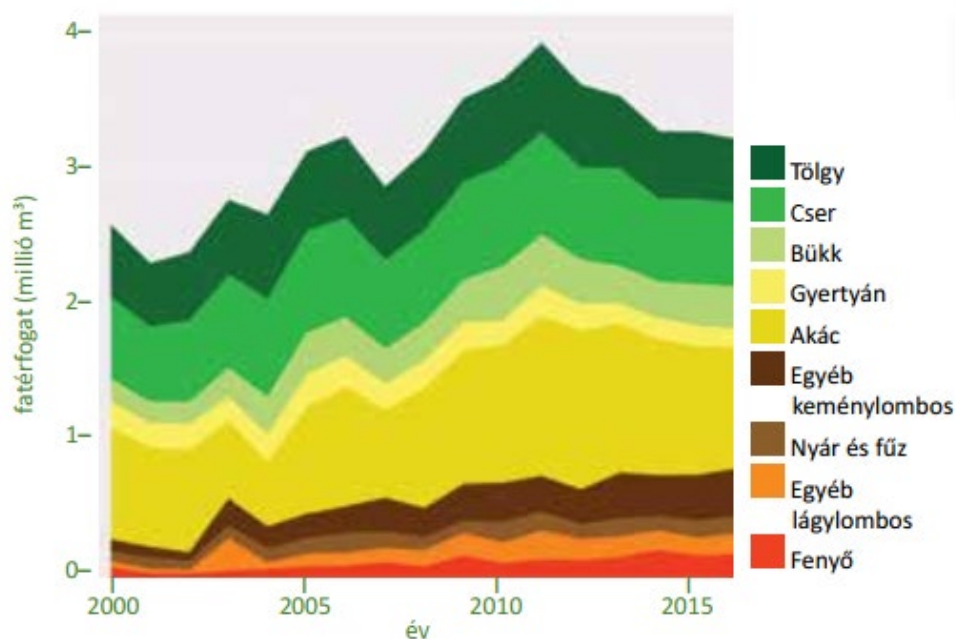
Az éves fakitermelés 1981 és 2005 között évi 6-8 millió m³ körüli volt, míg a fás biomassza éves produkciója (folyónövedék) 13 millió m³ körül mozgott. A fakitermelés, valamint az erdőkárok ellenére a hazai élőfakészlet folyamatosan növekszik, és a holtfa mennyiségére is inkább a felhalmozódási trend a jellemző (Kolozs 2015).

2015-ben az erdőgazdálkodók 122 ezer hektár erdőterületen (az összes erdőterület kb. 6-7%-án) végeztek fahasználati (fakitermelési) tevékenységet, ennek során a **13,1 millió bruttó m³ folyónövedék 54%-át, mintegy 7,3 millió bruttó m³-t** termeltek ki (12. ábra). Így az élőfakészlet évi növekedése elérte a 4,2 millió bruttó m³-t. (A mortalitás pedig 1,6 millió bruttó m³, $13,1 = 7,3 + 4,2 + 1,6$.) A bruttó kitermelt famennyiségből **3,3 millió m³ tűzifának (a folyónövedék 25%-a)** és kb. ugyanennyit iparifának **termeltek ki** (12. ábra). Az iparifa többségét a fűrészipari termékek teszik ki. Tűzifa szempontjából legjelentősebb fafajunk az akác, de a cser és a tölgy részesedése is számottevő és a legtöbb fafaj esetében a 2000-es években növekedés látható (13. ábra). A hazai fakitermelésből származó faanyagnak 55-58%-a (gyengébb termőhelyeken 65%-a) csak tűzifa választéknak felel meg, azaz csak energetikai célokra hasznosítható (ezzel szemben az iparifa aránya, ami további feldolgozás alá esik, 42-45% körül alakul). Energetikai hasznosítás céljára felhasználható még 1,1 millió m³ apadék (ami a fakitermelés során keletkező még értékesíthető hulladékot jelenti pl. gally, kéreg, tuskó), tisztítási faanyag és egészségügyi termelés. Tehát ez a tűzifával együtt összesen 4,1 millió m³ kitermelhető faanyagot jelent (Popp et al. 2018). Az évi mortalitás 1-2 millió bruttó m³ közé esik, de ökológiai szempontból ez nem veszteség, mert ez hozzájárul a biodiverzitás megőrzéséhez (pl. a holtfákhoz kötődő élőlények) a tápanyagok körforgásához.

Jelenleg a lakossági tűzifa felhasználás évi 1,5 millió m³ körül alakul, a fűtőművek 0,07 millió m³, az erőművek pedig (hazai és külföldi forrásból összesen) mintegy 7 millió m³ faanyagot használnak fel évente (Popp et al. 2018). A faanyag sorsa sokszor nem térképezhető. Nincs lehetőség a külföldről behozott tűzifa felhasználásának a térképezésre, ami az összes felhasználás akár kétharmada is lehet. A fa erőműben való elégetésével kapcsolatban erősen megoszlanak a vélemények (természetvédelmi szempontból káros); de éppen ez is jelentheti a későbbiekben a jövőkép alkotás során az elemzések alapját.



12. ábra Az éves tűzifa és iparifa-kitermelés (nettó fakitermelés). Az apadékkal (technológiai veszteség) együtt ezek teszik ki a bruttó fakitermelést.



13. ábra Tűzifa termelés fafajonként

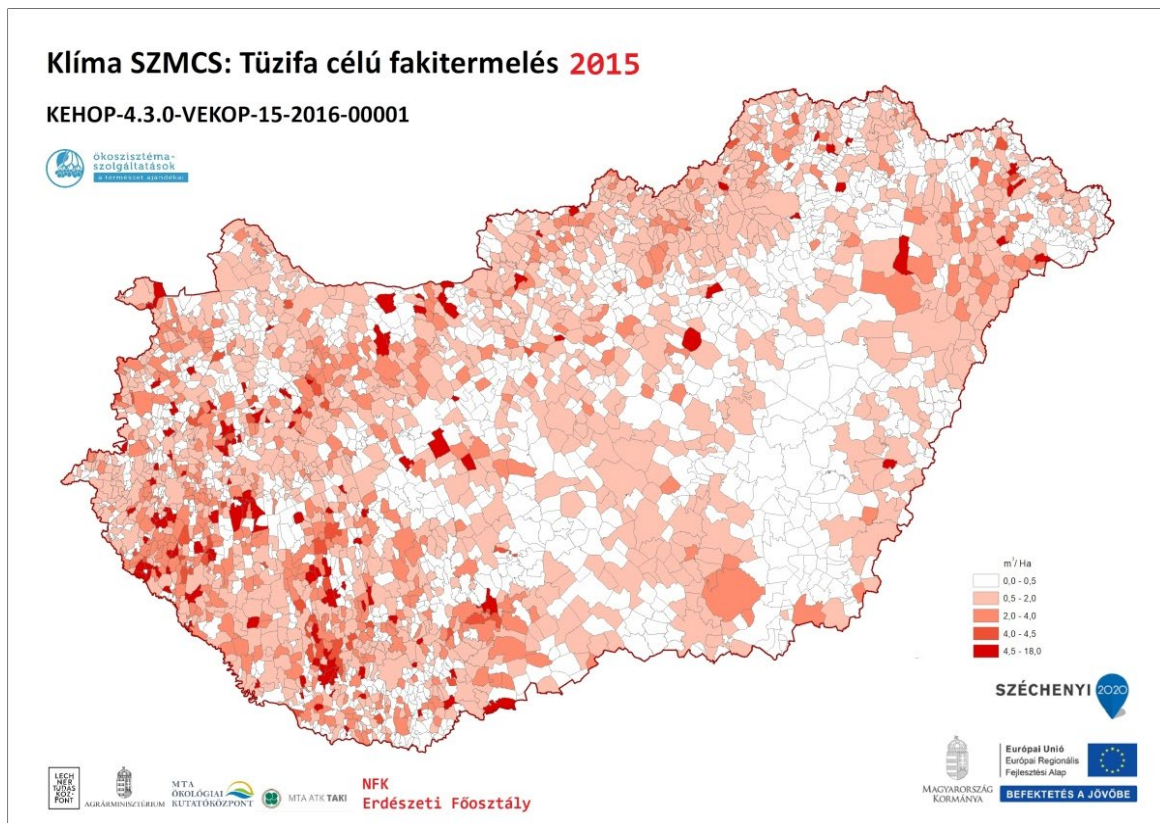
- **Hogyan térképezhető az indikátor? Mit ábrázolnak a térképek?**

A tűzifaként kitermelt fa mennyiségének ($m^3/ha/év$) térképe az Országos Erdőállomány Adattár alapján elkészült (14. ábra). A tűzifacélú kitermelés helyszíne évről évre változik, de jellemző az alföldi, nyírségi területek idegenhonos fafajainak (jellemzően pl. akác ültetvények) kitermelése (15.a ábra), illetve a domb-, és hegyvidéki területek őshonos (jellemzően pl. cser és más tölgyfafaj) kitermelése (15.b), amelyek közül az első eset

természetvédelmi szempontból támogatható. Figyelemre méltó a zalai és somogyi területek adott évi jelentős fakitermelése is.

A kitermelést célszerű lenne legalább 5-10 éves időszak átlagára megadni, amivel orvosolni lehetne a kitermelések területi esetlegességéből adódó anomáliákat, de ezek az adatok a NÖSZTÉP számára nem elérhetőek.

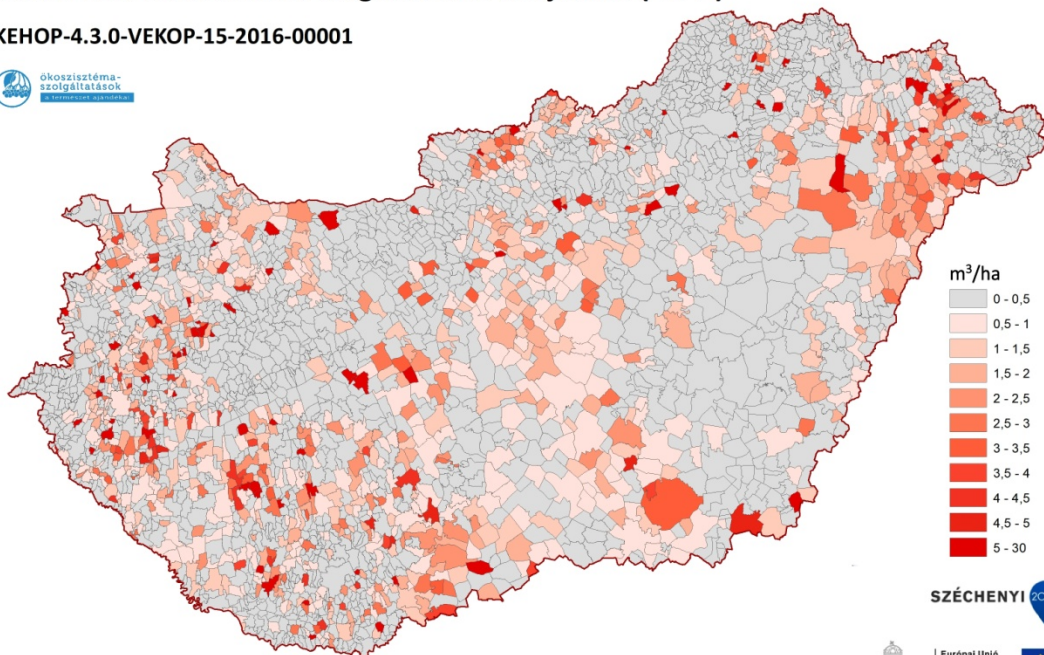
Sajnos szintén nem elérhetőek a nagy erdőgazdálkodók részletes, tájegységekhez köthető tűzifa-kitermelési adatai, melyek nagyban pontosíthatnák kitermelt tűzifa mennyiségére vonatkozó becslést. Ezek hiányában országos, szektoronkénti (állami- és magánszektor) és fafajcsoportonkénti átlag-adatokkal dolgoztunk.



14. ábra Tűzifa célú fakitermelés (2015) az Országos Erdőállomány Adattár alapján

Tüzifa célú fakitermelés idegenhonos fafajokból (2015)

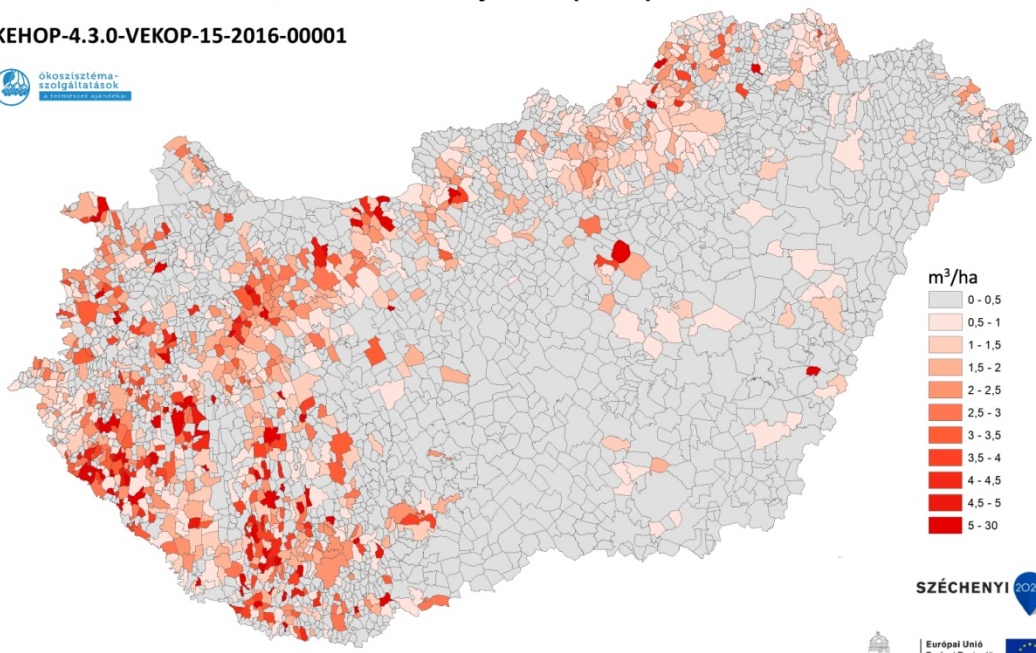
KEHOP-4.3.0-VEKOP-15-2016-00001



15.a ábra Tüzifa célú fakitermelés az idegenhonos fafajokból (2015) az Országos Erdőállomány Adattár alapján

Tüzifa célú fakitermelés őshonos fafajokból (2015)

KEHOP-4.3.0-VEKOP-15-2016-00001



15.b ábra Tüzifa célú fakitermelés őshonos fafajokból (2015) az Országos Erdőállomány Adattár alapján

- Melyek az indikátor korlátai?

A tűzifa termelésére vonatkozó becslések jelentős bizonytalansággal terheltek.

Kiemelendő elsősorban a **bruttó fakitermelés bizonytalansága**, hiszen az OEA (ESZIR) fakitermelési statisztikai nem konkrét tárgyévi helyszíni megfigyelésekből származnak, hanem döntően az 1-10 évvel korábbi állományfelvételekből és az azokra épülő fakészlet-növedékesítési algoritmusok által előállított fakészlet-nyilvántartásból.

Másodsorban jelentős a bizonytalansága az egyes erdőtípusokban a nettó választékszerkezetekről szóló ismereteinknek, főleg a magánszektorban, a kisgazdálkodói körben. A választékszerkezetekről szóló adatokat csak kérdőíves adatgyűjtésekből (OSAP 1257 és 1260, NÉBIH Erdészeti Igazgatóság) ismerjük. Ezek a kérdőívek az éves fakitermelések 70-80%-át fedik le, és ebből az adatgyűjtésből a kisgazdálkodói kör a nagyszámú és csekély egyszeri mennyiségű fakitermelésekre tekintettel gyakorlatilag kimarad. A valójában piacra jutó tűzifa mennyisége a fenti becslésnél nagyobb, és jelentős mennyiségű, végül a fenti adatgyűjtéseknek nincs tudomása az ilyen-olyan formában energetikai célra hasznított hazai származású faanyagról (főleg a lakossági felhasználást tekintve). Mindazonáltal a fenti becslések tudomásunk szerint az elérhető legjobbak.

A valójában a piacra jutó tűzifa-mennyiség a fenti becslésnél nagyobb, és jelentős mennyiségű, végül ilyen-olyan formában energetikai célra hasznított hazai származású faanyagról a fenti adatgyűjtéseknek nincs tudomása (főleg a lakossági felhasználást tekintve). Mindazonáltal a fenti becslések tudomásunk szerint az elérhető legjobbak.

Fontos hangsúlyozni, hogy a feltételezhető tűzifa-fogyasztás és a becsülhető kitermelés közti hézag nem feltétlenül illegális fakitermelés eredménye (habár az sem elhanyagolható), hanem elsősorban az egymásra épülő becslési módszerek bizonytalanságára és hibájára vezethető vissza. A feltételezhetően faanyagot szolgáltató fás vegetáció területének kb. 5-10%-a eleve nem szerepel az Országos Erdőállomány Adattárban, mert e területek jogilag nem minősülnek erdőnek. Nem elhanyagolható a tűzifa külkereskedelme sem, de erről sajnos az adatgyűjtések meglehetősen hiányosak. A fatermékeknek szánt fát is el lehet égetni és el is égetik (pl. faipari hulladékot), bár ennek jelentősége sokkal kisebb, mint a tűzifa felhasználású faanyagé. Sajnos a fa energetikai hasznosításának forrás-felhasználás mérlegére vonatkozó pontosabb becslések előállítása nagyságrendekkel kiterjedtebb és drágább adatgyűjtéseket igényelne, mint amilyekkel jelenleg rendelkezünk. Nagyon óvatosan kell bánni tehát az ítéletekkel, az eredmények értékelésével.

A tűzifa-piac időben dinamikusán változó természetű. Az utóbbi 10-20 évben a tűzifa-felhasználása az európai trendeknek megfelelően jelentősen emelkedett (12. ábra)-(ugyanakkor célszerű lenne kevésbé légszennyező energiahordozókkal kiváltani az erdei biomasszát). A középtávú folyamatok megítélésakor szerencsés, hogy a 2015-ös év fakitermelései az elmúlt 10-20 évre nézve nem kiugrónak, inkább közepesnek mondhatók.

4.1.4 Jólét

A jóléti dimenziók kidolgozása későbbi munkafázisok része. A tűzifa felhasználás jóléti dimenziója kétséget kizáróan **az otthon melege**. A hazai lakosság 17%-a fűt tűzifával, és további 15%-a pedig részben (Századvég 2019). Ezt az igényt ugyanakkor a biodiverzitás-, talaj-, klíma-, illetve mikroklíma-védelmi, valamint más ökológiai-gazdasági, továbbá társadalmi és egészségügyi (légszennyezettség) megfontolások alapján fenntartató (tartamos) erdőgazdálkodás, méltányos piacgazdaság, illetve korszerű technológia (termékpálya) mellett szükséges kielégíteni. A lakosság azért választja ezt a fűtési módot, mert olcsó (57%), hangulatos (47%) függetlenít a nagy hálózatok kockázatától (37%), a gáz/távhő nincs bevezetve a lakóhelyén (30%) (a felmérésben több válasz is megjelölhető volt) (Századvég 2019). Fontos jóléti kérdés az, hogy a tűzifa területenként eltérően mekkora szerepet kap a háztartások **energiaellátásában** (Tóth et al. 2011). A tűzifa közvetlen **piaci értékkel** is rendelkezik, amelynek értékelése fontos lenne, de gazdasági elemzés ezen ŐSz esetében a NÖSZTÉP keretein belül nem lesz (mindazonáltal fontos, hogy a tűzifa termelést és felhasználást, az ipari fával, bútort fával együtt a piac határozza meg). Itt is hangsúlyozzuk, hogy az erdők esetében a tűzifa csak az egyik szolgáltatás, az erdők számos más mindenki számára fontos ellátó, szabályozó-fenntartó és jóléti szolgáltatást is nyújtanak. **Nem lehet figyelmen kívül hagyni, hogy a tűzifa, mint ellátó szolgáltatás a többi szolgáltatással nagyrészt trade-offban van, azaz gyengíti azokat.**

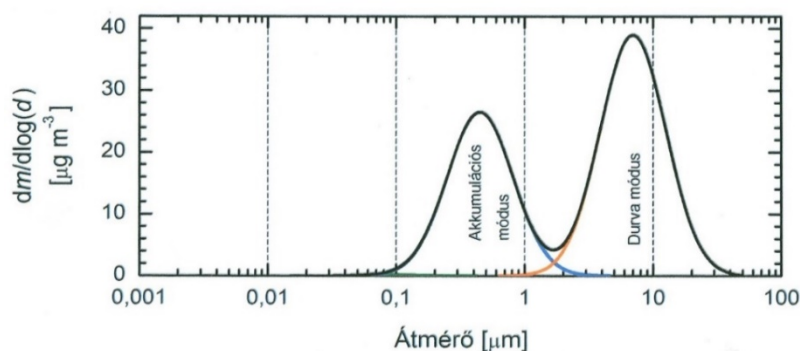
A projekt során fontos lépés a **légszennyezettségi** adatok összevetése a tűzifa-felhasználási adatokkal. A légszennyezettségi adatokból (téli/nyári különbségek) akár a tűzifa területenkénti felhasználási arányára is következtethetünk.

A fatüzelés emisszió indikátora lehet a korom koncentráció változása a levegőben. Korom koncentrációt viszont az OMSZ nem mér. Kutatási szinten a Pannon Egyetem foglalkozik ezzel a témával, de csak egy állomásról vannak adatok és rövid időszakokra. Az OMSZ-nek vannak PM_{2,5} mérései (particulate matter, finomszemcsés anyagok), de csak az utóbbi években és csak korlátozott számban. A PM_{2,5} mérések viszont nemcsak korom méretű részecskéket detektálnak, hanem egyéb részecskéket is, ráadásul háttérállomásokon mérik, ahol a települési emisszió már kevésbé érvényesül. Bizonyos fenntartásokkal a településeken mért PM_{2,5} alkalmas lehet indikátornak, ezt viszont nem az OMSZ, hanem az OLM méri (Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat, ami az Agrárminisztériumhoz tartozik). A tűzifa felhasználási adatok trendje és a PM_{2,5} koncentráció trendje mutathat hasonlóságot, ehhez viszont sok évi adat kell. (Probléma még, hogy a dízel járművek is bocsátanak ki kormot, de ennek éves trendje nem változik annyira, mint a tűzifa égetés. További probléma, hogy a levegőben mérhető koromszennyezés területi eloszlása nagyban függ a mindenkori széljárástól, ami nagy bizonytalanságot visz a korrelációba).

4.1.4.1 A tűzifa égetés okozta légszennyezés hatásai a levegő- és életminőségre (Horváth László)

A háztartási tűzifa felhasználás fontos társadalmi kérdés, főleg a szegényebb népesség számára, ami szembeállítható az okozott légszennyezéssel. A tűzifa égetése során ugyanis korom keletkezik, ami aeroszol részecskék formájában szennyezi a környezetet. Légköri tartózkodási

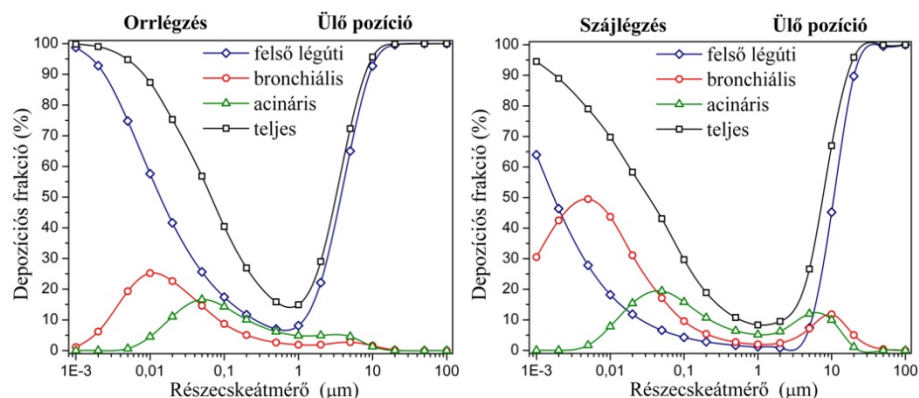
idejük kb. egy-két hét. A korom néhány tíz nanométeres tartományú részecskék formájában kerül a légkörbe, ahol koaguláció során megnöveli méretét, de még így is a $PM_{2,5}$ tartományon belül marad. A helytelenül „szálló pornak” nevezett $PM_{2,5}$ részecskék aerodinamikai átmérője 2,5 mikrométer alatt van. Ezek a részecskék részben a légkörben keletkeznek gázfázisú komponensek reakciójával és kondenzációval, részben pedig közvetlenül kerülnek a légkörbe, mint pl. a korom a fatüzelés során, vagy a dízel gépjárművek üzemeltetésekor. Az ennél nagyobb részecskék (1-50 mikrométer átmérőjű tartományban) más mechanizmussal, pl. felszíni diszperzióval kerülnek a légkörbe. A korom részecskék tehát a 16. ábrán látható részecsketömeg méret szerinti eloszlás görbéjén az akkumulációs modulusban foglalnak helyet, míg a felszíni diszperzióval légkörbe jutó részecskék a durva modulusban helyezkednek el. A $PM_{2,5}$ vágás nem véletlen, ez az a méret intervallum, ami magába foglalja az akkumulációs modulus egész tartományát.



16. ábra A légköri aeroszol részecskék tömegének méret szerinti eloszlása Budapest belvárosában (Salma 2012).

Egészségügyi hatások tekintetében a részecskeméret alapvetően lényeges információ. Belégzéskor a durva frakció részecskéi a nagyobb tehetetlenségük miatt már a felső légutakban kiülepednek. A nano-részecskék (azaz a μm -nél három nagyságrenddel kisebb részecskék) pedig nagyobb diffuzivitásuknál fogva ülepednek ki az orr-, vagy a szájüregben.

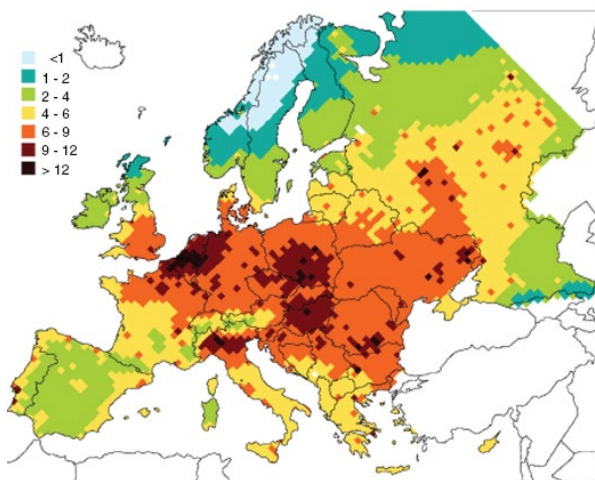
A 17. ábrán látható, hogy a **korom méretének megfelelő nagyságú (0,01-2,5 μm) átmérőjű $PM_{2,5}$ részecskék jelentős része bejut a hörgőkbe és a tüdőhólyagokba.** A korom részecskék önmagukban is komoly egészségi kockázatot jelentenek, Egyrészt a véráramba kerülve trombózt kiváltó okként is szerepelnek. **Keletkezésükkor, azaz a fosszilis energiahordozók és a biomassza égésekor** sok egyéb szerves gáznemű szennyezőanyag és toxikus fém kerül a légkörbe (Molnár et al. 2005). Másrészt, a viszonylag hosszú légköri tartózkodásuk során egyéb olyan szennyezőanyagok (pl. gázok, nano-részecskék) is adszorbeálódhatnak felületükön, amelyek egyébként a száj- és orrüregben kiülepednének. Így, a korom ezeket az anyagokat is a belélegezhető tartományba viszi, ami az egészségügyi kockázatokat nagymértékben megnöveli.



17. ábra Regionális, felső légúti, bronchiális (hörgők), acináris (tüdőhólyagok) és teljes légző rendszeri ülepedési frakciók a teljes belelegezhető részecskeméret tartományban egészséges nő esetében, sztochasztikus tüdőmodellel számítva (Balásházy, 2010)

A $PM_{2.5}$ részecskék és a mortalitás között erős összefüggés van, $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hosszú távú koncentráció növekedés 6%-kal növeli meg a halálozási kockázatot. Ez az arány a kardiovaszkuláris megbetegedéseknél 12%, míg a tüdőrák okozta halálozásnál 14% (Poppe et al. 2002, 2004).

Egy modellszámítás szerint, a $PM_{2.5}$ szennyezés miatt Európában, elsősorban a közép-európai régióban a várható élettartam rövidülés 6-12 hónap (18. ábra). Egyes helyeken, pl. Budapest környékén ez egy évnél is hosszabb lehet. A modell 300-400 ezer idő előtti elhalálozással számol évente Európában (ENA, 2011).

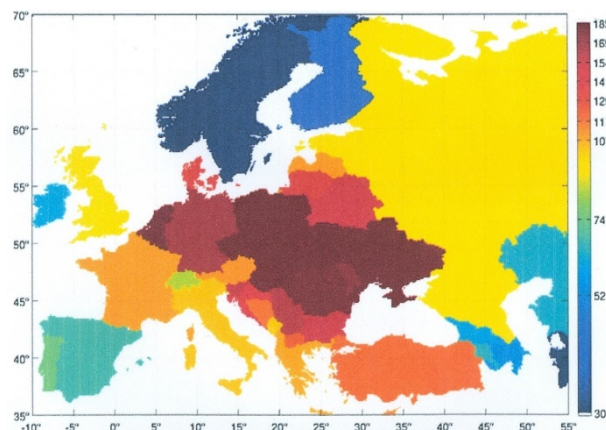


18. ábra Statisztikailag várható élettartam rövidülés a $PM_{2.5}$ terhelés miatt Európában, hónapokban (Horváth 2012).

Az Európai Bizottság szerint a kültéri légszennyezettség évente 400.000 idő előtti elhalálozást okoz Európában, ezen felül millióknál idéz elő súlyos megbetegedéseket. A légszennyezés miatt idő előtt elhunytak átlagosan 10 évet veszítenek az életükből.

Összesítve, **emiatt évente körülbelül 4 millió életévet veszítünk az Európai Unióban**. Az okozott társadalmi-gazdasági egészségkárok összege hozzávetőlegesen 500 milliárd euró évente. A háztartási fűtés légszennyezése, mely főként a fatüzelésből ered, az Egészségügyi Világszervezet adatai szerint az Európai Unióban évente 60.000 idő előtti elhalálozást okoz. Az így elvesztett egészséges életévek száma eléri az évi 1 milliót. Az ezzel összefüggésbe hozható társadalmi-gazdasági egészségi károkat közel 75 milliárd euróra becsülik (The Danish Ecological Council és Levegő Munkacsoport, 2016).

Egy másik tanulmány Gschwind et al. (2015) egy átlag személyre vonatkoztatott, korai halálozás miatt elvesztett napok számát mutatja be Európában (19. ábra). Látható, hogy összhangban a 14. ábrával legrosszabb a helyzet Közép-Európában, így Magyarországon is. Ugyanebben a tanulmányban számszerűsítve is megtalálhatók az elvesztett napok országonként. Eszerint a legrosszabb a helyzet Belgiumban és Hollandiában (228, illetve 222 nap), Magyarország a harmadik legrosszabb helyen áll 209 nappal. A 45 Európai ország átlaga 103 nap, míg az EU-27 országoké 107 nap. Ehhez még annyit hozzá kell tenni, hogy a Benelux államokban a $PM_{2,5}$ szennyezés nem elsősorban a fosszilis és biomassa égetésből adódik, hanem az Európában kiugróan magas mezőgazdasági ammónia kibocsátás és az ezt eredményező ammónium tartalmú részecskék hatása miatt. Koromszennyezés tekintetében tehát valószínűleg elsők vagyunk Európában az említett tanulmány alapján.



19. ábra A $PM_{2,5}$ szennyezés okozta, átlagosan elvesztett életnapok száma országonként, Európában

Mivel a korom elsődleges forrásai a tüzelőanyagok égetése és a dízel motorok kibocsátása, a fatüzelés hozzájárulása az összes koromszennyezéshez területenként erősen változik. Karvosenoja et al. (2008) vizsgálatai szerint Finnországban 2000-ben, a teljes $PM_{2,5}$ kibocsátás

25%-át a háztartási fatüzelés okozta. A kibocsátás nagyban függ a tüzelés módjától és a tüzelőberendezés fajtájától.

Favez et al. (2009) becslése szerint a fatüzelés $20\pm 10\%$ -kal járul hozzá a korom szennyezéshez Párizsban, a téli fűtési időszakban. Az Egyesült Államokban, ahol a fa az elsődleges tüzelőanyag, a fatüzelés hozzájárulása a $PM_{2,5}$ koncentrációhoz, télen mintegy 80% (McDonald et al., 2000).

Egy európai háttérszennyezettség-mérő állomás rendszer kétéves mérési eredményei alapján (Gelencsér et al., 2007) **a biomassza égetés hozzájárulása a korom (EC) koncentrációhoz 6-83%-ot tesz ki a téli félévben**, országonként erősen változva. A többi a fosszilis tüzelőanyagok rovására írható. Ugyanez az arány a nyári félévre 3-10%, ami a téli fűtési szezon hozzájárulását valószínűsíti. A korom emisszióval egy időben történő szerves anyag kibocsátás (OC) esetén a biomassza égetés (fatüzelés) aránya még ennél is magasabb, a téli szezonban 41-98%, míg a nyáriban 25-54%. **Az öt állomás közül az egyik Magyarország közepén fekszik, ennek alapján a biomassza égetés (fatüzelés) hozzájárulása a korom koncentrációhoz télen 41%, nyáron 10%**. Ugyanez az arány a kibocsátott szerves vegyületekre télen 88%, illetve nyáron 54%.

Mindezek alapján a fatüzelés hatása a levegőminőség romlására Magyarországon egyértelműnek tűnik. Nem csak a korom kibocsátás miatt, hanem az ezzel együtt járó járulékos szennyezőanyagok (szerves vegyületek, toxikus fémek) emissziója, adszorpciója és belégzése miatt is.

A jövőkép elemzéshez szükség van a fatüzelés trendjének elemzésére, amelyből következtethetünk a várható jövőbeli változásokra. Vizsgálhatjuk a felhasznált tűzifa mennyiségét és a fatüzelésből származó korom koncentrációjának trendjét. Előbbinél a felhasznált tűzifa mennyiségének hivatalos statisztikai adatai és a tényleges felhasználás közt jelentős eltérés lehet. Ennek oka egyrészt a nem regisztrált fakitermelés, másrészt az import, amit a vámhatárok eltörlése miatt nehéz becsülni. Utóbbinál pedig az okoz nehézséget, hogy a fosszilis tüzelőanyagok (dízolaj) és a biomassza (tűzifa) égetéséből származó korom mennyiségi arányait nehéz elkülöníteni. Ilyen jellegű vizsgálatokhoz nyomjelző technikára van szükség, ami csak szórványosan alkalmazott kutatási módszer (l. pl. Gelencsér et al. 2007).

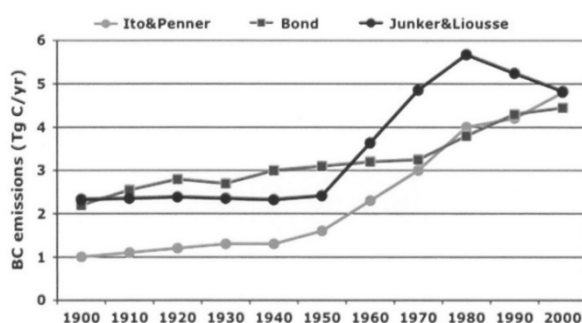
A felhasznált tűzifa mennyisége Magyarországon erősen függ a fatüzelés és a legnagyobb konkurens a gáztüzelés költségétől, illetve újabban terjed a klímával való fűtés is, ami visszaveti a tűzifa iránti keresletet.

A statisztikai adatok alapján, a 2000-es évek elejétől a 2010-es évek végéig 2-3 millió m^3 /év-ről 3-4 millió m^3 /év-re emelkedett a kitermelt tűzifa mennyisége (12., 13. ábra), az ezen felül kitermelt mennyiségről (illegális kitermelés, jogi szempontból erdőnek nem minősülő faállományok legális kitermelése, háztáji tűzifa-felhasználás, kerti hulladék égetése stb.)

azonban nincsenek megbízható adatok, ezt 1-3 millió m³/év-re becsülik. Úgyszintén nincsenek adatok az import mennyiségéről, így például nem lehet megállapítani a felhasznált tüzfifa mennyiségének trendjét sem ezekből az adatokból.

A fosszilis energiahordozók felhasználásából és fatüzelésből származó PM_{2,5} koncentráció-trendjéből viszont végezhetünk becsléseket a fafűtés hosszabb távú alakulásáról, ha szét tudjuk választani a két különböző forrás hatását.

Világviszonylatban a fosszilis tüzelőanyagok és a biomassza égetéséből származó elemi szén (korom) kibocsátása a múlt évszázadban általában erős növekedést mutatott (20. ábra), három különböző felmérés szerint is (Monks et al., 2009). Ezekben az adatokban nyilvánvalóan érvényesül mind a fosszilis energiahordozók, mind a dízel járművek hatása.



20. ábra Az elemi szén (BC) kibocsátásának globális alakulása a múlt évszázadban

Magyarországi adatok alapján elemeztük a PM_{2,5} koncentráció menetét az utóbbi 16 évre vonatkozólag.

A jövőben akkor várhatunk javulást a PM_{2,5} emisszióban, ha a földgáz ára versenyképes lesz a tüzfával, ami a lakosság egy részét visszaszoktatná a kényelmesebb gázfűtésre. Ehhez viszont állami beavatkozás szükséges. Ez nyilván költséget jelentene az államháztartás számára, viszont hasznos környezetvédelmi beruházás lenne, ami a megbetegedések és a korai elhalálozások csökkenésével megtérülhet. Várható esetleg javulás a fűtési technikák javításával, pl. korszerűbb, nagyobb hatásfokú berendezések alkalmazásával. Utóbbinak az szab határt, hogy ezt a szegényebb néprétegek, akikre leginkább jellemző a fa (és hulladék) égetése, nem engedhetik meg maguknak.

A lakosság részéről jelentős az igény a jó levegőre; a lakosság 72%-a tisztában van vele, hogy a fával tüzelés szennyezi a levegőt (Századvég 2019). Ugyanakkor fontos a szociális tüzfifa program folytatása, amely összekapcsolható pl. a természetvédelmi célból is indokolt invazív fás szárú fajok visszaszorításával.

A tüzfifa eredetű korom (PM_{2,5} koncentráció) időbeli **trendjének alakulását** a jövőképelemzés (4.1.6) fejezetben foglaltuk össze.

4.1.5 Trade-off-ok

Az ország erdeiben raktározott szénmennyiség, ideértve a talajt, 377 millió tonnára becsülhető (211 tonna/ha) (Führer és Mátyás 2005). Azonban a fakitermelés, az erdőkárok, a helytelen erdőgazdálkodás, erdőtüzek vagy éppen falopás esetén (a legális éves országos fakitermelés mennyiségének 5-10%-a így tűnik el, Kottek et al. 2008) a lekötött szén jelentős hányada könnyen visszakerül a légkörbe (hozzájárulva a klímaváltozáshoz), pl. ha tűzifaként kályhában vagy biomasszaként erőműben ég el.

A tűzifa felhasználás és az éghajlat-szabályozás trade-off-ban (csereviszonyban) áll egymással (az üvegházgáz-kibocsátás révén). További **trade-off, illetve szinergia elemzéseket is végeztünk**. Az erdőgazdálkodás csoport főbb eredményeit az „Ökoszisztéma-szolgáltatás átváltások és szinergiák” műhelytalálkozón az alábbiakban foglaljuk össze (ÖK DKI, 2019. 06. 27.)

Megállapítottuk, hogy az erdők jellemzően minden ÖSz-re pozitívan hatnak, de kivéve pl. természetesen az élelmiszertermelést. Az erdőgazdálkodáson belül az összes vizsgált ÖSz-ra nézve (kivéve a tűzifa termelést) az üzemmódokat tekintve a folyamatos erdőborítást biztosító (szálaló) üzemmód a legkedvezőbb, közel ugyanilyen jó a faanyag nem termelést szolgáló üzemmód, ezt követi a hosszú vágásfordulójú (természetközeli) erdőkezelés és összesítve a legrosszabb helyen a rövid vágásfordulójú erdőgazdálkodás (kultúrerdő, faültetvény) áll. A tűzifa termelés jellemzően trade-off-ban van a többi ÖSz-szal.

Fontos a fogalmakkal tisztában lenni: a faanyagtermelést nem szolgáló üzemmód nem őserdőt, nem természetes erdőt jelent, hanem itt is lehet hasznosítás, de jellemzően ezek az erdők eleve gyenge produkcióra képes termőhelyen állnak, nehezen megközelíthetők, tehát itt nem gazdaságos a faanyag hasznosítása, az erdőgazdálkodás elsődleges célja az erdőborítás fenntartása, a talajvédelem. Fontos, hogy a faanyagtermelést nem szolgáló üzemmód esetében nem jellemző olyan mértékű felújítás, mint a szálaló üzemmód esetében, illetve mivel ezek rosszabb termőhelyen vannak, mint a szálaló üzemmódban lévő erdők. Mindent összevetve, itt a növekedés (szénmegkötés) is kisebb.

Megállapítottuk, hogy a rövidből a hosszú vágásfordulóra való áttéréssel nagyobb az ugrás a kedvezőbb ÖSz-ek irányába, mintha szálalóból (folyamatos erdőborítást biztosító üzemmódból) a faanyag termelést nem szolgáló üzemmódba váltanánk át. A vágásfordulók megnövelése elsősorban fajcserével érhető el az arra alkalmas termőhelyen. Számos esetben a rövid vágásfordulójú akác, nemesnyár ültetvények termőhelye (pl. Homokhátság, Nyírség) őshonos fajokból álló gyeperdő mozaikot lenne képes fenntartani (a táj vízvesztése és a biodiverzitás csökkenése nélkül). Megjegyzendő, hogy a valódi potenciál a hosszú vágásfordulójú erdők szálalóba való átmenetében van.

4.1.6 Jövőképelemzés

A tűzifa kis szeletét adja egy erdő kumulált ökoszisztéma-szolgáltatás értékének összehasonlítva pl. a szén-dioxid megkötésében, a felszíni degradáció elleni védelemben, a rekreációban stb. játszott, és a tűzifa termelésnél ökológiai szempontból fajsúlyosabb szerepeivel.

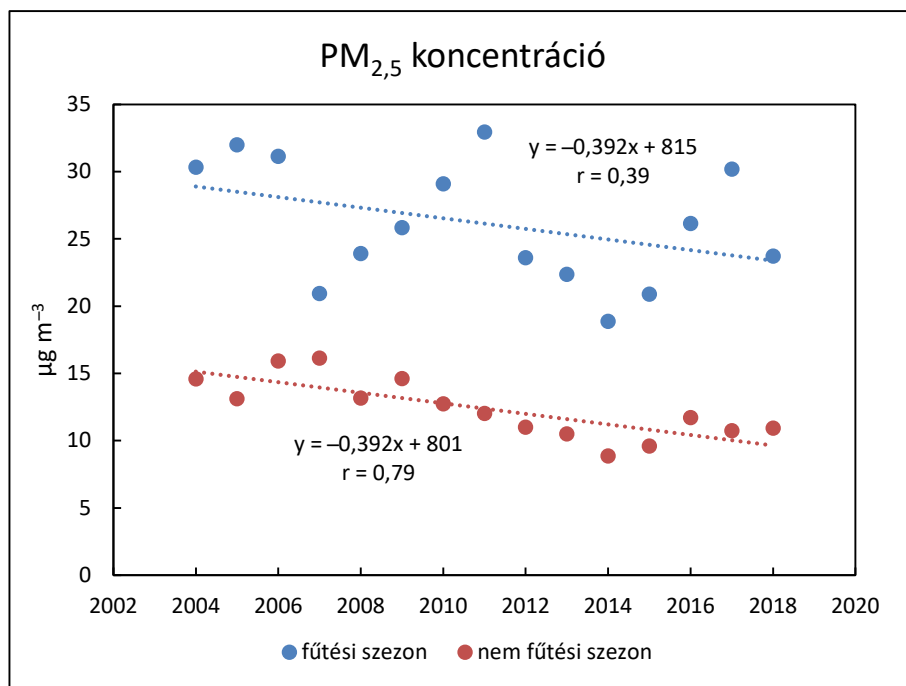
Kiemelt fontosságú a **tudástranszfer**; így pl. a tűzifát csak megfelelően száraz állapotban érdemes tüzelni, megfelelő égéstérben, jó levegőellátottság és megfelelő füst kivezetés mellett.

Az **ágazatpolitikai stratégiák** kidolgozásának támogatására, az erdőállomány különböző szolgáltatásai közti egyensúly megteremtésének céljából, a különböző szóba jöhető scenáriók tesztelésére és modellezésére **az erdészeti kutatók prognózis-modelleket** készítenek. Ezek előre vetítik az erdőállomány fejlődését, számításba veszik a különböző kezelési stratégiákat (fahasználati rezsim, felújítási rezsim), levezetik az erdőállomány várható korosztály- és fafajszerkezetét, becslik a jövőbeli hozamokat és az erdőben maradó faanyag mennyiségét, az üvegházgáz-kibocsátási és -elnyelési viszonyokat, az erdőállomány egyéb jellemzőinek alakulását. Ezek a modellek általában közép- vagy hosszútávúak (20-50 évre vagy akár több száz évre vonatkoznak), de különböző térbeli felbontásúak és különböző előnyökkel illetve korlátokkal bírnak. Az erdőállomány jövőbeli ökológiai szolgáltatásainak meghatározására mindenképpen prognózis-modellek alkalmazása javasolt.

A tűzifa felhasználásból eredő PM_{2,5} trendje

A tűzifa felhasználásból eredő PM_{2,5} szennyezettség jövőkép elemzéséhez az utóbbi évek koncentráció trendjéből vonhatunk le következtetéseket. A PM_{2,5} hálózatszerű mérése 2004-ben indult, de csak 3 állomáson rendelkezünk már hosszabb mérési adatsorral (Győr, Esztergom, Szeged). Ezen OLM hálózat adatait az SZMCS az Országos Meteorológiai Szolgáltatótól kapta.

A három város 15 éves adatsorából észrevehető, hogy a nem fűtési időszakban a PM_{2,5} koncentráció p=0,01-es valószínűségi szinten szignifikáns csökkenést mutat. A fűtési szezonban a trend hasonló, azonban a korreláció nem szignifikáns (21 ábra). A fűtési szezonban a csökkenés korántsem olyan egyenletes, mint a nem fűtési szezonban, aminek oka mind az emisszió mértékében (hidegebb-enyhébb tél), mind a keveredésre ható meteorológiai tényezőkben (energetika, turbulencia, szélviszonyok), mind a nagytávolságú transzport eltérő hatásaiban rejlik a különböző években, feltételezve, hogy a mérések megbízhatóak voltak.



21. ábra A PM_{2,5} légtörési koncentrációi három városban, 2004 és 2018 között, a fűtési (november-március) és a nem fűtési (május-szeptember) időszakban

Az ábra azt sugallja, hogy a fűtési szezonban megfigyelhető csökkenés az állandó, nem fűtési eredetű, egész évben kibocsátó források mérséklődésének a hatása, azaz a fűtés által kibocsátott PM_{2,5} koncentrációban nincs kimutatható változás. Az átlagos koncentráció a nem fűtési és fűtési időszakban 12 µg/m³, illetve 26 µg/m³. Figyelembe kell azonban venni, hogy planetáris határreteg (az a réteg, amelyben a szennyezőanyagok elkeverednek) a fűtési szezonban jóval alacsonyabb, mint a melegebb évszakokban, azaz ugyanolyan mértékű emisszió télen magasabb koncentrációban mutatkozik. Emiatt a koncentráció változását nem lehet egyértelműen arányosítani a kibocsátás változásával a különböző (hideg, meleg) évszakokban. További probléma, hogy a városokban kialakult koncentráció nem csak a helyi források hatása, hanem a nagytávolságú transzporté is, ami egyáltalán nem elhanyagolható.

A koncentráció tehát több, mint kétszeresére nő a fűtési időszakban. Ezt nyilvánvalóan a tűzifa (és egyéb, illegális) égetésből származó korom (elemi szén) és kátránygömbök okozzák, mivel a többi PM_{2,5} forrás (pl. dízel korom) erőssége nem változik jelentős mértékben az év során. Kivétel a légkörben keletkező, szerves, másodlagos aeroszol részecskék, melyek termikus és fotokémiai reakciókkal keletkeznek; ezek sebessége a melegebb időszakban nagyobb. Télen viszont a magasabb relatív páratartalom az egyensúlyi disszociációban keletkező/bomló részecskék megmaradásának (pl. ammónium-nitrát) kedvez.

A rendszer bonyolultága miatt tehát kvantitatív következtetést nem lehet levonni. Az viszont valószínűsíthető a trendekből, hogy **az utóbbi másfél évtizedben a tűzifa fűtés szennyező hatása közel állandó volt és a jövőben sem várható változás, ha a körülmények sem változnak.**

4.2 Növényi energia - energianövények, szántóföldi melléktermékek (Molnár András, Fogarasi József, Koncz Péter)

4.2.1 Energianövények

Megállapítottuk, hogy a jelenleg dominánsan alkalmazott ún. 1. generációs bioüzemanyagok előállításához használt növények jelentős területhasználatért felelnek. Ugyanakkor mivel zömében nem adott célra elkülönített fajokról és/vagy fajtákról beszélhetünk, bár hozamuk becsülhető, de a többes hasznosítás okán a **termelés helyszíne nem azonosítható**. Megállapítottuk továbbá, hogy a döntően égetés útján hasznosított fás- és lágyszárú energianövényeket nagyon kis területen termesztetik. Mindezek miatt a NÖSZTÉP számára megfelelő négy kaszkád szintű, ökoszisztéma központú elemzés és térképezés ezekre nem végezhető el. Ezen szolgáltatások esetében összegyűjtöttük a rendelkezésre álló ismereteket és ajánlásokat fogalmaztunk meg az adathiányok kezelésére vonatkozóan.

4.2.1.1 Állapot indikátor

Az első kaszkád szint esetében az ökoszisztémák állapotát a talajtermelékenység jellemzi, amelyet a talajértékszám ad meg. Az MTA TAKI a talajértékszám kidolgozásakor a legtermékenyebb talajváltozatok termékenységéhez a 100 értékszámot rendelte, a leggyengébb termékenységűekhez pedig az 1 értékszámot, és így a termékenységi fokozatok kifejezésére széles tartomány állt rendelkezésre (az AGROTOPO adatbázis egyik rétege a százpontos értékelés tízosztályos változatával írja le a hazai talajtakaró termékenységét). Az MTA TAKI a talajértékszám térképet korábban már elkészítette, így az rendelkezésre áll. A talajértékszámról részletesebben az Élelmiszer SZMCS tanulmányában (annak 3.3.2.1 fejezetében) lehet tájékozódni.

4.2.1.2 Potenciális ÖSz

A második kaszkád szint ökoszisztéma szolgáltatása az **összes energetikai ültetvény termesztésére alkalmas területéről betakarítható biomassa mennyisége (t/ha/év)**. Az AgroMo kísérleti platform (bővebben a 4.3.3. fejezetben) lehetőséget kínál a fás- és lágyszárú ültetvények potenciális termelési lehetőségének elemzésére. A modell az Élelmiszer SZMCS-ben a kukoricára, búzára és repcére számított szemtermés, illetve a teljes biomassa produktum és a szemtermés különbsége alapján a szármagmaradvány mennyiségét határozza meg (így ez a szántóföldi melléktermékeknél lehet releváns).

Fontos szempont, hogy gazdálkodói oldalról nem a kultúrához kell a területet, hanem az adott területhez és felvevő piachoz kell adaptálni az optimális kultúrát. Fenn kell tartani az alternatív kultúraválasztási lehetőséget, tehát a termőhelyi adottságokhoz jobban igazodó kultúrákat kell választani. Így lehetőség nyílik a kedvezőtlenebb termőhelyi adottságú területek hasznosításának elemzésére is (pl. fűzfélék: magas vízkapacitású belvizes, árvízveszélyes területek).

4.2.1.3 Tényleges ŐSz, felhasználás

Az európai uniós és a hazai támogatási rendeletek értelmében a fás szárú, sarjzatatos energiaültetvények támogatott létrehozása csak szántóföldön lehetséges, így e területek földalapú támogatásban is részesülhetnek. A fás és lágyszárú energetikai ültetvényekkel szemben támasztott követelményeket a 45/2007. (VI. 11.) FVM rendelet szabályozza, míg a telepítéséhez nyújtandó támogatások részletes feltételeit a 71/2007 (VII. 27.) FVM és a 72/2007 (VII. 27.) FVM rendeletek szabályozzák. A jogalkotó a telepíthető fajok listájára is kitér. Ezek nem tartoznak az Erdőtörvény rendelkezései alá, így azokról a betakarított mennyiség adataival sem rendelkezünk. Az energetikai ültetvények egyedi jogállása, valamint az ültetvények kis kiterjedése és fiatal kora miatt a telepített területről, **a tényleges betakarított mennyiségről (t/ha) és azok minőségi jellemzőiről nehéz pontos és megbízható adatot szolgáltatni.** A KSH besorolása szerint a fás szárú, erdészeti módszerekkel betakarított energiaerdők területét az erdő földhasználati kategóriánál kell elszámolni, ezért a Hivatal önállóan nem rendelkezik adatokkal sem a területekről, sem a betakarított mennyiségről.

A „Kormány 135/2017. (VI. 9.) számú rendelete a fás szárú ültetvényekről” szabályozza a telepítést, a nyilvántartást, valamint a kitermelést és megszüntetést, az ellenőrzést pedig a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (NÉBIH) Erdészeti Igazgatósága felügyeli. A lágyszárú energiaültetvényekről szinte teljes az adathiány, kizárólag a területük és elhelyezkedésük ismert.

A fentiek alapján a 2015-ös évre vonatkozóan, az energetikai ültetvényekről a Magyar Államkincstár SAPS támogatási kérelmek adatközlése alapján rendelkezünk információval, amely elsősorban az ültetvények területének méretét összesíti (2. és 3. táblázat). (SAPS - The Single Area Payment Scheme, Egységes Területalapú Támogatás.)

Magyarországon 2015-ben a mezőgazdasági hasznosítású területek nagysága több mint 5 millió ha volt (5 254 500 ha). **Az egységes támogatási kérelemben szereplő adatok alapján mindössze 0,14 százalékot (7592 ha) tett ki ebből az energetikai ültetvények aránya (az ország 0,08 %-a). Az érintett területek alacsony részaránya miatt kicsi a közvetlen országos szintű természetvédelmi hatás, elemzésük nem releváns.** Újabb „nyom” lehet a NÉBIH BIONYOM adatszolgáltatás alapján készített adatgyűjtése. Az adatszolgáltatás során a biomassza-kereskedők, biomassza-feldolgozók és üzemanyag-forgalmazók a hatályos jogszabály alapján kötelesek a meghatározott típusú adatokat szolgáltatni a NÉBIH részére.

Kis léptékben, lokálisan fontos a **faj használat**, mert potenciálisan inváziós fertőző gócpontok alakulhatnak ki, illetve az ültetvény negatívan hathat a talaj minőségére (pl. akác esetében). A jövőben az energetikai ültetvények tényleges ökoszisztéma-szolgáltatásának térképezéséhez a területarány mellett, a betakarított mennyiségre, annak minőségi jellemzőire és a feldolgozás során alkalmazott technológiai paraméterekre is szükség lesz.

2. táblázat: Az egységes támogatási kérelemben szereplő energetikai célú fás és lágyszárú ültetvények vetésterülete (ha); Forrás: Magyar Államkincstár, 2019

Növények	Kérelemben szereplő kód	Vetésterület 2015
Amerikai bársonymályva	EBM01	0,14
Egyéb fűz	ENE18	307,58
Egyéb nyár	ENE15	3 371,57
Egyéb rövid vágásfordulójú sarjerdő	ENE06	622,84
Energia Miscanthus	EMI01	406,56
Energiaakác	ENE02	482,37
Energiafű	EFU01	732,48
Fehér fűz	ENE16	213,70
Fehér nyár	ENE11	157,80
Fekete nyár	ENE12	111,35
Kosárfonó fűz	ENE17	179,47
Mézgás éger	ENE19	1,60
Rezgő nyár	ENE14	0,95
Szürke nyár	ENE13	1 004,13
Összesen	-	7 592,54

3. táblázat: Az egységes támogatási kérelemben szereplő energetikai célú szántóföldi növények vetésterülete (ezer ha); Forrás: Magyar Államkincstár, 2019

Növények	Kérelemben szereplő kód	Vetésterület		
		2006	2007	2008
Energia Búza	EGA01	0,004	0,822	0,457
Energia Kukorica	EGA06	5,628	34880	20,375
Energia Napraforgó	EIP17	0,507	17570	1,118
Összesen	-	6,140	53,272	21,950

4.2.1.4 Jóllét, szinergiák és trade-off-ok

Az energiaültetvények jóllétre gyakorolt közvetlen hatása **az előállított energia összege** (Tóth et al. 2011) és ezen keresztül az alapvető fiziológiai szükségletek (értelem szerint a meleg) kielégítése, az egészséghez való hozzájárulás. A közvetett hatások mellett, az üvegházhatású gázok egyensúlya, a talajra, vízre és biodiverzításra gyakorolt hatások is megjelennek, mint pozitív vagy negatív szolgáltatás. Az energiaültetvények szén, illetve ÜHG mérlege nem ismert. Kérdéses, hogy a feldolgozást, szállítást, és az elégetést követő nettó kibocsátás során, tehát a teljes életciklus alatt mekkora mértékű a kibocsátás a megkötéshez (talajban felhalmozódott szénmennyiséghez) képest. Más kérdés, hogy a fás vagy a lágyszárú energiaültetvények kedvezőbbek-e természetvédelmi szempontból.

Talajra gyakorolt hatás vizsgálatakor, a nyárfa-ültetvények esetében bebizonyosodott, hogy a talaj szerveszén-készlete helyreállt a korábbi használatból eredő csökkenés után (Baral and Malins 2014), ugyanakkor ez mindig függ az adott terület adottságaitól és a korábbi földhasználat jellegétől (Allen et al. 2014). A hosszabb vágásfordulójú ültetvények köztudottan vízigényesek, így jelentős hatást gyakorolnak az adott terület vízháztartására, akár közvetlenül, akár közvetve, az öntözésen keresztül (Allen et al. 2014). Az energianövények **biológiai sokféleségre gyakorolt hatása** nagyban függ az adott helytől, a földhasználat korábbi

módjától, az előző növényi kultúrától és a művelés módjától (talajmunkák, növényvédőszer, műtrágyák használatának mértéke). A természetközeli élőhelyek átalakítása energianövény-ültetvényé jelentős mértékben csökkenti a biológiai sokféleséget. Az energetikai célú akác-ültetvények 482 hektárt tesznek ki, ám az akác az ország erdőterületek 24%-át alkotja. Az akác egyrészt hungarikumnak számít, másrészt idegenhonos, özönnövénynek tekinthető faj. Ökológiai szempontból az akác kifejezetten káros, mert jelentős mennyiségű vizet párologtat (szárít), lecsökkenti a biodiverzitást (életközössége fajszegény), agresszíven terjed és kiszorítja az őshonos fajokat, továbbá negatív hatással van a humusz képződésére (Botta-Dukát és Mihály 2006).

4.2.2 Szántóföldi melléktermékek

A növényi energiaforrások tekintetében a bioüzemanyag célú növények (repece, kukorica, napraforgó) értékelése és térképezése merült föl célként az interjúk és egyeztetések során. Később az adatokkal kapcsolatos pontosítások során (2018. 08. 14., AKI) azonban kiderült, hogy országos léptékben nem állnak rendelkezésre az értékeléshez és térképezéshez szükséges adatok (adathiányok a térbeli elhelyezkedést, kiterjedést, a hozamot és a felhasználás módját illetően), így nem lehet térképezni és értékelni az energetikai célú búza, kukorica felhasználást. Arra jutottunk (2018. 09. 12., AKI), hogy a mezőgazdasági melléktermékekkel (pl. kukorica és napraforgószár, búzaszalma) kell foglalkozni. **A szántóföldi növények esetében azonban nem ismert a melléktermékek hozama és felhasználási szintje, ezért adathiány miatt itt sem végezhető el kielégítő elemzés és térképezés. A jelenleg döntően égetés útján hasznosított melléktermékek (szalma/szár) termelési helyszíne nem azonosítható.** Mindazonáltal a szolgáltatások esetében a fentiekhez hasonlóan összegyűjtöttük a rendelkezésre álló ismereteket, és ajánlásokat fogalmaztunk meg az adathiányok pótlására vonatkozóan. További elemzésre a NÖSZTÉP keretében nincs lehetőség.

A szántóföldi melléktermékek egyrészt energiaforrásként hasznosulhatnak, de fontosak az állattenyésztés (takarmány kiegészítők, alomanyag) és a talajerő-visszapótlás, talajszerkezet, talajélet szempontjából is (pl. humuszképződés). A természetvédelemi szempontok szerint az utóbbi hangsúlyos, mert ez a műtrágyázást is kiváltja. A melléktermékek energetikai célú felhasználása ökológiai, társadalmi, gazdasági szempontból vitatott (tápanyag-gazdálkodás, levegőszennyezés, fenntarthatóság, munkahely-teremtés stb.). Többek szerint a biomassza kifejezetten energiacélú előállítását nem célszerű támogatni, de a biomassza előállításakor keletkező melléktermékek energetikai hasznosítása támogatható (Dinya 2018). Az erdészeti biomassza eltüzelése helyett a jövőben a mezőgazdasági melléktermékekre lenne indokolt nagyobb hangsúlyt fektetni (Popp és Bai 2018). Eltérő termőhelyek eltérő célokra alkalmasak; egyes jó termőképességű talajokon (pl. csernozjomon) nem célszerű bioüzemanyag célú előállítás, de ez nem jelenti azt, hogy a rossz termőhelyek kizsigerelhetőek; a megfelelő súlyozásra szükség van.

A gazdasági szerkezet változása, a területalapú-, piaci intézkedésekhez kötött-, a vidékfejlesztési- és a nemzeti támogatások fluktuációja, valamint az éghajlatváltozás erősen befolyásolják a kukorica- és napraforgó, illetve a búza termesztési mennyiségét és hozamát. Emellett, a tényleges energetikai célú melléktermék-felhasználást a régióban elérhető technológia és a hasznosítási cél is befolyásolja. Több trade-off elemzésre is szükség van a melléktermékek használatával kapcsolatban. A mélyalmos trágyakezelés - ami a szántóföldi melléktermékek egy alternatív felhasználása - pl. ÜHG kibocsátás csökkentéssel is bír, tehát adott esetben több haszonnal járhat, mint az energetikai célú égetés. Elemezni kell, hogy a melléktermékeknek milyen esetben (hol, milyen mértékben milyen felhasználás mellett, mennyi ideig stb.) van jelentősebb szerepe a talajerő-visszapótlásban, állattenyésztésben, illetve a hőenergia termelésben.

4.2.2.1 Állapot indikátor

Az első kaszkád szint esetében az ökoszisztémák állapotának meghatározásához használt indikátor a talajtermékenység (talajértékszám) (22. ábra). Részletesebben az energetikai ültetvény 1. kaszkád szintjénél, illetve az Élelmiszer SZMCS tanulmányban lehet róla tájékozódni (annak 3.3.2.1 fejezetében).



22. ábra A szántóföldi melléktermékekhez kapcsolt indikátorok és azok adatforrásai a kaszkádok négy szintjén

4.2.2.2 Potenciális ÖSz

A potenciális ökoszisztéma szolgáltatás az összes búza, napraforgó, kukoricatermesztés során keletkező melléktermék mennyisége (t/ha/év). Az adatok az Élelmiszer SZMCS által használt keretek között modellezhető, és a teljes biomaszra produktum és a szemtermés különbségként számítható.

A termesztés során keletkező melléktermék mennyiségi becslésére az AgroMo kísérleti platform kínál lehetőséget (bővebben a 4.3.3. fejezetben). A modellfejlesztés eredményeként az AgroMo modell képes lesz a búza-, kukorica és napraforgó termesztés során keletkező melléktermékek potenciális hozamát bemutatni.

4.2.2.3 Tényleges ÖSz, felhasználás

A harmadik kaszkádszint esetében a tényleges ökoszisztéma szolgáltatás az energetikai célra felhasznált összes búza, napraforgó, kukoricatermelés során keletkezett melléktermék mennyisége. Magyarországon 2015-ben az agrárium földhasználata 5 346,4 ezer hektár volt. A tényleges mezőgazdasági hasznosítású területek aránya 98 százalék, amelyből a búza (1 029 ezer hektár), kukorica (1 146 ezer hektár) és a napraforgó (612 ezer hektár) összesen 53 százalékot foglalt el. (Így a második kaszkádszint esetében a legfontosabb szántóföldi növények közül a búza, kukorica és a napraforgó termesztés és azok melléktermékeinek előállítására alkalmas területek meghatározására esett a választás, illetve ezen területen előállított mennyiségre.)

Az energetikai célú felhasználáson belül el kellene különíteni a nagyerművek és a kisüzemek, illetve a háztartási szintek felhasználását, ugyanis a melléktermékek hasznosítási módjától és méretétől függően a fajlagos beruházási költség és a megtermelt energia mennyisége és ára üzemenként nagy eltérést mutat, azonban jelenleg nem állnak rendelkezésre erre és általában az országos energetikai felhasználásra vonatkozóan adatok. További elemzésre a NÖSZTÉP keretében nincs lehetőség.

4.2.2.4 Jóllet

Az energetikai célú melléktermékek felhasználásának jólleti dimenziója a melléktermékek feldolgozása során előállított energia és ezen keresztül az alapvető fiziológiai szükségletek (értelem szerint a meleg) kielégítése, továbbá az egészséghez való hozzájárulás. A melléktermékek közvetlen piaci értékkel is rendelkeznek. Külön kutatási kérdés, hogy célszerűbb-e a melléktermékek energetikai célú felhasználása célszerűbb-e, mint pl. a faanyag energetikai célú felhasználása, illetve a talajtápanyag visszapótlás.

4.2.2.5 Jövőképelemzés, szinergiák és trade-off-ok

Fontos lehet elemezni, hogy a **melléktermékeket hol és milyen körülmények között érdemes hasznosítani (talajerő-visszapótlás, állattenyésztés, energiatermelés)**. Fenn kell tartani az alternatív kultúraválasztási lehetőséget, tehát a termőhelyi adottságokhoz jobban igazodó kultúrákat kell választani. A melléktermékek égetése esetén azonban szintén felmerül a légszennyezés problémaköre. Fontos rámutatni, hogy az égetéssel szemben a melléktermékek talajba történő beszántása hogyan növeli a talaj tápanyagtartalmát, hogyan javítja a talajerő-gazdálkodást (tudás transzfer).

4.3 Éghajlat-szabályozás

4.3.1 Az ökoszisztémák szerepe az éghajlat-szabályozásban (Koncz Péter, Horváth László, Somogyi Zoltán)

Az éghajlat-szabályozás értelmezéséhez nélkülözhetetlen a szabályozásban részt vevő üvegházgázok, folyamatok (4.3.1 fejezet), a különböző ökoszisztémák üvegházgáz mérlegének és rendszerhatárainak (4.3.2 fejezet), valamint a folyamatokat jellemző módszerek ismerete (7.3 és 7.4 Melléklet). Mindezen ismeretek szükségesek annak megértéséhez, hogy egy adott ökoszisztéma miatt, milyen mértékben és milyen módszertan szerint szén, illetve üvegházgáz kibocsátó vagy éppen megkötő.

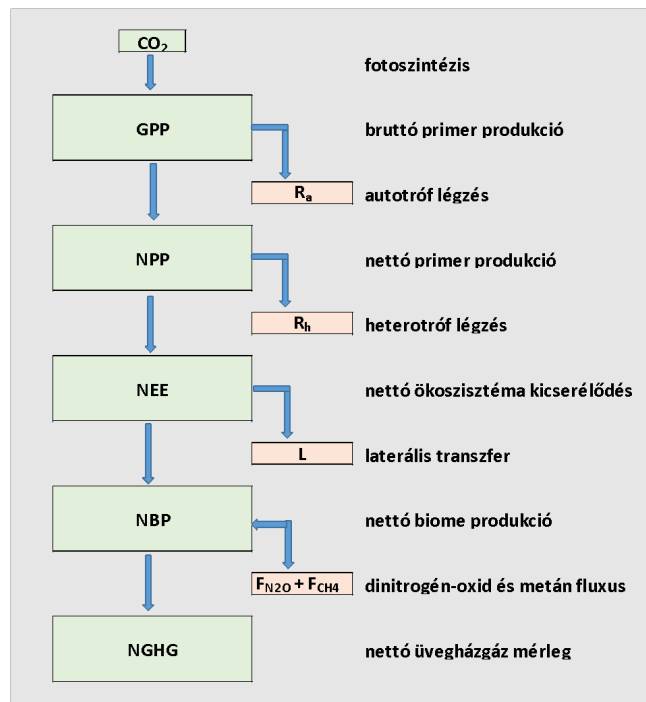
A napjainkban tapasztalható globális éghajlatváltozást jelentős mértékben az emberi tevékenység okozza az üvegházhatású gázok antropogén kibocsátásának következtében (IPCC 2013). Világviszonylatban és hazai léptékben is a főbb kibocsátók az ipar, a közlekedés, a háztartások és általában az energiafelhasználással összefüggő tevékenységek, valamint a mezőgazdaság.

Az ökológiai rendszerek az üvegházhatású gázok forgalmában is részt vesznek és az adott rendszer tulajdonságainak függvényében hozzá is járulhatnak mind az ÜHG gázok légköri koncentrációjának növekedéséhez, mind annak csökkentéséhez egyaránt. **Az ökoszisztémák (erdők, gyepek, szántók, vizes élőhelyek) így jelentős szerepet játszanak az éghajlat-szabályozásban az üvegházhatású gázok forgalmára gyakorolt hatásokon keresztül.** A stabil, illetve kiszámítható éghajlat hozzájárul az emberi jóléthez, a természeti erőforrások biztosításához.

A nettó szén és üvegházgáz mérleg

A különböző ökoszisztémák elsősorban **három gáz forgalmában játszanak** szerepet, ezek a **szén-dioxid** (CO₂), a **metán** (CH₄) és a **dinitrogén-oxid** (N₂O). Míg a szén-dioxidnak kétirányú a forgalma (megkötés, kibocsátás) a metánra és a dinitrogén-oxidra nézve az ökoszisztémák jellemzően kibocsátók, ami negatív szolgáltatásnak tekinthető ('disservice'). Az éghajlat-szabályozás szempontjából pozitív ökoszisztéma szolgáltatásnak minősül a szén-dioxid megkötés.

A szén és üvegházgáz mérleg főbb komponenseit és a fluxusokat a 23. ábrán szemléltetjük.



23. ábra az ökoszisztémák üvegházgáz mérlegének komponensei

Az éghajlat-szabályozás legfontosabb alapja a **szén-dioxid fotoszintetikus** megkötése a növények föld feletti részében, illetve a szén tárolása a növények föld alatti (gyökér) részében és a talajban, szerves anyagok formájában. Ezzel ellentétes folyamat (emisszió) a holt földfeletti szervesanyagok **lebomlása** és a talajlégzés. A növények szén-dioxidot asszimilálnak fotoszintézis során és szerves anyagot termelnek. A növények szén-dioxidot asszimilálnak fotoszintézis során és szerves anyagot termelnek. Ez a **bruttó primer produkció** (Gross Primary Production, GPP). Ennek egy részét fel is használják, és így a légzésük során közvetlenül visszajuttatják a levegőbe. A GPP autotróf respirációval (növényi légzés) csökkentett része a **nettó primer produkció** (Net Primary Production, NPP). Az NPP-ből felépülő növényi és állati szervezetek elhalása után a korhadó holt szervesanyagból, illetve a talajból talajlégzés során jelentős mennyiségű szén-dioxid kerül vissza a levegőbe. A talajlégzés komponensei az autotróf gyökérlégzés (R_a), és a heterotróf légzés (R_h), úgymint a talaj szerves anyagainak mikrobiális bomlása és a talajfauna légzése (de Jong et al. 1974). Ezen kívül még meg kell említeni a kémiai oxidációt, mely elsősorban magas talajhőmérsékletnél jelentős. Ezek közül a szerves anyagok bomlása és a gyökérlégzés a legfontosabb, melyek kb. fele-fele arányban járulnak hozzá a talaj CO_2 légzéséhez (Macfayden 1970). Az autotróf és a heterotróf légzés, ideértve a talajlégzést együttesen az ökoszisztéma légzést eredményezi (ecosystem respiration, Reco).

Az ökoszisztéma légzés ($R_{\text{eco}} = R_a + R_h$) és a **bruttó primer produkció (GPP) különbsége a nettó ökoszisztéma szén-dioxid kicserélődés**, tehát a szén-dioxid felvétel (Net Ecosystem Exchange, NEE; illetve Net Ecosystem Production, NEP). Attól függően, hogy ökoszisztéma-szinten a kibocsátó vagy a megkötő folyamatok vannak túlsúlyban, nettó szénleadásról vagy nettó szénfelvételtől beszélhetünk.

Az ökoszisztéma **szénmérlegébe** beleértjük a már bemutatott fluxusok (üvegházgáz áramok) mellett az emberi behatásokra történő szénáramokat is az úgynevezett „**laterális**” **irányú széntranszfereket** is, pl. a szervestrágyázást, letermelt fában, lekaszált fűben, a farmról elvitt állatokban megjelenő szénmennyiséget. Végso soron az ökoszisztémában (az ökoszisztémák összes ún. széntárolójában) raktározódó vagy onnan felszabaduló szerves anyag egyenlege a **nettó biom produkció** (Net Biome Production, NBP), ami tulajdonképpen a **nettó szénmegkötés**. A talajban felhalmozódó szén pedig a talaj szerves széntartalma (Soil Organic Carbon, SOC), amely tartós széntárolásra képes.

Mivel a szén-dioxid az összes antropogén éghajlati hatás több, mint 50%-áért felelős (IPCC 2013), elvben a szén-dioxid forgalmának befolyásolásával lehetne elérni jelentős hatást. Magyarországon fontos azonban a **mezőgazdasági eredetű nem-CO₂, azaz metán és dinitrogén-oxid kibocsátásokat** is mérlegelni, mert ezek jelentős mértékűek, és ezért szintén jelentős az ebben rejlő mitigációs potenciál.

A **metán** a szén-dioxidhoz képest **34-szer** nagyobb üvegházhatással rendelkezik 100 éves időskálán (IPCC 2013). A metán esetében a talajok fluxusa kétirányú lehet, egyrészt anaerob körülmények között a talajban lejátszódó **bomlási** folyamatok metánt termelnek, másrészt a **metanotróf** baktériumok a metánt a talaj felső rétegében elbontják. Fontos metánforrás a **vizes élőhelyek** CH₄ kibocsátása a szerves anyagok anaerob bomlása következtében. Szintén jelentős metánforrás az **állattenyésztés**, elsősorban a kérődző állatok (szarvasmarha, juh) metán kilégzése következtében. A légkörből kikerülő metán jelentősebb része (90%) nem biológiailag, hanem a légköri hidroxil gyökökkel való reakciója során semlegesítődik (Bousquet et al. 2006).

A **dinitrogén-oxid** 100 éves légköri tartózkodási idővel számolva **298-szor** erősebb melegítő hatással bír, mint az ugyanennyi időre vonatkoztatott szén-dioxid (IPCC 2013), ezért kismértékű koncentráció változása a metánhoz képest is jelentősebb melegítő hatással bír. A dinitrogén-oxid a **trágya, illetve a talajba jutó nitrogén tartalmú vegyületek lebomlása során keletkezik és kerül a légkörbe**. A denitrifikációs folyamatok révén az N₂O reduktázok hatására a dinitrogén-oxid redukálódhat, az üvegházhatás szempontjából semleges nitrogén-gázzá. A talaj ebben az esetben nettó nyelője is lehet a dinitrogén-oxidnak (Chapuis-Lardy et al. 2007). A dinitrogén-oxid lebomlása emellett a sztratoszférikus fotokémiai oxidáció révén ultra-ibolya fény hatására valósul meg (Thomson et al. 2012). Azon ökoszisztémák N₂O kibocsátása jelentős, amelyeknél magas a nitrogénbevitel. Ez elsősorban a **szervestrágyázásnak** valamint az ásványi és szintetikus **műtrágyák** alkalmazásának köszönhető. A trágyázással bejuttatott nitrogénvegyületeknek csak kb. felét veszi fel a növény. A kijuttatott trágya egy része a talajból ammónia gáz formájában távozik, vagy a nitrát ion denitrifikációja során dinitrogén-oxiddá alakul és a légkörbe kerül, más része bemosódik a talajvízbe, vagy felszíni lefolyásokkal távolabbi területekre jut, környezeti károkat (pl. eutrofizációt) okozva. A dinitrogén-oxid másik forrása a szerves trágyák bomlása.

Azt, hogy az adott ökoszisztéma pozitív vagy negatív szolgáltató-e az éghajlat-szabályozás szempontjából, a **nettó üvegházgáz mérleg** (Net Greenhouse Gas Balance, NGHG) alapján

becsüljük, ami a **három üvegházgáz szén-dioxid egyenértékben kifejezett fluxusának eredője** (ebbe beleértve a laterális szén-transzferből származtatható üvegházgáz fluxust is). Példaként lásd bővebben az ország egyetlen farm szintű üvegházgáz mérlegét egy bugaci farmra vonatkozóan (Koncz et al. 2017).

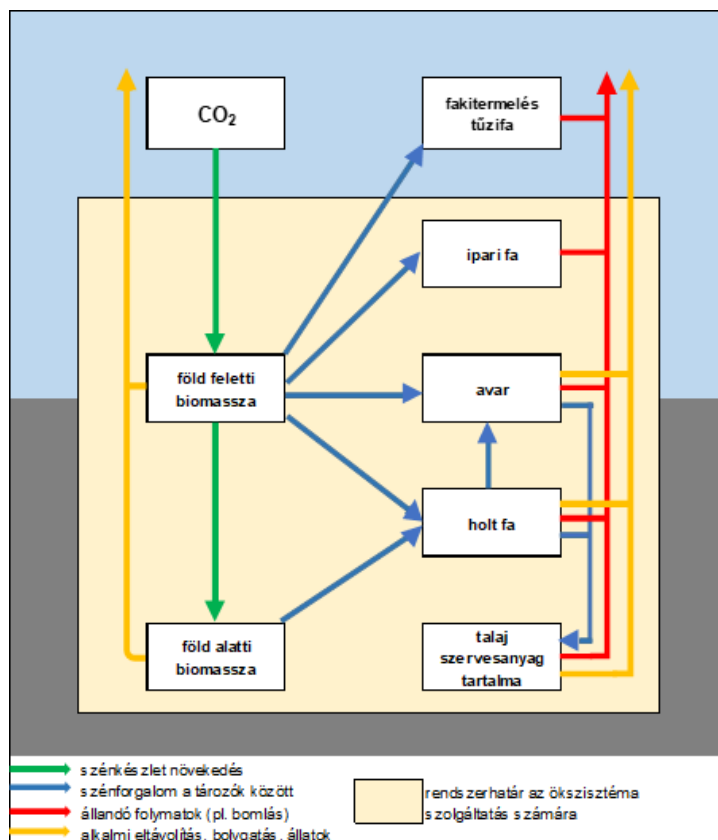
4.3.2 Az ökoszisztémák üvegházgáz mérlegeinek komponensei, rendszerhatárok (Horváth László, Koncz Péter)

A különböző ökoszisztémák eltérő üvegházgáz- és szénmérleggel, illetve szénmegkötő kapacitással rendelkeznek. Eltérő mértékben, de az összes ökoszisztéma, illetve művelési ág érintett az éghajlat-szabályozásban. A főbb ökoszisztémák (és művelési ágak) kategóriái: az erdők (erdőgazdálkodás), a szántók (mezőgazdaság), a gyepek (és ehhez kötve az állattenyésztés), valamint a vizes élőhelyek. Az ökoszisztémák üvegházgáz forgalma függ a vizsgált időszak hosszától. Napi ciklusokon át évszázados ciklusokig tekinthetünk előre és ennek függvényében más-más értékeket kapunk. A NÖSZTÉP projekt keretében elsősorban éves ciklusokat elemzünk, mind a potenciális szolgáltatás, mind a tényleges szolgáltatás viszonylatában.

Erdők, erdőgazdálkodás

Az **erdők szén-(dioxid) megkötése közismert**, melynek eredményeként a lekötött szén a biomasszában, a holt szervesanyagban (holtfa és avar) és a talajban raktározódik rövidebb-hosszabb ideig (24. ábra). Az, hogy a fák által lekötött szénnek mi lesz a sorsa - mely tárolóban és meddig marad lekötve, és onnan felszabadulva mikor és hogyan kerül vissza a levegőbe -, sok tényezőtől függ. Jelentős megkötő potenciál rejlik az erdősült területek arányának növelésében.

Erdők esetében a metán és a dinitrogén-oxid forgalma elhanyagolható. A Nemzeti Üvegházgáz Leltár (National Inventory Report, NIR 2019) adatai alapján a 2015-ös bázisévben az erdők metán, illetve dinitrogén-oxid kibocsátása (CO₂ ekv.) a szén-dioxid megkötés 1%-át sem tette ki. **Éghajlat-szabályozás szempontjából tényleges szolgáltatás az ökológiai rendszerben tárolt szén mennyiségének növekedése** és az ipari fa mennyisége, mivel utóbbi éves távlatokban megmarad. Az energetikai célból kivitt faanyag széntartalma veszteség (tűzifaként kitermelt mennyiség), ezért negatív tag a mérlegben. A növényevő állatok miatt a rendszerből kikerült szén-dioxid a bal oldali sárga nyílban realizálódik, vagyis a növényi anyagok fogyasztásából származó CO₂ veszteségként jelenik meg (24. ábra). A klimax, „beállt” erdők jellemzően kevesebb szén-dioxidot vesznek föl, mint a növekedés kezdeti szakaszában lévő erdők, azonban hazánkban még nincsenek olyan idős erdők, ahol a hosszú távú szénmegkötést vizsgálni lehetne. Érdekes külföldi tapasztalat azonban, hogy a korábbi nézetekkel ellentétben az idősebb, 300-400 éves erdők (old-growth) is nettó szénmegkötők lehetnek (O’Casey 2017, Keeton 2018).



24. ábra Az erdők szénforgalma (az IPCC 2006 alapján)

Gyep, állattenyésztés

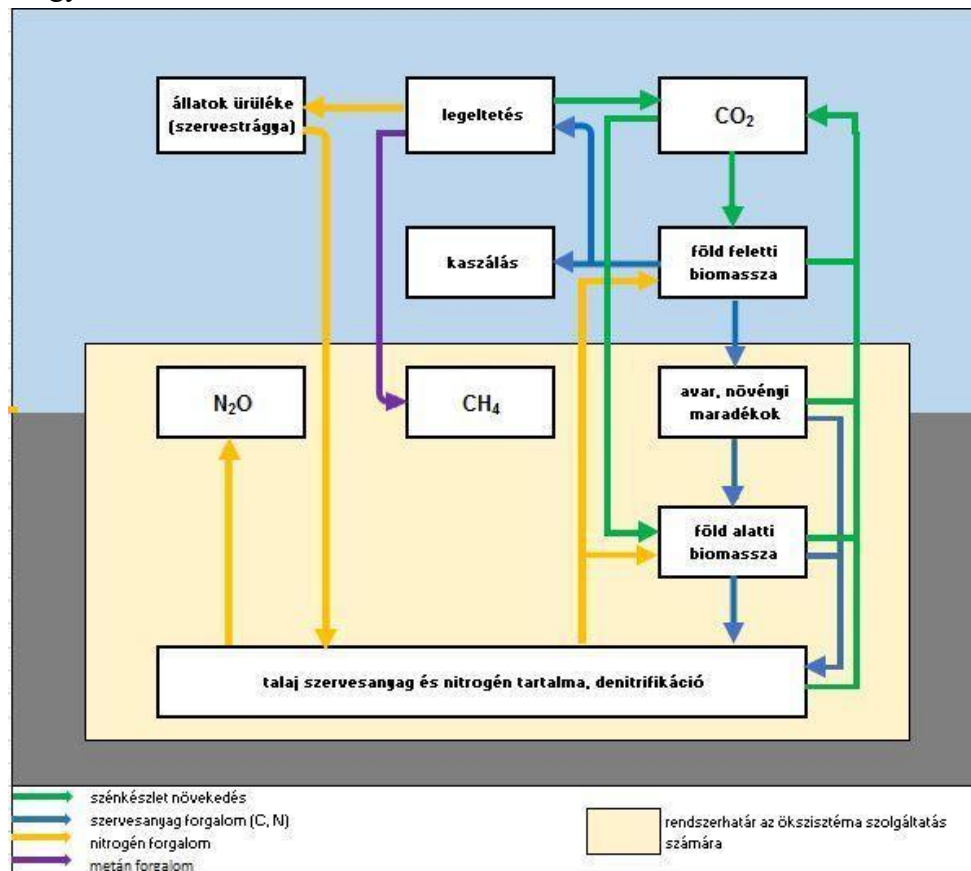
Az erdőkhöz hasonlóan a **gyep szénforgalma és szénraktára is jelentős**, a világ talajaiban lévő szén 20%-át tartalmazzák (Conant 2010). A gyep nem megfelelő kezelése esetén, pl. túllegettetés (Smith et al. 2007), vagy degradáció hatására, valamint tájhasználati (gyep feltörése és szántóvá alakítása), illetve kezeléseket érintő változások (legettetés intenzitás módosulás) hatására ez a szénkészlet csökkenhet (Soussana et al. 2004). A fluktuáló időjárás, illetve a különböző gazdálkodási módok ellenére a **gyep számos vizsgálat alapján nettó széndioxid felvevőként viselkedtek** (Soussana et al. 2007, Gilmanov et al. 2010). A hazai klímán a gyep szén-dioxid felvételét a csapadékelletlenség erősen befolyásolja. A csökkenő nyári csapadék és az emelkedő, olykor extrém nappali léghőmérséklet (hőhullám) hatására csökken a gyep szén-dioxid felvevő kapacitása (Nagy et al. 2007).

A **gyep és az állattenyésztés** összevonása azért indokolt, mert utóbbi természetvédelmi szempontból jelentős része a legeltetéshez, legelőkhöz, illetve a kaszálókhoz köthető (az istállózott tartáshoz kapcsolódó elnyelések/kibocsátások egy része a gyepknél, kaszálóknál jelenik meg, míg a másik fele szántóföldknél/növénytermesztésnél). Ennél a kategóriánál a **legeltetett állattartás**, főleg a szarvasmarha tenyésztés a mérvadó, mivel a kérődző állatok metán-kibocsátása a legelőkön jeleníthető meg (25. ábra). A kifejlett szarvasmarhák metán emissziója 56-90 kg/év között változik, a növedékeké pedig 32-68 kg/év. A kérődző állatok közül még a juhok vannak Magyarországon nagyobb számban 8 kg/év metán kibocsátással

(Crutzen et al. 1986). Az istállótartás során keletkező trágya hatása pedig a szántókon realizálódik, a műtrágya felhasználással együtt.

Fontos, hogy az **állattenyésztés** nemcsak kibocsátással, hanem jelentős megkötő kapacitással is bír (Conant et al. 2017). Egy vizsgálat alapján **a legelő szénmegkötése képes volt kompenzálni az állatok, a trágya, és a talaj üvegházgáz kibocsátásból és a laterális szénvesztésegekből eredő üvegházgáz kibocsátást** (az elvitt szénában, takarmányban, állatokban lévő szénmennyiség felszabadulásából származó kibocsátás); tehát a vizsgált területen kedvező vízellátottság mellett az extenzív legeltetés nettó üvegházgáz megkötő, így klímabarát volt (Koncz et al. 2017). Az intenzív állattenyésztés jelentős ÜHG kibocsátással bír, ezért jogos kritika érheti az állattenyésztés egyes ágazatait, de a teljes képhez hozzájárul, hogy az állattenyésztés fenntartása élelmiszerbiztonság, munkahely-teremtés (800 millió ember számára nyújt megélhetést), illetve ökológiai, kulturális szempontból is fontos (Garnett et al. 2017).

A megkötött szén-dioxid legnagyobb része szénként a növényekbe kerül, amelyet elsősorban intenzív gazdálkodás esetén lekaszálnak vagy lelegeltetnek. A bennmaradó kisebb rész, azaz az éves nettó szénmérleg tekinthető az ökoszisztéma pozitív szolgáltatásának. **Negatív tagként viszont figyelembe kell venni a kérődző állatok által kibocsátott metánt és az állati ürülékkel a talajba került nitrogénnek azt a részét, mely dinitrogén-oxid formájában a légkörbe kerül.** Az élelmiszertermelés szempontjából viszont a pozitív oldalon áll a megtermelt állati eredetű élelmiszer mennyisége. Ha az adott füves területen nem folyik legeltetés vagy kaszálás, természetesen az adott modul értéke nullává válik.

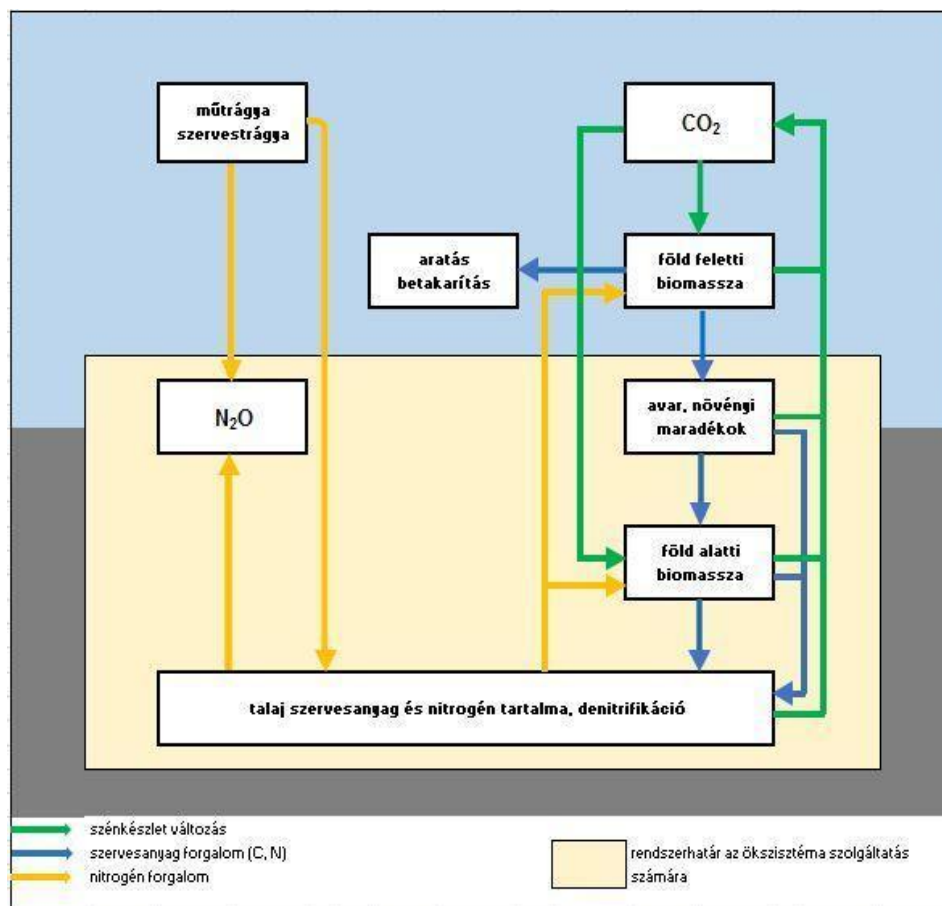


25. ábra A gyepek, legelők üvegházgáz forgalma
Szántók, mezőgazdasági területek (növénytermesztés)

Szántók esetében az üvegházgáz mérleget elsősorban a **műtrágyázás** során a talajba került nitrogénformák denitrifikációja, illetve nitrifikációja során keletkezett dinitrogén-oxid kibocsátás szabja meg (26. ábra). A **talajok** (elsősorban a műtrágyázott talajok) **dinitrogén-oxid kibocsátása** 2002-2006 között 12 Tg CO₂ ekv./év, illetve 2009-2010 között 11 Tg CO₂ ekv./év volt (Horváth 2008, Grosz et al. 2015). A műtrágyázás mellett számos más **kezelés** is hozzájárul az üvegházhatású gázok felszabadulásához pl. **mélyszántás** során jelentős mennyiségű **szén-dioxid kerül a légkörbe** a bomlási folyamatok révén, ami a talajok víz- és tápanyagforgalmát is rontja.

Szántók esetében a metán forgalommal nem kell számolni. A szántók, de általában a nem vizenyős talajok ugyan kismértékben metán nyelők, de ez nagyságrendileg országosan a 0,1 Tg CO₂ ekv./év tartományba esik (Grosz et al. 2015).

Itt jegyezzük meg, hogy a gyümölcsösökre, kiskertekre vonatkozóan nincs reprezentatív adat.



26. ábra A szántók üvegházgáz forgalma

Vizes élőhelyek

A **vizes élőhelyek** produktivitásából és lassú lebomlási, illetve (táp)anyag felhalmozódási folyamataiból fakadóan a **legnagyobb szénraktárral bíró ökoszisztémák** közé sorolhatók. A vizes élőhelyek ugyan globálisan fontos szerepet töltenek be az éghajlat-szabályozásban,

hazai kiterjedésük viszont csekély, az ország területének csupán 2,8%-a. Hazai vizsgálatok alapján **szerves anyag produkciójuk a gyepkével vetekszik** (Tuba 2008).

A szén-dioxid megkötés mellett ugyanakkor a magas, illetve változó víztartalom az anaerob körülmények között lezajló bomlásnak kedvez, elősegítve a **metántermelést** (Kayranli et al. 2010). Ez a folyamat a szén-dioxid megkötést ellensúlyozhatja sőt, felül is múlhatja.

A vizes élőhelyek ÜHG forgalma erősen függ a területek kezelésétől (folyószabályozások, árterek, illetve víztározók kezelése). Magyarországi viszonylatban az üvegházgáz forgalom szempontjából a legfontosabb **vizes élőhelyek** a zárt és nyílt lombhullató erdők (vizes talaja), ártéri erdők, folyópartok, mocsarak, kitermelés alatt lévő tőzeglápok, természetes tőzeglápok, tavak és tőzgebánya tavak.

4.3.3 Üvegházgáz forgalom becslésére alkalmas módszerek (Koncz Péter)

Alapvetően két megközelítés áll rendelkezésre jelenleg a NÖSZTÉP szempontjából releváns üvegházgáz forgalom jellemzésére. Az egyik a **biogeokémiai modellekre (7.3 Melléklet)**, míg a másik a **Nemzeti Üvegházgáz Leltár (7.4 Melléklet)** módszertanára épít. (A 7.3 Mellékletben a BiomeBGC-AgroMo modell ismertetése is megtalálható.) Mindkét megközelítés használatának megvan a jogos alapja, de fontos, hogy a biogeokémiai modellekhez képest a leltár hátránya, hogy az évenként változó (pl. meteorológiai) paraméterekkel nem számol, így a változásoknak csak a trendje követhető, a dinamikája nem. További hátránya, hogy egyelőre nincs minden input értékre (pl. emisszió faktorokra) országspecifikus adat, ami az üvegházgáz fluxusok becslésében eltérést okoz a modellekkel meghatározott értékhez képest. A NÖSZTÉP projekt szempontjából az is korlátozza a leltár használhatóságot, hogy az IPCC módszertanon alapuló leltár antropogén kibocsátást/megkötést számol (Kis-Kovács 2014), viszont az ökoszisztémák határai és főleg hatásai ezen túlmutatnak. Fontos, hogy a leltár felhasználható a NÖSZTÉP céljaihoz, de a használhatósághoz el kell sajátítani annak módszertanát és különbségét a modellekhez képest.

4.3.4 Éghajlat-szabályozás – kaszkád

Az ökoszisztémák éghajlat-szabályozása szempontjából szolgáltatásnak tekinthető **az ökoszisztémák szénkészlete (t C/ha), a szénmegkötés (t C/ha/év), illetve az üvegházgáz mérleg fenntartása (t CO₂ ekv./ha/év) (27. ábra)**. A szénkészletek növekedésével érhető el a légköri szén-dioxid szint koncentrációjának, illetve az éghajlatváltozás mértékének csökkentése.

A NÖSZTÉP keretrendszere nem feltétlen alkalmas az éghajlat-szabályozás helyes értelmezéséhez. Az éghajlat-szabályozást a kezelések típusa (gazdálkodási technológiák), a klimatikus és hidrológiai viszonyok, a talajtípusok, illetve a vegetáció (jellege, egészsége, vízellátottsága stb.) mind befolyásolják, de egyik sem lineárisan (egy-egy paraméter növekedésével vagy csökkenésével párhuzamosan nem feltétlenül nő vagy csökken az éghajlat szabályozottsága) és nem önállóan határozza meg az ökoszisztémák állapotát, a szabályozás képességét, illetve a tényleges szabályozást. Több indikátor használatát mérlegeltük. A hazai és a nemzetközi kutatásokra, irodalomra, illetve a felhasználói célokra, továbbá az éghajlat-szabályozás jellegére tekintettel az alábbiak mellett döntöttünk.

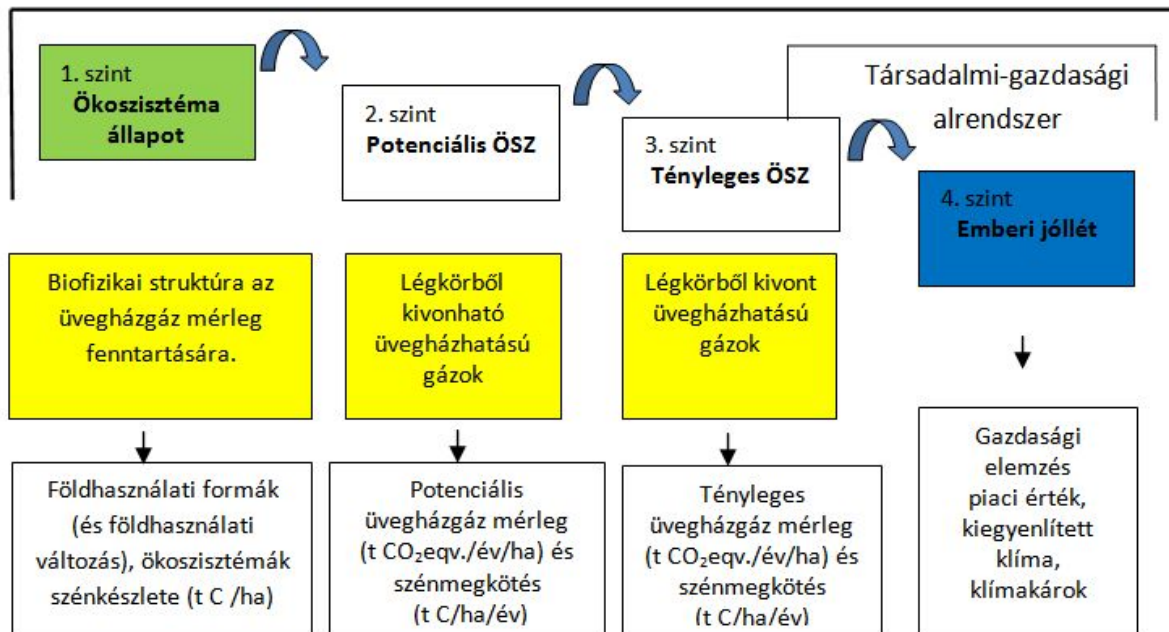
4.3.4.1 Állapot indikátor

Az állapot indikátorok a **földhasználati formák területei**, a földhasználat változásokból adódó üvegházgáz-mérleg értékek és az **ökoszisztémák szénkészlet** értékei (27. ábra).

a) Földhasználati forma és a földhasználat-változás éves értéke (Somogyi Zoltán, Koncz Péter)

- Mi az adott indikátor?

Az indikátorok: a földhasználat és a földhasználat-változás éves területe (hektárban). A nemzeti üvegházgáz leltárban alkalmazott földhasználati kategóriák és átváltások alkalmazhatóak (bővebben 7.4 Melléklet). A „földhasználati” kategóriák megfelelnek az ÜHG leltár „maradó”, a földhasználat-változási kategóriák pedig az ÜHG leltár „konverziós” területeivel. A földhasználati kategóriákat az alaptérkép már tartalmazza, így ez egy „nulladik” indikátornak tekinthető, amely az ökoszisztémák biofizikai struktúráját jellemzi.



27. ábra A globális éghajlat-szabályozáshoz kapcsolt indikátorok és azok adatforrásai a kaszkádok négy szintjén. Az adatok az első három kaszkád szint esetében rendelkezésre állnak, a negyedik szint részletes gazdasági elemzés része lesz.

- Miért az adott indikátort választottuk?

A földhasználati kategóriák (erdők, agrár területek, szántók stb.) alapvetően meghatározzák azt a biofizikai környezetet, amelyben az éghajlat-szabályozás megvalósulhat. A korábbi fejezetek (4.3.1-4.3.3) részletesen bemutatták, hogy mi az egyes ökoszisztémák, az ökoszisztémákhoz kapcsolódó kezelések szerepe az üvegházhatású gázok forgalmában, amelynek közvetlenül meghatározzák az éghajlat-szabályozást.

A földhasználat-változások során jelentős mennyiségű üvegházgáz kerülhet a légkörbe, illetve jelentős lehet a szénmegkötés, ezért érdemes ezt egy külön indikátorként kezelni. A földhasználat-változásokat a NÖSZTÉP keretrendszere alapján a tájhasználati változásoknál kellene külön tárgyalni. Jelen esetben maga az egy éven belüli megtörtént változás is kulcs indikátor, mert ez jelentős változást eredményez az ÜHG mérlegben, illetve tartalmilag a földhasználat-változás a földhasználati kategóriákhoz köthető ezért a földhasználat- változások ÜHG mérlegét itt tárgyaljuk. **Az ÜHG leltár becslései elsősorban** (de nem kizárólag) **a földhasználati adatoktól függenek.** Ennek viszont elsősorban az az oka, hogy **a nemzeti üvegházgáz leltár alapján (7.4. Melléklet) az egyes ökoszisztémák saját ÜHG egyenlege a „maradó” területeken (nincs művelési ág váltás) – az éves ingadozásoktól eltekintve, az erdők kivételével – nulla körüli, és nagyobb emissziók vagy lekötések a földhasználat-váltásból adódnak.** (Ebben az értelemben földhasználat-váltásnak minősül az is, ha művelt szántót pihentetett – hosszabb ideig nem kezelt, felhagyott – szántóvá alakítjuk). Az ökoszisztémák helyszínén keletkező, a trágyázásból származó nem-CO₂ ÜHG kibocsátás természetesen nem nulla, de ez a trágyázás következménye. A szolgáltatás szoros összefüggésben lehet az ökoszisztéma földhasználattal jellemezhető állapotával (IPCC 2006).

- Milyen külföldi, hazai példák vannak az indikátor ökoszisztéma szolgáltatás alapú értékelésére?

Az éghajlat-szabályozást az erdők kiterjedésének megváltozásával mások is indikálták (Martín-López et al. 2014), amely az EU által elfogadott módszer az éghajlat-szabályozás jellemzésére (Turner et al. 2019). Látható, hogy az éghajlat-szabályozást a jelentős földhasználat-változások befolyásolják, ezért a földhasználat-változás az éghajlat-szabályozás fontos indikátora.

- Milyen adatbázisból, hogyan számoltuk ki az indikátort?

Az adatok forrása a **nemzeti ÜHG leltár** legújabb verziója (NIR 2019). Az országos szintű értékek közvetlenül kiolvashatók a leltárból.

- Milyen értékeket vesz fel az indikátor?

Az eredményeket a NIR (2019) módszertanának ismeretében kell értelmezni (7.4 Melléklet). A 4. táblázatból kiolvasható, hogy ha **egy gyeplet feltörünk és szántóvá alakítunk, akkor 20 tonna szénnel szegényedik a talaj felső 30 cm-es rétege 20 éves időskálán**, hektáronként. A talajok feltörése tehát jelentősen csökkenti azok szénkészletét. Az éghajlat-szabályozás szempontjából ez tehát negatív szolgáltatás. Fordított esetben, azonban (szántó művelési ágból erdő, illetve gyepgazdálkodásra való áttérés esetén) a talajok szénkészlete rendre 11, illetve 20 tonnával növekszik a talaj felső 30 cm-es rétege 20 év alatt, hektáronként. A szántók és a gyepek lakóterületté (beépített területté) való alakítása csökkenti a talaj felső 30 cm-es rétegének szénkészletét, ami szén-dioxid kibocsátással jár. Szántóknál, attól függően, hogy művelt, vagy pihentetett területről van szó, a szénkészlet 10-12%-kal is csökkenhet. Gyeppek lakóterületté alakításakor pedig a csökkenés átlagosan 14%-os.

4. táblázat Talaj szénkészlet változása (t C/ha a legfelső 30 cm-ben) földhasználat-váltás esetén (NIR, 2019) attól függően, hogy egy terület művelési ága miből („FROM”) mivé („TO”) alakul. A különbségek egyensúlyi helyzetek közötti különbségeket jelentenek, és a kibocsátások és elnyelések számításakor feltételezzük, hogy a konverzió előtti és utáni egyensúlyok közti átmenet 20 év alatt évenként azonos sebességgel játszódik le. A pozitív számok szénkészlet-növekedést, a negatívak szénkészlet-csökkenést jelölnek. A művelési ágak: FL = erdőgazdálkodás; CL = szántógazdálkodás; GL = gyepgazdálkodás; WL = vizes területek; SE = lakott területek; non-SA = aktuálisan művelt terület; SA = aktuálisan pihentetett (nem kezelt) terület; OL = egyéb terület (a 4. táblázatban nem, de a 5. táblázatban szerepel).

FROM	TO						
	FL	non-SA CL	SA CL	non-SA GL	SA GL	SE	WL
FL		-11,1	-3,6	2,6	2,6	-9,6	24,0
non-SA CL	11,1		9,6	20,0	20,0	-10,4	20,0
SA CL	3,6	-9,6		10,5	10,5	-12,3	10,5
non-SA GL	-2,6	-20,0	-10,5		0,0	-14,4	0,0
SA GL	-2,6	-20,0	-10,5	0,0		-14,4	0,0
SE	9,6	10,4	12,3	14,4	14,4		14,4
WL	-24,0	-20,0	-10,5	0,0	0,0	-14,4	

Az 5. táblázatban látható, hogy 2015-ben 791 hektáron történt szántógazdálkodásról erdőgazdálkodásra történő áttérés (ez 8700 tonna szénlekötést jelent, 20 év alatt). Ha vizes

előhelyet létesítenénk egy erdő helyén, akkor 20 éves időskálán 24 tonnával növekedne a talaj széntartalma a felső 30 cm-es rétegben hektáronként, de e tevékenység tiltott.

5. táblázat A hazai ÜHG leltárban alkalmazott földhasználati kategóriák 2014. év végi (2015. elejei) és 2015. végi területnagyságai (sárga cellákban, ha), valamint az e kategóriák közötti éves konverziók nagyságai (ha/év) a 2015. év során. (A magyarázatokat lásd a fenti 4. táblázatnál; a módszertanra vonatkozóan lásd a 7.4 Mellékletet.)

	FL	non-SA CL	SA-CL	GL	SA-GL	WL	SE	OL
2014	2 061 432	4 585 384	589 452	760 915	459 917	262 936	580 780	2 451
FL	2 059 732	521		413		0	766	0
non-SA CL	791	4 578 643	0	4 703		0	1 246	
SA-CL	0	3 146	586 306					
GL	179	2 609		756 175	1 668	0	285	
SA-GL	0			0	459 800	117		
WL	0	0		0		262 931	5	0
SE	117	47		188		53	580 375	0
OL							0	2 451
2015	2 060 819	4 584 966	586 306	761 479	461 468	263 101	582 677	2 451

- Hogyan térképezhető az indikátor?

A területváltozási mátrix csak országos szinten ismert, kisebb földrajzi egységekre nem adható meg, viszont a fent említett kategória mindegyikére (összesen 64 kategória) rendelkezésre áll. A területváltozási mátrix módszertana elsősorban nem térképi alapadatokra támaszkodik (nem georeferálható), és mindezek miatt valószínűleg csak egy 6 × 6-os mátrix adatait lehetne térképre visszavetíteni úgy, hogy az ökoszisztéma-alaptérkép osztályait visszakategorizáljuk a fenti mátrixra. A korábbi elképzelésekkel ellentétben a Nemzeti Üvegházgáz Leltár alapján nem készíthető térkép a földhasználat változásra vonatkozóan.

A földhasználatot, mint indikátort tekintve mindazonáltal a NÖSZTÉP alaptérkép alkalmazandó. Az alaptérkép tartalmazza a 4. táblázat kategóriáit (ökoszisztémáit).

Az első szint további indikátorairól és térképeiről a következő „Szénkészletek” részben lehet tájékozódni. (A Nemzeti Üvegházgáz Leltár alapján a korábbi elképzelésekkel ellentétben a potenciális és a tényleges szint sem térképezhető. Ezért a 2. és 3. szintre vonatkozóan extra feladatként modell eredményeket (BiomeBGC) térképeztünk.)

- Melyek az indikátor korlátai?

Az indikátor aktuális, „pontos” értéke nem minden évre áll rendelkezésre, hanem a távérzékelési és statisztikai adatgyűjtés gyakoriságától függ. Ugyanígy, az indikátor összesített és pixel-szintű pontossága az említett adatgyűjtések pontosságától függ. Elsősorban azonban az évenkénti területváltozás (pontosabban: földhasználat-változás területe) az, ami számít az ÜHG becslés pontosságát szemponkjából.

b) Szénkészletek (Horváth László, Pásztor László, Koncz Péter)

- Mi az adott indikátor?

A szénmegkötő képesség indikátora az aktív 1) föld feletti és a 2) föld alatti növényi biomassza széntartalma (tC/ha), illetve a 3) talaj széntartalma (tC/ha), valamint a vegetáció minőségi és mennyiségi összetétele a termőhelyi és környezeti állapot figyelembe vételével.

Ezek együttesen alkotják a teljes szénkészletet, ezért célszerű mindhárommal foglalkozni (ha csak az egyiket elemezzük, akkor fals képet kaphatunk az ökoszisztéma állapotáról).

- **Miért az adott indikátort választottuk?**

Az ökoszisztémák **szénkészlete (tC/ha)** az éghajlat-szabályozó folyamatok egyik legfontosabb jellemzője a szénmegkötés rátája (tC/ha/év) mellett, amely majd a 2. illetve a 3. szint indikátora lesz (Becerra-Jurado et al. 2015).

A föld feletti és alatti biomasszában tárolt (jellemzően hosszú idő alatt felhalmozódott) **szénkészlet fejezi ki azt a biofizikai struktúrát, ami lehetőséget teremt a további szénmegkötésre, a mérleg szabályozására** (egy-egy aktuális kezelés elsősorban a föld feletti biomasszán fejt ki a hatását). Fontos, hogy a talajban lévő magas C tartalom összefüggésben van a talaj kedvező tápanyag- és vízgazdálkodásával, így a talaj C tartalom visszahat magára a C megkötés szabályozására (bővebben lásd a 7.2 Mellékletben: **A talaj szerves széntartalma (SOM) és a terméshozam közti összefüggés**).

Megjegyzendő, hogy a szakirodalom nem egységes abban a tekintetben, hogy a szénkészleteket melyik kaszkád szintre sorolják (**jellemzően a kaszkádokkal nem is foglalkoznak**), de széleskörűen alkalmazott indikátor, illetve a szénkészletek logikailag a földhasználati formákhoz köthetőek, mindezek miatt szerepel az 1. szinten második indikátorként. A szénkészlet integráltan jellemzi az adott élőhely hosszú távú (10-100 éves) kezelés történetét, a klimatikus és hidrológiai viszonyokat, a vegetációs hatásokat. Ahol jelenleg magas C tartalom található, ott az éghajlat-szabályozás szempontjából kedvezőek voltak a hosszú-távú geológiai, biológiai, ökológiai, illetve gazdasági feltételek.

A föld feletti növényi biomassza, illetve a produkció országos becslésére távérzékelt vegetációs indexek is alkalmazhatóak (pl. a Sentinel-2 műholdak ingyenes adataiból levezetve). A normalizált vegetációs index (**NDVI**, Normalized Difference Vegetation Index) jól elkülöníti a növényi biomasszát, az egyéb felszínborítási formáktól, mert az NDVI az élő, fotoszintetikusan aktív klorofill tartalommal rendelkező növények esetében magas. A növényi biomassza közel fele szén, tehát a magas NDVI értékkel jellemezhető ökoszisztémák (ahol az NDVI-index éves lefutása a június-július hónapokban a fotoszintetikus aktivitás csúcsát jelzi) általánosságban magas szénmegkötéssel is jellemezhetőek (Adnan et al. 2017). Mivel azonban az NDVI csak indikálja a szénmegkötést, ezért célszerűbb eleve a szénmegkötés mértékét, illetve az üvegházgáz mérleg értékeit az éghajlat-szabályozás indikátoraként használni.

- **Milyen külföldi és hazai példák vannak az indikátor ökoszisztéma szolgáltatás alapú értékelésére?**

A nemzetközi szakirodalomban is általában ezeket a tényezőket választják az ökoszisztémák éghajlat-szabályozásának jellemzésére.

1. De Groot et al. (2010) esetében az állapotindikátor (a szolgáltatás mértéke) az üvegházgáz mérleg (különösen a szénmegkötés) és a felszín borítottsági jellemzők. A megvalósult szolgáltatás mértékének indikátora, azaz, hogy mennyi szolgáltatást nyújtott az ökoszisztéma, vagy mennyit vettünk igénybe fenntartható módon, az a megkötött és/vagy kibocsátott ÜHG mennyisége, és ezek hatása az éghajlati paraméterekre.
2. Bastian and Grünewald (2014) munkájában a szolgáltatás indikátora a légköri szén-dioxid megkötése és tárolása a talajban, a vegetációban és az óceánokban. Az állapotindikátorok a növényzettel borított területek aránya és a talaj (láp) típusa.
3. Grünewald et al. (2016) az ökoszisztémák fizikai, kémiai és biológiai fenntartását tekinti ökoszisztéma szolgáltatásnak a légkör összetételével és az éghajlat szabályozásával kapcsolatban. A konkrét szolgáltatás az üvegházgázok koncentrációjának csökkentése.
4. Burkhard and Maes (2017) alapján az éghajlat-szabályozás szolgáltatása az üvegházgáz koncentráció csökkentése. Az indikátor a szénmegkötés és széntárolás a talajban vagy a föld feletti biomasszában. A szolgáltatás pedig maga a szénkészlet és a szén-fluxus.
5. A globális éghajlat-szabályozás szempontjából Becerra-Jurado et al. (2015) szerint az ökológiai szolgáltatás kapacitás indikátora a széntárolás, a tényleges szolgáltatás indikátora a szénmegkötés mértéke, a szolgáltatás hasznát jellemző indikátor pedig a megkötött szén pénzben kifejezett értéke adott cellában (7 \$/t C értékkel figyelembe véve). Példa az éghajlat-szabályozásra: a szolgáltatás indikátora a térképezett szénkészlet a talajban, illetve a föld feletti és föld alatti vegetációban, feltételezve, hogy a készlet összefüggésben van a szolgáltatási képességgel és teljesítménnyel.

- **Milyen adatbázisból, hogyan számoltuk ki az indikátort?**

A széntároló kapacitás indikátora a 1) föld feletti és a 2) föld alatti biomassza széntartalma (t C/ha), illetve 3) talaj széntartalma (t C/ha), a szénmegkötéssel összefüggésben. A talajok szervesanyag-tartalmának kb. 50-58%-a szén (Pribyl 2010). A talajok széntartalma tükrözi a sokéves klimatikus, hidrológiai viszonyokat, a domborzati, talajtani és növényzeti paramétereket, a kezeléseket (erdősítés, mezőgazdálkodás stb.), tehát összegzi az adott termőhely, ökoszisztéma állapotát. Az országos talaj szervesanyag-tartalom térképen például jól látható, hogy a korábban vízzel elöntött területek, vagy az erdősült területek magas, míg a viszonylag magasan fekvő, száraz alföldi térszintek alacsony szervesanyag-tartalommal rendelkeznek.

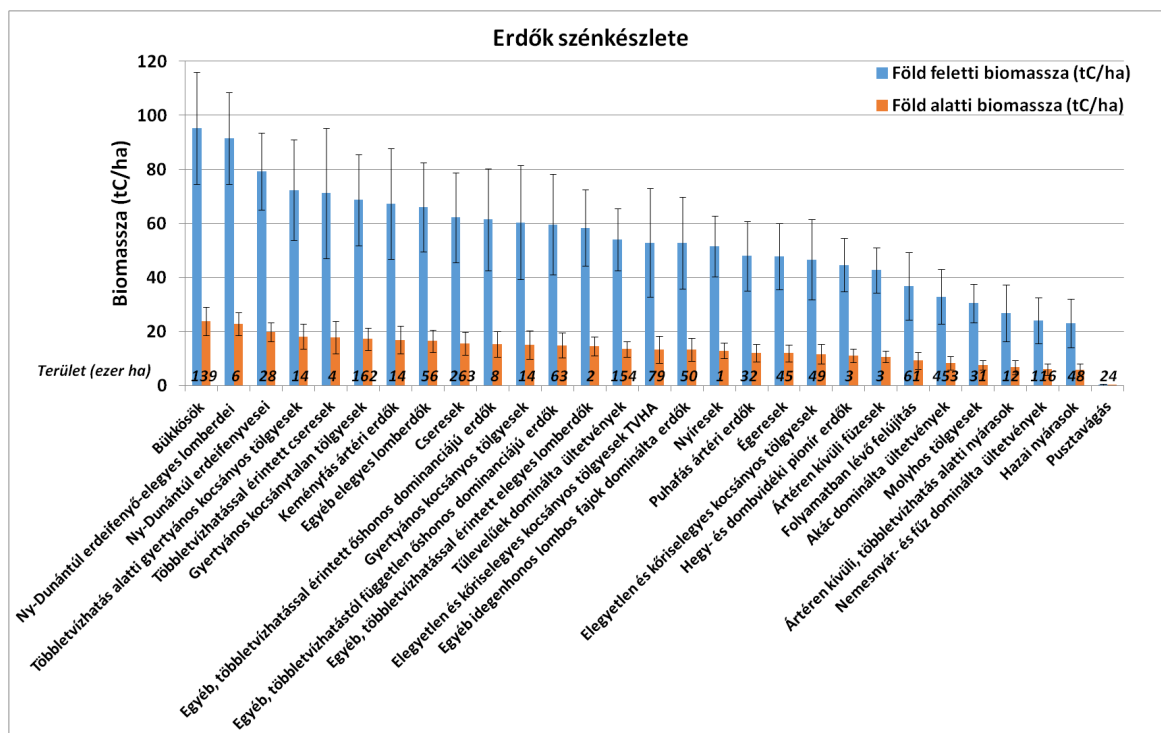
- 1) **Erdők esetében a föld feletti növényi biomassza döntő része (98%-a) a faanyagban koncentrálódik. A faanyag szénkészletére (t C/ha) vonatkozó adatok az Erdészeti Szakigazgatási Információs Rendszer (ESZIR) alapján számíthatóak ki az élőfakészletből, az egyes fafajok sűrűségét és a faanyag szénttartalmát figyelembe véve.**

Gyepes és szántók esetében a **föld feletti biomasszát (szénkészlet, t C/ha)** és a szervesanyag termelését (t/ha/év) térbeli adatok hiányában **modellszámításokkal** határoztuk meg (Fodor et al. 2014).

- 2) A **föld alatti biomassza (szénkészlet, t C/ha)** és a szervesanyag termelés (t/ha/év) szintén modellszámításokkal határozható meg pl. a 4M crop modellel kiegészített Biome-BGC-AgroMo modellel (Fodor et al. 2014). A modell az erdők föld alatti biomasszáját a föld feletti biomassza 25%-ának tekinti.
- 3) A **talaj szervesanyag-tartalom adatai, amelyből a talaj szénkészlet adatai kiszámíthatók az MTA TAKI adatbázisában elérhetőek** (Pásztor et al. 2015).

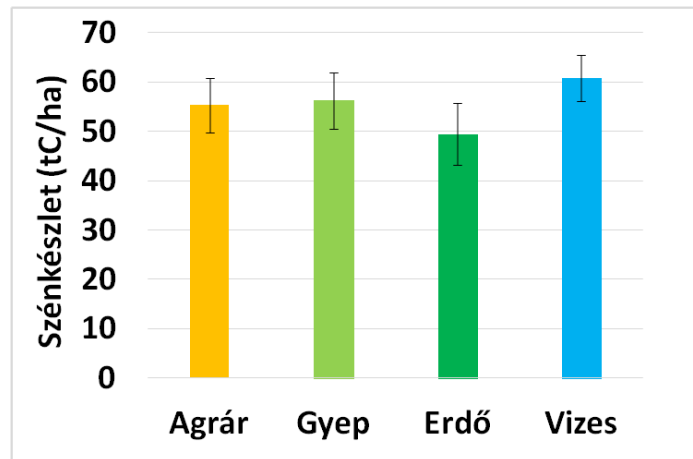
- **Milyen értékeket vesz fel az indikátor?**

1-2) Az **erdők szénkészletét a föld feletti és alatti biomasszában (t C/ha) élőhely-kategóriánként** a 28. ábra szemlélteti. Látható, hogy jelentős föld feletti (95 t C/ha) és alatti (24 t C/ha) szénkészlettel bírnak a **bükkösök**; éppen azok az állományok, amelyek a leginkább veszélyeztetettek a klímaváltozás miatt. Az éghajlatváltozás hatására a bükkösök legyengülnek, száradnak és a lebomlás során szénkészletük egy része a légkörbe távozik. Ezen állományokat tehát klímavédelmi szempontból fontos megőrizni, lokális vízellátásukat (ahol lehetséges) biztosítani kell. Sok esetben ez a **folyamatos erdőborítás fenntartásával** lehetséges, mert így megőrizzük az állomány számára kedvezőbb hűvös mikroklímát, hiszen nagyobb lékek nyitása, illetve tarvágás esetén az erdő mikroklímája melegebb, szárazabb lesz. Érdekes, hogy a nyugat-dunántúli erdefenyvesek jelentős szénkészlettel rendelkeznek (ahogy fentebb láttuk szintén jelentős folyó- és átlagnövedék értékekkel bírtak). Relatív kis kiterjedésük miatt azonban nem lehet messzemenő következtetéseket levonni; gyenge termőhelyen élnek, nem regenerálódnak, tehát alapvetően sérülékenyek. A különböző **tölgyesek, cseresek közepes föld feletti** (61 ± 36 t C/ha) és alatti (16 ± 2 t C/ha) **szénkészlettel** rendelkeznek, kivéve a molyhos tölgyesek, amelyek a termőhelyből fakadóan alacsony növekedésűek, ezért kisebb föld feletti (30 t C/ha) és alatti (8 t C/ha) szénkészlettel rendelkeznek (ugyanakkor látjuk később, hogy magas talaj szerves széntartalommal bírnak). **Klímavédelmi szempontból az akácok, a nemesnyár és fűz dominálta ültetvények alacsony értéket képviselnek, mert szénkészletük a többi élőhely-kategóriához képest alacsonyabb föld feletti** (27 ± 5 t C/ha) és alatti (7 ± 1 t C/ha) **szénkészlettel bírnak**. Az adatokból az is látszik, hogy ezekben az erdőkben intenzív a fakészlet eltávolítása, tehát az élőhelyen nem tud felhalmozódni olyan jelentős szénkészlet, mint a szálaló/folyamatos erdőborítást biztosító, illetve hosszú vágásfordulójú őshonos állományok esetében. Hosszú távú klíma- és természetvédelmi szempontból is megerősíthető, hogy a hazai őshonos, lombos fajokkal (kocsánytalan és kocsányos tölgy, cser) történő erdőújítás, erdőfelújítás kedvező.



28. ábra Erdők szénkészlete a föld feletti és alatti biomasszában (t C/ha) élőhely-kategóriánként (nagyítson az ábrára) az Erdészeti Szakigazgatási Információs Rendszer adatai alapján. A föld alatti biomassza a föld feletti 25%-a.

3) A talajok átlagos szénkészlete 52 ± 7 t C/ha. A szántók (agrár területek) talaja az országos átlagnál magasabb érték, 55 ± 11 t C/ha (29. ábra, 6. táblázat). Ezek a területek a művelésbe vonás előtt többnyire **síkvidéki erdők voltak**, ami elősegítette a szénkészlet felhalmozódását. **Erdőknél** a legkisebb és legnagyobb átlagos talaj széntartalommal rendelkező fajok között majdnem **kétszeres különbség** van a molyhos tölgyesek (66 t C/ha) és a hazai nyárasok (35 t C/ha) talaja között. A hegyvidéki erdők talajai alacsonyabb széntartalommal rendelkeznek a hegyi kitettség miatti alacsonyabb szén felhalmozódás miatt. Általában elmondható, hogy a **vizes élőhelyen lévő erdők talaja a leggazdagabb szerves szénben** (60 ± 9 t C/ha), **míg a nyár, nyír, akác és tülevelűeké a legszegényebb** (44 ± 11 t C/ha) (6. táblázat). A klímajelző fafajok esetén a bükkösök széntartalma a legnagyobb (57 t C/ha), amit a cseresek (54 t C/ha) és gyertyános kocsányos tölgyesek követnek (47 t C/ha). **Gyep** esetében az **átlag 56 t C/ha**. A homoki gyep széntartalma átlagosan 50 t C/ha alatt marad, ezek a területek nem alkalmasak szántónak, erdőnek a talaj és a klíma viszonyok miatti gyenge produkció miatt, míg a szikes, mészkedvelő és vizes területeken elhelyezkedő gyepké 60 t C/ha fölött van.

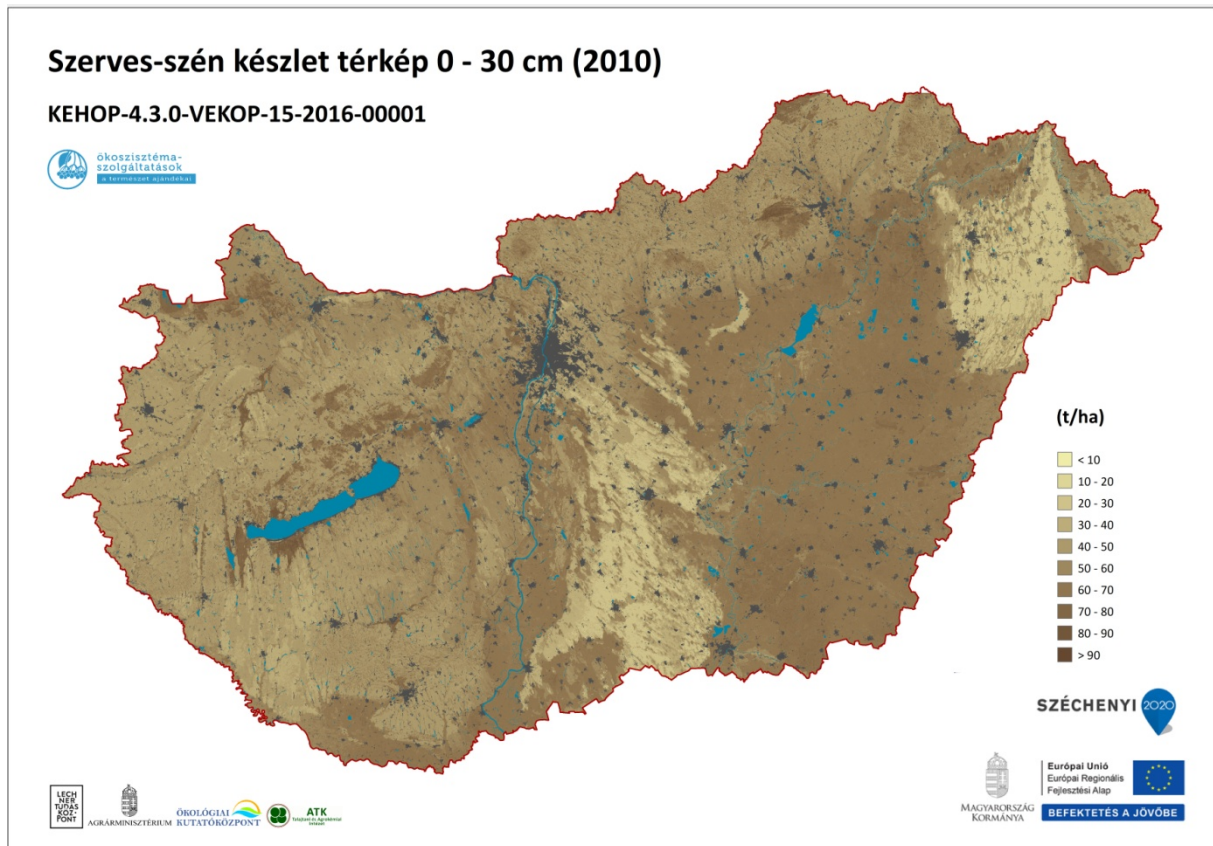


29. ábra A fő ökoszisztéma típusok talajának szerves szén készlete (Szatmári et al. 2019 alapján)

- **Hogyan térképezhető az indikátor? Mit ábrázolnak a térképek?**

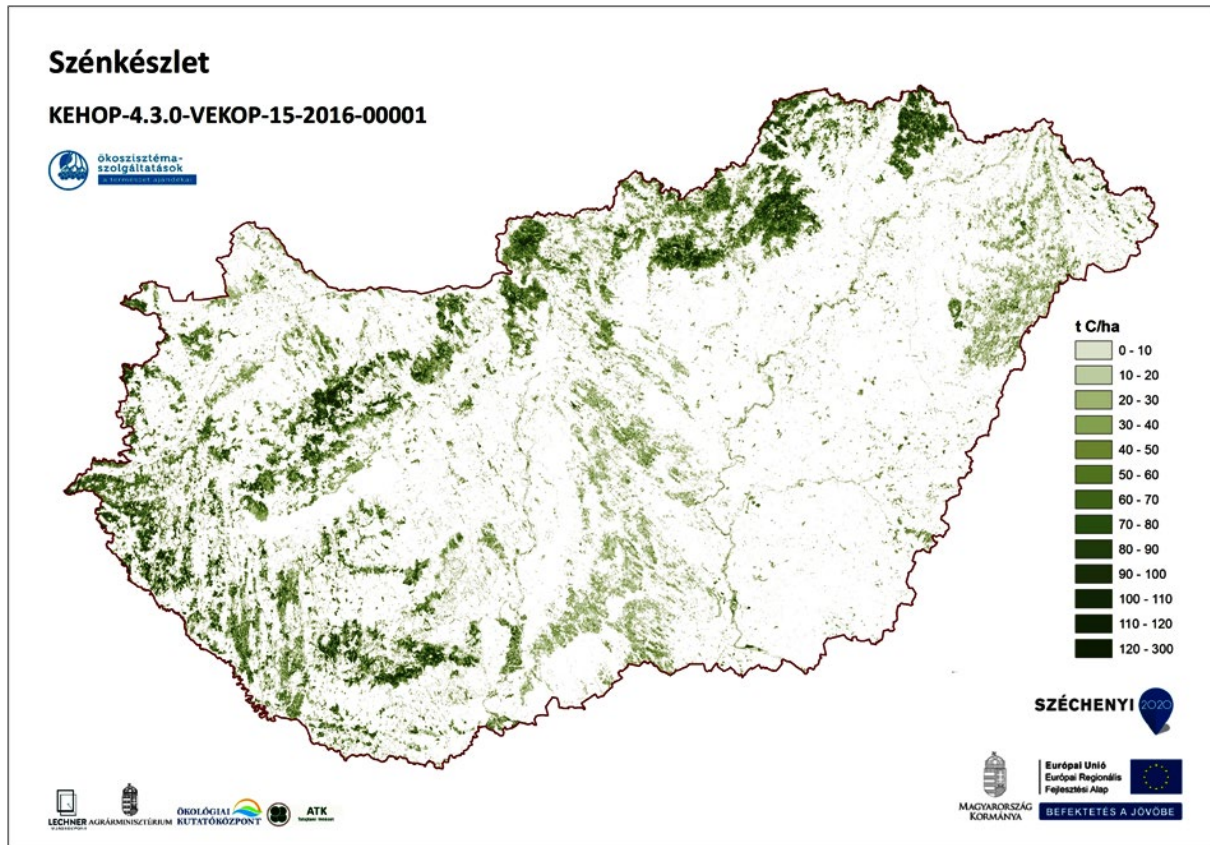
A fentiek alapján a **talaj szénkészletét az 1 hektár felbontású, országos, digitális talaj szervesszén-tartalom térkép mutatja** (30. ábra, Szatmári et al. 2019).

A különböző ökoszisztémák talajának szénkészlete különböző részletességgel áll rendelkezésre (az első szinten 4, a másodikon 16, és a harmadikon 47 kategóriában vannak a széntartalmak részletezve). Az első szintre vonatkozó szénkészlet a 23. ábrán látható. A harmadik szintre vonatkozó adatok a 6. táblázatban találhatóak. Területi eloszlásban a széntartalom nagy változékonyságot mutat. A 30. ábra alapján, ami a talaj szerves anyag tartalmát mutatja (a talaj szerves anyag átlagosan 58 % szenet tartalmaz), **legkevesebb szén a nyírségi, illetve a Duna-Tisza közti talajokban van**, a déli, bácskai területet leszámítva. Legmagasabb széntartalommal rendelkező talajok a Tiszántúlon (a Nyírséget leszámítva), a Dunántúl keleti részein (pl. Mezőföld) és a Hanság környékén találhatóak. **Általában a vizes élőhelyek talajának a széntartalma a nagyobb** (30. ábra) ezeken a helyeken magas a szénfelhalmozódás, nem utolsósorban a kedvező vízellátottság következtében. Általában elmondható, hogy a területi eloszlásban jóval nagyobb a talaj széntartalombeli változékonyság, mint a négy fő ökoszisztéma típus (szántó, gyep, erdő, vizes élőhely) között.



30. ábra Országos, digitális talaj szerves szénkészlet térkép (t C/ha).

Az erdőkre vonatkozó föld feletti biomassza szénkészlet térképe is elkészült (31. ábra). Erdők föld feletti szénkészletére (t C/ha) vonatkozó térképen a sötétzöld magas, míg a világoszöld szín alacsony értékeket mutat (31. ábra). Jól kirajzolódnak a hegy és dombvidéki erdők jelentős szénkészletei, továbbá a kisebb szénkészlettel bíró Duna-Tisza közti és nyírségi telepített akácosok szénkészletei. Ökológiai szempontból kiemelkedőek (jelentős szénraktárral és más ökológiai funkcióval bírnak) a folyó menti ártéri erdők (kemény és puhafás galériaerdők).



31. ábra Erdők föld feletti biomasszájában tárolt szénkészlete (t C/ha) Készítette: a NÖSZTÉP keretében a Lechner Tudásközpont az Országos Erdőállomány Adattár alapján.

- Melyek az indikátor korlátai?

A talajtérkép nem a 2015-ös bázisév szénkészletét mutatja, de mivel annak dinamikája, azaz évek közti változása csekély, ökoszisztéma szolgáltatás szempontjából használható. A talajban lévő szervesszén-mennyiség nem feltétlenül az aktuális vegetációnak köszönhető. A talajok aktuális szervesszén-tartalma többszázéves hatások eredményeképpen alakul ki (folyók üledéke, egykori erdők stb.), ezért nem feltétlenül az aktuális ökoszisztéma szénmegkötő képességét jellemzi, hanem a termőhely hosszú távú megkötő képességét.

6. táblázat A NÖSZTÉP élőhely-kategóriáinak talaj széntartalma (éghajlat-szabályozás állapot indikátora, t C/ha). (Szatmári et al. 2019 alapján készítette Pásztor László, TAKI)

Szint kód	Élőhelyek (level 3)	Átlag	Szórás (STD)
2100	Szántóföldek	55.85	10.77
2210	Szőlők	46.05	9.52
2220	Gyümölcsösök, bogyósok	43.86	11.94
2230	Energiaültetvények	49.69	11.68
2310	Komplex művelési szerkezet épületekkel	48.41	9.97
2320	Komplex művelési szerkezet épületek nélkül	47.57	11.19
3110	Nyílt homokpuszta gyepek	35.05	8.13
3120	Zárt gyepek homokon	47.88	9.04
3200	Szikes és szikesedésre hajlamos gyepek	63.73	6.97
3310	Szikkalibúvásokkal tarkított mészkedvelő gyepek	63.84	10.63
3320	Szikkalibúvásokkal tarkított egyéb gyepek	54.02	8.63
3400	Zárt gyepek kötött talajon vagy domb és hegyvidéken	57.40	9.38
3500	Máshová nem besorolható lágyszárú növényzet	55.42	11.00
4101	Bükkösök	57.34	11.57
4102	Gyertyános kocsánytalan tölgyesek	55.09	9.35
4103	Cseresek	53.97	9.04
4104	Molyhos tölgyesek	65.99	9.89
4105	Ny-Dunántúl erdeifenyvesei	46.21	4.34
4106	Ny-Dunántúl erdeifenyő-elegyes lomberdei	46.62	5.10
4107	Hazai nyárasok	34.91	11.06
4108	Hegy- és dombvidéki pionír erdők	47.72	7.42
4109	Gyertyános kocsányos tölgyesek	47.30	6.74
4110	Elegyetlen és köriselegyes kocsányos tölgyesek	51.83	12.35
4111	Egyéb, többletvízhatástól független őshonos dominanciájú erdők	49.98	9.56
4112	Egyéb elegyes lomberdők	52.13	10.31
4201	Puhafás ártéri erdők	58.66	8.22
4202	Keményfás ártéri erdők	59.20	8.30
4203	Ártéri égeresek	55.41	8.91
4301	Elegyetlen és köriselegyes kocsányos tölgyesek TVHA	51.49	12.93
4302	Égeresek	47.77	8.46
4303	Többletvízhatás alatti gyertyános kocsányos tölgyesek	53.19	10.09
4304	Ártéren kívüli fűzesek	55.32	11.14
4305	Ártéren kívüli, többletvízhatás alatti nyárasok	50.84	14.11
4306	Nyíresek	43.18	6.11
4307	Többletvízhatással érintett cseresek	50.57	9.41
4308	Egyéb, többletvízhatással érintett őshonos dominanciájú erdők	56.40	10.31
4309	Egyéb, többletvízhatással érintett elegyes lomberdők	51.53	9.70
4401	Tülevelűek dominálta ültetvények	42.07	12.40
4402	Akác dominálta ültetvények	43.12	12.30
4403	Nemesnyár- és fűz dominálta ültetvények	47.76	15.37
4404	Egyéb idegenhonos lombos fajok dominálta erdők	48.47	13.48
4501	Pusztavágás	43.14	14.09
4502	Folyamatban lévő felújítás	52.46	11.17
4600	Máshová nem besorolható fás szárú növényzet	50.14	11.60
5110	Vízben álló mocsári/lápi növényzet	60.11	8.99
5120	Időszakos vízhatás alatt álló gyepek valamint láp- és mocsárrétek	62.49	9.51
5200	Láp- és mocsárerdők	59.81	11.70

4.3.4.2 Potenciális ŐSz (Koncz Péter, Somogyi Zoltán)

A potenciális szolgáltatás egy korábbi időpontban vett megvalósult szénmérleg maximum értéke (az adatok elérhetősége alapján erdők esetében az 1985-2017-es, a többi földhasználati ág esetében a 2005-2017-es időszakban megfigyelt legkisebb nettó kibocsátás). Tehát ez egy tényszerűen előfordult érték (potenciál) a NIR (2019) alapján. A módszertanról ld. a 7.3 és a 7.4 Mellékletet.

A potenciális szint közvetlenül összehasonlítható a tényleges szinttel. A potenciális szint (a kaszkád szint definíciója alapján) azt a szén-, illetve üvegházgáz mérleget mutatja, tehát azt az éghajlat-szabályzó képességet, amely az ökoszisztémák létező, vagy korábban létezett állapota mellett elérhető.

A potenciális kaszkád szint definíciója ugyanakkor lehetőséget ad arra, hogy a potenciális szintet úgy értelmezzük, mint ami egy lehetséges szolgáltató-képességet indikál, tehát ami azt mutatja, hogy **mekkora lehetne a szénmegkötő képesség, illetve az üvegházgáz mérleg. Ez az éghajlat-szabályozás esetében csak a jövőre értelmezhető; a „mi lenne ha” kérdésre a választ a jövőképelemzés tudja nyújtani.** Az ökoszisztémák sokkal több, illetve sokkal kevesebb szén-dioxidot is képesek megkötni különböző tájhasználati, társadalmi, politikai, ökológiai, környezeti stb. változásoknak, vagyis végeredményben a megváltozott kezeléseknek köszönhetően (ezek közül több mérlegelés kérdése, hogy éppen természetvédelmi vagy környezetvédelmi célt szolgálnak-e). A jövőképalkotás során ezek alapján scenáriókat lehet kidolgozni és modellezni az üvegházgáz mérleget, illetve ezen belül a szénmegkötő képességet, akár tájhasználat váltásokat is számításba véve. A potenciális szint jelen kontextus alapján egy olyan érték, amit az ökoszisztémák egyszer már elértek, amire képesek voltak (eltérő kezelések, klíma, talaj, földhasználati viszonyok mellett), ami egy lehetséges maximuma a szolgáltatásnak, és nem egy olyan elméleti üvegházgáz mérleg, amelyhez pontos jövőképekkel, scenáriókkal kell rendelkezni. Erre az alapállapotok jellemzése után nyílhat lehetőség.

A potenciális szolgáltatás tehát egy korábbi tényleges szolgáltatás, de a felhasználói céltól függően ez a 3. szinten is értelmezhető. Úgy látjuk, hogy a 2. kaszkád szinten más nem értelmezhető, illetve a 2. kaszkád szint nehezen értelmezhető. Hiszen a **légkörből kivont CO₂ teljes mennyisége érvényesül az éghajlat-szabályozásban; tehát ez nem olyan, mint pl. a tűzifa esetében, ahol a tényleges szolgáltatás (tűzifa) a potenciális mennyiség (tűzifa + iparifa + apadék) egy része.** Szintén értelmetlen a légkörben lévő összes szén-dioxid mennyiséget (408 ppm 2019-ben) a potenciálisan kivonható mennyiségnek tekinteni. A klíma stabilitáshoz 350 ppm körül érdemes beállítani a légköri CO₂ szintet, illetve a nettó nulla üvegházgáz mérleg elérése lehet a cél. A jövőképalkotás során lehet olyan scenáriókat képezni, amelyekkel elemezhető, hogy hogyan lehet ezt elérni, illetve mekkora lehet az üvegházgáz mérleg reális természetvédelmi, gazdasági, klimatológiai stb. projekciók mentén. Ekkor már értelmezhető, hogy az ökoszisztémák mennyit lennének képesek megkötni.

Az egyes ökoszisztémák NIR (2019) alapján becsült korábbi maximális szénelnyelését, illetve minimális kibocsátását az alábbiakban ismertetjük:

1) Az **erdők** 1994-ben voltak a legnagyobb szénnyelők (NIR 2019). A maximális **elnyelés 6,2 Tg CO₂ volt (6,2 millió tonna CO₂)** az erdőkkel borított 1,852 millió hektáron. A fajlagos elnyelés 3,35 Mg CO₂/ha/év, azaz **3,35 tonna CO₂/ha/év**, széntartalomban pedig 0,9 Mg C/ha/év, azaz 0,9 tonna C/ha/év (NIR 2019). Az erdők szabályozó szolgáltatása szinte felbecsülhetetlen: minden **egy m³ élőfakészletünk** a gyökérzetével együtt **átlagosan 1,07 tonna CO₂-t von ki a levegőből**, és összességében a hazai erdeink évente átlagosan mintegy 4,3 millió tonna CO₂-t t kötnek le (Somogyi 2009a, b). Fontos, hogy a fakitermelés 1993-1994-es visszaesése (és az ezzel járó idősoros megkötés-maximum) a rendszerváltást

követő privatizáció eredménye, amikor pár évre leállt a gazdálkodás a magánszektorban, illetve a parlament által hozott moratórium is érvényben volt a fakitermelésekre vonatkozóan a védett területeken. Tehát, ez egy mesterséges társadalmi hatás, nem reprodukálható; a jövőben racionálisan ilyen elnyelés-maximum (intézkedési környezet) nem képzelhető el.

2) A **szántók** szénegyenlegük alapján kismértékben nyelők voltak (NIR 2019). A **maximális elnyelés 0,686 Tg CO₂ volt (0,686 millió tonna CO₂)** 5,214 millió hektáron. A fajlagos elnyelés 0,13 Mg CO₂/ha/év, azaz 0,13 tonna CO₂/ha/év, széntartalomban pedig 0,04 Mg C/ha/év, azaz 0,04 tonna C/ha/év (NIR 2019). Fontos, hogy a szénegyenlegben a műtrágya eredetű N₂O kibocsátás nem szerepel, a szerves és a szerves trágyázással együtt a szántók üvegházgáz mérlege, azaz kibocsátása 3,9 Tg CO₂ eqv. volt 2015-ben.

3) A **gyepek** szénegyenlegük alapján kismértékben szintén nyelők voltak (NIR 2019). A maximális elnyelés **0,336 Tg CO₂ (0,336 millió tonna CO₂)** volt 1,213 millió hektáron. A fajlagos elnyelés 0,28 Mg CO₂/ha/év, azaz **0,28 tonna CO₂/ha/év**, széntartalomban pedig 0,08 Mg C/ha/év, azaz 0,08 tonna C/ha/év, 2005-2017 (NIR 2019).

4) Az összes (nem állóvíz és vízfolyás) **vizes élőhely** kibocsátó volt (NIR 2019). A legkisebb kibocsátás **0,209 TgCO₂ (0,209 millió tonna CO₂)** volt a vizes élőhelyek 262 ezer hektárján. A fajlagos kibocsátás 0,79 Mg CO₂/ha/év, azaz 0,79 tonna CO₂/ha/év, széntartalomban pedig 0,21 Mg C/ha/év, azaz 0,21 tonna C/ha/év, 2005-2017 (NIR 2019).

A potenciális és tényleges üvegházgáz mérlegek összehasonlítását a 32. ábra mutatja be.

4.3.4.3 Tényleges ŐSz, felhasználás (Koncz Péter, Horváth László – modell, Somogyi Zoltán- Nemzeti Üvegházgáz Leltár)

- Mi az adott indikátor?

Az ökoszisztémák területén becsülhető szénmegkötés (Tg CO₂/év, azaz millió tonna CO₂/év, illetve t CO₂/ha/év), és üvegházgáz mérleg (Tg CO₂ekv./év, azaz millió tonna CO₂egyenérték/év, illetve t CO₂ekv./ha/év).

- Mit jelent az indikátor, hogyan kell értelmezni?

A Biome-BGC-Mag 2.0 modell (7.3.2 Melléklet) és a Nemzeti Üvegházgáz Leltár (7.4 Melléklet) 2015-re becsült megfelelő értékei adják meg **az ökoszisztémák szénkészlet változásaiból származó éves nettó szénmérleget** (elnyelés és kibocsátás különbségét), illetve a **három üvegházhatású gáz** (szén-dioxid, metán, dinitrogén-oxid) fluxusaiból és a **laterális széntranszferekből** származó szén-dioxid egyenértékben kifejezett éves **nettó üvegházgáz mérleget**. A módszertanról és a rendszerhatárokról lásd a 4.3.2-es, illetve 4.3.3-as fejezeteket!

- Miért az adott indikátort választottuk?

A 4.3 fejezetben leírtak alapján az éghajlat-szabályozás szempontjából egy adott területen és időben ténylegesen hasznosított ökoszisztéma szolgáltatás az adott ökoszisztéma széndioxid ($t\ CO_2/ha/év$) és üvegházgáz mérlege ($t\ CO_2ekv./ha/év$).

Jelenlegi ismereteink szerint az emberi eredetű ÜHG-kibocsátások és elnyelések egyenlege a klímaváltozás egyik fő hajtóereje (akár a klímaváltozást erősítő, akár azt gyengítő értelemben). Az ökoszisztémák az emberi behatás hiányában hosszabb távon stabil klímát eredményeznek; rövidebb távon a múltbéli és a jelenlegi emberi behatások hatását mutatják (IPCC, 2006, 2014). A szolgáltatást mások is hasonlóan jellemezték (Mononen et al. 2016).

- Milyen adatbázisból, hogyan számoltuk ki az indikátort?

Az adatok forrása a Biome-BGC-MAG 2.0 modell eredményei (7.3.2. Melléklet) és a Nemzeti Üvegházgáz Leltár (7.4 Melléklet, NIR 2019).

- Hogyan térképezhető az indikátor?

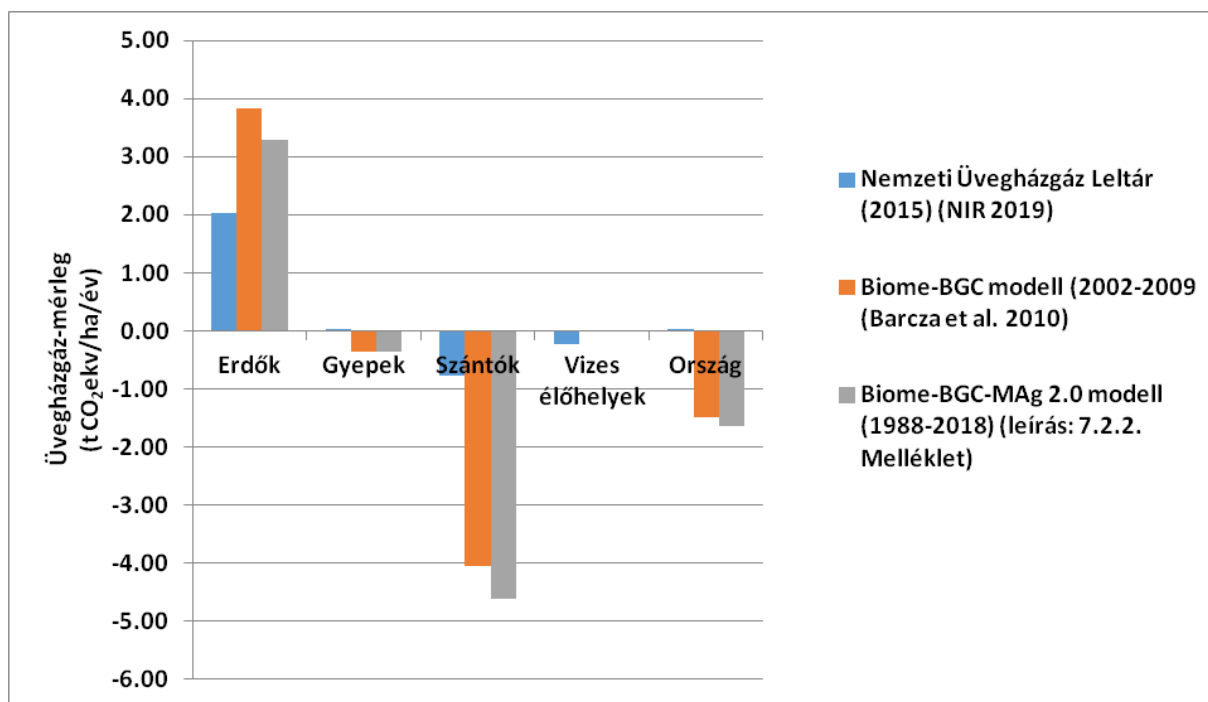
A NÖSZTÉP élőhely-kategóriákra vonatkozóan a Nemzeti Üvegházgáz Leltár alapján nem állnak rendelkezésre adatok. A **Biome-BGC-Mag 2.0 modell eredmények elkészültek** (3 millió adat), **amelyek alapján 112 db térkép (layout) készült el.** A különböző ökoszisztémákra (erdő, gyepek és kétféle szántó; kukorica és búza), különböző beállításokra (szimulációk) és időintervallumokra (1988-2014 és 2015) valamint különböző az üvegházgáz mérlegen fontos komponensekre (kimenő változókra) készült el a nyers térképek (layout-ok). A 112 tehát úgy jön ki, hogy volt 4 ökoszisztéma és 2 szimuláció típus, valamint 2 időintervallum és 7 kimenő változó (lásd 7.3.2 mellékletet).

A térképek elemzését az értékek elemzésével együtt, alább adjuk meg.

- Milyen értékeket vesz fel az indikátor? Mit ábrázolnak a térképek?

A 4.3.1 - 4.3.3 fejezetek értelmében az értékeket a modellek (Biome-BGC: Barcza et al. 2010, Biome-BGC-Mag 2.0 modell: 7.3.2 Melléklet) és a Nemzeti Üvegházgáz Leltár (7.4 Melléklet NIR 2019) alapján adjuk meg. A modellek és a Leltár adatait a 32. ábra és a 7. táblázat mutatja (az ábrán áttekinthetők, összehasonlíthatók a nagyságrendek, míg a táblázatból a pontos értékek leolvashatóak). Az indikátor 2015-ös értékeit (földhasználati kategóriák üvegházgáz egyenérték mérlegét) a Nemzeti Üvegházgáz Leltár alapján a 8. táblázat részletezi.

Az ábrák, táblázatok értelmezését ökoszisztémánként végeztük el.



32. ábra Ökoszisztémák üvegházgáz-mérlege. A pozitív értékek az ökoszisztéma általi nettó üvegházgáz megkötést, a negatív a kibocsátást mutatják. Megjegyzések; 1) erdők esetében az üvegházgáz mérlegben a fakitermelésből származó szénvesztesség szerepel a mérlegben, 2) gyeppek esetében az üvegházgáz mérlegek nem számolnak az állatok kibocsátásával (azzal együtt kb 1 t CO₂ekv./ha/év-vel nőne a kibocsátás), 3) szántók esetében a szerves és műtrágyázás üvegházgáz kibocsátása mind a három esetben szerepel a mérlegben, 4) se a leltár se a modell nem kezeli a területi eltéréseket a kezelésekben.

7. táblázat Ökoszisztémák üvegházgáz-mérlege (az adatok mások által történő könnyebb felhasználása miatt táblázatos formában, illetve Tg CO₂eqv./év (millió tonna CO₂eqv./év) mértékegységben is közöljük az értékeket). A pozitív értékek az ökoszisztéma általi nettó üvegházgáz megkötést, a negatív a kibocsátást mutatják. Megjegyzések; 1) erdők esetében az üvegházgáz mérlegben a fakitermelésből származó szénvesztés szerepel a mérlegben, 2) gyepek esetében az üvegházgáz mérlegek nem számolnak az állatok kibocsátásával (azzal együtt kb 1 t CO₂ekv./ha/év-vel nőne a kibocsátás), 3) szántók esetében a szerves és műtrágyázás üvegházgáz kibocsátása mindegyik esetben szerepel a mérlegben, 4) se a leltár se a modell nem kezeli a területi eltéréseket a kezelésekben 5) a leltár esetében közöltük a földhasználati változással teljes mérleget is.

Ökoszisztémák	Nemzeti Üvegházgáz Leltár, földhasználati változás nélkül (2015)	Nemzeti Üvegházgáz Leltár, földhasználati változással (2015)	Biome-BGC (Barcza et al. 2010) (2002-2009),	Biome-BGC-MAg 2.0 (7.3.2. Melléklet) (1988-2018)
t CO ₂ ekv/ha/év				
Erdők	2,03	2,84	3,82	3,28
Gyepek	0,0033	0,15	-0,36	-0,35
Szántók	-0,76	-0,81	-4,06	-4,62
Vizes élőhelyek	-0,22	-0,85		
Ország	0,003	0,38	-1,49	-1,63
millió tonna CO ₂ ekv/év				
Erdők	4,90	6,85	9,21	7,91
Gyepek	0,003	0,14	-0,33	-0,32
Szántók	-3,43	-3,64	-18,29	-20,84
Vizes élőhelyek	-0,06	-0,24		
Ország	0,02	3,10	-12,07	-13,25

8. táblázat Földhasználati és földhasználat-változási (tájhasználati változások, átalakítások) kategóriák üvegházgáz egyenérték (Tg CO₂ ekv./év, t CO₂ ekv./ha) kibocsátása (-) és elnyelése (+) a 2015-ös évre (3. kaszkádszint, tényleges CO₂ megkötés) az üvegház gáz leltára alapján (NIR, 2019).

Földhasználati és földhasználat-változási kategóriák	Terület (millió ha)	Nettó üvegház gáz mérleg (a pozitív szám elnyelést, míg a negatív kibocsátást jelent)	
		Tg CO ₂ ekv/év	t CO ₂ ekv/ha/év
Állandó erdőterületek (tartalmazza a tűzifából származó kibocsátást)	1.9	3.9	2.0
Más kategória erdővé alakítása (erdőtelepítés)	0.1	2.0	13.6
Erdők összesen	2.1	5.8	2.8
Állandó szántók (trágyázás nélkül)	5.1	0.6	0.11
Állandó szántók (trágyázással) ¹	5.1	-3.9	-0.76
Más kategória szántóvá alakítása	0.1	-0.3	-3.5
Szervestrágyák (CH ₄ és N ₂ O) ¹		-1.1	
Mezőgazdasági talajok (mű és szervestrágyázás stb.; N ₂ O) ¹		-3.3	
Szántók összesen	5.2	-4.2	-0.81
Állandó rétek	1.2	0.004	0.003
Más kategória rétté alakítása	0.1	0.2	2.05
Rétek összesen	1.3	0.2	0.15
Háziállatok emésztése (CH ₄) ²		-2.0	
Állandó vizes területek	0.3	0.001	0.004
Más kategória vizes területté alakítása	0.01	0.001	0.13
Vizes területek összesen	0.3	-0.2	-0.85
Állandó beépített területek (ipar, energia kibocsátása nem ide tartozik)	0.3	0	0
Más kategória beépített területté alakítása	0.2	-0.2	-1.0
Beépített területek összesen	0.5	-0.2	-0.4
Fatermékek (nem tartalmazza a tűzifát) ³		0.6	
Földhasználati szektor (trágyázás¹ és házi állatok² kibocsátása nélkül)		6.5	
Földhasználati szektor összesen (trágyázással és az állatok kibocsátásával), földhasználati változás nélkül		0.03	0.003
Földhasználati szektor összesen (trágyázással és az állatok kibocsátásával), földhasználati változással	9.30	0.04	0.005

¹ A szervestrágyákból (CH₄ és N₂O) és a mezőgazdasági talajok mű és szervestrágyázásából (N₂O) eredő kibocsátás területileg a szántókhoz köthető antropogén kibocsátás.

² A háziállatok emésztéséből származó kibocsátás területileg a beépített területekhez (istálló), a rétekhez (legelő) és a takarmány előállító szántókhoz köthető, de e három rendszerhez köthető kibocsátás megoszlása nem ismert, mindazonáltal antropogén kibocsátásnak tekinthető (az állattenyésztést az ember tartja fenn), amelynek kibocsátása az országos mérlegben megjelenik.

³ Fatermékekből származó kibocsátás (nem tartalmazza a tűzifát) területileg a beépített területekhez köthető antropogén kibocsátás.

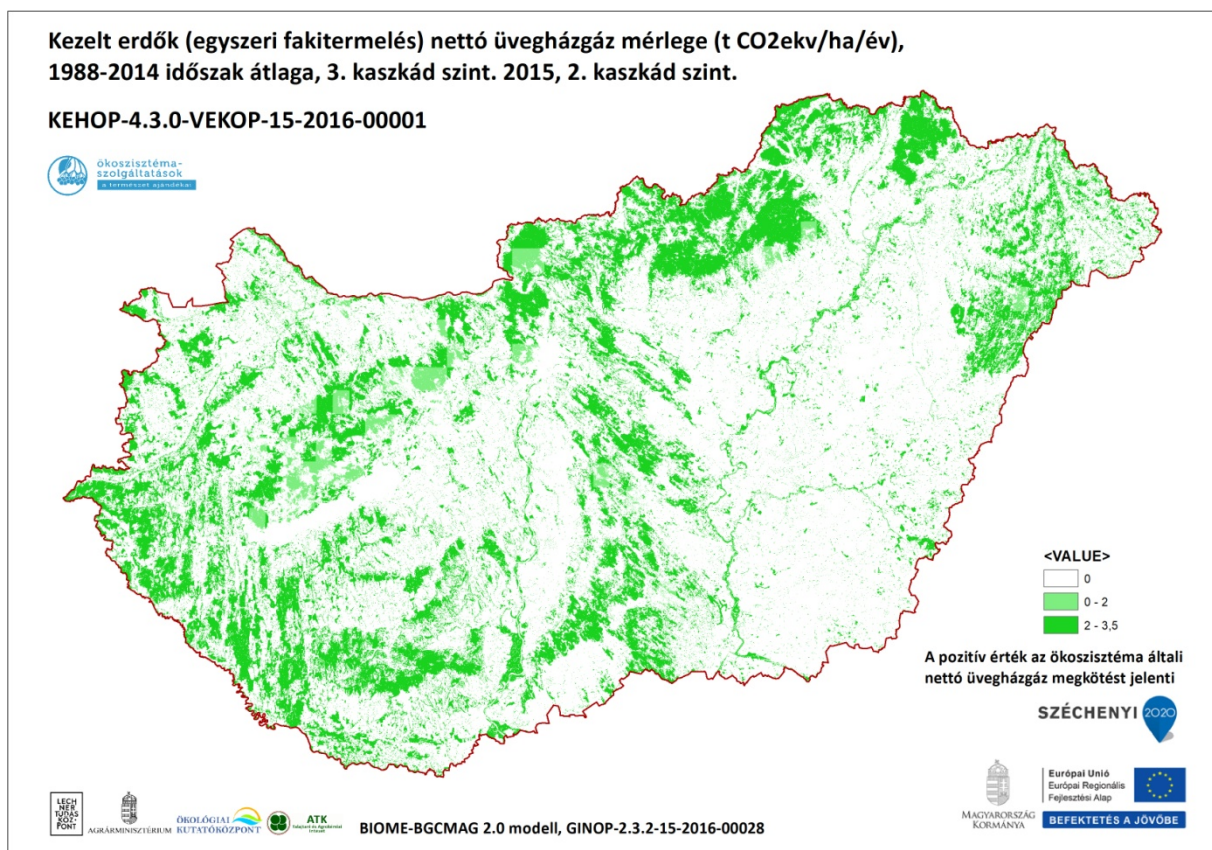
A Biome-BGC-MAg 2.0 modell (7.3.2 Melléklet) alapján egyértelmű, hogy minden elemzett ökoszisztéma (erdő, gyepek, szántó) éves szinten **nettó szén-dioxid felvétellel** jellemezhető (NEE).

Erdők

Az **erdők** mind a Biome-BGC modellek, mind a Nemzeti Üvegházgáz Leltár alapján **nettó üvegházgáz megkötéssel bírtak** (NGHG) (7. táblázat). A **nettó üvegházgáz megkötés értéke 2-4 t CO₂ekv/ha/év közé tehető**. Az éghajlat-szabályozás szempontjából az erdők tényleges szolgáltatása tekinthető a legkedvezőbbnek.

Az erdők összesen évi 6,9 millió tonna szenet vesznek fel (bruttó primer produkció), ám ennek jelentős hányada saját légzésük következtében visszakerül a légkörbe (Führer és Mátyás 2005, Marjanović et al. 2011). Az ökoszisztéma légzést levonva a hazai erdők évente kb. 2 millió tonna szenet raktároznak el (egy köbméter fa kb. 800-1000 kg szén-dioxidot köt meg). A szén tehát az élőfakészletben raktározódik, s ezen felül a kitermelt és el nem égetett faipari termékekben tartósan megkötött szenet jelenti (a fakitermelés és az éghajlat-szabályozás szorosan összefügg). Tehát az üvegházgáz mérleg tartalmazza a tűzifából származó kibocsátást is (az érték azzal csökkentett). Látható, hogy a jelentős szén-dioxid megkötést a fakitermelésből származó veszteség, illetve a talaj N₂O és CH₄ fluxusa nem csökkentette annyira, hogy kibocsátóvá váljon.

Az erdők nettó üvegházgáz mérlegének területi eloszlását a 33. ábra mutatja. Látható, hogy **jelentős** nettó megkötéssel a **hegy és dombvidéki erdők** rendelkeznek, míg a **hegylábi, erdősztyepp** zónába tartozó területek **megkötése alacsonyabb**. Szépen kirajzolódik a folyók menti nyár és fűz dominálta **galériaerdők**, amelyek a vizes élőhelyek kibocsátás csökkentésének kompenzációjában fontos szerepet kapnak.



33. ábra Az erdők nettó üvegházgáz mérlegének területi eloszlása a Biome-BGC-MAG 2.0 modell alapján (7.3.2 Melléklet)

Érdekes összevetni, hogy a hazai erdők **szénelnyelő aktivitása** csupán **5-10%-ban képes semlegesíteni az ország** energiafelhasználásból, iparból származó üvegházhatású gáz **kibocsátását**, ami 70 millió tonna szén-dioxid (CO₂), azaz 19,2 millió tonna elemi szén (C) (EEA 2010). 2015-ben a Nemzeti Üvegházgáz Leltár adatok alapján az állandó erdőterületek (élőfakészlet, talaj C gyarapodás), az ültetés és a tűzifából származó kibocsátás üvegházgáz mérlege 5,8 millió tonna szén-dioxid ekvivalens volt. Így **az erdők (ideértve az iparifában bent maradó C-t is) összességében az ország kibocsátásnak 9%-át kompenzálták**. Az erdőtelepítés közel 2 millió t CO₂ egyenérték elnyelést eredményezett a leltár alapján 2015-ben. Ám ahhoz, hogy a maradék kibocsátást megkössük, évente mintegy félmillió hektár erdő telepítésére lenne szükség. **A földhasználati formák megváltoztatásával tehát nem lehet ellensúlyozni a jelenlegi kibocsátásokat.**

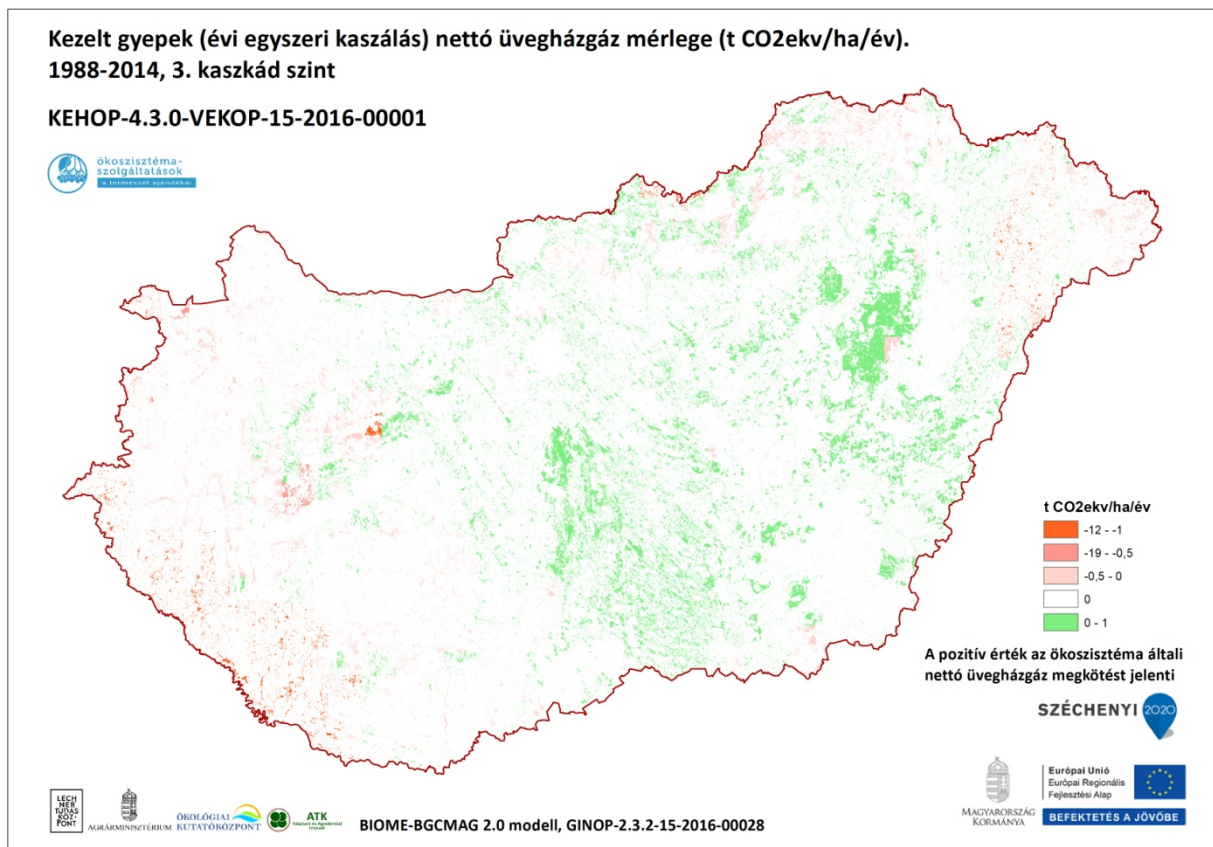
Különböző modellbeállítások melletti további térképeket a 7.3.3. Melléklet tartalmaz.

Gyeppek

A **gyeppek** éves nettó **üvegházgáz mérlege gyakorlatilag nem tért el a nullától** a modellek és a Leltár alapján (7. táblázat). **A nettó üvegházgáz mérleg a -0,35 és +0,15 t CO₂ekv/ha/év közé tehető.** A gyeppek esetében bizonyos időszakokban és területeken jelentős nettó üvegházgáz megkötés tapasztalható, de mivel ezek a területek csapadékhiányos helyen helyezkednek el, ezért relatíve alacsony szén-dioxid felvevő képességüket felülmúlja a szénaként távozó szénveszteség (mint az erdők esetében az elvitt fa), illetve a talajok N₂O fluxusa. **A gyeppek száraz évben jellemzően kibocsátóak, míg csapadékos évben megkötőek** (az időjárási fluktuációkkal a modellek számolnak). Fontos, hogy a nulla közeli ÜHG mérleg is még mindig sokkal jobb az éghajlat-szabályozás szempontjából, mint a kibocsátás.

A gyeppek (évi egyszeri kaszálási modell-beállítás mellett) nettó üvegházgáz mérlegének **területi eloszlását** a 34. ábra mutatja. Látható, hogy jelentős nettó **megkötéssel a Duna-Tisza közti és a tiszántúli gyeppek** rendelkeznek, de pl. **a nyírségi, dél-zalai, dél-somogyi területek, egyes domb és hegyvidéki területek már nettó kibocsátóak.**

Különböző modellbeállítások melletti további térképeket a 7.3.3. Melléklet tartalmaz.



34. ábra A gyepek (egyszeri kaszálás mellett) nettó üvegházgáz mérlegének területi eloszlása a Biome-BGC-MAG 2.0 modell alapján (7.3.2 Melléklet)

Jelentős a **háziállatok emésztéséből** származó metán kibocsátás is; ez CO₂ egyenértékben 2 millió tonna volt. Területileg ez a kibocsátás részben a szántókhoz is köthető, hiszen a takarmány jelentős része onnan származik (de a megoszlás nem ismert). A kibocsátás jelentős, de szintén pontosan nem ismert része, az istállózott, gépesített tartás miatt a beépített területekhez köthető. Az állatok létszámának csökkentése, vagy az állatok kérődzésének befolyásolása - hazánkban - nem reális, de a probléma globális, amelyről számos elemzés készült (Garnett et al. 2017). Ennek elemzése, illetve annak, hogy a mezőgazdasági talajok esetében milyen trágyázási technológiát célszerű alkalmazni a 4. szint, illetve a jövőképelemzés feladata (számos technológia elérhető, amelyekkel kisebb N₂O veszteség mellett, több N marad a talajban).

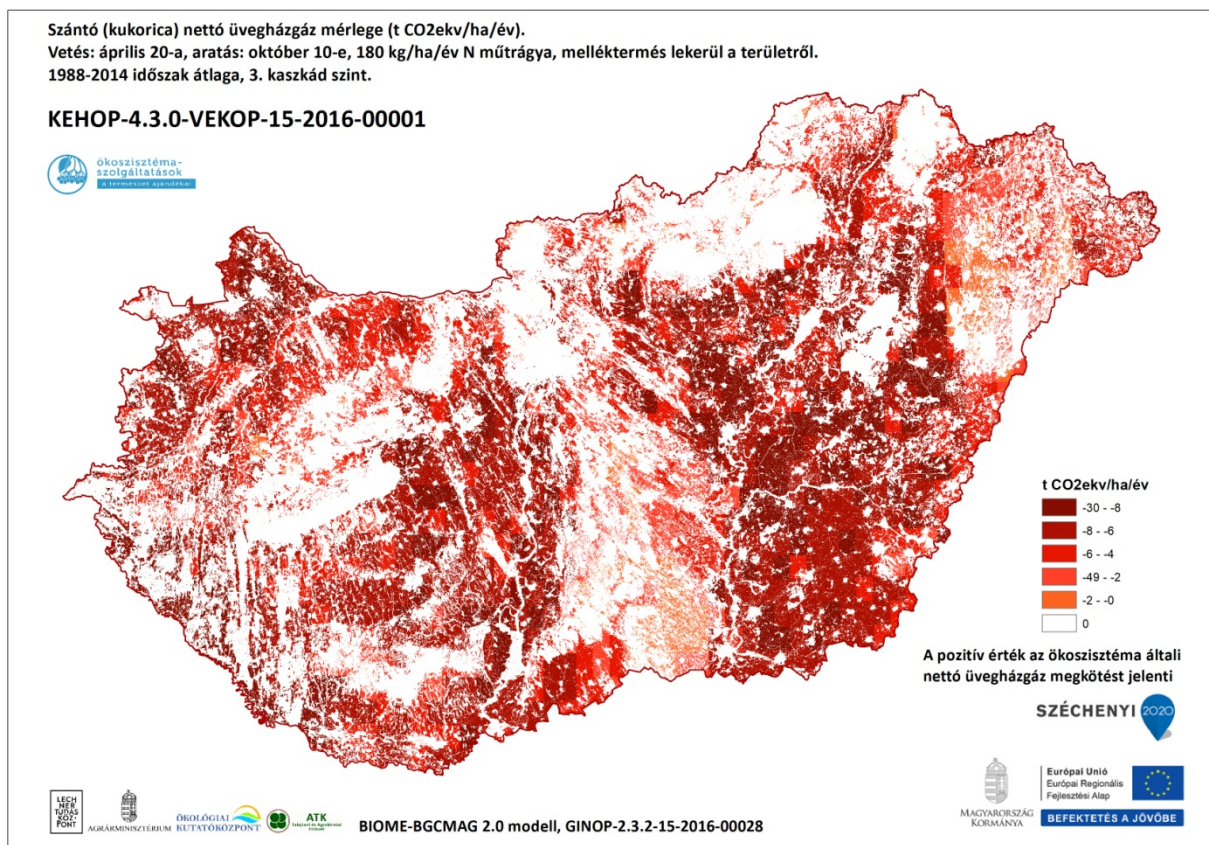
A bugaci farmon végzett mérés alapján kimutattuk, hogy kedvező vízellátottság és alacsony állatlétszám mellett a gyepek az állatokkal együtt nettó üvegházgáz megkötő volt, mert a gyepek szénfelvétele (4 t CO₂/ha/év) képes volt kompenzálni az állatok kibocsátását, így a nettó üvegházgáz mérleg 2 t CO₂/ha/év, megkötés volt (Koncz et al 2017). **Tehát egy extenzív farm lehet klíma-barát.**

Szántók

A szántók a Biome-BGC modell eredmények és a Nemzeti Üvegházgáz Leltár alapján **jelentős nettó üvegházgáz kibocsátással** bírtak elsősorban az N₂O kibocsátás miatt (7. táblázat). A **nettó üvegházgáz kibocsátás 0,76 és 4,62 t CO₂ekv./ha/év közé tehető**. A szántók talajának N₂O kibocsátása országosan több mint 3 millió tonna volt CO₂ egyenértékben.

Az országos ÜHG leltár alapján a szántók nettó szén-dioxid megkötők (0,5 Tg CO₂ ekv./év, millió tonna CO₂ ekv./év), de a szerves- és a műtrágyázás miatt nettó üvegházgáz kibocsátónak bizonyulnak (kibocsátásuk 4 Tg CO₂ ekv./év, millió tonna CO₂ ekv./év) (NIR 2019). A hazai modelleredmények alapján a szántók szintén nettó üvegházgáz kibocsátók, de nagyságrendekkel nagyobb kibocsátók, mint a Leltár alapján (32. ábra és 7. táblázat).

A szántók nettó üvegházgáz mérlegének **területi** eloszlását a 35. ábra mutatja egyfajta modell beállítás mellett (búzára is készült futtatás, illetve eltérő kezelési beállítások mellett is). Látható, hogy a szántók jelentős nettó **kibocsátással** bírtak, de figyelemre méltó, hogy a **Duna-Tisza közti és a nyírségi területek kibocsátása relatíve kevesebb volt az ország többi részéhez képest** (ugyanakkor fontos, hogy ez a modelleredmény további vizsgálatokat igényel, mert homok talajon nem ez az eredmény valószínűsíthető). Különböző modellbeállítások melletti további térképeket a 7.3.3. Melléklet tartalmaz.



35. ábra A szántók (kukorica esetében) nettó üvegházgáz mérlegének területi eloszlása (1988-2014) (részletesebb leírást lásd az ábrán) a Biome-BGC-MAG 2.0 modell alapján (7.3.2 Melléklet)

Éghajlat-szabályozás szempontjából a szántó tehát **negatív szolgáltatást nyújt**. A **főbb kultúrnövények előállítása során a termésátlagok tömegéhez képest hasonló**

nagyságrendű üvegházgáz (dinitrogén-oxid) kerül a légkörbe a talajból a műtrágya használat miatt (9. táblázat). Kétségtelen, hogy a terméshozam és a felhasznált műtrágya mennyisége között összefüggés van, viszont a hatékonyság növelése csökkenti mind a direkt és indirekt dinitrogén-oxid kibocsátást, mind az ammónia kibocsátást és a nitrát kimosódást (ENA, 2011). Egy 106 tanulmányt átfogó kritikai elemzés alapján ugyanakkor kimutatták, hogy szántóföldek nettó üvegházgáz kibocsátása pl. takarónövények alkalmazásával csökkenthető (Abdalla et al. 2019). Fontos tehát megjegyezni, hogy bár az állattenyésztés egyes szektorai valóban jelentős kibocsátással bírnak, de ahogy láttuk a szántóföldi növénytermesztés is. Sőt, a nagy területeken monokultúrában termesztett, vegyszerezett, gyomirtózott és adott esetben öntözött, illetve génekelt (pl. az USA-ban) növénytermesztés természet- és környezetvédelmi szempontból sokkal károsabb, mint az extenzív állattartás. A szántókkal kapcsolatos élelmiszer és takarmány termelés viszont pozitív ellátó szolgáltatás, aminek ellentétes oldalán állnak a kibocsátott üvegházgázok. **Számos mitigációs technológia alkalmazható;** a vetésforgó „újra föltalálása”, továbbá a zöldtrágyázás, köztestermesztés, csökkentett talajműveléses, pillangósokkal történő vetés stb. olyan win-win technológia, amely az éghajlatvédelem és az élelmiszer ellátás szempontjából egyaránt kedvező.

9. táblázat A főbb kultúrnövények termésátlaga 2015-ben, (az Élelmiszer SZMCS tanulmánya alapján) és a 2002-2006-os évekre számított, műtrágya használatból származó dinitrogén-oxid kibocsátás (Horváth 2008).

	termésátlag t/ha/év	dinitrogén-oxid kibocsátás tCO ₂ ekv./ha/év
kukorica	5.7	2.0
búza	5.1	2.4
napraforgó	2.5	3.2
árpa	4.8	1.1
repce	2.6	3.3

Vizes élőhelyek

A **vizes élőhelyekre** vonatkozóan kevés az információ. A Nemzeti Üvegházgáz Leltár (NIR 2019) alapján a vizes élőhelyek nettó üvegházgáz kibocsátóak. Barcza et al. (2010) és a jelenlegi Biome-BGC-Mag 2.0 modellfuttatás adatai miatt nem tartalmaz vizes élőhelyekre vonatkozó adatokat. (Barcza et al. 2009 munkájában ugyan vannak adatok a vizes élőhelyekre vonatkozóan, de a szerzők véleménye alapján ezeket fenntartásokkal kell kezelni). Hazai vizsgálatok alapján egy bodroközi vizes élőhely **szerves-anyag produkciója (a vízi növények szén-dioxid felvétele) a gyepekhez hasonló nagyságrendű** (Tuba 2008). A szén-dioxid megkötés 3,6 tonna volt hektáronként évente (1 t C/ha/év), ugyanakkor a metán kibocsátás 9 t CO₂ekv/ha/év (Tuba 2008). Tehát a kibocsátás 5,4 t CO₂ekv/ha/év.

Hazai pontmérések alapján a vizes élőhelyeink **metán kibocsátása** éves szinten összesen 1,3 Tg CO₂ ekv./év (millió tonna CO₂/év) (Horváth, 2008). A különböző típusú vizes területek metánforgalmának mértéke viszont **nagyságrendekkel különbözik egymástól**, így nem tekinthetők a NÖSZTÉP projekt szempontjából egységesen kezelhető területeknek. Tekintettel a vizes élőhelyek területének és metán kibocsátásának országos mérleg szempontjából csekély

mértékére, valamint a kibocsátás típusonkénti eltérő arányára, célszerű ezeknek az élőhelyeknek a metán kibocsátását az arra a területre jellemző irodalmi, éves emisszió értékekkel figyelembe venni. Magyarországra nincsenek megbízható adatok, emiatt a nemzetközi **szakirodalomban** található két átfogó tanulmány (Bastviken et al. 2004, Le Mer and Roger 2001) alapján átlagolt értékeket használhatunk. Ezek alapján a fajlagos metán kibocsátás az alábbiak szerint alakul: zárt és nyílt lombhullató erdők vizes talaja (63 kg CH₄/ha/év), folyópartok (1,1 kg CH₄/ha/év), édesvízű és szikes mocsarak (263 kg CH₄/ha/év), rizstermesztés (365 kg CH₄/ha/év) (Le Mer and Roger 2001), illetve tavak és tőzegbánya tavak (23,7 kg CH₄/ha/év) (Bastviken et al. 2004).

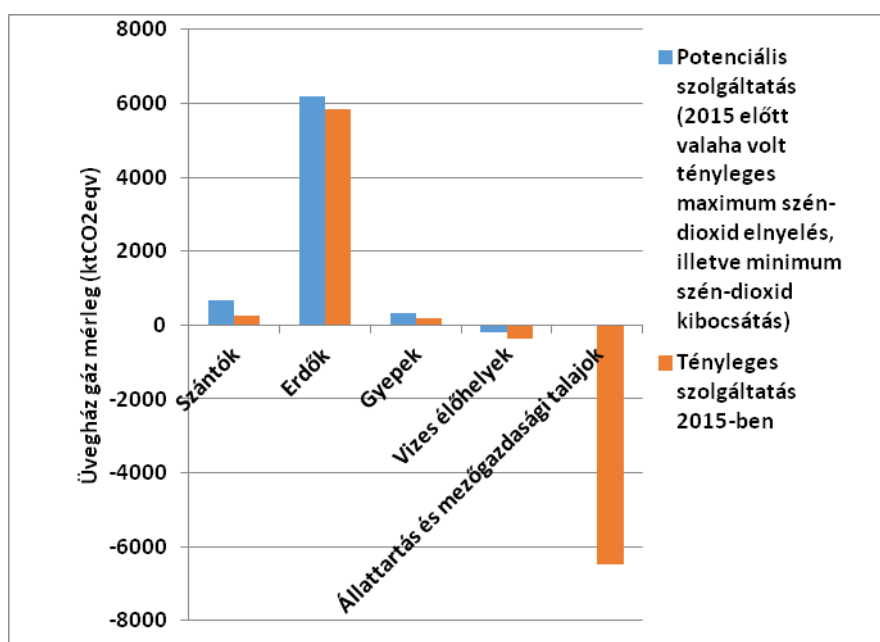
Napjainkban a **vizes területek** világviszonylatban és Magyarországon is egyre inkább **felértékelődnek**. A korábban vízzel borított területek **rehabilitációja** nélkül a talajvízszint tovább csökken, nő az elszikesedés (Pfadenhauer and Grootjans 1999). A tájak rehabilitációjával csökkenthető az aszály. Az **ártéri tájgazdálkodás** kisebb mintaterületeken történő felélesztése nemcsak az árvíz és a belvíz kezelésére nyújt(hat) lehetőséget, de egy és ugyanazon terület komplex hasznosítása révén a fakitermelésre (a tiszai vízszabályozás előtt a kocsányos tölgyek hetekig vízben álltak), a halászatra, a legeltetésre, a méhészetre és a gyümölcsstermesztésre is (Andrásfalvy 2007). A Hidrológiai SZMCS eredményei ezekre a pozitív szolgáltatásokra is részben rámutatnak.

Ajánlás; mérésekre van szükség

Itt is megjegyezzük, hogy több mérésre, **ökoszisztéma léptékű szén és üvegházgáz forgalmi mérésekre volna szükség!** Erre vonatkozó **kutatási pályázatot** korábban benyújtottak [Investigation of greenhouse gas balance (carbon dioxide, methane, nitrous oxide) in a wetland (floodplain) considering the effect of periodic flood events, 84275 CK]), de még nem valósult meg. A kutatást megalapozó irodalmi áttekintés és szakértői mérlegelés alapján a **hazai vizes élőhelyek** a metán és a dinitrogén-oxid kibocsátás miatt **nagyon valószínűsíthetően nettó üvegházgáz kibocsátóak**. De fontos, hogy meddig és milyen időszakokban áll a víz egy területen. Az ártereken a **víz** a nyilvánvaló **vízutánpótlás** mellett a **tápanyagok** utánpótlásáról is gondoskodik, így egy-egy tavaszi áradás a hullámtereken megtermékenyítően hat a talajra és **serkenti a produktíót**, tehát az üvegházgáz mérleg átbillenhet a nettó megkötés oldalára.

Egyes vizes élőhelyek tehát akár nettó üvegházgáz megkötőek is lehetnek. Fontos itt megjegyezni, hogy a vizes élőhelyek kibocsátását rendszerint más ökológiai rendszerek kompenzálják. Továbbá fontos, hogy a vizes élőhelyek jelentős biodiverzitással, mikroklíma és árvíz szabályzó képességgel, vízvisszatartó képességgel, a környező területekre is kiható talajvíznövelő hatással (szárazság csökkentés) is rendelkeznek.

Összehasonlítva a potenciális és a tényleges éghajlat-szabályozó képességet a NIR 2019 adatok alapján az látjuk, hogy a szántók, erdők, gyepek és vizes élőhelyek 2015-ben éppen közel estek a historikus maximum értékekhez, tehát önmagukhoz képest “jól teljesítettek” (36. ábra). A további elemzések a későbbi 4. munkafázis részét képezik. Az ökoszisztémákban zajló szén és üvegházgáz forgalomról, becslési módszerekről, rendszerhatárokról lásd a 4.3.1-4.3.3 fejezeteket (fontos, hogy adott esetben a módszertani és rendszerhatárbeli különbségek miatt az értékek nagyságrendekkel eltérhetnek, sőt akár az előjelek is).



36. ábra: Potenciális és tényleges üvegházgáz mérlegek a NIR (2019) alapján (módszertanról lásd a 7.4. Mellékletet). A pozitív számok elnyelést, a negatív számok kibocsátást jelentenek. Az állattartás és a mezőgazdasági talajok kibocsátása a gyepek, illetve a szántók mérlegéhez adható, ez esetben értelem szerint nő az üvegházgáz kibocsátásuk, de ez a kibocsátás közvetlenül antropogén eredetű, ezért ábrázoltuk külön.

- Melyek az indikátor korlátai?

A Nemzeti Üvegházgáz Leltár és a biofizikai modellek eltérő módszertani megközelítésük miatt nagyságrendekkel eltérő becslést adnak a szén-dioxid megkötésre, illetve az üvegházgáz mérlegre vonatkozóan (részletesebben lásd a 4.3.3. fejezetet, illetve annak mellékleteit). A valóság pontosabb leírásához sokkal több terepi (eddy-kovariancia alapú szén-dioxid forgalom mérés, talaj széntartalom változás mérés, farm szintű üvegházgáz mérés stb.), illetve műholdas (proxy változók pl. NDVI, Norm Magyarország másodszorra alized Difference Vegetation Index alapú) mérésre volna szükség.

4.3.4.4 Jóllet (Koncz Péter, Horváth László)

A 4. szinten a jóllethez való hozzájárulás értékelése, illetve a jólleti dimenziók pontos meghatározása további átgondolást, az ebben **szakértő kollégákkal** való közös munkát igényli még. A jólleti érték több kvantitatív és kvantifikált kvalitatív tényező (jólleti dimenzió) összértékéből fog összeállni. **Evidencia, hogy az éghajlat-szabályozás az ökológiai, gazdasági, társadalmi és politikai rendszerek fenntartásához közvetve/közvetlenül hozzájárul.**

A globális éghajlat-szabályozás esetében **gazdasági elemzés** készül (4.3.4.5 fejezet). A globális éghajlat-szabályozás, illetve a szénmegkötés **közvetlen piaci értékkel** is rendelkezik (pl. karbon-kredit). Az ökoszisztémák jelentős mértékben képesek mérsékelni az éghajlatváltozást szénmegtartó és szénmegkötő kapacitásukon keresztül, melyet fenn kell tartani (Haszpra et al. 2010). **A szénmegkötést ezért egyre több direkt és indirekt ösztönző mechanizmus támogatja** (Correa et al. 2018). A Portuguese Carbon Fund keretében pl. a szén-dioxid kvóta kereskedelemről befolyó összegből finanszírozzák azokat a legelőgazdálkodási tevékenységeket, amelyek bizonyítottan hozzájárulnak a nettó szénmegkötés növeléséhez (Correa et al. 2018).

A globális éghajlat-szabályozás jólleti dimenziója a **kiegyenlített klíma**. Ennek hiányában **gazdasági** (klímakárok), **társadalmi** (ipari szereplők, aszályal érintett területek, gazdálkodók, klímamenekültek), **környezeti** (szélsőséges időjárási események) és **ökológiai károk**, illetve közérzeti negatív változások következnek be és fognak bekövetkezni.

Magyarország területe csekély a globális éghajlatváltozás mérséklése (mitigáció) szempontjából, de ez nem jelenti azt, hogy ne lenne kötelezően vállalt szerepe benne. A mitigációs tevékenységeknek sokféle pozitív mellékhatása is lehet, pl. a talajok szénkészletének növelése, ami egyúttal hozzájárul a talajok kedvező víz- és tápanyag gazdálkodásához is.

Az indikátor fejlesztésén túl, a projekt eredményein alapulva, a munka hosszú távú hozadéka lehet a szénmegkötő kapacitás növelése, illetve igyekszünk rámutatni arra, hogy ezt hol, milyen technológia mellett érdemes elvégezni; pl. erdők telepítésével, ültetéssel, az állandó gyepek fenntartásával, optimális legeltetésével, illetve táj szintű vízgazdálkodással (Conant et al 2017).

4.3.4.5 Jövőképelemzés (Koncz Péter, Horváth László)

Az ökoszisztémák üvegházgáz forgalmát elsősorban a **tájhasználati változások** és **klímaváltozás** befolyásolja.

A **Nemzeti Erdőtelepítési Program** hosszú távú célként, mintegy 35-50 év során **az ország erdősültségének** – az optimálisnak tartott – **27%-ra történő növelését** tűzte ki célul, amely további, több mint **600 ezer hektár új erdő telepítését** jelentheti a gazdálkodói telepítési kedv, illetve az uniós források alakulásának függvényében. A termőhelyi adottságoztól, fafajtól, kezeléstől és nem utolsó sorban a klímaváltozás negatív hatásaitól függően ez a széntárolás növelését eredményezheti. Az erdők területének jelenlegi 20%-ról 27%-ra történő emelkedésével tehát a jelenlegi 4 millió tonna szén-dioxid megkötés helyett elméletileg **évi 5,4**

millió tonna szén-dioxid megkötés érhető el. Más perspektívában 50 éves erdősítési program keretében, annyi szén lehet megkötni, mint amennyit 2,5 év alatt bocsát ki az ország (Somogyi 2001). Ugyanakkor, ahogy korábban kifejtettük, ennek számos más természetvédelmi kockázata lehet (pl. amennyiben az erdősítés akáccal, nemesnyárral történik). Továbbá az is fontos, hogy kiváló termőhelyeken (akár korábbi erdőterületeken, barna erdőtalajon) nem kell mindenáron erdősíteni, mert ezeken a területeken gazdaságos és hatékony az élelmiszertermelés (sőt adott esetben kevesebb műtrágya-pótlásra van szükség).

Egy hazai tanulmány több adatbázist felhasználva (MÉTA, CarpatClim-HU. DOSoReMI térképekkel alátámasztva rámutat arra, hogy **mely területek alkalmasak az erdők, vagy éppen a gyepek számára** (Somodi et al. 2017b).

Az erdősítés mellett egy másik lehetőség az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére a **mezőgazdasági emisszió mérséklése**. Az alkalmazott műtrágyák egy részét ugyanis nem a növény veszi fel, hanem pl. a talajban denitrifikációval üvegházhatású dinitrogén-oxid alakul, mely a légkörbe kerül, másik része a talajvízzel mobilizálódik. Világviszonylatban a felhasznált műtrágyák fele nem hasznosul, ez a része a környezetet szennyezi. Az EU már korábban végrehajtott egy tápanyag csökkentési programot (BNMP I. International International Plant Nutrition Institute, 2009). Ennek hatására a felhasznált műtrágya mennyisége 57%-kal csökkent az 1987-es bázisévhez képest az Unióban. Egy több országot érintő hosszú távú kísérlet bizonyította, hogy a **műtrágya hatékonyságának fokozásával** (BNMP: Best Nutrient Management Practice = optimális = optimális tápanyag alkalmazási gyakorlat) **csökkenteni lehet a tápanyag felhasználást, termésveszteség nélkül, változatlan hozammal** (Good and Beatty, 2011).

A növénytermesztésen kívül az **állattenyésztés** is forrása lehet az üvegházgázoknak. Egy hazai, farm szintű, üvegházgáz mérlegre vonatkozó vizsgálat bemutatta, hogy a kaszáláson alapuló szarvasmarha tartás nettó kibocsátó a három üvegházhatású gáz (CO₂, N₂O, CH₄) szén-dioxid egyenértékben kifejezett mennyiségét tekintve. A legeltetés viszont környezetbarát, mivel nettó üvegházgáz nyelőnek bizonyult (Koncz et al. 2017). Ezen a téren is lehet **kibocsátás csökkenést elérni**.

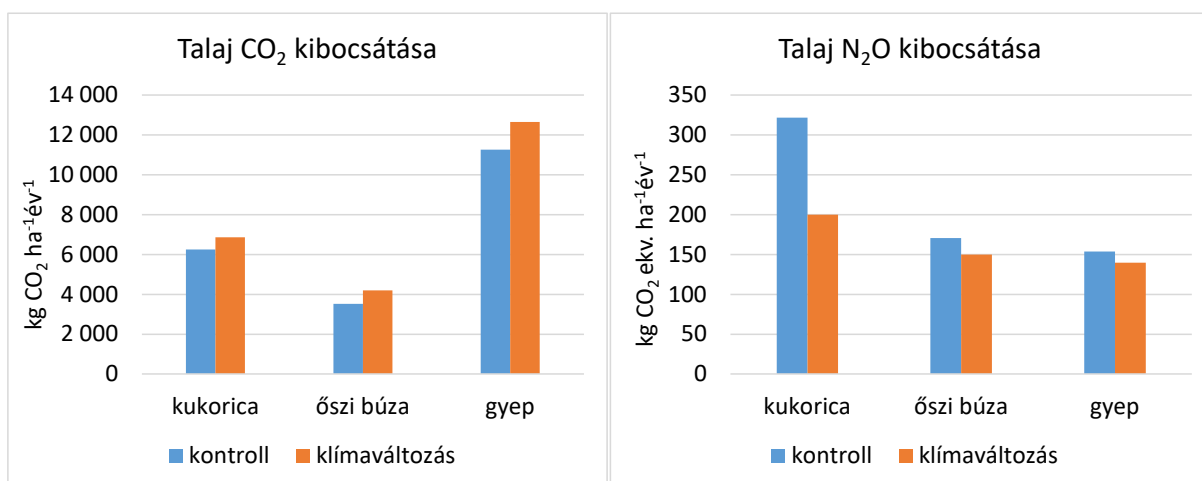
Különböző megközelítések vannak a Kárpát-medencében várható **klímaváltozás** becslésére, a globális klímamodellek leskálázásával és prognosztikai modellek alkalmazásával. Ilyenek pl. az ALADIN regionális éghajlati modell (Szépszó és Csorvási 2016), a REMO modell (Szépszó and Horányi, 2008), vagy a PRUDENCE szimuláció (Christensen and Christensen, 2007), illetve ennek adaptálása a Kárpát-medencére vonatkoztatva (Bartholy és Pongrácz, 2012).

Bár a különböző modellek különböző eredményekre vezetnek, a különböző becslések egyetértenek abban, hogy a vegetációs időszakban melegedés és csapadék csökkenés várható. Ezeknek a változásoknak hatásai lehetnek a produkcióra is.

Az éghajlatváltozás hatását a leggyakoribb állományok (kukorica, őszi búza, gyep) talajainak szén-dioxid és dinitrogén-oxid kibocsátására úgy becsültük meg, hogy a DNDC modell (<http://www.dndc.sr.unh.edu/model/GuideDNDC95.pdf>) *spot* futtatása során, a sokéves átlaghoz képest, évi 100 mm csapadékhiányt és 2 °C hőmérséklet emelkedést vittünk be, egyenletes éves eloszlásban (Horváth et al., 2008). Az 37. ábra mutatja a klímaváltozás

modellezett hatását a kontrollhoz képest. Az ábrák alapján a **talajok szén-dioxid kibocsátása**, a modell szerint kismértékben **nő** a feltételezett éghajlatváltozás következtében, **míg dinitrogén-oxidnál** ellentétes hatás, **csökkenés** várható. Megjegyzendő, hogy a talajok szén-dioxid kibocsátását a növényzet elnyelése kompenzálja, így az adott állomány **szén-dioxid mérlege** (nettó ökoszisztéma kicserélődés) **lehet pozitív, vagy negatív, vagy éppen nulla**. Ez az ábra azt reprezentálja, hogy a modell szerint a talajok szén-dioxid kibocsátása nő, miközben a csapadékhiány miatti biomassza produkció valószínűsíthető csökkenése ezzel ellentétes hatású. Más szóval, ennek eredőjeként feltételezhetjük, hogy ezek a területek nettó kibocsátókká válnak, ami a talaj széntartalmának csökkenésével jár.

Dinitrogén-oxid esetében a hatás ellentétes, a csapadékmennyiség csökkenése nem kedvez az anaerob folyamatoknak, mint pl. a dinitrogén-oxidot termelő denitrifikációnak. Szárazabb, oxigéntől kevésbé elzárt talajokban egyre inkább az aerob, oxidatív folyamatok lépnek előtérbe, mint pl. a nitrifikáció, amely közti termékként nitrogén-monoxidot termel. Ennek a gáznak viszont a reakcióképessége és a rövid légköri tartózkodási ideje miatt gyakorlatilag nincs üvegház hatása.



37. ábra A klímaváltozás hatásának becslése a legfontosabb kultúrák talajának üvegházgáz kibocsátására a DNDC modellel, a referencia évekhez (1961-1990) képest, öntözés és műtrágyázás nélkül.

A magasabb hőmérséklet és a kevesebb csapadék (hő stressz, aszály) a C3-as növények számára nem kedvezőek, a gyakoribbá váló hőhullámok és a csökkenő fotoszintézis miatt a szén-dioxid elnyelés is csökkenhet. A klímaváltozás miatti problémák, **terméskiesések** már nálunk is tapasztalhatók (Biacs, 2011). Mivel a terméskiesés az alacsonyabb fotoszintézis, illetve szén-dioxid felvétel csökkenésével függ össze, várhatóan **a jövőben csökkenni fog a növények szénmegkötése**. Az ezzel együtt járó megnövekedett talaj-CO₂ emisszió pedig tovább ronthatja a mérleget.

Erdei ökoszisztémák esetében a várható klímaváltozás az erdészeti klímakategóriák eltolódásával jár. Az erdészeti szárazsági index (FAI) kategóriái, azaz a bükkös, gyertyános-tölgyes, cseres-tölgyes, erdőszyepp zónák a klímaváltozással együtt tolnak a szárazság tőrő

fajok kategóriái felé. Ennek két káros következménye van, egyrészt a kedvezőtlené váló klíma miatt **csökken a biomassza produkció**, másrészt az újraterelítéskor, felújításkor szárazságtűrőbb, de kevesebb szerves anyagot produkáló fajokat kell telepíteni. Ezek a hatások **csökkenő szén-dioxid felvétellel járnak** (Führer et al. 2011, 2013, 2016).

A jövőben tehát egyes területeken javulás, másokon romlás várható az ökoszisztémák üvegházgáz forgalmával kapcsolatban, de ennek előjele és mértékének a megállapítása további részletes vizsgálatokat igényelne.

A fentieknél részletesebben országosan az évente **megköthető szénmennyiséget, a lehetséges üvegházgáz mérleget új modellekkel lehet jellemezni**, illetve térképezni. A modellek pl. olyan tájhasználati változásokkal (erdősítés), technológiákkal számolnak, amelyek a jövőben növelhetik a szénmegkötő ökoszisztémák kiterjedését, megkötő kapacitását, így a jelenleginél nagyobb mennyiségű szén-dioxid megkötése válhat lehetővé.

Németországban az éghajlat-szabályozás, mint ökoszisztéma-szolgáltatás értékelésénél megállapították, hogy a szénlekötés jelentős részéért felelős erdők kezelése olyan szigorú szabályozás alá esik, és már ma is olyan védettségi fokozatot élveznek, hogy **további megkötés az erdősítéssel nem várható** (Albert et al 2015). Ezzel szemben megállapították, hogy a **tőzeg talajok megfelelő vízzel való ellátottsága hozzá járulhatna a kibocsátások csökkentéséhez**. Németországban a mocsarak 99%-át lecsapolták, így a tőzegtalaj kibocsátása az ország évi ÜHG kibocsátásának 4,3%-át teszi ki (42 millió t CO₂ekv./év, Albert et al. 2015).

Itthon tehát az **erdők növelésével** (megfelelő erdőgazdálkodás mellett) vagy pl. az **extenzív gyepgazdálkodás alkalmazásával**, a **műtrágya** csökkentésével (hatékony trágyázással, talajerő-gazdálkodással) jelentős **szénmegkötés**, illetve **ÜHG kibocsátás csökkentés** érhető el. **Cél**, hogy a **klímaváltozás** (melegedés, szárazodás), valamint a **földhasználat**, és a földhasználati változás miatt a különböző **kezelések következtében az ökoszisztémák ne veszítsék el széntartalmukat**, tartsák fenn nettó szénelnyelő képességüket és **legalább nulla körüli üvegházgáz mérleget érjenek el**.

4.3.4.5 Gazdasági elemzés (Koncz Péter)

A cél a hazai ökoszisztémák által nyújtott éghajlat-szabályozás gazdasági értékelése. A gazdasági elemzést Széchy Anna és Marjainé Szerényi Zsuzsa végzi (Budapest Corvinus Egyetem). A **Klíma és Energia SZMCS elsősorban ökológiai inputokat nyújt** a gazdasági elemzéshez. Hosszútávon cél a hazai természetvédelem megsegítése, azzal hogy számszerűsítjük, hogy milyen értéket képvisel az ökoszisztémák éghajlatvédelmi funkciója, illetve adott esetben mennyi negatív „haszonnal” jár, a kibocsátott vagy meg nem kötött szén-dioxid, illetve a további üvegházhatású gázok (Nelson et al. 2009).

Gazdasági oldalról az a kardinális kérdés, hogy **egy tonna szénhez** (szén-dioxid egyenértékhez) **mekkora gazdasági hasznot társítsunk** (tehát mennyit „ér” a klíma, a klímavédelem, a klímaváltozás okozta károk elkerülése stb.). A CO₂ gazdasági árának meghatározását a NÖSZTÉP program gazdasági elemzői végzik (Széchy Anna és Marjainé Szerényi Zsuzsa).

Előzetes eredményük, hogy egy tonna CO₂ becsült ára jelenleg **80 EUR** (2019) (részletesebben a gazdasági elemzésben). Az EUR/HUF átváltást 335 Ft-nak vettük (2019. decemberi árfolyam.) Ezt felhasználva, az ökológiai kontextus miatt, ismertetjük az éghajlat-szabályozás gazdasági értékét. Ez egy iteratív folyamat, amelyben a két tudomány-terület közelítése zajlik. **Az alábbi éghajlat-szabályozásban fontos szerepet játszó komponenseket javasoljuk „beárazni”.**

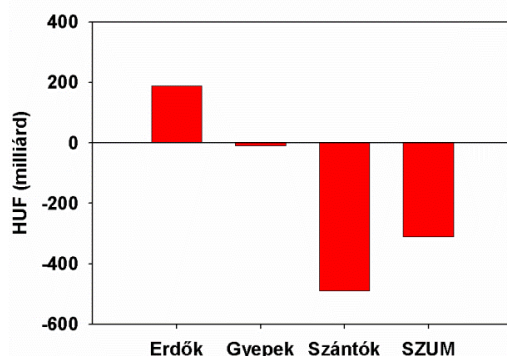
1) Ökoszisztémák üvegházgáz-mérlegének értéke

Az éghajlat-szabályozás legfontosabb komponense az ökoszisztémák (élőhelyek) nettó **szénfelvétele**, illetve az **alacsony üvegházgáz (ÜHG) kibocsátása** (a nettó ÜHG megkötés, tehát a kedvező szolgáltatás, a pozitív előjelű).

Módszerek: első megközelítésünkben a Nemzeti Üvegházgáz Leltárt, illetve különböző korábbi modell eredményeket és pontméréseket használtunk fel. A NÖSZTÉP keretében készítettünk egy új modellfuttatást (Biome-BGC-Mag 2.0) azért, hogy az adatok térképezhetőek legyenek, de ezek eredménye még nem kalibrált, illetve több beállítás pontosítandó, továbbá a modell a gazdasági elemzéshez bizonytalanságokkal terhelt (a térbeli megjelenítésre azonban alkalmas), ezért a gazdasági elemzéshez egy korábbi, **16 modellre/adatforrásra (köztük a Biome-BGC-re) épülő munkára támaszkodtunk** (Barcza et al 2010).

Eredmények: minden ökoszisztéma (erdő, gyepek, szántó) **nettó szénfelvételt mutatott**, de a laterális szén-transzfereknek (kitermelt fa, lekaszált széna, elvitt takarmány stb.) és az N₂O kibocsátás, illetve CH₄ fluxus miatt **több ökoszisztéma nettó ÜHG kibocsátóvá fordult át.**

Az erdők továbbra is nettó üvegházgáz megkötéssel bírtak (3,8 t CO₂ eqv./ha/év), melynek értéke egy hektárra vonatkoztatva 306 EUR, az ország teljes erdőterületire vonatkoztatva pedig az éghajlat-szabályozás értékük 188 milliárd forintot képvisel (38. ábra). A **gyepek** mérlege statisztikailag nem tért el a nullától (száraz évben jellemzően kibocsátóak, míg csapadékos évben megkötőek). Pontmérések alapján kimutattuk (bugaci farm), hogy a **gyepek az állatokkal együtt lehetnek nettó ÜHG megkötőek**, tehát egy extenzív farm lehet klíma-barát (ahol a nettó üvegházgáz mérleg 2 t CO₂/ha/év, megkötés volt). A gyepek szénfelvétele (4 t CO₂/ha/év) tehát képes volt kompenzálni az állatok kibocsátását alacsony állatlétszám mellett (Koncz et al. 2017). A **szántók** jelentős nettó üvegházgáz kibocsátással bírtak elsősorban az N₂O kibocsátás miatt (üvegházgáz mérlegük: -4 t CO₂ eqv./ha/év). **Ez a kibocsátás országosan kb. 489 milliárd Ft veszteséget termel évente.**



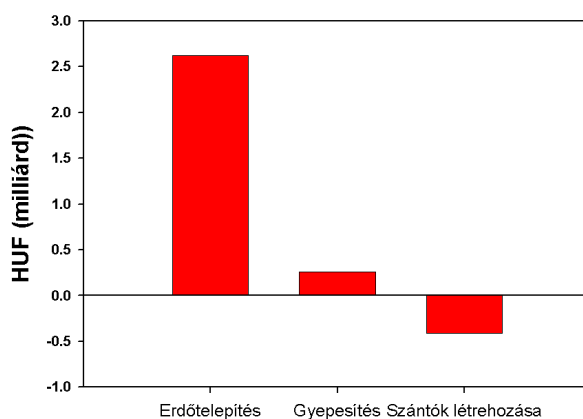
38. ábra Ökoszisztémák üvegházgáz-mérlegének becült értéke

2) Földhasználati változás értéke

A földhasználati változások; **erdősítés, gyepesítés, szántó létesítés** során jelentős mennyiségű üvegházgáz kerülhet a légkörbe, illetve jelentős lehet a szénveszteség vagy éppen a megkötés. Ezért érdemes ezt egy külön indikátorként kezelni.

Módszerek: A Nemzeti Üvegházgáz Leltár (NIR 2019) alapján számoltunk. A NÖSZTÉP bázis év miatt a 2014-ről 2015-re történt földhasználati váltást elemeztük. A váltások hatását 20 évre vonatkoztatva határozzák meg, itt egy évre vonatkoztatva adtuk meg.

Főbb eredmények: Egy évre vonatkoztatva az **erdőtelepítés** során egy hektáron 0,68 t CO₂ egyenérték az üvegházgáz megkötés, amelynek **értéke** az éghajlat-szabályozást tekintve **54 EUR/ha**. Az országos erdőtelepítéssel számolva ennek összértéke 2,6 milliárd Ft (39. ábra). **Gyepesítés** esetében 0,1 t CO₂ egyenérték az üvegházgáz megkötés, amelynek **értéke 8 EUR/ha**, országosan ez 0,3 milliárd Ft-ot jelent. **Szántók** létesítése esetében a talajok szenet vesztenek a megnövekedett talajlégzés miatt (talajfeltörés), így **-14 EUR/ha**, illetve -0,4 milliárd Ft veszteség keletkezik (országosan).



39. ábra Földhasználati változás becült értéke

3) Erdők szénkészletének értéke

A különböző ökoszisztémák élő anyagában (biomassájában) raktározott **szénkészletnek** (t C/ha) fontos szerepe van az éghajlat-szabályozásban, mert ez adja azt a zöld növényi anyagot, ami képes a CO₂ felvételre és végső soron a talajban, faanyagban történő megkötésre és raktározásra képes. Ez az indikátor ezt a „zöld” raktárt jellemzi.

Módszerek: Technikai okok miatt egyelőre csak az erdőkre van megfelelően részletes adat, bár a gyepeken, agrárterületeken lévő biomasszában tárolt szén is jelentős (gyepek esetében a felszín alatti biomassza a felszín feletti 5-10 szerese is lehet, Koncz et al. 2015).

Az adatokat az Országos Erdőállomány Adattár adatok alapján számoltuk ki a NÖSZTÉP szerinti 29 erdő-kategóriára vonatkozóan.

Főbb eredmények: Az **erdők**, kifejezetten a bükkösök, cseresek, gyertyános kocsánytalan tölgyesek jellemzően **magas biomasszával** (szénkészlettel) rendelkeznek (>75 t C/ha, széndioxid egyenértékben >275 t CO₂), így ezek átszámított **becsült gazdasági értéke** (80 EUR/CO₂) az éghajlat-szabályozást tekintve **magas** (értéke >22 ezer EUR/ha). Ezzel szemben a gyors vágásfordulójú **faültetvények**, akácosok, nemesnyarasok **alacsony aktuális szénkészlettel** rendelkeznek (<40 t C/ha, értéke <12 ezer EUR). Fontos, hogy a letermelt fában lévő szén rövid (tűzifa), vagy hosszútávon (ipari fa) visszakerül a légkörbe CO₂ formájában. Az egy hektárra vetített adatok mellett az országos adatokat is kiszámoltuk (felsoroztuk az élőhelyek területével.). Országosan összesítve a bükkösök, cseresek és akácosok (nagy kiterjedésük miatt) jelentős szénmennyiséget raktároznak az élő anyagokban.

4) A talajok szénkészletének értéke

A különböző **ökoszisztémák talajában raktározott szénkészleteknek** (t C ha/év) fontos szerepe van az éghajlat-szabályozásban, stabilitásban. A szénkészlet meghatározza a termelést (indirekten a talaj víz- és tápanyag gazdálkodásán keresztül), illetve a talaj szénvesztése (a raktár csökkenése) negatív szolgáltatás az éghajlat-szabályozás szempontjából (az elraktározott pedig pozitív). A NÖSZTÉP az alapállapotra koncentrálna, ezért fontos az alapállapotok elemzése, értékelése.

Módszerek: A NÖSZTÉP szerinti 47 féle élőhely-kategóriára számoltuk ki a talajok szénkészletét az MTA TAKI adatok alapján (Szatmári et al. 2019).

Főbb eredmények: A különböző élőhelyek talajának szénkészlete eltérő, de pl. az **ártéri erdők, bükkösök és bizonyos gyepek esetében az értékek magasak** (<55 t C/ha, amelynek értéke 16 ezer EUR/ha), míg **akácosok, nemesnyár ültetvények esetében alacsonyak az értékek** (<50 t C/ha), így utóbbiak ennek megfelelően alacsonyabb értéket képviselnek (14 ezer EUR alatt) az éghajlat-szabályozás szempontjából. Országosan összesítve az agrárterületek nagy kiterjedése miatt ezek jelentős értéket képviselnek (sok szén raktároznak). Az adatokat a gazdasági elemzők számára átadtuk (2019. 12. 10.), a Klíma és Energia SZMCS-ben elérhetőek.

Kitekintés

Fontos, hogy elemezzük, hogy adott esetben értékesebb-e gazdaságilag meghagyni az erdőt, mintsem tűzifaként hasznosítani – feltéve, hogy az aktuális kvóta, illetve karbon off-set programok bevétele valóban eljut az erdő tulajdonosához.

A tűzifa-árak az írás időszakában 17-18 ezer forint/m³ körül alakultak, ami kb. 60 eurónak felel meg. Tehát ha az éghajlat-szabályozásba jobban megérheti befektetni, mint a tűzifa kitermelésbe - ha valóban létezne ennek egy kialakult piaca. Hozzá kell tenni,

hogya ha az erdőgazdálkodó inkább egy cégnek adja el a fát (pontosabban a ki nem vágott fát, mint CO₂ megkötő terméket), akkor a tűzifa ára emelkedni fog, mert kevesebb tűzifa lesz a piacon és megnő a kereslet, tehát az ár rosszul, akinek erre éppen szüksége lenne (mert nem fogja tudni megfizetni). Az éghajlat-szabályozás kifizetéséhez (méltányolásához) indirekten a terület alapú támogatások (állandó gyepek), erdősítések, erdő-környezetvédelmi kifizetések, Natura 2000 kifizetések már hozzájárulnak. Ezen kifizetések klímavédelmi megtérülése is elemezhető. Direkt éghajlat-szabályozás védelmi (szén megkötést elősegítő) kifizetések is léteznek külföldön, lásd pl. Carbon Funds, Portuguese Carbon Fund (Correa et al. 2018).

4.3.4.6. Szakpolitikai javaslatok (Koncz Péter)

- a) A klímaváltozás korunk egyik legnagyobb problémája. Magyarországon bár relatíve alacsony az üvegházgáz kibocsátás és kis területe miatt a globális éghajlat-szabályozásban csekély szerepe van, de ettől még számos intézkedésre van szükség. **Kibocsátásunk** jelentős részét **exportáljuk** azzal, hogy kínai vagy éppen Brazil termékeket vásárolunk (a kibocsátásunk a termelés helyén jelenik meg), ezt vissza kell fogni, a **tudatos vásárlást** kell ösztönözni. Egyes szektorokban (pl. háztartás) növekszik a kibocsátás. Az **élelmiszertermelésben csökkenteni** kell az N₂O kibocsátást, mert ez az éghajlat-szabályozás mellett a hatékony talajerő gazdálkodáshoz, termelés növeléshez is hozzájárul. Egyes ágazatokban (pl. gyepek és erdőgazdálkodás) csökkenhet a szénmegkötés, sőt a klímaváltozás miatt egyes területek (pl. száraz gyepek a Homokhátságon, bükkösök) kibocsátóvá válhatnak. A **sérülékeny szénmegkötő területeket védeni szükséges**, a megkötőket támogatni kell, illetve klímavédelmi területeket kell kijelölni. Összességében Magyarországon a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás fontosabb, mint a mitigáció.
- b) Magyarország másodszorra elfogadta az EU 2050-es karbonsemlegességi céljait. Ez fontos, hiszen így hazánk az aktív, megoldáskereső nemzetközi klíma-párbeszéd részese.
- c) Elemezni kell a NATURA 2000 erdőkre vonatkozó kompenzációs kifizetéseket, az erdő-környezetvédelmi (EKV) kifizetések **valós természetvédelmi, éghajlatvédelmi hatását**. A **karbon kvóta bevételeket zöld beruházásokra, erdőkre kell fordítani**.
- d) A hazai agrárgazdálkodás kettős, egyrészt jelentős támogatások összpontosulnak relatíve kevesek kezében, másrészt relatíve sokan perifériára szorultak, ahol a munkaerőhiány, az elvándorlás, a támogatáspolitikai instabilitás, a klímaváltozás és a tudáshiány eszkalálódó problémát jelent. Mindezek közvetlenül visszahatnak az ökoszisztémák szabályozó és támogató szolgáltatásaira. **Tudástranszferre és támogatás politikai stabilitásra van szükségük a gazdálkodóknak**.
- e) Az ökoszisztéma-szolgáltatások védelmének, illetve hatékony felhasználásnak érdekében szükséges továbbá a biogazdálkodás és az agrár-erdészeti rendszerek komolyabb támogatása, az Új Vásárhelyi-terv megvalósítása (bodrogi közti tapasztalatok alapján módosítva), a helyi energiaforrások felhasználásának támogatása, engedélyezése, a tanyaprogram kibővítése az északi és a kelet-magyarországi régiókban.

4.4 Mikroklíma-szabályozás (Weidinger Tamás, Ács Ferenc, Koncz Péter)

4.4.1 Az ökoszisztémák szerepe a mikroklíma-szabályozásban

A mikroklíma a légkör energetikai és anyagfolyamatainak a rendszere, amelyben vagy annak határán valamely meteorológiai elem gradiense akár nagyságrendekkel is nagyobb, mint a makroklímában. Kiterjedését tekintve a mikroklíma a légkör alsó 100-2000 méteres rétegében, illetve horizontálisan a 10 méterestől a 10 km-es szélességben lejátszódó mikrometeorológiai jelenségeket foglalja magában (ahol a felszín, mint termikus és mechanikus kényszer hatása érvényesül). Ez a planetáris határréteg, amelynek szerkezetét a sugárzási és turbulens kicserélődési folyamatok alakítják. E térskálán belül a szabályozás a mikrometeorológiai jelenségek bizonyos szintű kiegyenlítetttségére, illetve az egyes meteorológiai, környezeti és ökológiai tényezők dinamikus kapcsoltságára utal.

A meteorológiai állapotjelzők mellett fontosak a talaj-bioszféra-légkör rendszer energia-, víz- és nyomanyag-háztartását leíró állapotjelzők. Ez indokolja a finomfelbontású felszínborítottsági és talajtérképek (helyi hatások) és a nagyobb felbontású, napi léptékű rácsponti meteorológiai adatbázisok ($0,1^\circ$ -os, illetve $(1/6)^\circ$ -os $\sim 10 \times 10$ km-es CarpatClim és a $\sim 18 \times 18$ km-es FORESEE), mint tájléptékű jellemzők együttes használatát.

A mikrometeorológia nem vizsgálja a konvekciót (pl. gomolyfelhő képződés), illetve a mezo- és szinoptikus skálájú folyamatokat. Ilyenek a zivatarláncok (a balatoni viharok egyik okozója), vagy a nagytérségű időjárási folyamatokat alakító ciklonok, anticiklonok, amelyek karakterisztikus horizontális mérete már 1000 km-es. Ezek, mint időjárási háttér-folyamatok jelennek meg számunkra. A mikrometeorológiai jelenségek karakterisztikus ideje néhány órától a napos skáláig (napi menet) terjed. **Horizontális kiterjedésük a lokálistól, az adott mérőhely 10-100 m-es környezetétől néhány 10 km-es térskáláig tart: egy-egy hely, tájelem, táj sajátosságait ragadja meg.**

Beszélhetünk adott helyre vonatkozó (lokális), vagy nagyobb homogén, illetve inhomogén felszín felett kialakuló kisléptékű (táji) mikroklímáról (Unger et al. 2012). Ezt szemlélteti a művészet nyelvén Ács József két festménye (40. ábra). A táji hatásokat leíró indikátorok a mikrometeorológiai állapotjelzők, a felszín jellemzői, illetve az ezek alapján készített szakértői becslések együtteseként állnak elő.



Szárkúpok, farost

Liget

Ács József (1914–1990): délvidéki festőművész, a Zentai művésztelep alapítója

40. ábra A mikroklíma lokális és tájleptékkü alakító tényezői

A különböző ökoszisztémák eltérő mértékben járulnak hozzá a mikroklíma-szabályozáshoz. Az erdők kiegyenlített hőmérsékletet, magasabb páratartalmat nyújtanak összehasonlítva pl. a beépített környezettel, a fasorok „megtörik a szelet” csökkentve a szél szárító hatását, illetve a széldöntés okozta károkat (pl. a gabonatóblák esetében). Így az erdősávoknak közvetett módon termésmenvelő hatásuk is van, ami a jólléti vizsgálatoknál akár számszerűsíthető, de kapcsolatot teremt az Élelmiszer SZMCS tevékenységével is. Ismert a víztestek kedvező mikroklíma-szabályozó hatása (lassabb felmelegedés, erősebb párolgásból eredő hűtés, magasabb páratartalom) Ezek hatása azonban korlátozott. A Balaton mikroklíma módosító hatása pl. a tó néhány km-es körzetére terjed ki. (Bartholy és Weidinger 1997). A mesterséges felszínek (utak), kiterjedt sötét felszínek (pl. takaró-növényzet nélküli szántók) ezzel szemben szélsőségesebb, szárazabb és a melegedő környezetre jellemző „megváltozott” mikroklímát eredményeznek. A mikroklíma szolgáltatásoknak természetes kapcsolódási pontjai vannak a Városi és a Kulturális SZMCS tevékenységével is. Nem mindegy, hogy milyen környezetben élünk!

Egy-egy ökoszisztéma (pl. szántó, erdő) belső mikroklímája ugyan részletesen kutatott, de ezek mozaikjai, táji szintű kölcsönhatásai már kevésbé ismertek. Hiányoznak a különböző ökoszisztémákon belüli meteorológiai állapotjelzők (hőmérséklet, szélsébség, nedvesség stb.) mértékadó eltérései a meteorológiai állomási adatoktól (pl. OMSZ mérések). Itt a terepi mérések hiányában elsősorban a modellezés a járható út. Több lehetőség kínálkozik: i) a WRF (Weather Research and Forecasting) nagyfelbontású időjárásmodell alkalmazása (Göndöcs et al. 2017), ii) egy-dimenziós vegetációs modellel végzett kísérletek (1D NOAH-modell, Breuer 2012), iii) az SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszékén végzett modellezési eredmények (i-Tree Eco és MUKLIMO-3) felhasználása (Kiss et al. 2015, Bokwa et al. 2018, Skarbit 2018), valamint iv) a városi mérési eredmények kiterjesztése városkörnyéki területekre (Takács et al. 2016). Mindez további terepi méréseket igényel, ami túlmutat a NÖSZTÉP jelenlegi célkitűzésein és lehetőségein.

A mikroklíma-szabályozás vizsgálatának módszertana korántsem olyan kiforrott, mint az éghajlat-szabályozásé. **Az ökoszisztéma-szolgáltatások tárgyalásánál sokszor**

hangsúlyozzák a mikroklíma szabályozás jelentőségét, de nincs konszenzus az indikátorokkal kapcsolatban. A felhasználói igények szerint (pl.: táj- és természetvédelem, mezőgazdasági termelés, időjárási szélsőségek mérséklése, turisztika, rekreáció) több lehetőség kínálkozik.

4.4.2 Mikroklíma-szabályozáshoz köthető indikátorok

A táji hatásokat leíró indikátorok sokszor a **mikrometeorológiai állapotjelzők, a felszín jellemzői, illetve az ezek alapján készített szakértői becslések** együtteseként állnak elő. Az alábbiakban néhány példát mutatunk be, azért, hogy lássuk, itthon pontosan mire lehet szükség.

4.4.2.1 Szabályozás-orientált indikátorok

a) Ezek egyik típusa a meteorológiai állapothatározókon alapuló indikátorok. Az ökológiai szolgáltatások nemzetközi osztályozási rendszere (Haines-Young and Potschin 2018) megadja a **mikro- és regionális klímaszabályozás általános elveit** (Grünewald et al. 2017). **A kulcsszó az átszellőzés és a párolgás, amit a meteorológiai állapotjelzők (hőmérséklet, nedvesség, szélsébség) alapján lehet értékelni.** E csoportba tartoznak:

- az éghajlati-topográfiai indexek, amelyek alkalmasak több hatás (domborzat, felszínborítottság, meteorológia) együttes figyelembevételére (Mukherjee et al. 2013),
- a potenciális (PET), illetve a tényleges (ET) evapotranszspiráció (vagy egyszerűbben a párolgás), mint könnyen számszerűsíthető változó (Rodríguez-Loinaz et al. 2015),
- a csapadék (P), a potenciális vízhiány (P – PET) és az effektív csapadék (P – ET).

A potenciális párolgás, illetve az aktuális párolgás a felszíni energiamérlegre utal, míg a potenciális vízhiány (P – PET), illetve az effektív csapadék (P – ET) a vízmérleg jellemzőit számszerűsíti. Nem csupán a potenciális és az aktuális párolgással számolunk, hanem „mérlegeket” is készítünk. Megjegyezzük, hogy az effektív (talajba jutó) csapadéknál sok esetben figyelembe veszik a vegetáció (növényállomány, felszínborítottság, illetve városi terek) által visszatartott csapadékhányadot (1D NOAA-modell, Breuer 2012, Zagyvainé Kiss 2012), ennek leírása (parametrizálása) azonban már meghaladja a NÖSZTÉP Program célkitűzéseit.

b) A szabályozás-orientált indikátorok másik típusa a digitális térképi adatbázisokon alapul. Mind a meteorológiai, mind az ökológiai gyakorlatban elterjedten alkalmazzák a **felszíni adatbázisokat**, ahol akár 20-100 m-es rácsfelbontásra számolják ki az értékeket. Nézzünk néhány példát!

- Tekintsük először a **magasságot**. Ez lehet egy területelem átlagos magassága, a magasság változékonysága (szórás, makro-érdesség), de ide sorolható a lejtés, tájolás és a kitettség is.
- Hasonlóan gazdag irodalma van a **felszínborítottsággal** kapcsolatos indexeknek. Ide tartoznak pl. az adott területelem borítottságát, a borítottság inhomogenitását (Shannon-féle entrópia), és a szegélyek sűrűségét jellemző indexek. Vannak olyan munkák, ahol a mikroklíma-szolgáltatást egyszerűen a zöldterületek arányával, még egyszerűbben az erdőterület részarányával jelzik a térképen.

- A felszínborítottság mintájára készíthetők indexek a leszármaztatott mennyiségekből is. Az **albedó** térképek a rövidhullámú sugárzásmérlegről (a bejövő napsugárzás sorsa) adnak kvalitatív, összehasonlításra alkalmas képet. Az **emisszivitás** értékek a hosszuhullámú sugárzásmérleg (a földfelszín és a légkör által kibocsátott sugárzás) különbségeire utalnak, míg az **érdességi magasság** térképek (átlag, szórás, a meghatározó felszín típus érdessége) kiegészítve a domborzattal és a felszínborítottsággal a **szélárnyékolásra** és a turbulenciára utalnak. Könnyen számítható a szélesség az egyes felszínek, rácspontok felett (2 m-en illetve 5 m-en) a logaritmikus szélprofil, az érdességi magasság és a referencia szint (10 m) szélességi adatai alapján (Arya 2001).
- Fontos információt tartalmaznak a különböző indexekből készített összevont indikátorok is. Az USA-ban alkalmazott **ökológiai indexekről** McGarigal and Marks (1995) alapműve tájékoztat.

4.4.2.2 Klimatológiai indexek, lokális éghajlat-osztályozások

a) Ide tartoznak többek között az éghajlati adatbázisokon alapuló indexek. A mikroklíma-szabályozás meteorológus megközelítésben hőmérsékleti, csapadék-, párolgás- és aszályindexek előállítását jelenti ellenőrzött nagyfelbontású éghajlati adatbázisokon. Számos országban készülnek akár 1 km-es felbontású napi rácsponti adatbázisok – persze a megbízhatóság egy következő kérdés (Kearney e al. 2014, Zhao et al. 2019).

Az ilyen adatbázisok alkalmasak nagy felbontású éghajlatosztályozási térképek (Feddema, Holdridge, Köppen, Péczely, Thorntwaite) készítésére. A különböző éghajlat-osztályozási rendszerek értékelése és összehasonlítása is rendelkezésre áll (Metzger et al. 2013, Ács 2017, Beck et al. 2018).

Találkozunk olyan eljárásokkal is, ahol a mikroklíma-szabályozást a klasszikus meteorológiai állapotjelzőkhöz kötik: itt a hőmérséklet, páratartalom és szél lokális időjárásra gyakorolt hatását kell számszerűsíteni (Haines-Young and Potschin 2018).

b) Tanulóalgoritmusokon alapuló indexek. Ez az index-csoport együtt képviseli a **környezeti állapotjelzők** egzaktságát és a felhasználás módja szerinti **rangsorolás módszertanát**, ami alapulhat pl. neurális hálózatokon, vagy Cluster-analízis technikán (Burkhard and Maes 2017, Konkoly-Gyuró et al. 2017).

A Cluster-analízis technikát alkalmazzák a topoklíma osztályok meghatározásánál is (Rodríguez-Loinaz et al. 2015). A növényzet, a felszín kitétsége és a lejtőviszonyok együtt alakítják a lokális klímát. E kutatási területnek az USA-ban és Lengyelországban vannak nagy hagyományai (Bartus 2014).

c) Szakértői becsléseken alapuló osztályozás. Itt definiálnak egy számskálát, s különböző objektív **statisztikai elvek alapján sorolják be az egyes tájelemeket, felszínborítottság kategóriákat az adott típusba.** A felszínborítottság-kategóriák számbavételénél gyakran alkalmazzák a 44 elemet tartalmazó CORINE adatbázist. Az időjárás előrejelzési modellek (ALADIN, REMO, WRF) felszíni adatbázisa, vagy a NÖSZTÉP projektben alkalmazott alaptérkép is ilyen típusú. **A térképi információk (pl. felszín típus, borítottság) alapján előállítható a már korábban említett érdekességi magasság, az albedó, a potenciális párolgás (a jó vízellátottságú fűfelszín feletti) és más ökoszisztémák maximális párologtatóképessége közötti kapcsolatot leíró f-index is** (Larondelle and Haase 2013). E paraméterek fontos indikátorai a mikroklímát kialakító ökoszisztémák állapotának.

d) Mikroklíma-indikátorok. A mikrometeorológiai méréseket (pl. energiamérleg, párolgás illetve az állományon belüli és szabadterületek közötti különbségek) továbbá a mikroklíma-szolgáltatás humán és ökológiai vonatkozásait ötvöző indikátorrendszert dolgozott ki Larondelle et al. (2014), amit széleskörűen alkalmaznak Németországban, de egyre több helyen vezették be Európában is. Az index értékei –5 (kedvezőtlen hatás) és +5 (kedvező hatás) között változnak. Az index kulcsparamétere a CORINE felszínborítottság. (Minden felszín típusot kategorizáltak.) Mi is ezt a módszertant alkalmaztuk a NÖSZTÉP programban a magyarországi felszínborítottsági típusokra.

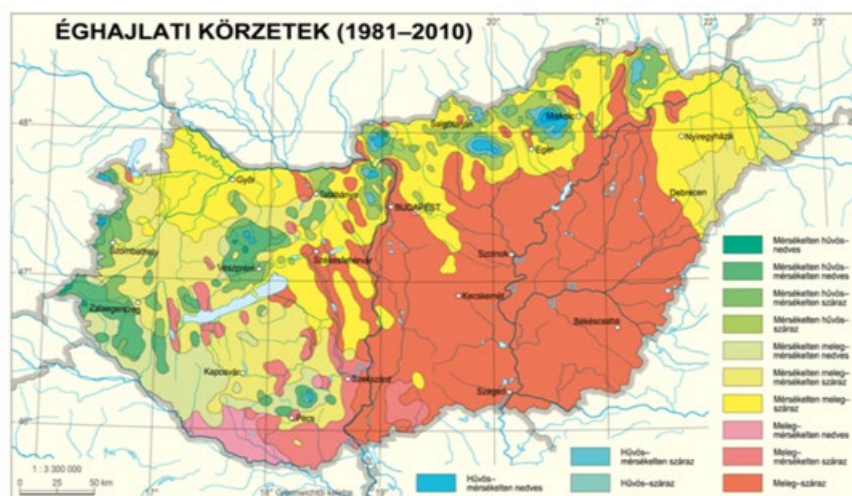
4.4.2.3 Hazai jó gyakorlatok, indikátortípusok

Hazai kutatók tevékenyen részt vesznek EU-s programokban, az ökoszisztéma-szolgáltatások, s benne a tájléptékű mikroklíma-szolgáltatások kialakításában (Maes et al. 2016, 2018, Czucz et al. 2018).

Magyarország **tájkarakter** alapú rendszerezésének módszertani megalapozása Konkoly-Gyuró (2019) szakmai irányításával készült. A tanulmányban szerepelnek **azok a domborzati és felszínborítottság adatbázisból származó térképek**, amelyek a mikroklíma-szolgáltatás számszerűsítésére, területi reprezentálására is szolgálnak. Ilyenek i) a felszínborítás-változatosság, ii) a vizuálisan releváns szegélyek sűrűsége és iii) a beépített términtázat jellegindikátor. E három a NÖSZTÉP-ben már szereplő index jól jellemzi a tájszerkezetet, ami az ökoszisztémák mikroklíma-szolgáltatást nyújtó állapotának egyik magyarázó tényezője. Hasonló elvek szerint elemezte a táj változékonyságát Gallego and Escribano (2000), illetve Král et al. (2014), akik pl. a Szalajka-völgyet is vizsgálták.

Somodi et al. (2016) a MÉTA ökológiai és a CarpatClim éghajlati adatbázis alapján készítették részletes éghajlati sérülékenységi értékelést Magyarország legjelentősebb, illetve leginkább klíma-érzékeny természetes és természet közeli élőhelyeire.

A Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer adataira épülő kutatási eredményeket, benne éghajlati sérülékenységi vizsgálatokat Pálvölgyi és Selmeczi (2016) foglalta össze.



41. ábra Éghajlati körzetek az új Nemzeti atlaszban (Péczy-féle osztályozás alapján)

Hazánkra vonatkozóan rendelkezésre állnak a tisztán **meteorológiai és éghajlati adatokon** alapuló indikátorok is. A 10 x 10 km-es (0,1° x 0,1°) **CarpatClim adatbázis** a Kárpát-térségre készült az 1961-2010 közötti időszakra (Lakatos et al. 2013). A napi meteorológiai állapothatározók (**hőmérséklet, nedvesség, csapadék, felhőzet, szélsébség, globálsugárzás** stb.) mellett rendelkezésre állnak a legfontosabb klimatológiai indexek (37 db) köztük a potenciális párolgás (ezt mi is használjuk), az erdőszetben alkalmazott Ellenberg-hányados, valamint a Palmer- és a Pálfai-féle aszály-index. Ez az adatbázis szolgált alapul az új nemzeti atlasz éghajlati fejezetéhez (Bihari et al. 2018). Természetesen itt is szerepelnek a főbb meteorológiai állapothatározók térképei, de találunk kitekintést a **jövőben** várható változásokra is. (Elkészült az OMSZ-nál a 2010 utáni évek éghajlati adatbázisa is, finomodott a térbeli és az

időbeli felbontás). Az új nemzeti atlasz a **Péczy-féle éghajlat-osztályozást** tartalmazza (41. ábra), ami **az ariditási index és a vegetációs időszak átlaghőmérsékletének figyelembevételével 16 típust különít el**. Vannak más éghajlat-osztályozási eljárások is, amelyek szintén az energiaháztartásra (csapadék és a potenciális párolgás viszonya) alapulnak, de figyelembe veszik a hőmérséklet és a csapadék évi menetét is (szezonális). Ilyen pl. a Feddema-féle osztályozási rendszer (Ács et al. 2015, Ács 2017), amit mi is használunk a tájléptékű mikroklíma szabályozásban (lásd a 7.7 Mellékletet).

Lehet további meteorológiai/klimatológiai indikátorokat is képezni pl. a **veszélyes időjárási helyzetekre, szélsőségekre**, de ez már meghaladja a mikroklíma-szolgáltatások témakörét, ez a katasztrófavédelem szakterülete (Weidinger et al. 2012, Pavlović 2014).

4.4.2.4 A mikroklíma-szabályozás hazai indikátor rendszerének kialakítási elvei

A külföldi és hazai példák áttekintése után – a rendelkezésre álló hazai adatbázisok alapján – **alakítottuk ki a mikroklíma-szabályozás négy szintű indikátorrendszerét**. Ebben együtt szerepelnek;

- az **éghajlati és térképi adatbázisok** alapján előállított indexek,
- a **leszármaztatott** pl. felszínborítottságtól függő **indikátorok**,
- a különböző kritériumok (pl. **szakértői becslések**) alapján készített indikátorok, mint például az **éghajlat-osztályozási** kategóriák.

További szempont volt;

- a **térképezhetőség**,
- az **azonos indexek** alkalmazása más NÖSZTÉP csoportokkal (pl. a táji sokféleség),
- és egy „**közös nyelv**” megteremtése a meteorológusok, ökológusok és a döntéshozók számára.

E közös nyelv, s a közös cselekvés segítségével őrizhetjük meg a táji változékonyságból származó mikroklímát (Haines-Young and Potschin 2010, Mononen et al. 2016), ami csökkenti a szélsőségeket, hozzájárul az ökológiai sokféleség megőrzéséhez, biztosítja a humán jóllétet (pl.: turisztika, rekreáció).

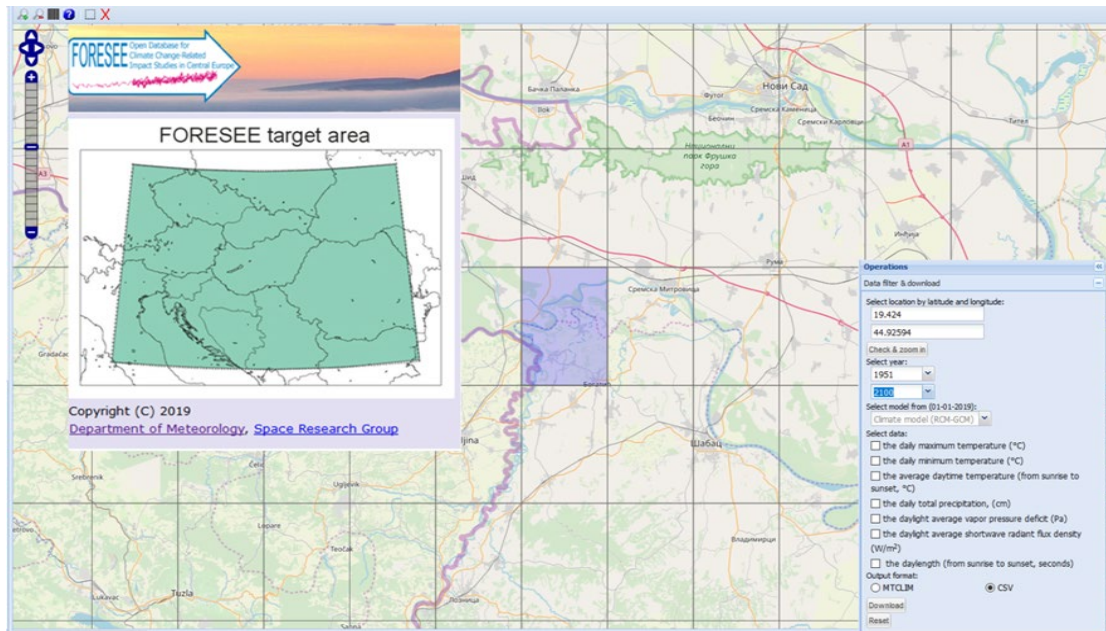
A NÖSZTÉP alaptérkép az ökoszisztémákra vonatkozó adatokat tartalmazza, amelyek jól használhatóak a mikroklíma-szabályozás térképezése és elemzése során.

Éghajlati adatforrásként a napi felbontású FORESEE adatbázist alkalmazzuk, amely 1951 és 2100 között tartalmazza az alapvető meteorológiai állapothatározókat: 2017-ig mérésekre támaszkodva, majd azt követően 8 különböző regionális éghajlati modell adatai alapján (Dobor et al., 2015, FORESEE: <http://nimbus.elte.hu/FORESEE>). Megtörtént a FORESEE és a CarpatClim adatbázis összehasonlítása is (<http://nimbus.elte.hu/FORESEE/index.html>). Jó az egyezés!

Rendelkezésre állnak a mérési adatokból származtatott rácsponti adatsorok a 2015-ös referencia évre, így számunkra megfelelő a FORESEE adatbázis, tudva persze, hogy kevesebb mérési adatra támaszkodva készült, mint az OMSZ által fejlesztett, de még nem szabadon elérhető

2015-ös rácsponti adatállomány. Éghajlati normálként az 1981-2010-es, 30 éves időszakot választottuk.

A FORESEE adatbázis szerkezetét, a letölthető napi adatokat a 42. ábra szemlélteti. Megjegyezzük, hogy az ÖSz és 4. kaszkádszinti indikátoraihoz (jóllét) szélesség adatok is kellenek. Ezek előállítása, s harmonizálása a FORESEE adatbázissal a közeli jövő feladata.



42. ábra A FORESEE adatbázis (Dobor et al., 2015; <http://nimbus.elte.hu/FORESEE/index.html>)

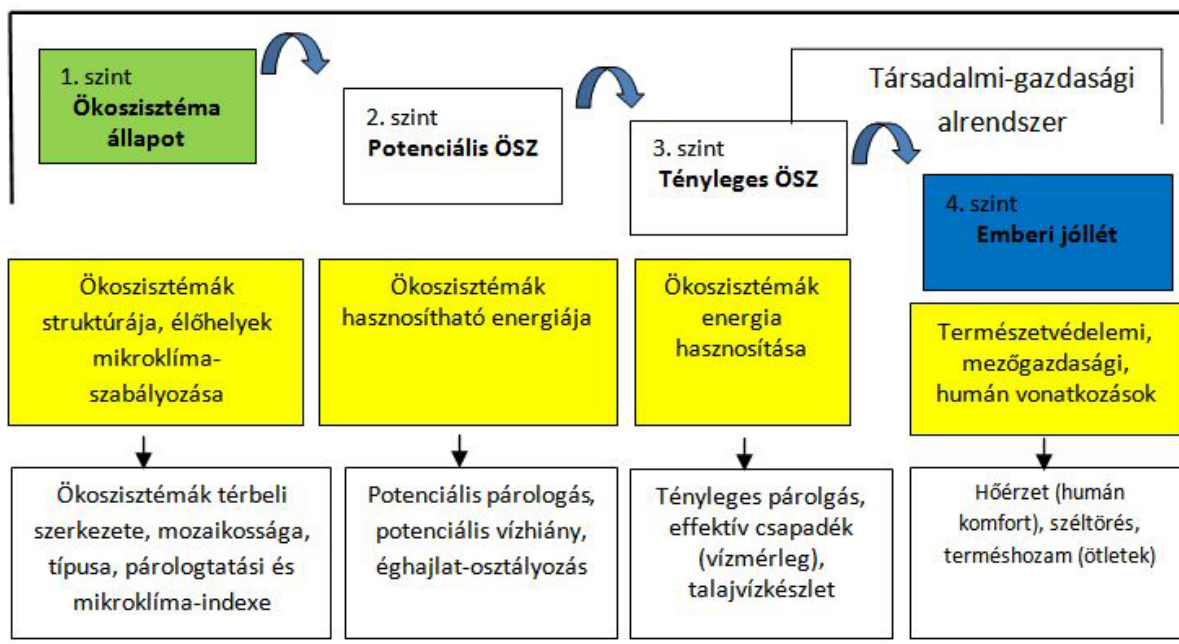
4.4.3 Mikroklíma-szabályozás - kaszkád szintek

A következőkben a mikroklíma-szabályozás indikátorait tekintjük át a négy szabályozási szinten (43. ábra). A mikroklíma-szabályozás, illetve az ezt leíró indikátorok alapja a **vízháztartás**. Egy terület vízháztartásán keresztül megjelenik a területre érkező sugárzási **energia**, illetve a **csapadék** mennyisége, amivel egy-egy terület „gazdálkodhat”. A **domborzat** és **felszínborítás** módosítja a vízkészletet, illetve a talaj és a vegetáció az, ami végső soron a **párolgás** révén visszajuttatja a vizet a légköbe, miközben fel is használja a vizet. Miközben az ökoszisztémán **átáramlik** a víz, egy része épül csak be, nagy része az átáramlás közben tápanyagokat szállít. Az **átáramló** víz egyúttal hűti az ökoszisztémákat és kedvező mikroklímát alakít ki. A kaszkád szintek során ezért találkozunk a tájszerkezeti indikátorokkal, illetve a potenciális és tényleges párolgással és az ehhez szorosan kapcsolódó csapadékkal, vízhiánnyal, illetve a felszínborítottság mikroklíma módosító hatásaival.

Már itt hangsúlyozzuk a vízfelületek (tavak, folyók) és a vizes élőhelyek (pl. mocsaras területek) kedvező mikroklíma hatását (szolgáltatását) a nagyobb párolgás, a napi hőmérsékleti ingás mérséklése, és a vízpartok gazdag növény és állatvilága révén. (Lesznek olyan térképek, ahol az indikátor jellege miatt a vízfelszínek hatását (pl. effektív csapadék) külön nem számszerűsíthetjük, illetve a vízfelszínek és a talajfelszínek jellegükben eltérő viselkedése miatt ennek nincs is értelme. Ilyen esetekben a vízzel borított területelemeket kihagyjuk a számszerű

ábrázolásból (külön színnel jelöljük). Ez azonban nem jelenti azt, hogy ezek a felszínborítottsági típusok nem fontosak. (Ilyen módon is kirajzolódnak a kedvező mikroklíma sajátosságokkal rendelkező víztestek.)

Más előjellel, de lesz olyan térkép is, ahol a sűrűn beépített területeket kell kihagyni (vagy másképp fogalmazva külön színnel jelölni). Ez itt sem változtat azon a tényen, hogy a sűrűn beépített városi területek, illetve ipari övezetek nem tartoznak a kedvező mikroklíma-szolgáltatásokat nyújtó területek közé (Lásd pl. a felszínborítottság nélkül és a felszínborítottság figyelembevételével számított területi párolgás különbségeit, ami a beépített felszínnek kis párologtatóképesége miatt kiugróan magas értékeket szolgáltat.)



43. ábra. A mikroklíma-szabályozáshoz kapcsolt indikátorok a kaszkád négy szintjén.

4.4.3.1 Állapot indikátorok

- Mik az adott indikátorok?

Az első kaszkád szinten két indikátortípust használunk, amelyek a felszínborítottsági adatbázisokból számíthatók. Ezek tükrözik az **ökoszisztéma a) térbeli szerkezetét és b) az ökoszisztémák állapotát a mikroklíma-szabályozás szempontjából.**

a) Az ökoszisztémák térbeli szerkezetét három indikátorral jellemezzük, amelyeket a mikrometeorológusok és az ökológusok egyaránt használnak, s korábban már elkészítésre kerülnek a NÖSZTÉP projekt keretében (Konkoly-Gyuró 2019).

- **Országos tájkarakter típusok**

Az adott hely környezetében (1 km) megadja a **domináns tájtípust**, s egyben jelzi, hogy az **összefüggő** (egynemű), vagy **mozaikos** terület (Konkoly-Gyuró, 2019 szerinti számítási módszerrel). Így, tájba illesztve magyarázó tényezője a mikroklíma jellemzőknek. A 38 tájjellemző kellő részletességet biztosít (44. ábra).

- **Táji (Shannon) diverzitás index**

Meghatározása információelméleti alapokon nyugszik az entrópia (rendezetlenség) analógiájára készült (McGarigal and Marks 1995, Konkoly-Gyuró 2019). Jól kiemeli a **táji jellegzetességeket** (45.a ábra). Jelzi a különbséget a **kis változékonysággal** rendelkező összefüggő területek (pl. városok, erdős területek, alföldi szántók, nagy vízfelületek), illetve a Duna-Tisza közti, vagy a Nyírségi **diverz** területek között.

A táji diverzitás index előállításának ismertetése Konkoly-Gyuró (2019) munkájában található meg. Megalapozott, a hazai viszonyokra jól alkalmazható számítási eljárás. Ez igaz az integrált szegélyhatás-indexre is.

- **Percepcionális jellegindikátor (integrált szegélyhatás-index)**

A táj, s benne a mikroklimatikus hatások értékelésének fontos eleme a **szegélyhatás**, s ennek **térbeli elhelyezkedése** (Konkoly-Gyuró 2019) (45.b ábra). A különböző, lehetséges szegélyhatás indexek közül (McGarigal and Marks 1995) a percepcionális jellegindikátor használatát választottuk, ami jól kifejezi a táj karakterét, amit a tartalom és a forma együttesen határoz meg.

b) Az ökoszisztémák állapotát a mikroklima-szabályozás szempontjából leginkább a kedvező **mikroklimatikus** hatású élőhelyek jelenléte fejezi ki. Erre két indikátort használunk:

- az optimális vízellátottságú fűfelszínhez ($f=1$) képesti **párologtatást (jó vízellátottság mellett)** az **f-index** jelöli. Sűrűn beépített városi területen 0,35-ös, míg vízfelszín felett 1,2-1,4-es értékkel vesszük számításba (Christen and Vogt 2004, Larondelle et al. 2014).
- A **lokális klíma index** az élőhely-térképen megjelenített kategóriákhoz rendelt értékszám, amely jellemzi, hogy az adott ökoszisztéma milyen mikroklimát teremt. Az indikátor -5 (kedvezőtlen) és +5 (kedvező) közötti értékeket vehet fel. A NÖSZTÉP alaptérképen alkalmazott felszínborítottsági kategóriákra jellemző értékeket Burkhard and Maes (2017) munkája alapján a 7.5 Mellékletben foglaljuk össze.

- Miért az adott indikátorokat választottuk? Milyen külföldi és hazai példák vannak az indikátor ökoszisztéma szolgáltatás alapú értékelésére?

A tájléptékű mikroklima-szolgáltatást adott éghajlati feltételek mellett a felszínborítottság határozza meg. Ebben közvetett módon szerepel a talajféleség, a vízborítás, az ökoszisztémák állapota és az antropogén tevékenység (pl. beépítettség). Az ökoszisztémák térbeli szerkezetét, biofizikai állapotát három indikátorral írtuk le Konkoly-Gyuró (2019) összefoglaló munkájára alapozva (országos tájkarakter típusok, Shannon diverzitás index, percepcionális jellegindikátor), az ott közölt előállítás szerint.

Fontos mikroklima-alakító tényező a potenciális párologtatóképesség (f-index) és a lokális mikroklima index is. Mindkettőt használják a nemzetközi gyakorlatban, különösen Németországban (Burkhard and Maes 2017). E paraméterek együtt szemléltetik az ökoszisztémák szerepét a mikroklima szabályozásban. A választott indikátorok illeszkednek az európai trendbe. A felszínborítottság változásával (pl. művelési ág váltás, urbanizáció) nyomon követhető (számszerűsíthető) a mikroklima szolgáltatás megváltozása, ami pl. tervezési feladatokhoz, hatástanulmányok készítéséhez nyújthat segítséget.

- **Milyen adatbázisból, hogyan számoltuk ki az indikátorokat?**

Az indikátorokat a nemzetközi szakirodalom alapján megadott, felszínborítottságtól függő párologtató képesség (f-index) és a lokális klíma index alapján (Burkhard and Maes 2017) számítottuk a NÖSZTÉP alaptérkép élőhely-kategóriáira vonatkozóan (7.5 Melléklet).

Természetesen a kategorizálásban – a CORINE adatbázisból a NÖSZTÉP felszínborítottsági kategóriáira való áttérésnél – **szubjektív elemek is vannak**, ami mögött azonban szakirodalmi adatok és SVAT (Soil-Vegetation-Atmosphere Transport, talaj-bioszféra-légkör transzport) modellekkel végzett számítások állnak (pl. Breuer, 2012)

- **Milyen értékeket vesz fel az indikátor? Hogyan térképezhető?**

Az ökoszisztéma térbeli szerkezetét leíró három indikátor a táj sajátosságainak leírására alkalmas. Ez a térkép a domináns tájtípust, a borítottság jellegét (homogéntól a nagyon diverz területig, 5 kategória), illetve az integrált szegélyhatást (7 kategória) ábrázolja.

A két index térkép (f-index, lokális klíma index) a NÖSZTÉP alaptérkép pontjaiban (20 x 20 m-es felbontás) adja meg az értékeket. A nagy számok a jó párologásra, s ehhez kapcsolódva a kedvező mikroklímával rendelkező területeket jellemzik, míg a kis f-értékek és a negatív lokális klíma index értékek a kedvezőtlen területeket mutatják.

- **Melyek az indikátor korlátai?**

Az indikátorokat a rendelkezésre álló hazai és nemzetközi szakirodalom alapján választottuk ki, amelyek a felszínborítottság jellegére, annak változékonyságára, dominanciájára, illetve a szegélyhatásokra utalnak. Több lehetőséget vizsgálva választottuk ki a táj, a vízháztartási jellemzők és a tájban élő ember szempontjait figyelembe véve az optimális index-együttest.

A Shannon-Wiener diverzitási index a táji sokféleséget írja le de, nem érzékeny a feltűnésre, ezért célszerű a diverzitást egy természetességi mutatóval súlyozni (Körmöczy László, Vezetői Szakértői Panel ülés alapján). (Ezért is tartottuk szükségesnek az ökoszisztéma térbeli szerkezetét leíró, egymást kiegészítő 3 index együttes bemutatását, elemzését.) A hazai gyakorlatban alkalmazott táji (Shannon) diverzitás index-et használtuk (45.a ábra).

Az országos tájkaraktertípus-térkép (44. ábra) esetében felmerült a kevesebb kategóriát (38 helyett 18) tartalmazó Komplex jellegindikátor térkép használata. (A két térkép szerkezete hasonló, kiemeli a domináns felszínborítottságot). Végül a részletesebb ábrázolásmód mellett döntöttünk, ami a táji változékonyságot hangsúlyozza, s így jobban értelmezhetővé teszi a szegélyhatást bemutató percepcionális jellegindikátor térképet.

A potenciális párologtatóképességet bemutató f-index a vízigényről, illetve közvetett módon a vízellátottságról tájékoztat. Az általunk alkalmazott NÖSZTÉP alaptérkép a CORINE adatbázishoz képest más kategóriákat és finomabb térbeli felbontást (20 m-es rácsszerkezet) tartalmaz. Itt, különösen városi felszínek esetén, több szakirodalom alapján adtuk meg a mértékadó értékeket, hasonlóan a lokális klíma index-hez, illetve a 7.5 Mellékletben bemutatott többi felszínborítottságtól függő leszármaztatott mennyiséghez.

Továbbra is fontos a NÖSZTÉP projekt Tájkarakter elemeivel foglalkozó szakértőkkel való együttműködés, a kategóriarendszerek, a táji mozaikosság és az ehhez kapcsolódó indikátorok közös értelmezése.

- A térképek értékelése

Elsőként elemezzük az **országos tájkarakter** térképét, illetve ezen keresztül az ökoszisztémák térbeli szerkezetét és azok hatását a mikroklíma alakulására (44. ábra).

A térkép elsődleges osztályai: urbánus és agglomeráció, alacsony településsűrűségű és a rurális. Az ehhez kapcsolódó további magasságszerinti tagolódások (síksági, domb- és hegységperemi, dombi, középhegységi) továbbá a felszínborítottság (szántó, erdő, beépített terület, víztest stb.) dominanciája, vagy a dominancia hiánya alapján épül fel az osztályozási rendszer. Alig tér el a klasszikus topoklíma osztályoktól (Bartus 2014); a kitettség és a lejtés azonban nem szerepel. Kirajzolódnak már a kisebb városok is (lásd pl. a 33 ezer lakosú Mosonmagyaróvárt). Megjelennek a nagy tavaink, illetve a Hortobágy és a Duna-Tisza köze legelői. Látszanak a hegyvidéki erdős területek, a Duna-Tisza közti és a Bereg-vidéki rurális erdő-dominálta térségek.

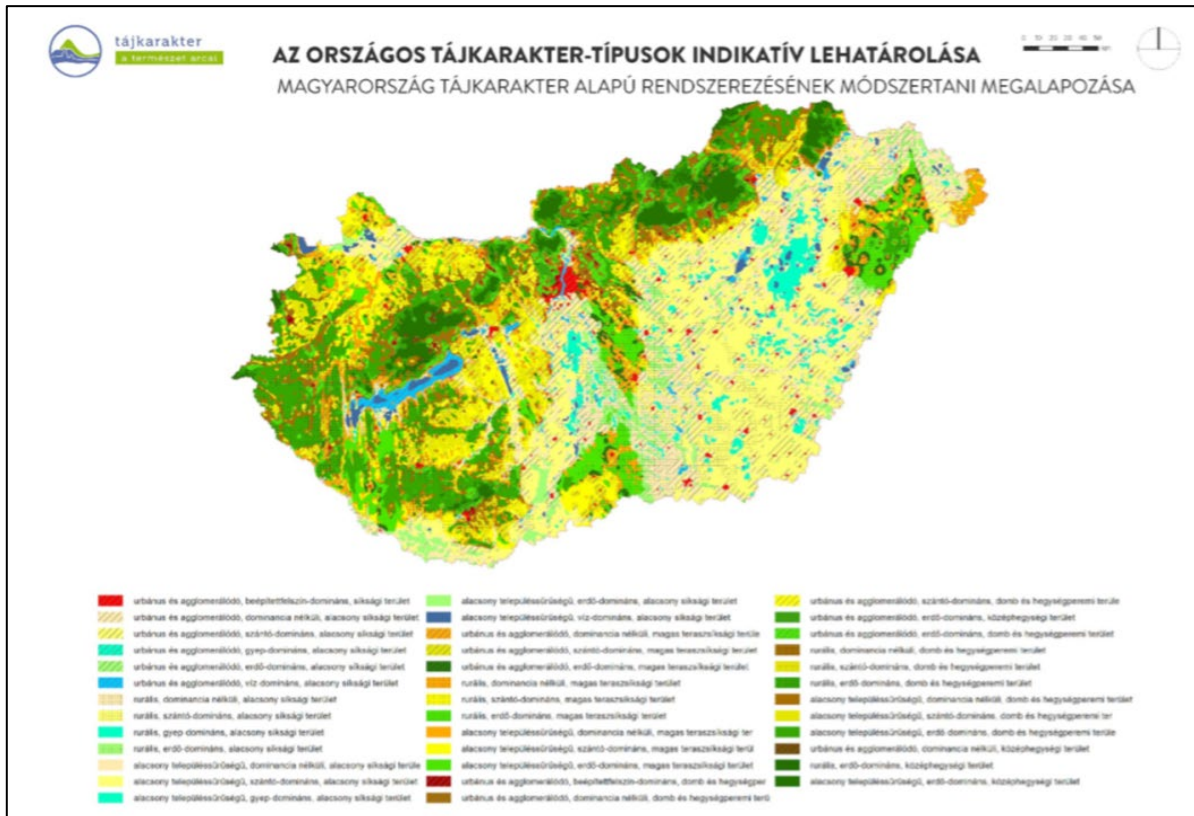
A **táji (Shannon) diverzitás** index értékei a homogéntől az erősen diverz tájhasználatig terjednek (45.a ábra). Ez közvetett módon (a dominancián keresztül) az országos tájkarakter típusok térképén is szerepelt. Az itt alkalmazott 5 kategória azonban jobban hangsúlyozza a táji különbségeket. Jól láthatók az összefüggő hegyvidéki erdős területek, az alföldi szántók, a nagy vízfelületek és a nagy városok (kis változékonyság), illetve a Duna-Tisza közti, vagy a Nyírségi diverz területek közötti különbségek. A diverzitás okairól azonban nem tájékozhat.

A táj, s benne a mikroklímikus hatások értékelésének következő eleme a **szegélyhatás** (45.b ábra). Szerepelnek alacsony, közepes és magas szegélyszűrűségű területek, amelyek különböző zártságú vegetációs típusokat választanak el. Ez együtt kezeli a nyitottság/zártság és a vizuálisan releváns szegélyek hatását. Mikrometeorológiai vizsgálatoknál a szegély-index és a turbulencia erőssége, a szélárnyékolás, illetve a besugárzási viszonyok közötti különbségre (albedó) kaphatunk kvantitatív információt. Természetesen az általunk javasolt index nem ad teljes képet a szegélyek fontosságáról (pl. szegélyhossz). Ezt a jóléti dimenzióknál lehet pontosabban számításba venni. Itt számszerűsíthető pl. az erdősávok erdőszélek hatása a párolgás és a szélsébség csökkenésére a szegélytől vett távolság függvényében. Ennek ismeretében becsülhető a mezőgazdasági termelésben várható hozamnövekedés is (Alemu 2016). Megjegyezzük, hogy ilyen irányú módszerfejlesztésről és térképi megvalósításról már megkezdtük az egyeztetést 2019 decemberében a Lechner Tudásközpont munkatársaival. Nézzünk néhány alkalmazási példát!

- **A táji (Shannon) diverzitás index és a percepcionális jellegindikátor összevetésekor** jól látható, hogy a nagy felszínborítottság-változékonysággal rendelkező területek sokszor magas szegélyszűrűséggel rendelkeznek (nagy szegélyszűrűségű zárt területek a Duna-Tisza köze déli részén). Kijönnek a városi területek határai, illetve kirajzolódik a vizes élőhelyek szegélyhatása. (A szegélyhatás NÖSZTÉP projekten belüli értelmezése miatt itt is fontos a tájkarakter jellemzőivel foglalkozó szakértőkkel történő további együttműködés.)

- A **tájszerkezet** határozza meg a meteorológiai állapotjelzők átlagainak lokális változását. Ugyanaz a szélsőbesség csökkenés - a 10 m-es referencia szinten mért értékhez képest - előállhat egy nagyobb érdességű homogén felszín, vagy egy mozaikos tájszerkezet esetén, ahol a domináns felszín érdessége kisebb (pl. átalakított szántó-domináns terület vagy erdő).

Elkészült további két indikátor térkép is: a **potenciális párologtatóképesség** (f-paraméter) és a **lokális klíma index** (ahol a -5 kedvezőtlen, míg a +5 kedvező ökoszisztémát jelöl a mikroklíma szempontjából) (46.a és 46.b ábra). Az indexek térképezéséhez felhasználtuk a NÖSZTÉP alaptérkép élőhely-kategóriát. Az értékeket a 7.5 Melléklet tartalmazza. A térképek alkalmasak kvalitatív elemzésekre.

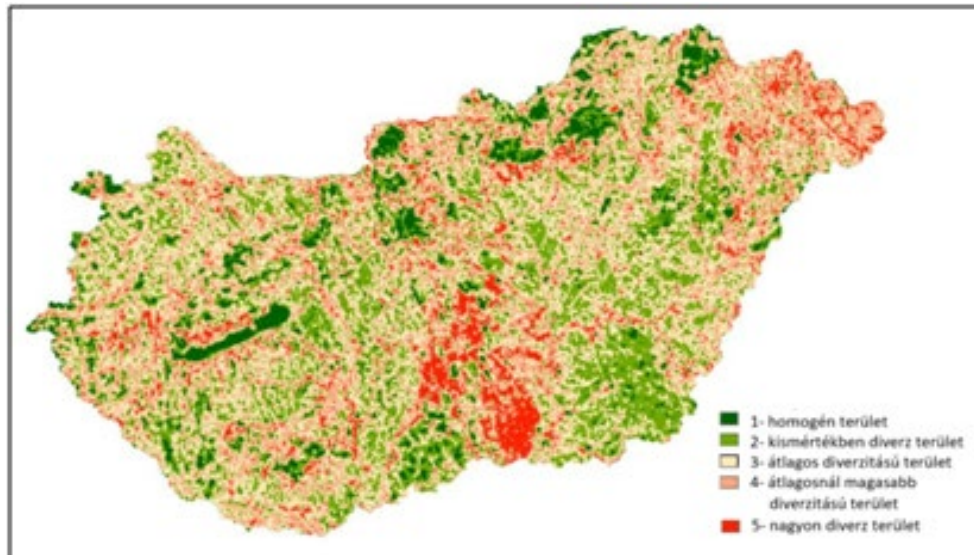


44. ábra Országos tájkarakter típusok (Konkoly-Gyuró 2019).

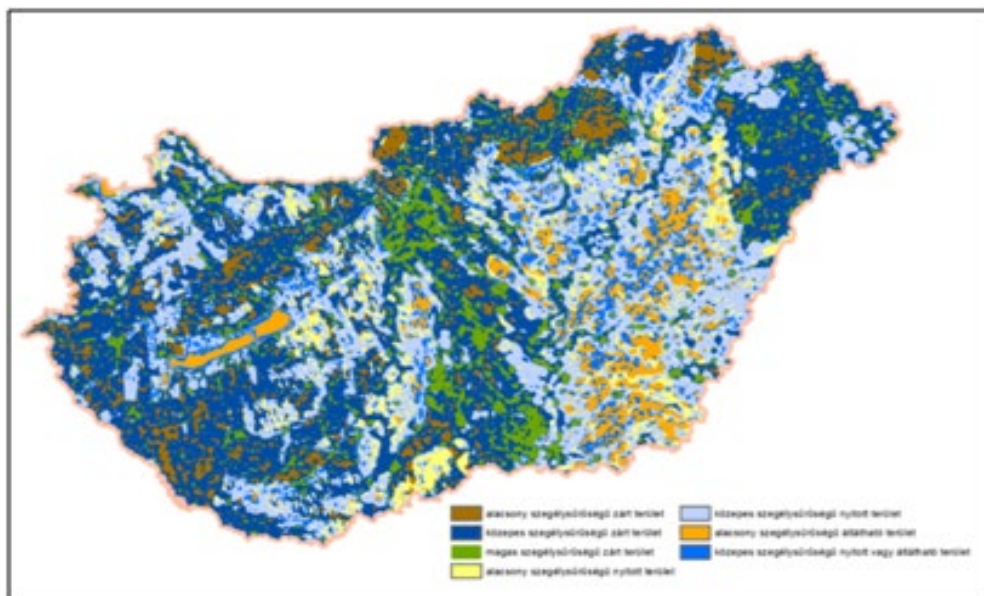
Várakozásainknak megfelelően a legkisebb potenciális párologtató képességek (f-paraméter) és a legalacsonyabb lokális klíma index értékeket a városi területek kapták. A belterületek alacsony értékekkel szerepelnek a mikroklíma index térképen, s párologtató képességük is 1-nél kisebb. A települési területek határai egyben a természetes ökoszisztémák sérülékenységét jelezhetik. A pozitív értékszámot az 1 feletti potenciális párologtató képességű területek (erdők, mocsarak, vízfelületek) kapták. Ezt látjuk a Tiszahát példáján, amit az 1 körüli f-index értékek és pozitív lokális klíma indexek jelölnek. Megjelennek a gyepek pozitív lokális klíma index értékekkel, illetve a hegy- és a dombvidéki erdők magasabb értékei, ahol a lokális klíma index 4 és 5 körül mozog. Kirajzolódik a Duna-Tisza közti és a Bereg-vidéki erdőfoltok kedvező hatása is (az átlagosnál nagyobb párologtató képesség, és pozitív lokális klíma index). Egy összefüggő erdős terület nyáron hűt, télen temperál, optimalizálva az élőhelyet. Mindkét térképen jól láthatók a folyók (vízfelületek, ártéri erdők). Megjelennek nagy tavaink, illetve a

Hortobágy és a Duna-Tisza-köze legelői. Látszanak a hegyvidéki erdős területek (kedvező lokális klíma index). Kirajzolódik továbbá, hogy egy mozaikos, vizes-erdős tájon kedvezőbb a mikroklíma (kiegyenlítettebb, hűvösebb a mikroklíma, mint pl. egy nagytáblás szántón). Egy szabdaltsok elemből álló táj szélárnyékoló hatása, ökológiai sokfélesége jelenthet előnyt.

a)

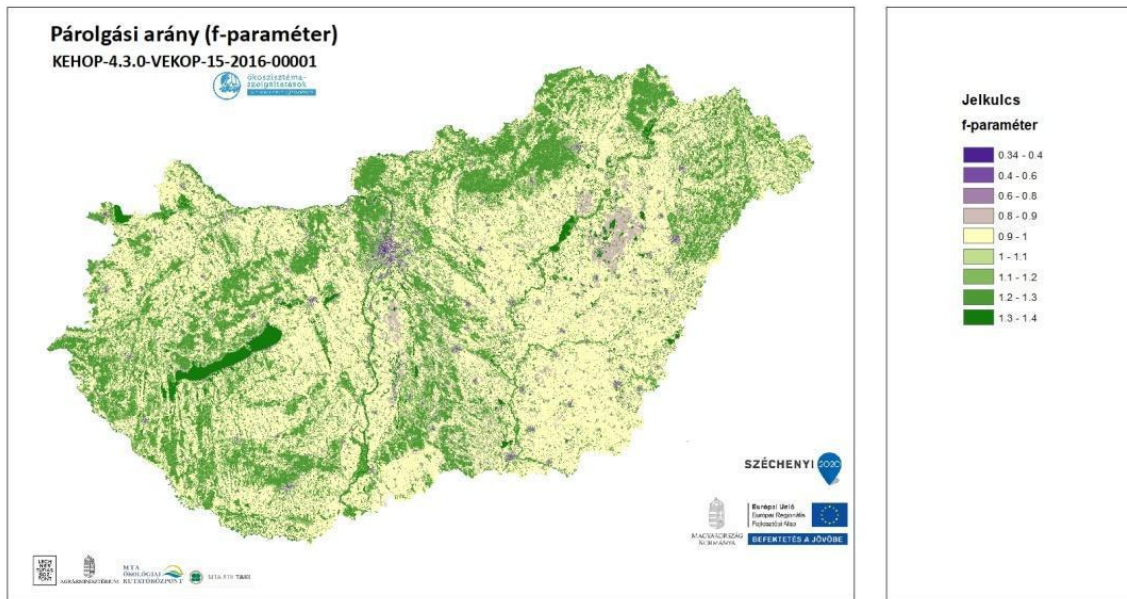


b)

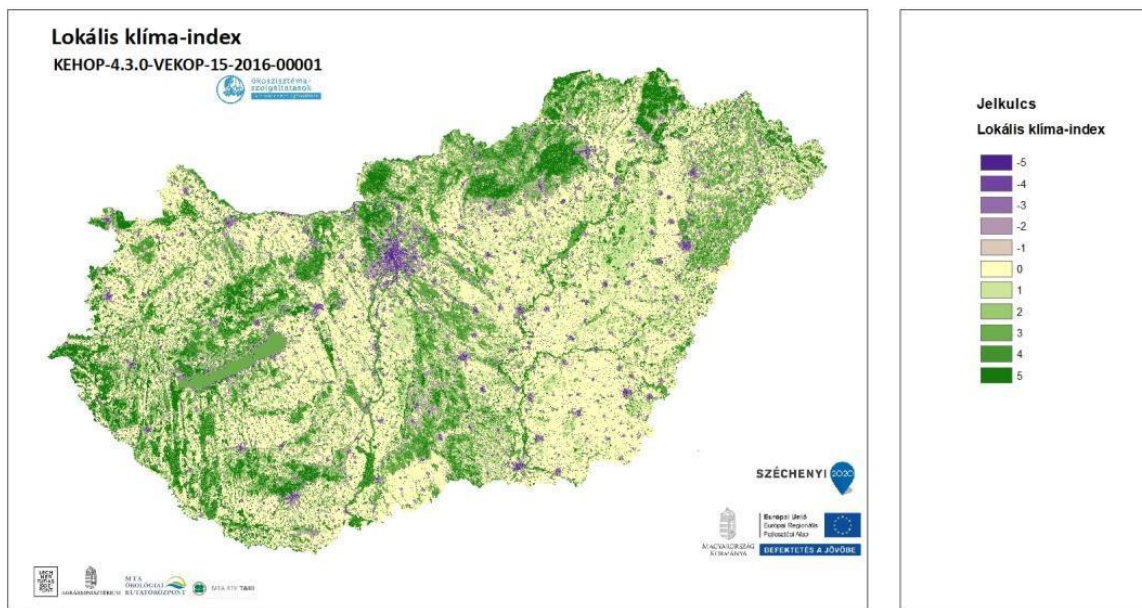


45. ábra Mikroklíma állapot indikátorok. Táji (Shannon) diverzitás index (a), percepcionális jellegindikátor (b) (Konkoly-Gyuró 2019). Folytatás a következő oldalon.

a)



b)



46. ábra Mikroklíma állapot indikátorok. Potenciális párolgotatóképesség (f-paraméter) (a), és lokális klíma index (b). A lokális klíma index esetében: a -5 (kedvezőtlen), míg a +5 (kedvező) mikroklímát jelöl. (Mindkét térkép a Lechner Tudásközpontban készült.)

A bemutatott térképek alkalmasak további kvalitatív elemzésekre is, amennyiben értékszámokat rendelünk a térképi adatokhoz pl. az adott ökoszisztéma (erdő) hőmérséklet és szélesség csökkentő, illetve relatív nedvesség növelő hatása a szegélytől való távolság függvényében, vagy a víztestek módosító hatásának számszerűsítése. Erre vonatkozó külföldi vizsgálatok, értékszámok vannak, de ez a hazai gyakorlatba – tapasztaltok és elegendő mérés és modellezés híján – még nem alkalmazható.

További cél lehet pl. kimutatni, hogy az ökoszisztémák milyen hőmérsékletekkel bírnak. Pl.: a mozaikos tájszerkezet, a víztestek hogyan temperálják a mikroklímát a sötét, homogén felszínekkel ellentétben (learatott szántók talajfelszíne, utak). Meg lehet mutatni a természetes élőhelyek és a mesterséges felszínek „hűtő/melegítő” hatását a potenciális párolgás, illetve az ebből számítható tényleges evapotranszpiráció (egyszerűbb szóhasználattal a párolgás) alapján, vagy az albedók összevetésével (besugárzási különbségek). Megjegyezzük azonban, hogy mindezek valamely élőlénycsoport (pl. növények, állatok, ember) vagy funkció (pl. növényi produkció, turizmus) szempontjából értelmezhetőek, ezért objektív mikroklíma jellemzés nem tehető. Hasonló, célzott éghajlati sérülékenységi vizsgálatokat azonban már végeztek (lásd Somodi et al. 2016). Ez azonban meghaladja a NÖSZTÉP program célkitűzéseit.

4.4.2.2 Potenciális ÖSz

- Mik az adott indikátorok?

Három indikátor bevezetésével írjuk le a potenciális mikroklíma szolgáltatást. Elemezzük ezek éghajlati átlagait az 1981-2010-es 30 éves időszakra és a 2015-ös referencia évre. Hat térképet állítottunk elő együttműködve a Lechner Tudásközpont munkatársaival. Nézzük az alkalmazott indikátorokat!

- A **potenciális párolgás (PET)**, a jó vízellátottságú alacsony vegetációra (fűfelszín) jellemző (Anon 1956), ami a felszíni sugárzásmérleggel van kapcsolatban. A PET jól jellemzi a légkör „**vízszívó**” hatását. **Minél nagyobb a hőmérséklet, annál nagyobb a PET. Ez növeli pl. az aszálykockázatot az alföldi területeken. A nagyobb, illetve időben növekvő értékek nagyobb kockázatot jelentenek.**
- A **potenciális vízhiány** a csapadék (P) és a potenciális párolgás különbsége ($P - PET$), ahol a csapadékon keresztül megjelenik a leegyszerűsített **víz mérleg** is. **A potenciális vízhiány pozitív értékei a kedvezők, negatív értékei kedvezőtlenek.** (Minél nagyobb, annál jobb.)
- A potenciális tájléptékű ökoszisztéma-szolgáltatás harmadik indikátora a **Feddema-féle éghajlatosztályozás, ami figyelembe veszi a csapadék és a potenciális párolgás révén a felszíni energiamérleget (hőellátottság)**, a potenciális vízhiány révén a vízellátottságot, valamint a hőmérséklet évi menete alapján a szezonalitást. (Ács et al. 2015, Ács 2017). Ez utóbbi változó beépítésével nyújt többet, mint a Péczely-féle tipizálás.

Elkészítettük az 1981-2010 év, illetve a 2015-ös év csapadéktérképeit is (P). Először ezeket fogjuk elemezni, hogy jobban megértsük a kiválasztott indikátorok viselkedését. Természetesen, ha ismerjük a potenciális párolgás (PET) és a potenciális vízhiány ($PET - P$) térképeit közvetett módon ismerjük a csapadékeloszlást is.

- Miért az adott indikátorokat választottuk? Milyen külföldi és hazai példák vannak az indikátorok ökoszisztéma-szolgáltatás alapú értékelésére?

Három egymáshoz szorosan kapcsolódó, egymást kiegészítő és magyarázó indikátort választottunk a hazai és a nemzetközi meteorológiai-agrometeorológiai szakirodalom alapján. Ezek az indikátorok szerepelnek a különböző agroklimatológiai vizsgálatokban, a termőhelyek jellemzésében, regionális éghajlati vizsgálatokban.

A **potenciális párolgás (PET)** egy ideális alacsony vegetációjú állomány párolgatóképességét jellemzi, ami mögött a sugárzási mérleg, illetve a párolgás (latens

hőszállítás) egyszerű becslése áll. Másképpen fogalmazva a potenciális párolgás a vízhiány által nem korlátozott párolgást, pontosabban a felszínre érkező energia által a levegőbe juttatott vízgőz mennyiséget jelenti. Az elérhető párologtatóképességet, mint mikroklíma-szabályozó képességet jellemzi. A nemzetközileg elfogadott, s hazánkban is alkalmazott Thornthwaite-módszerrel dolgoztunk, ami nem igényel nagy adatmennyiséget (havi átlaghőmérséklet, földrajzi koordináták). Havi és évi PET értékeket számítottunk (7.6. Melléklet).

A potenciális vízhiány (P - PET) a csapadék és a párologtatóképesség közötti különbségen keresztül az adott termőhelyet jellemzi. Az aszályhajlam változására utal. A különböző növényekre jellemző ún. növény-konstansok alapján a potenciális párolgásból – egy talajmodell alkalmazásával - a reális párolgásra (ET) következtethetünk, a potenciális vízhiányból pedig áttérhetünk az effektív csapadéokra (P - ET), ami már a 3. szint feladata lesz.

A potenciális párolgás és a csapadék havi és évi adatainak ismeretében, energetikai és vízmérleg alapon készítettük el a **Feddema-féle éghajlatosztályozási** rendszerünket. E módszertan beépült a hazai agroklimatológiai oktatásba, eredményeink megjelentek hazai és nemzetközi publikációkban.

- **Milyen adatbázisból, hogyan számoltuk ki az indikátort?**

A számításokhoz a FORESEE napi felbontású, ellenőrzött rácsponti adatbázist használtuk a Kárpát-medencére.

a) Elsőként nézzük a **potenciális párolgás (PET)** meghatározását!

Vizsgálatainkban a klasszikus havi PET_h adatokkal dolgozunk, ami letölthető hazánkra, illetve a tágabb Kárpát-régióra a CarpatClim adatbázisból (0,1° x 0,1° rácshálózat) 1961-2010 közötti időszakokra havi bontásban, de előállítható a FORESEE adatbázisból is. Mi ez utóbbi utat választottuk. **A PET-et másképpen a légkör párologtató képességének is nevezik, ami átszámítva maximális víz-áramsűrűségként [kg/m²/hónap = mm/hónap], kifejezi az adott terület hőellátottságát.** (A PET számítását lásd a 7.6. Mellékletben.) **Ugyanis, minél nagyobb a PET, annál nagyobb a hőellátottság. A maximális párolgás erősen függ a hőellátottságtól, s így közvetve a hőmérséklettől.** A havi potenciális párolgás (PET_h) tipikus értékei Magyarországon 0-150 mm/hónap közöttiek. Télen közel nulla, egy aszályos nyári hónapban meghaladhatja a 150 mm-t is. A PET sokéves átlag értékei 550-750 mm/év között változnak (Ács et al 2015, Ács 2017, Lakatos et al. 2020).

b) A potenciális vízhiány (P - PET) egyszerűen számítható, hiszen adott a napi csapadék idősora a FORESEE adatbázisban, amiből kiszámítottuk a havi és az évi csapadék összeg idősort.

c) Nézzük a harmadik indikátort a fizikai elvek alapján felépített regionális **Feddema-féle éghajlatosztályozást!** Ez négy hatás figyelembevételével írja le az éghajlatot:

- a hőellátottság alapján felállított **hőmérsékleti kategóriák** a PET éves értékein keresztül,
- a potenciális vízhiány az **éves vízellátottság** alapján,
- a **szezonális** a hőmérséklet és a csapadék évi menete alapján,
- a **szezonális mértéke** az éven belüli hőmérséklet- és csapadékváltozás dinamikája alapján.

A Feddema-féle éghajlat-osztályozásra vonatkozó számítások és kategória-határok a 7.7 Mellékletben találhatóak.

- **Hogyan térképezhetőek az indikátorok?**

Az indikátorok a FORESEE adatbázisból számíthatók. A rácsfelbontás ~18 km-es. A jobb áttekinthetőség miatt Kárpát-medencei kitekintéssel végeztük a feldolgozásokat.

- **Melyek az indikátorok korlátai?**

A **PET számításában** az egyszerűbb havi adatok alkalmazása mellett (Thornthwaite-alapú módszerek) a Penman-Monteith egyenlet megoldásán alapuló FAO-56 módszertan terjedt el (Allen et al. 1998), ami napi adatokra is alkalmazható (Lakatos et al., 2018, 2020). A különböző bonyolultságú számítási módszerek hasonló eredményeket adnak havi skálán (Vincente-Serrano et al. 1998). Az egyes számítási eljárások közötti eltérés évi átlagban nem haladja meg a 10-20%-ot.

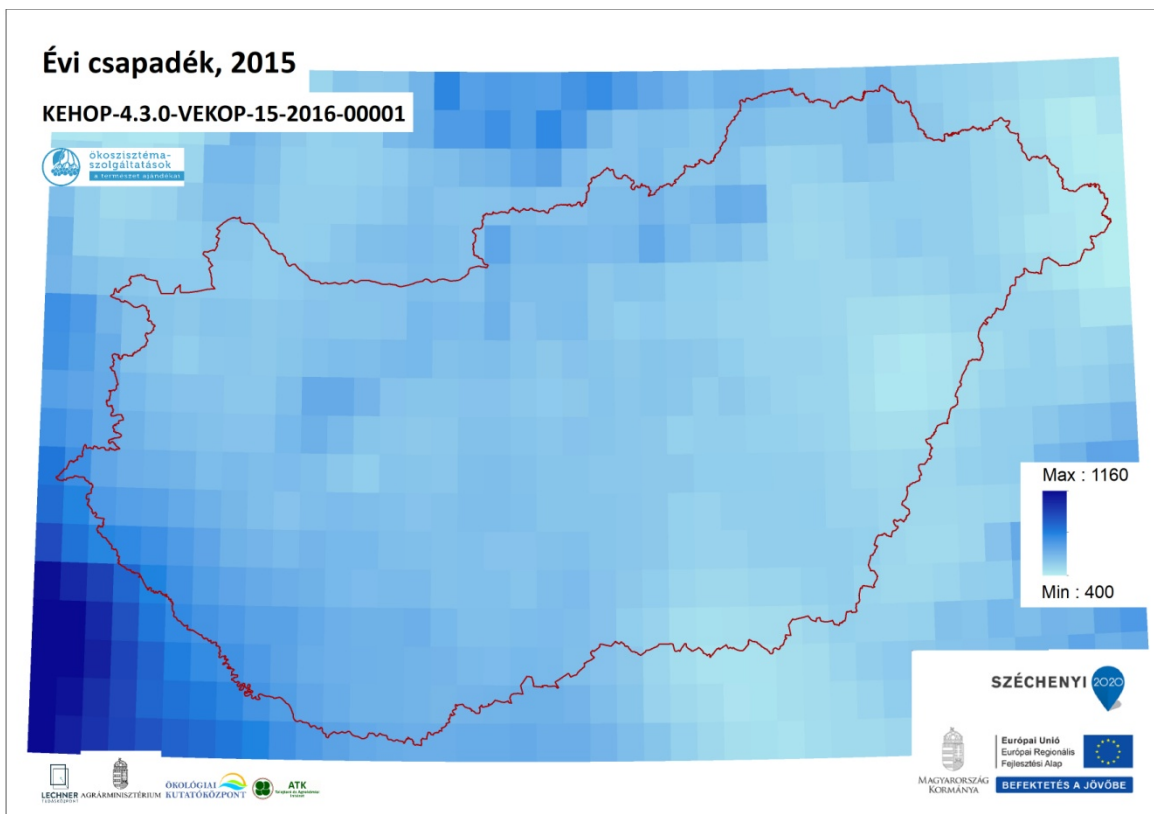
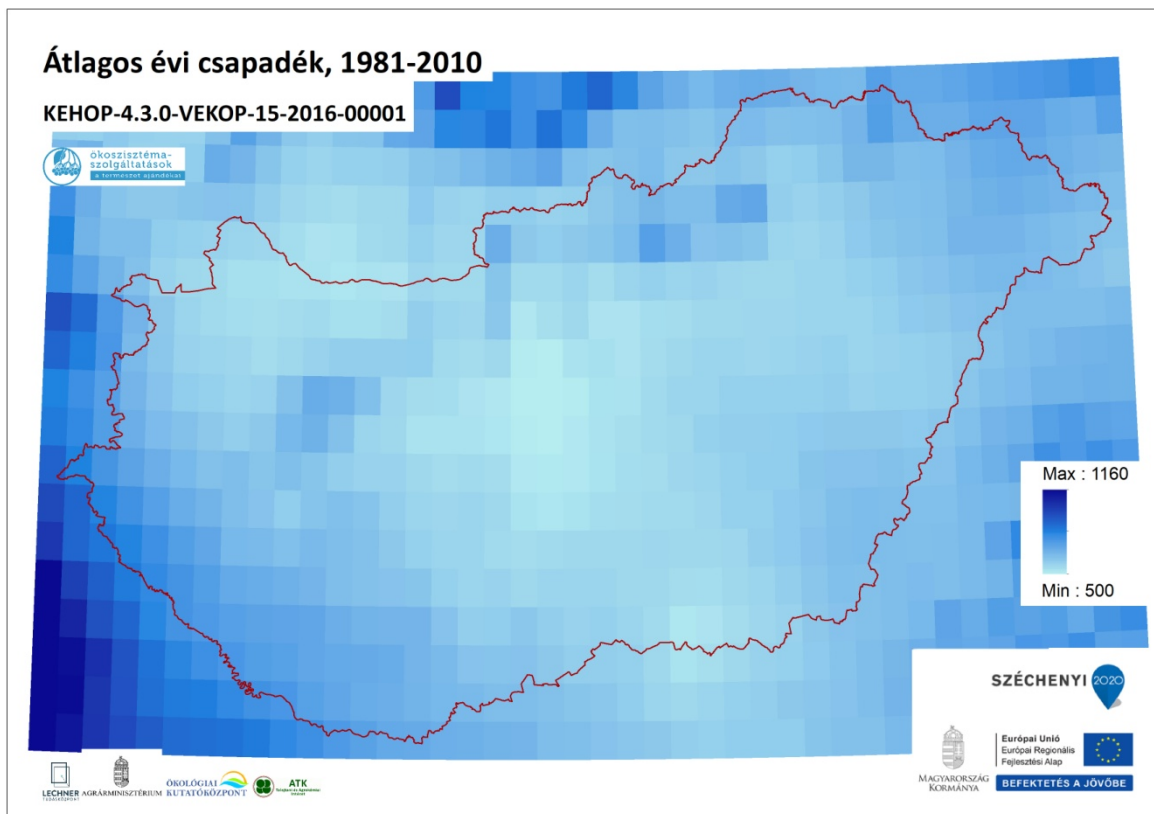
Ahogy korábban már említettük a PET egy univerzális mutató. Egy adott vegetációra (pl. erdő) jellemző potenciális párolgás viszont már függ a felszínborítás-típusoktól, a felszín kitétségétől, s a talajféleségtől is. Ha ezeket a függéseket számításba akarjuk venni, a léghőmérséklet (T) mellett más adatok is szükségesek. Ezzel helyspecifikussá tehetjük a változónkat, viszont elvesztjük univerzális jellegüket.

- **Az elkészült térképek értékelése**

Mielőtt részletesen elemeznénk az indikátor térképeket, emlékeztetünk, hogy ma Európában olyan éghajlati viszonyok között élünk, amelynek fő jellemzője, hogy több mint 1 °C-kal magasabb az átlaghőmérséklet, mint szüleink, nagyszüleink idejében volt. A XXI. századra előrejelzett változások elején vagyunk, vagyis egyre melegebbé, szélsőségesebbé válik a környezetünk. Magyarországon az átlaghőmérséklet emelkedése a XX. század elejéhez képest nagyobb a globális átlagnál, hozzávetőlegesen 1,2-1,3 °C.

A referenciának választott 2015. év az addig mért 3. legmelegebb volt hazánkban 1901 óta 17,7 °C-os nyári középhőmérsékletével. Az éves átlagos csapadékösszeg 538,9 mm volt, ami az 1981-2010-es átlag 92%-a. Hét hónapban hullott a sokévi átlagnál lényegesen kevesebb csapadék, míg 3 hónapban a sokévi átlagnál lényegesen több. A nyár aszályos volt. Több alkalommal voltak hosszabb hőségriadók (Kolláth et al. 2016).

A hat indikátor térkép részletes elemzése előtt nézzük az évi csapadék térképeket! A csapadék az egyik legváltozékonyabb meteorológiai elem. Egy adott évben lehullhat a sokévi átlag fele, de akár másfélszerese is. Így érthető, hogy az aszályhajlam éghajlatunk sajátossága, amit a növekvő hőmérséklet és az időjárási szélsőségek erősödése tovább növel. Hazánk évi átlagos csapadéka 550-650 mm. Legnagyobb értékeket az Alpokalján, illetve a magasabb hegyvidékeinken találjuk. Legkisebb értékek a Duna-Tisza közén és a Hortobágyon vannak. A Kárpátok hegykoszorúja felé haladva nő a csapadék. Jellegében és értékeiben hasonló képet mutat az 1981-2010-es 30 év és a 2015 év átlagos csapadékeloszlása (47. ábra), a 2015-ös minimumok azonban 100 mm-rel alatta vannak a 30 éves átlagnak.



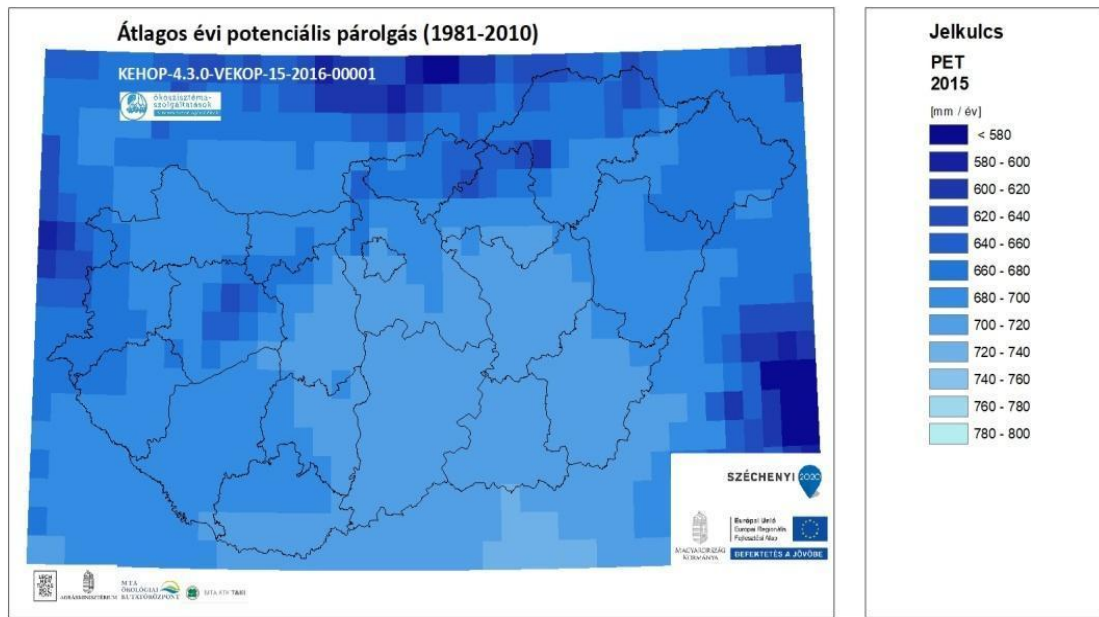
47. ábra Átlagos évi csapadék Magyarországon, Kárpát-medencei kitekintéssel 1981-2010 közötti 30 éves éghajlati normálidőszakra (a) és 2015-re (b)

a) Az indikátorok közül elsőként a **potenciális párolgási** térképeket elemezzük (48.a és b ábra). A térképen az látható, hogy ha nem lenne vízhiány, akkor átlagosan kb. 700 mm lenne az évi

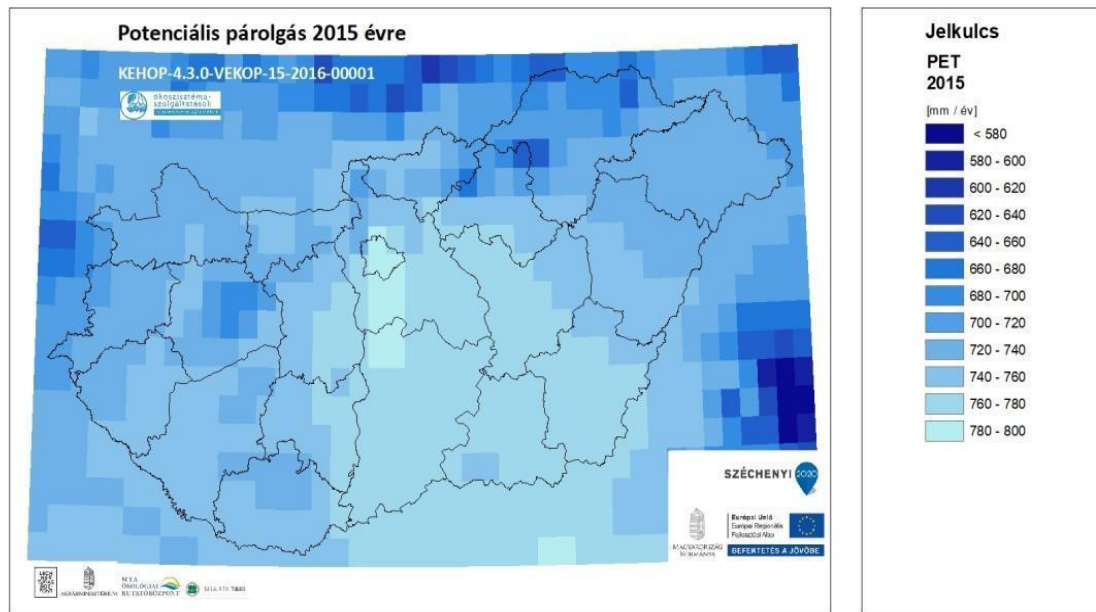
párolgás négyzetméterenként. A potenciális párolgás legnagyobb értékeit a Kárpát-medence középső részén, az ország déli és középső területein, míg a legkisebbeket a hegyvidéki területeken látjuk. A PET változása – az előállításából következően, – követi a hőmérséklet területi eloszlását. A 2015-ös év adatai a síksági területeken 40-60 mm-rel haladják meg a 30 éves átlagértékeket. A 2015-ös év tehát száraz, meleg volt, a légkör vízszívó hatása megnőtt, tehát az átlagosnál magasabb 760 mm volt az évi párolgás négyzetméterenként. Különösen szembetűnő a változás Csongrád és Békés megyében, illetve Szabolcsban (48.a és b ábra).

A magasabb hegyvidéki területeken kisebbek a változások. Ez látszik az Északi-középhegység, vagy tágabb kitekintésben Erdély hegyvidéki területein. A 2015-ös térképen már kirajzolódik egy magasabb PET kategória Budapesten és attól délre. A potenciális vízhiány 30 éves átlagai a Dráva mentén, illetve a középhegységi területeken pozitív értékűek, de nem haladják meg a 100 mm/év-et (49. ábra). Ez az itteni nagyobb évi csapadéknak és a kisebb PET értékeknek köszönhető. Kirajzolódik Budapeستől délre egy negatív anomália is, ami a PET értékeiben is megjelenik. Ez a nagyváros hatása a FORESEE adatbázisban. A 2015-ös évben a mértékadó értékek 50-100 mm-rel csökkentek a 30 éves átlaghoz képest (49. ábra).

a)

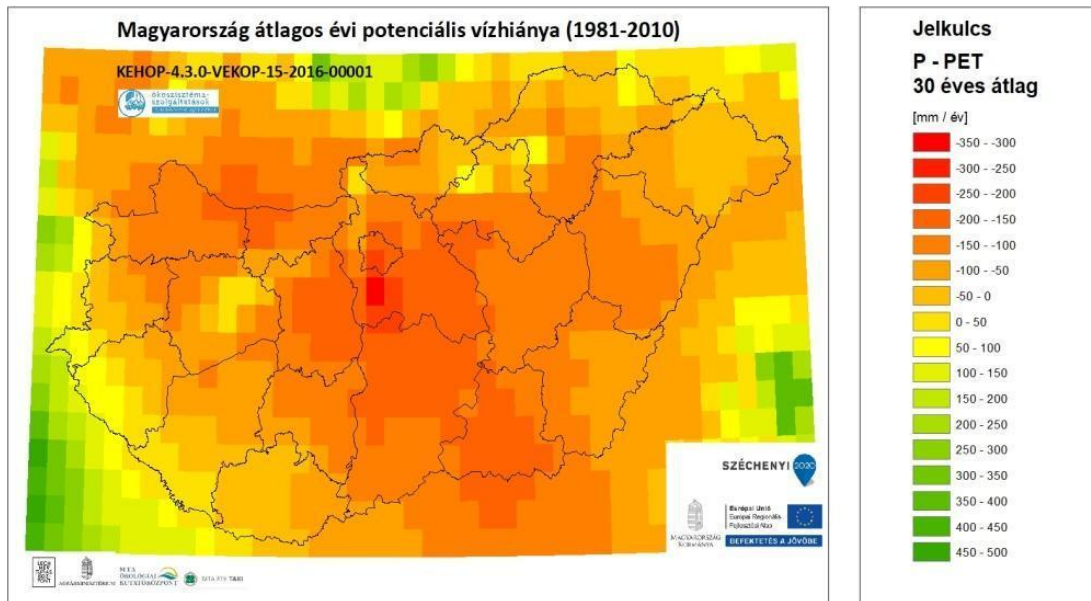


b)

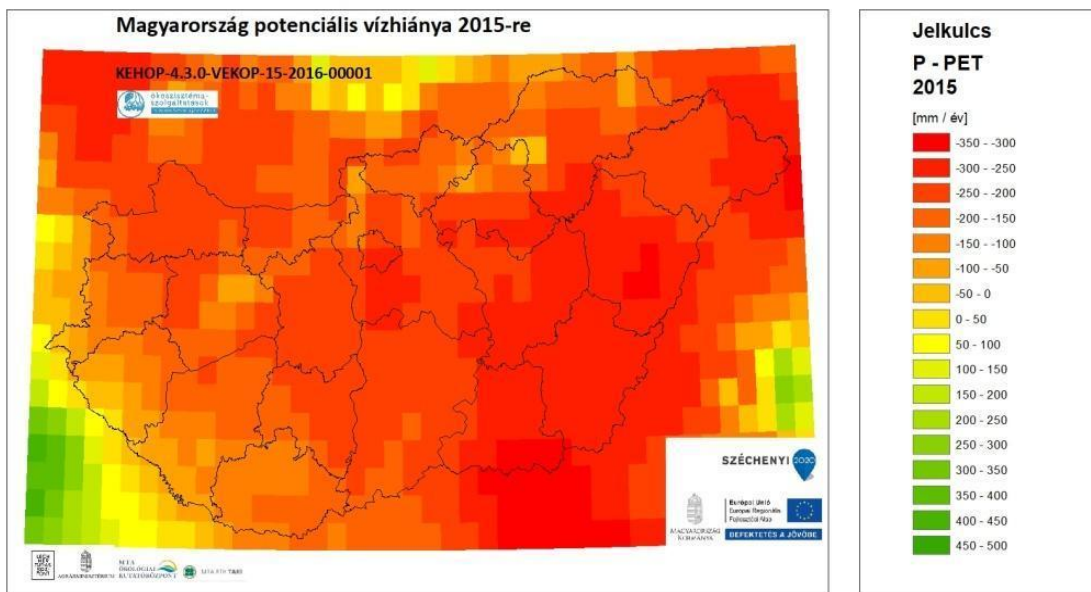


48. ábra A potenciális párolgás (PET) (McKenney and Rosenberg, 1993 alapján) 30 éves átlaga (a), illetve a 2015-ös értékei (b). A NÖSZTÉP keretében készítette a Lechner Tudásközpont a FORESEE adatbázis felhasználásával.

a)



b)

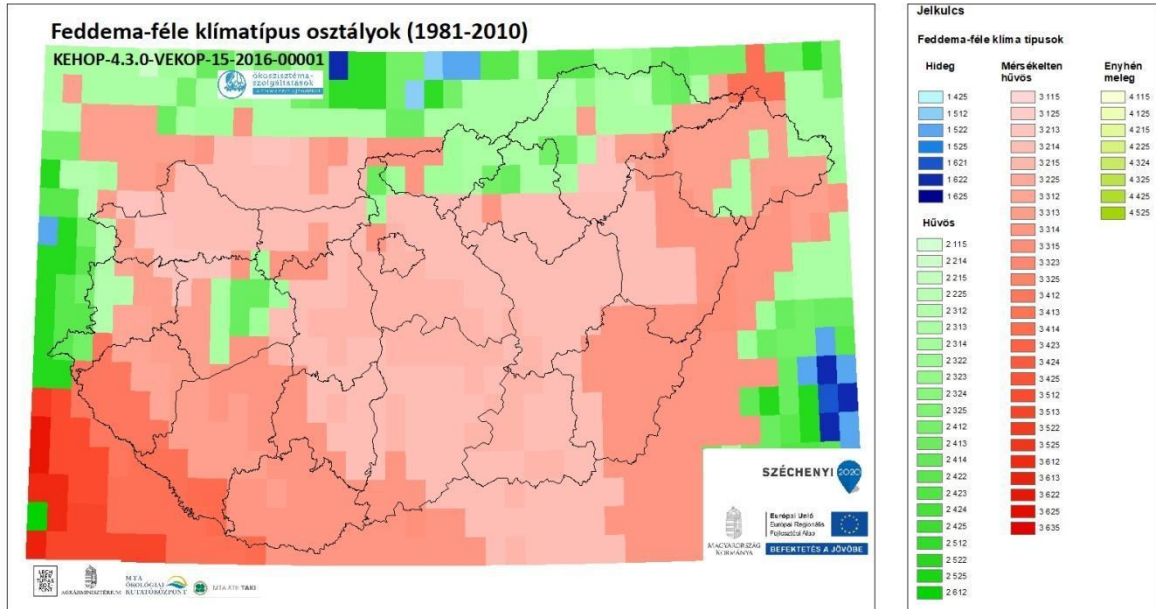


49. ábra A potenciális vízhiány 30 éves átlaga (a), illetve a 2015-ös értékei (b). A NÖSZTÉP keretében készítette a Lechner Tudásközpont a FORESEE adatbázis felhasználásával.

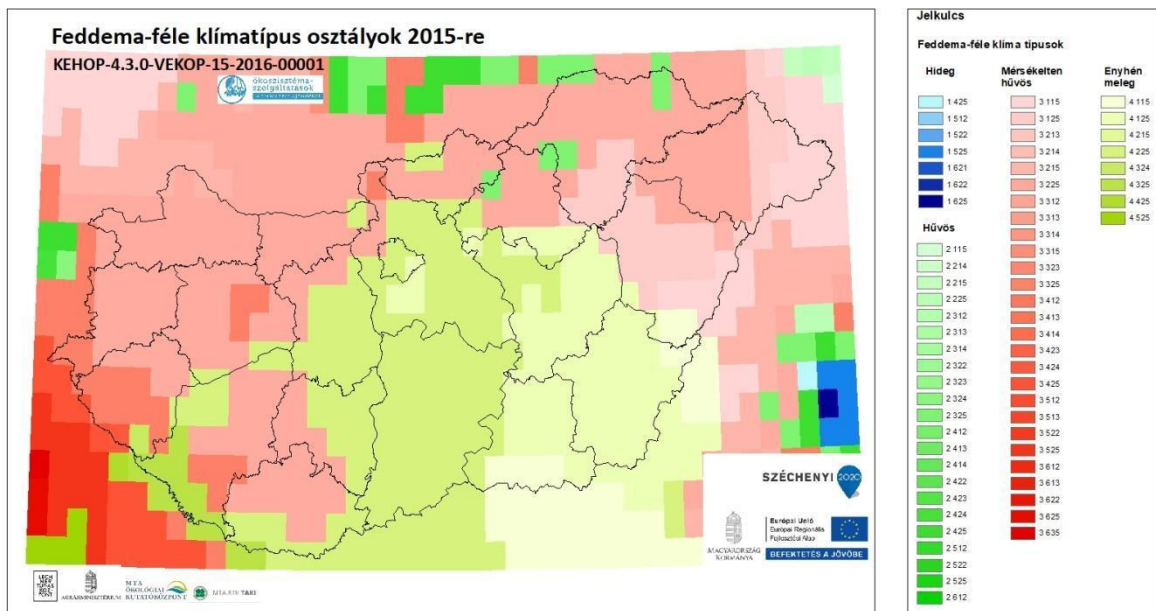
b) Nézzük a **Feddema-féle éghajlati** térképet az 1981-2010-es referencia időszakra (50. ábra)! Itt a legnagyobb területi kiterjedésű klímátípus a „mérsékelt hűvös-száraz”, valamint a „mérsékelt hűvös-mérsékelt száraz”. Ez jellemzi az ország központi alföldi részét és a Kisalföldet. Haladva dél-nyugat vagy észak-kelet irányba nő a vízellátottság, azaz „nedvesedik” a klíma. A magyar-szlovák-ukrán hármasthatárnál a legnedvesebb, hasonlóan nedves (de egy fokozattal kisebb) a Drávamenti-síkságon. Feltűnő, hogy Nyírségben vannak

beágyazott „hűvös foltok” (összesen 4 pixel) a „mérsékelt hűvös” területen. Az Erdélyrel határos területeken szintén nedvesebb a klíma, mint az Alföld belsejében! Ez a hegységkeret hatása. Itt is látható a Kárpát-medencei kitekintés fontossága.

a)



b)



50. ábra Feddema éghajlatosztályozási rendszere a FORESEE adatbázis alapján Kárpát-medencei kitekintéssel (1981-2010) (a) és a 2015-ös referencia évre (b). Az egyes éghajlati osztályok definícióját (4 számjegyű kód) lásd a 7.7. Mellékletben. A NÖSZTÉP keretében készítette a Lechner Tudásközpont.

A „mérsékelt hűvös” területek mellett vannak „hűvös” területeink is a Bakonyban, a Visegrádi-hegységben, Börzsönyben, Mátrában, Bükkben, Cserehátban és a Zempléni-hegységben. Alpokalja szintén „hűvös” klímával rendelkezik. E területek vízellátottsága lehet kisebb (világos zöld) és valamelyest nagyobb (sötét-zöld). Itt a magasabban fekvő területek kisebb hőmérséklete és nagyobb csapadék adja a magyarázatot. További jellegzetesség a többnyire extrém, extrém-közeli vagy nagyon nagy hőmérsékleti ingás (szezonális).

Vizsgáljuk az átlagnál melegebb és szárazabb 2015-ös évet (50. ábra)! A legnagyobb csapadék-mennyiségeket (700 mm felett) a középhegységekben, illetve a Dráva vidékén és Somogyban mérték. Ez tükröződik a térképen is:

- Csak a Bükkben, a Mátrában és a Zempléni-hegységben voltak „hűvös” foltok.
- Az Északi-középhegység és a Dunántúli-középhegység klímája „mérsékelt-hűvös”, 30 éves átlagban viszont inkább „hűvös” volt.
- Drávamente déli részein a klíma „enyhén meleg-mérsékelt nyirkos”, északabbi részein „mérsékelt hűvös-mérsékelt nyirkos”. (Drávamente is melegedett a 30 éves átlaghoz képest 2015-ben!)
- Dél-Alföld (Csongrád és Békés megye) klímája „enyhén meleg-száraz”, azaz a régió melegedett és szárazodott is a 30 éves átlaghoz képest.
- A hőmérsékleti-ingás Feddema kategorizálása szerint extrém illetve extrém-közeli mind az Alföldön, mind a Kisalföldön.

A bemutatott 3 x 2 térkép együttesen jól szemlélteti a területi különbségeket, a potenciális párolgás és a potenciális vízhiány változásait, a melegedő és változékonyabbá váló környezetet, az adott terület módosuló éghajlati besorolását. Fontos a változások nagyobb térségbe történő beágyazása, a Kárpát-medencei kitekintés.

4.4.2.3 Tényleges ŐSz, felhasználás

A mikroklíma szolgáltatás tényleges felhasználását a felszíni energia- és vízháztartáson keresztül mutatjuk be.

- Mik az adott indikátorok?

A két indikátor:

- **a párolgás**, vagy tényleges párolgás (ET), **amiben közvetett módon szerepel a rendelkezésre álló energia és a vízellátottság**. Megfelelő vízellátás esetén a tényleges párolgás megegyezik adott felszínborítottságra jellemző maximális párolgással. A tényleges párolgás (ET) – ami a szárazföldön a csupasz talaj párolgása és a növényi párolgás összege – a hidrológiai ciklus egyik legfontosabb eleme. Az ET egyaránt függ a légkör, a talaj és a növényzet tényezőitől, ezért területi változatossága igen nagy. **A nagyobb, illetve a növekvő tényleges párolgás kedvező, hiszen azt jelenti, van elég víz.** Ugyanakkor meg kell vizsgálni, hogy az adott helyen az ottani tényleges párolgás milyen ökoszisztémák számára optimális.
- **az effektív csapadék (P - ET)**, ami a csapadék és a párolgás különbsége. **Minél nagyobb az effektív csapadék annál kedvezőbb a mikroklíma.**

Ez az egyszerű állítás nem alkalmazható a sűrűn beépített városi területekre az ottani kis párologtatóképesség miatt. Víztestek felett a PET 1,2-1,4 szerese a tényleges párologás. Ez a nagy érték nem vehető össze más területekkel. Természetesen itt is igaz, hogy a nagyobb effektív csapadék nagyobb vízutánpótlást jelent. Egy tó esetén nem merül fel ilyenkor a kiszáradás veszélye, mint pl. a Duna-Tisza köze szikes tavainál (lásd a Kolon tó példáját).

A **párologást** két, egymásra épülő módszerrel, határozzuk meg a havi potenciális párologás (*PET*) ismeretében (lásd a 2. Potenciális ÖSz számítási módszerét, 7.6 Melléklet). A lefolyást mindkét esetben egydimenziós csöbör-moddal számoljuk (Ács et al. 2011). 1 m-es talajréteget vizsgálunk, s a talaj víztartalmának változását modellezzük. Az évi párologás és az effektív csapadék az adott terület, s benne az adott ökoszisztéma vízellátottságáról tájékoztat. Figyelembe veszi a talaj víztároló képességét valamint az adott ökoszisztéma párologtatóképességét is. Az 1981-2010-es referencia időszak az átlagos viszonyokról, míg a 2015-ös év az ettől való eltérésekről tájékoztat. Választ kapunk arra a kérdésre is, hogy az adott ökoszisztémának mennyire kedvez a talaj és az éghajlat, s milyen hatással van rá az évek közötti változékonyság, illetve az éghajlat változása.

A havi (*i*) párologás (ET_i) számításánál figyelembe vesszük a vizsgált hónapban hullott csapadékot (P_i), az 1 m-es talajréteg (csöbör) kezdeti (hónap elejei) θ_{i-1} vízkészletét és a rendelkezésre álló vízkészletet ($P_i + \theta_{i-1}$). A számításánál felhasználjuk a talaj hidraulikus jellemzőit: a hervadásponthoz (θ_w) tartozó vízkészletét [mm/m] és a szabadföldi vízkapacitás (θ_f) vízkészletét [mm/m], vagy egyszerűbben [mm], hiszen mindenütt 1 m-es talajrétegről van szó. A hervadásponthoz tartozó vízkészleténél kevesebb nem lehet a talajban (nem tudja a növény „kiszívni”, illetve a csupasz talaj elpárologtatni. A szabadföldi vízkapacitás (θ_f) vízkészleténél pedig nem lehet több víz a talajban. A felesleg lefolyik.

Az **alap párologászámítási módszernél**, ha van elegendő víz a talajban ($\theta = \theta_f$), akkor a párologás potenciális ($ET_i = PET_i$). Ha nincs elég víz a talajban, akkor a párologás a talaj aktuális víztartalma ($P_i + \theta_{i-1}$) és a hervadásponthoz (θ_w) tartozó vízkészlete [mm/m] közötti érték lesz. Ekkor a párologás a

$$ET_i = \beta_{i-1} * PET_i$$

alakban számítjuk, ahol β_{i-1} az előző hónap végére számított vízellátottságot jellemző együttható, 0 és 1 közötti és a relatív talajvízkészlet lineáris függvénye (A részletes módszertant lásd a 7.8 Mellékletben!)

Így tehát a **párologásnál csak a talaj jellemzőit vesszük figyelembe**. Természetesen a talaj milyensége közvetett módon meghatározza a felette kialakuló természetes növénytakarót. Külön foglalkozunk a vízfelszín párologásával, ami a PET értékének 1,2-1,4-szerese.

A **második párologászámító módszernél** figyelembe vesszük a **talaj jellemzőit** és a **felszínborítottságot** is. Ha van elegendő víz a talajban, akkor a párologás számításánál a potenciális párologást (PET_i) a felszínborítottságra jellemző számértékkel szorozzuk meg. Ez lehet az optimális párologtatóképességet kifejező *f*-paraméter (7.5 Melléklet), ez esetben

$$ET_{max,i} = f * PET_i,$$

vagy az év adott szakaszához (hónapjához tartozó), a felszínborítottságtól függő ún. növény-konstans (K_{Ci}). Ekkor

$$ET_{max,i} = K_{Ci} * PET_i.$$

Az, hogy a két lehetőség közül melyik kerül felhasználásra, a tesztfuttatások döntenek majd el. (Kérdés, hogy mennyivel ad többet a bonyolultabb növény-konstans parametrizáció?). Ha nincs elég víz a talajban, akkor a párolgás – ahogy korábban is – a talaj aktuális víztartalma ($P_i + \theta_{i-1}$) és a hervadáspont (θ_w) vízkészlete [mm/m] közötti értéktől függ; kisebb lesz a maximális párolgásnál. A talaj jellemzői mellett a felszínborítottságot (a vegetációs típusokat, 7.5 Melléklet) is figyelembe vesszük. Itt is külön foglalkozunk a vízfelszín párolgásával, ami középárányosan a PET értékének 1,3-szerese. A növény-konstansok vegetációs időszak szerinti értékeit a 7.5 Mellékletben közöljük.

Előzetes eredmények szerint nincs lényeges különbség a kétféle módszerrel (f-index, növény-konstansok) kapott eredmények között. **A párolgás modellezésében a csapadék mellett a talaj fizikai jellemzői a meghatározók, a vegetáció (felszínborítottság) másodlagos.**

A két meghatározó indikátor mellett – a jobb érthetőség miatt – bemutatjuk a talajvízkészlet abszolút (mm/m) és relatív (0-100% közötti) értékeit is. Lásd a 7.9 Mellékletet.

A tényleges felhasználás alternatív indikátorai

Az ŐSz felhasználás keretében – igény szerint – megadható a **globálsugárzás**, az albedó ismeretében térképezhető a **rövidhullámú sugárzási mérleg**. Tervezhető a sugárzásegyenleg meghatározása is egyszerű napi, illetve havi bázisú parametrizációs eljárásokkal, pl. a FAO-56 (Allen et al. 1998) módszertan alapján. Ehhez a CarpatClim adatbázisban minden szükséges adat rendelkezésre áll (Lakatos et al. 2020). A 2015-ös referencia év adatsora azonban még nem érhető el. Megjegyezzük, hogy a FORESEE adatbázis nem alkalmas a FAO-56 módszertan alkalmazására, mert ez nem tartalmaz minden információt (pl. szélsőbességet).

A CECILIA éghajlati projekt (www.cecilia-eu.org/) keretében 131 extrém **éghajlati indexből** álló listát állítottak össze. A 131 indexből 75 hőmérséklettel, 56 pedig a csapadékkal kapcsolatos. A WMO-CCI/CLIVAR által meghatározott éghajlati index-ek (Easterling et al. 2003) is könnyen elérhetők az Internet-en, pl. az Európai Klímaértékelési Program és Adatbázis oldalán (www.ecad.eu), de megtaláljuk a legfontosabb indexeket a CarpatClim adatbázisban is leírásokkal, térképező szolgáltatásokkal együtt. Ezek a **hőmérséklet, csapadék, sugárzás és aszály-indexek** a feladat jellegétől függően kerülhetnek megadásra (részletes elemzésükkel itt nem foglalkozunk).

A tényleges felhasználás további indikátorai lehetnek az **élőhelyek évi átlagos felszíni hőmérséklete** (°C), a **hőségnapok** száma (CarpatClim adatbázisból, vagy az EUMETSAT műholdas produktumai, pl. a Landsat 8, termális sávok alapján) vagy pl. az **aszályos időszak gyakorisága**. Itt többek között a Pálfai-index, a Standardizált csapadék index, vagy a Palmer-féle szárazság index jöhet számításba. Tényleges felhasználás lehet továbbá az indexek **klímaváltozásból eredő megváltozása**, ami terület és ökoszisztéma függő, vagy az adott ökoszisztéma éghajlati hatásokkal szembeni **érzékenysége, alkalmazkodóképessége**. Ezt Somodi et al. (2016) vizsgálta és különböző növénytakaságokra dolgozott ki indikátorokat. (A módszertan adott, a feltett kérdéstől függ az indikátor-választás.)

- **Hogyan állítjuk elő az indikátort (adatbázis, bemeneti adatok, módszertan)?**

a) Talaj hidrológiai jellemzőin alapuló számítási módszertan

A számításoknál a módosított Thornthwaite-féle módszert alkalmazzuk (Ács and Breuer 2013). Ennek lényege röviden a következő: a tényleges (aktuális) **evapotranszspiráció ET** a **talaj vízellátottságát jellemző β -együttható és a potenciális evapotranszspiráció (PET) szorzata**. *Szemléletesen: ha csökken a talaj víztartalma, azt a növényzet nehezebben tudja felvenni. Ezt adja meg a β -együttható. A számítás menetét a 7.8. Melléklet tartalmazza.*

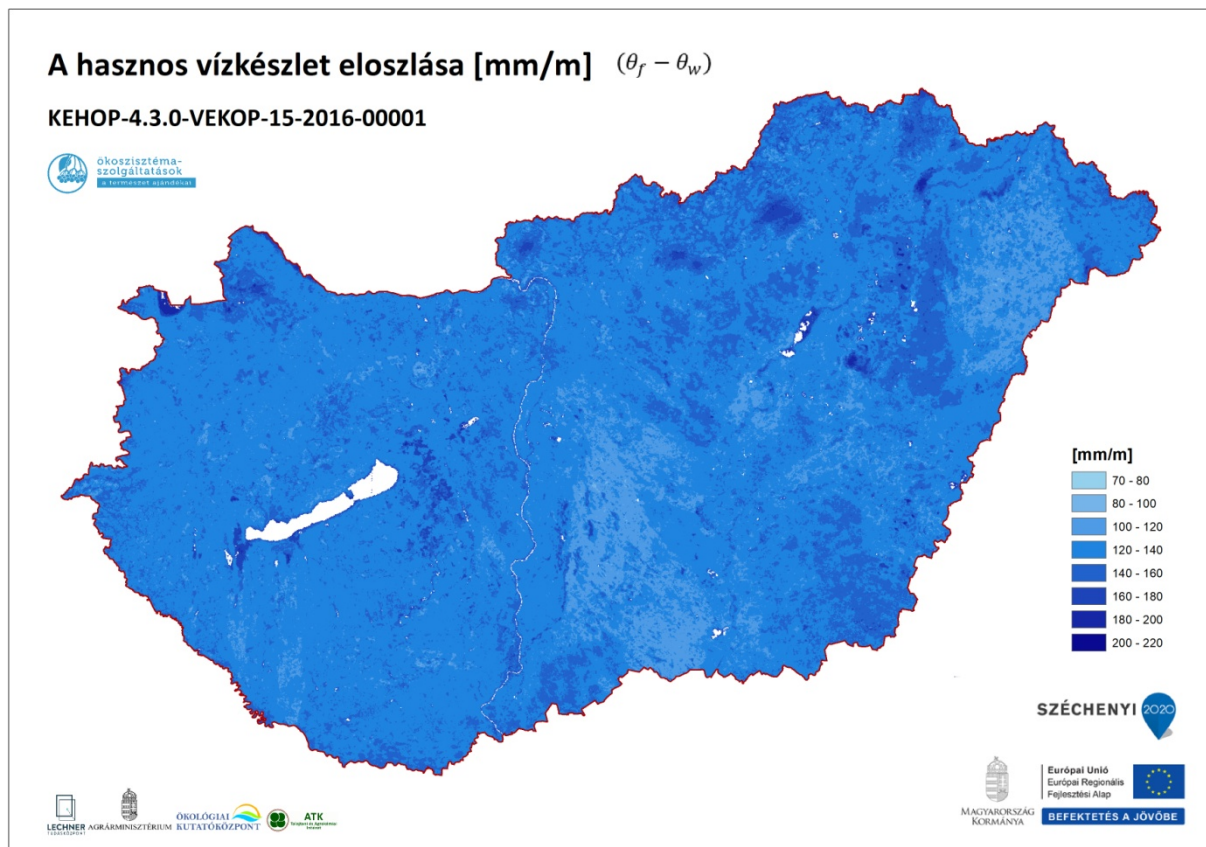
A havi csapadék és a potenciális párolgás értékei a FORESEE adatbázisból megadhatók. Rendelkezésre állnak a talajadatok a TAKI munkatársainak jóvoltából 200 m-es felbontásban. (A számítások elkészültek.)

Az evapotranszspiráció (ET) folyamata mind az ökoszisztéma hőellátottságával, mind az ökoszisztéma vízellátottságával meghatározott (ha van elegendő víz a talajban a párolgáshoz?!). Abban az esetben, amikor az adott hónap, vagy az adott év csapadéka meghaladja az időszakra jellemző potenciális párolgást ($P_h \geq PET_h$ vagy $P_{év} \geq PET_{év}$) a párolgás (ET) értelemszerűen megegyezik a potenciális párolgással (PET). Abban az esetben, ha az adott hónapban a kiszámított talajvízkészlet érték meghaladja a szabadföldi vízkapacitást, az e feletti érték lesz a lefolyás.

Az ET értékei természetesen hasonlóak a PET értékeihez. Megjegyezzük, hogy ET – a növényállomány, illetve a talajborítottság (pl. vízfelszín) esetén nagyobb lehet, mint a potenciális evapotranszspiráció. Ahogy már említettük: vízfelszínnek esetén ez az arányszám 1,2-1,4, de erdők esetén is meghaladja az 1-et. (Lásd a 7.5. Melléklet táblázatait!)

Ne feledjük el, hogy vízfelszínnek felett (tavak folyók) korlátlan a vízutánpótlás! Itt leegyszerűsödik a számítás, hiszen a párolgás megegyezik a potenciális párolgás megfelelő konstanssal történő szorzásával.

Nézzük a hasznos vízkészlet hazai eloszlását (51. ábra)! Az értékek 70 mm/m és 220 mm/m között változnak. Elkülönülnek a Duna-Tisza köze és a Nyírség alacsony hasznos vízkészlettel rendelkező homokos területei, illetve a nagy értékekkel bíró agyagos területek. Jól látható a talajok mozaikos szerkezete (pl. Északi-középhegység, vagy a Sárrét). A vizenyős területek nagy értékei is kirajzolódnak pl. a Kis-Balaton, a Hanság, vagy a Fertő térsége. Jól látszik Hajdu-Bihar megye változatos talajszerkezete is.



51. ábra A hasznos vízkészlet (szabadföldi vízkapacitás (θ_f) és a hervadásponthoz (θ_w) különbsége) a felső 1 m-es talajrétegre 200 m x 200 m-es rácsfelbontásban a TAKI munkatársainak köszönhetően. A térképet a Lechner Tudásközpont készítette.

b) A növény-konstansokon alapuló párolgászámítási módszertan

A számítást az előző módszertan szerint végezzük azzal az eltéréssel, hogy a Thorntwaite-módszerrel számított havi potenciális párolgás (PET_i) helyett az adott ökoszisztémára (felszínborítottságra) jellemző értékből indulunk ki, amit az $ET_{max,i} = f * PET_i$, vagy az év adott szakaszához (hónapjához tartozó, a felszínborítottságtól függő ún. növény-konstans (K_{ci}) segítségével számolunk ki ($ET_{max,i} = K_{ci} * PET_i$). (Lásd a 7.8. Mellékletet is.).

Nistor et al. (2017) a vegetáció állapotától függő összetett, több időszakra vonatkozó) index-együttest dolgozott ki a CORINE adatbázis felszínborítottság típusaira. Itt az évi evapotranspiráció több tagból áll. Az évet négy részre osztották: a vegetációs időszak kezdeti szakaszára (március-április), közepére (május-szeptember), végére (október-november), illetve a téli időszakra (december-február). Külön-külön értékek jellemzik az egyes felszínborítottságokat az év egyes szakaszaiban, amit a 7.5. Melléklet 3. táblázata mutat.

- Hogyan térképezhetőek az indikátorok?

A térképeket a FORESEE adatbázisra támaszkodva az 1981-2010 időszakra és a 2015-ös referencia évre készítjük el. A módszertan kidolgozott. Megvan az 1 m-es talajréteg típusa (200 m-es rácsfelbontással), adottak a szükséges talajvízkészlet karakterisztikák (hervadásponthoz, szabadföldi vízkapacitás) a TAKI szakembereinek köszönhetően. Elkészítettük a növény-

konstansok vegetációs időszakonkénti értékeit. Megtörtént az egyeztetés a Lechner Tudásközpont munkatársaival.

A vállalásunk 8 térkép az 1981-2010 közötti 30 évre és a 2015-ös referencia évre. Az évi párolgás a havi potenciális párolgás a talaj hidrológiai paramétereinek, a felszínborítottság, valamint a havi csapadék adatok ismeretében, és ennek felhasználásával számított **effektív csapadék** (két indikátor, két számítási módszerrel két időszakra). Bemutatásra kerülnek a talajvízkészlet térképek (7.9. Melléklet) és a különböző módszertannal számított párolgási értékek eltérései is.

- Mit ábrázolnak a térképek?

A nagyobb, illetve a növekvő tényleges párolgás kedvező, hiszen ez azt jelenti, hogy van elég víz, amivel az ökoszisztéma gazdálkodhat, illetve ami párolgása révén hűtő hatást tud kifejteni.

A párolgás és az effektív csapadék térképei az 1D csőbőr modell alapján a felszínborítottság (párologtatóképesség) változásának elhanyagolásával (alap eset) (52. és 53. ábra), **valamint az adott ökoszisztéma párologtatóképességének** figyelembevételével (f-paraméter) készültek (54. és 55. ábra) az 1981-2010-es 30 éves éghajlati normálidőszakra és a 2015-ös referencia évre. A 2015-ös évre bemutatjuk a két különböző módszertannal (a felszínborítottság figyelembevételével és anélkül) kapott párolgási értékek különbség-térképét is (56. ábra)!

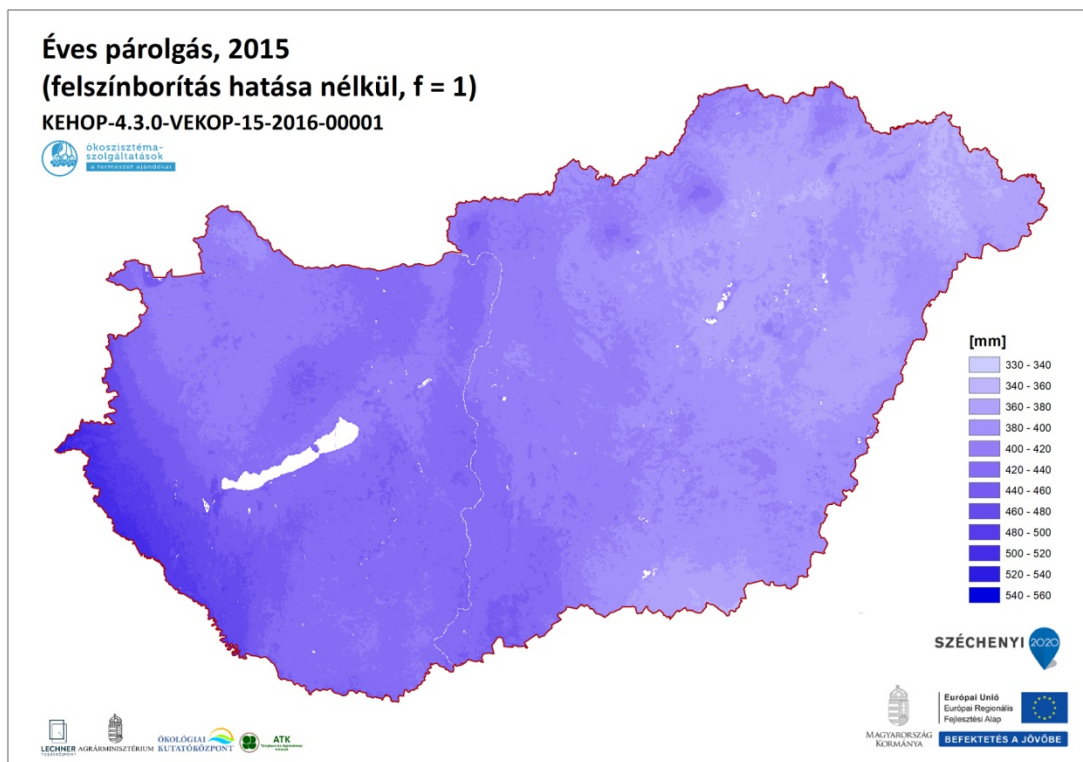
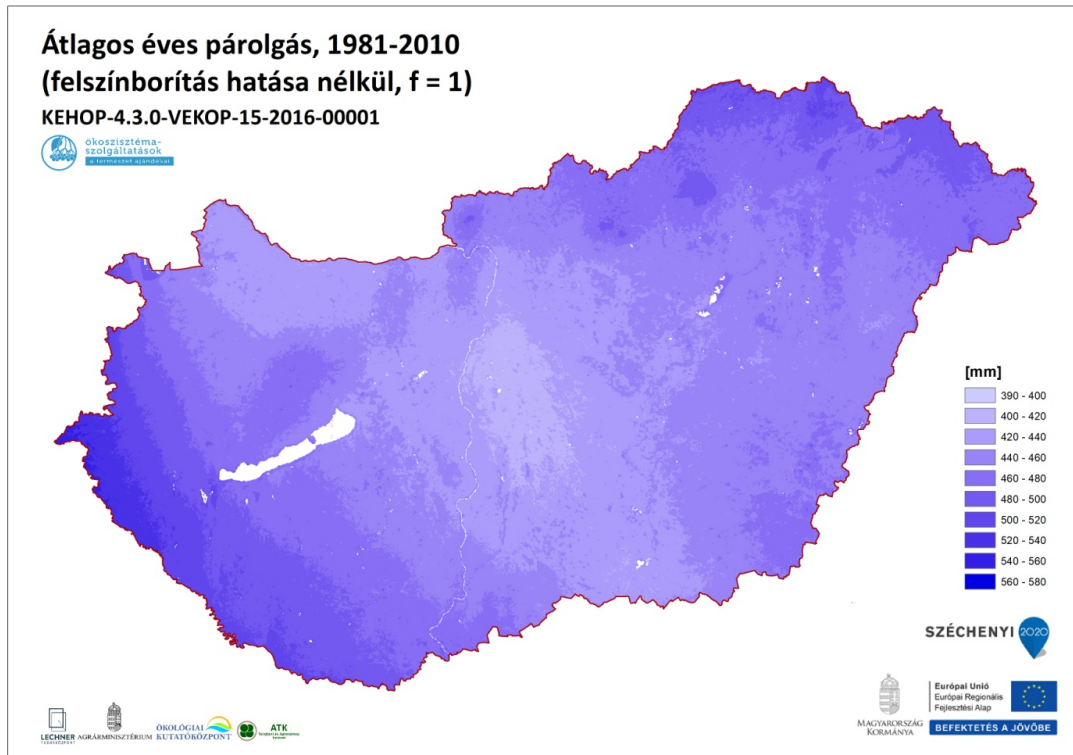
A párolgást mindenekelőtt a csapadék és a talaj hasznos vízkészlete határozza meg. Tél végére a hazai talajok telítetté válnak minden évben. A felszínborítottság árnyalja, tagolja ezt a képet a városok alacsony, az erdős területek nagyobb párolgásával, vagy a szikes területek szántóföldi kultúrákhoz képesti alacsonyabb párolgásával. (A vízfelületek párolgásával itt nem foglalkozunk. A potenciális párolgás 1.2 szeresével számolhatunk. Akár másfél-kétszerese lehet más felszínek párolgásán.)

2015-ös év csapadéka alig tér el az 1981-2015-ös év átlagától (47. ábra). Ezzel magyarázható a két időszakra vonatkozó térképek hasonlósága. Az éghajlatváltozás során a párolgás kis változásaira számíthatunk, aminek a hajtóereje a csapadék. Ettől eltér a szabad vízfelszín párolgása, ahol a növekvő hőmérséklethez tartozó nagyobb PET értékek miatt jelentősebb emelkedésre számíthatunk. (A víztestek párolgásával itt nem foglalkozunk részletesen, a térképeken sem tüntettük fel)

A „szintekbe rendezett” változók (PET, klímátípus, ET) területi eloszlásainak térbeli szerkezete/mintázata hasonló. A hasonlóság egyértelműen felderíthető haladva délnyugatról északra irányába Duna-Tisza közén át (Muraköz-Zempléni hegység közötti vonal). A térbeli szerkezetet/mintázatot négy tényező határozza meg: 1) a csapadék területi eloszlása (általános légköri körzés) és a domborzat (lásd: Bakony, Börzsöny egyfelől; Mátra, Bükk, Zempléni hegység másfelől) szinergizmusa alakítja ki, 2) a domborzat, 3) a talaj hasznos vízkészlete és 4) a felszínborítottság típusa. Az első két tényező hatása a legerősebb, az utóbbi két tényező közül a talaj hasznos vízkészlete egyértelműen erősebbnek mutatkozik, mint a felszínborítottsági típus. Az általános légköri körzés szerepe szembevetve a Dráva, Mura folyókkal határolt délnyugati

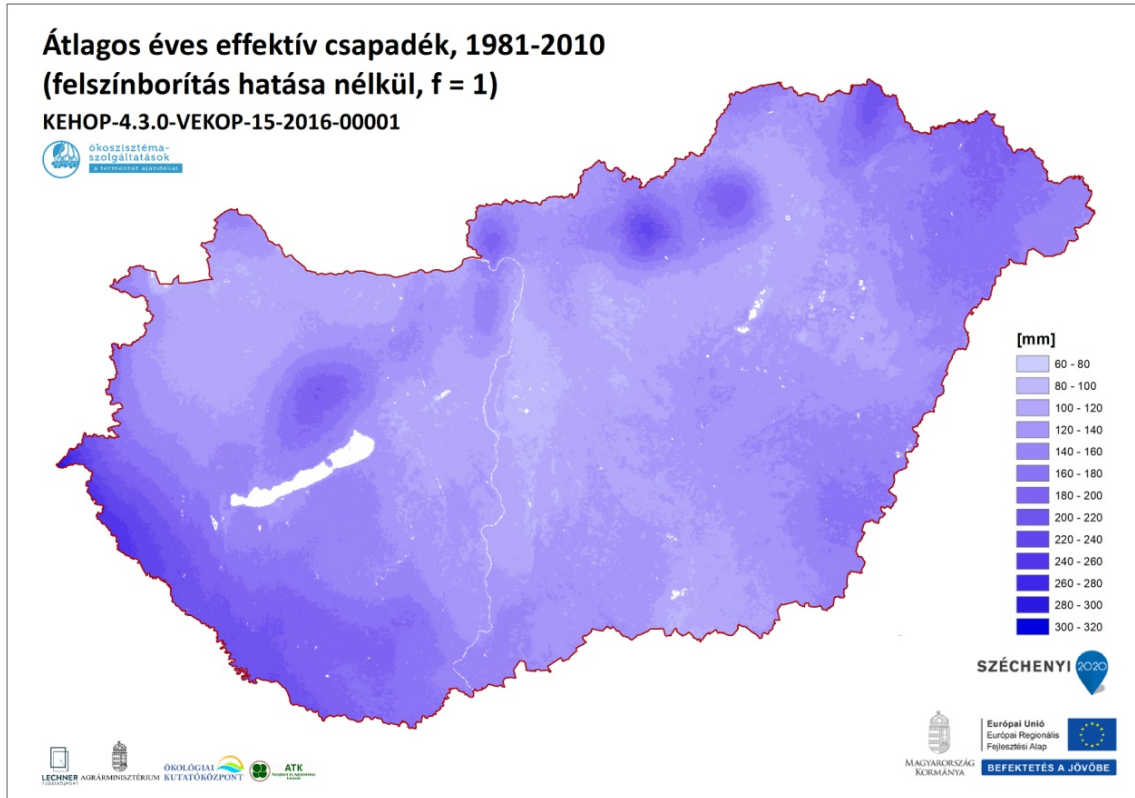
magyarországi régióban, vegyük észre, hogy e régióban a Mecsek és a Villányi-hegység lokális mikroklíma-alkító szerepe (legyen szó az ET-ről) közelről sem olyan erős, mint a Bakonyé, vagy Börzsönyé, nem beszélve a Mátra és a Bükk, vagy a Zempléni-hegység mikroklíma-alkító képességéről. A talajhatás a Duna-Tisza között a legszembetűnőbb, és nagysága felülmúlja a felszínborítottság szerepét, amely szinergizmusban érvényesül a domborzati hatással (a hegyekben erdők vannak, mezőgazdasági területek helyett). Magyarország alföldi országnak számít, ennek ellenére lokális mikroklímáinak térbeli szerkezetét a domborzat is jelentősen meghatározza.

Összeségében megállapítottuk, hogy a mikroklímát tehát 1) a kevés csapadék és a magas párolgás, tehát a jelentős vízhiány, mellett döntően 2) a domborzat határozza meg, csak azután említhetjük a 3) talajhatást, legvégül pedig a 4) vegetáció, felszínborítottsági hatást. A domborzatilag determinált mikroklímák gazdagsága az élővilág gazdagságának is forrása. E szinergizmus akár már Magyarországon is kimutatható (forrás: Humboldt konferencia az MTA-án, 2019).

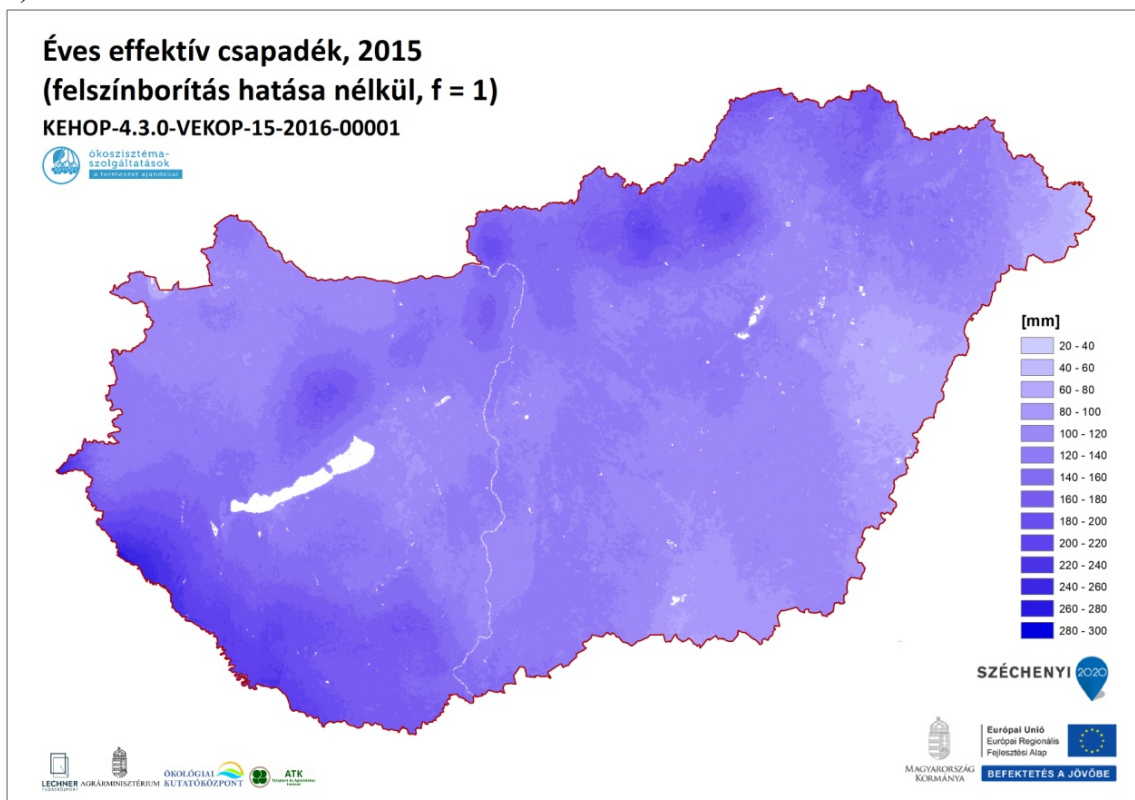


52. ábra Az éves párolgás értékei az 1D csőbor modellel végzett számításokkal a felszínborítottság hatása nélkül 1981-2010 közötti éghajlati normál időszakra (a) és a 2015-ös referencia évre (b). (Szabad vízfelületek fehér színnel.)

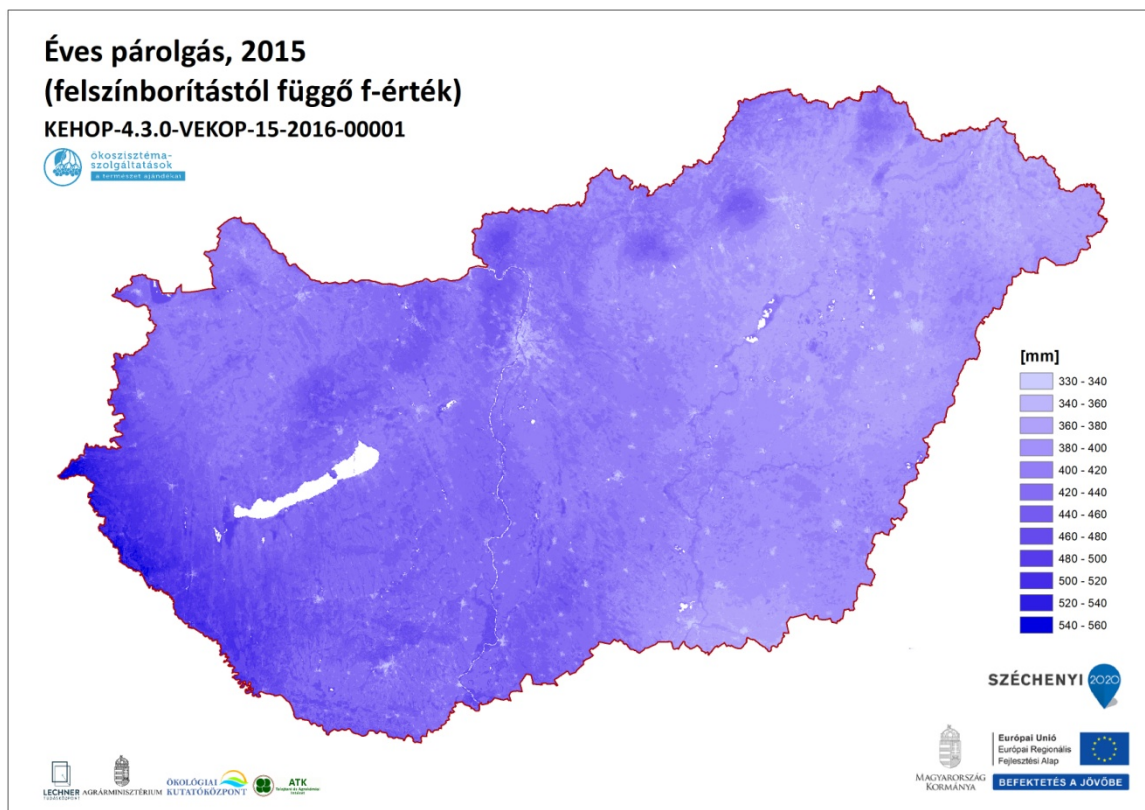
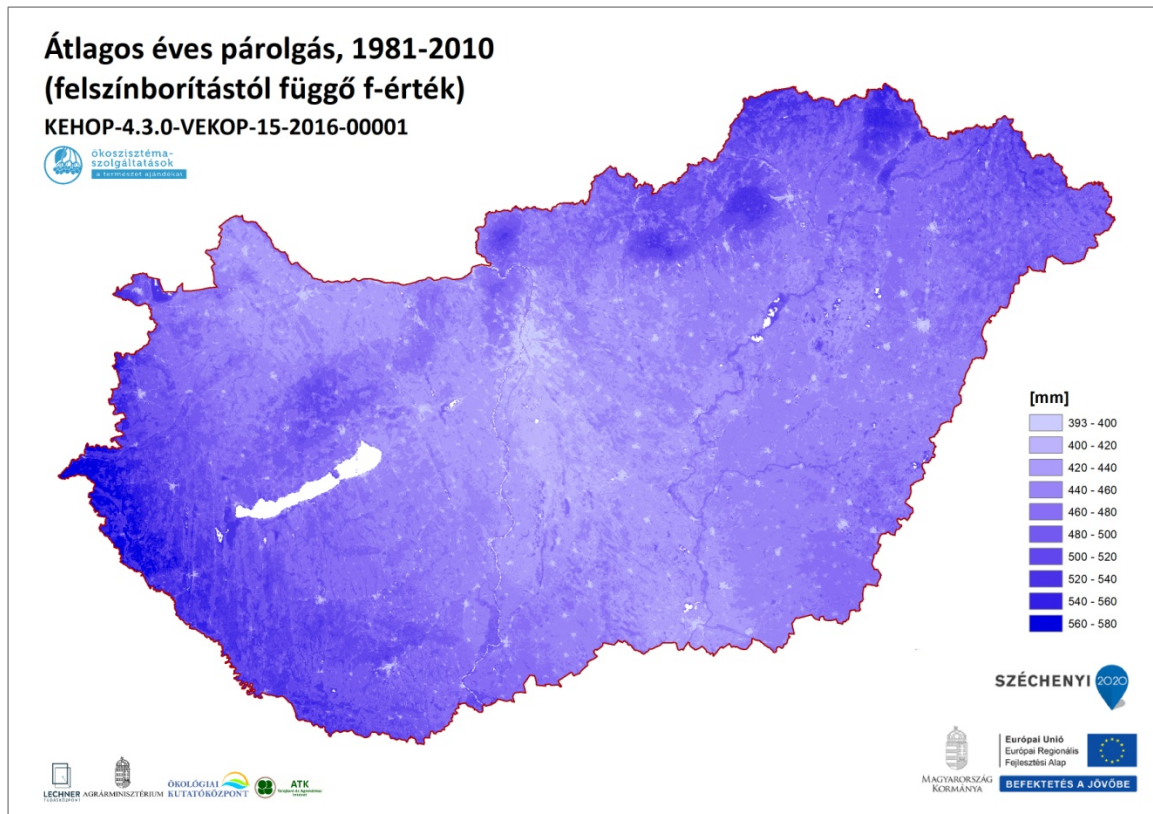
a)



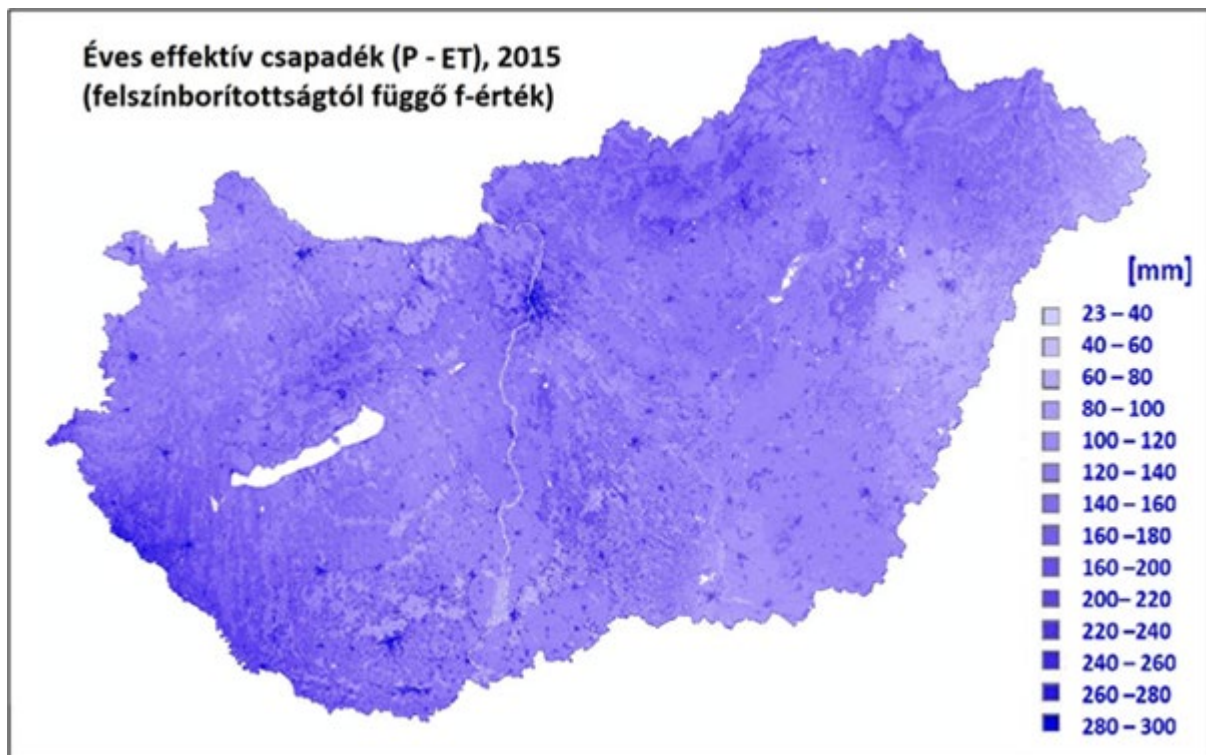
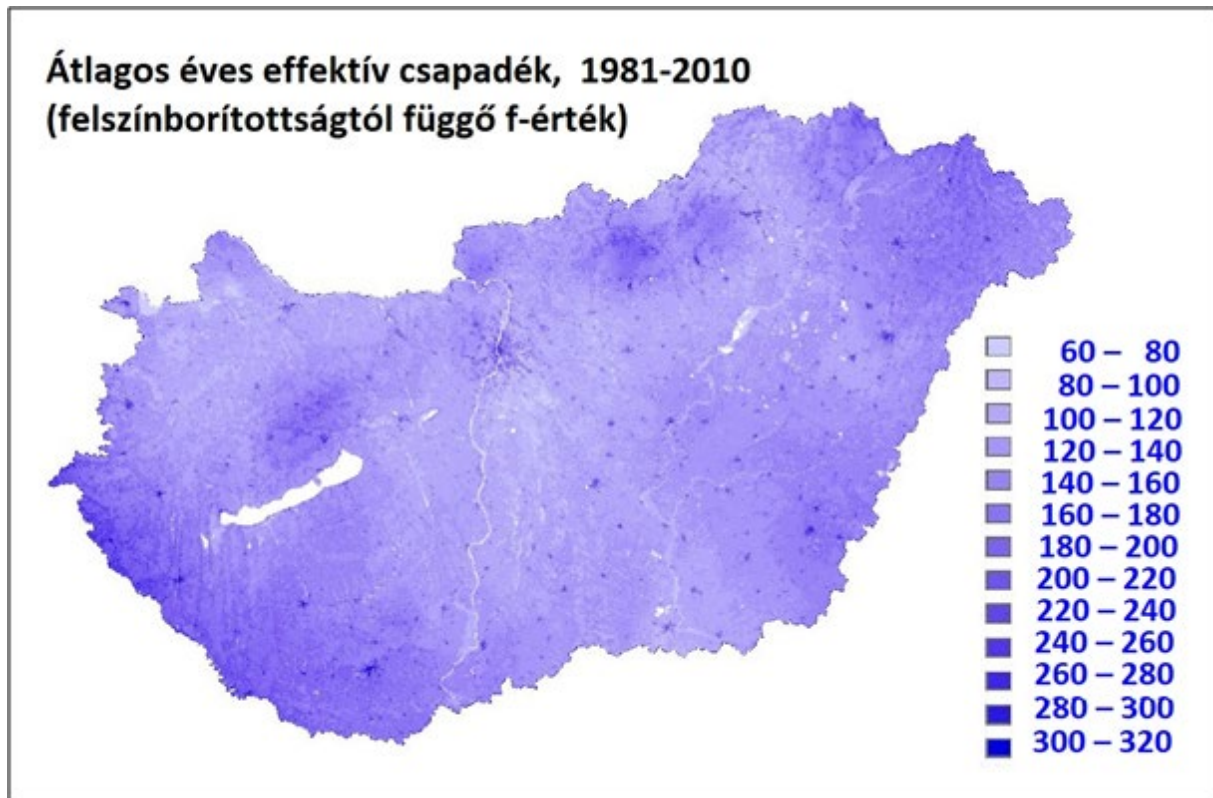
b)



53. ábra Az éves effektív csapadék értékei az 1D csőbőr modellel végzett számításokkal a felszínborítottság hatása nélkül az 1981-2010 közötti éghajlati normál időszakra (a) és a 2015-ös referencia évre (b). (Szabad vízfelületek fehér színnel.)

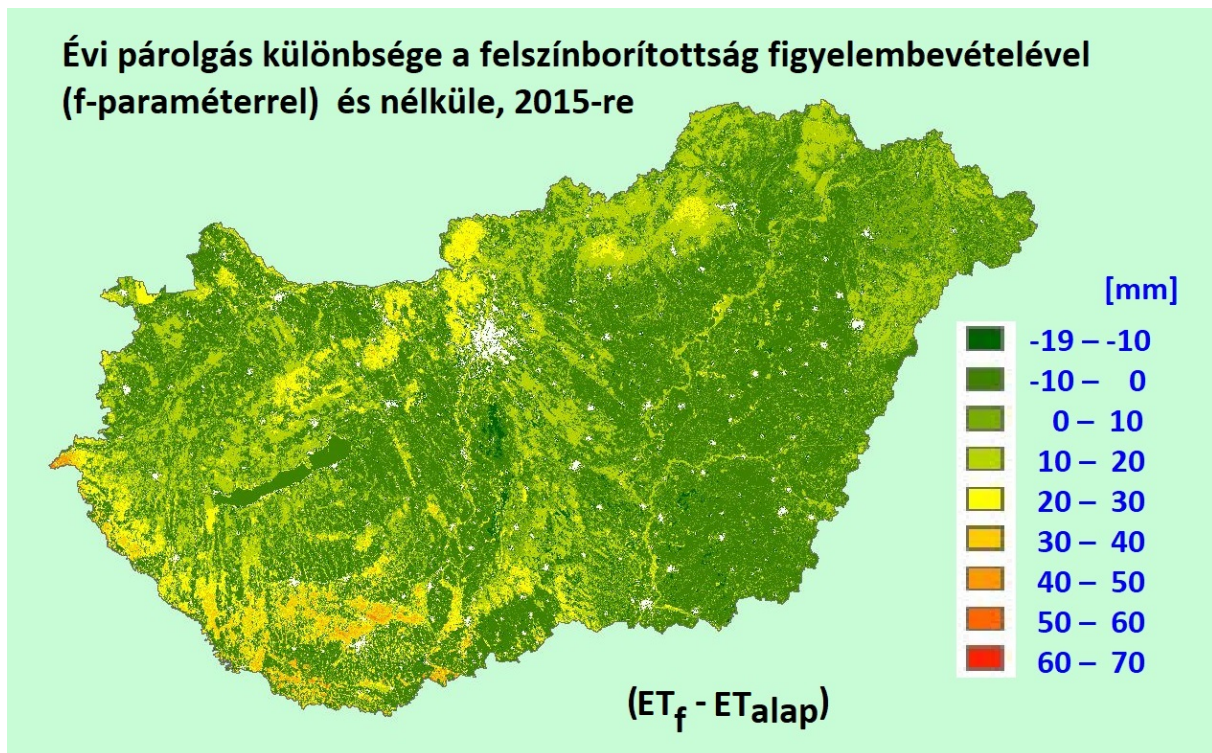


54. ábra Az éves párolgás értékei az 1D csőbör modellel végzett számításokkal a felszínborítottság figyelembevételével (f-paraméter) az 1981-2010 közötti éghajlati normál időszakra (fent) és a 2015-ös referencia évre (lent). (Szabad vízfelületek fehér színnel.)



55. ábra Az éves effektív csapadék értékei az 1D csőbör modellel végzett számításokkal a felszínborítottság figyelembevételével (f-paraméter) az 1981-2010 közötti éghajlati normál időszakra (fent) és a 2015-ös referencia évre (lent). (Szabad vízfelületek fehér színnel.)

A térképet a Lechner Tudásközpont készítette.



56. ábra Az éves párolgás különbsége a felszínborítottság figyelembevételével (f-index) és az 1D csőbőr modell alapfuttatásával a 2015-ös referencia évre. (Városi területek kihagyva, vízfelületek felett nincs eltérés a két módszerben, itt az érték 0 mm.)

A térképet a Lechner Tudásközpont készítette.

Külön is foglalkozunk a kétféle módszerrel (felszínborítottság figyelembevételével, f-index) és nélküle (alapmodell) kapott párolgási adatok összehasonlításával (56. ábra)! A városi területeket és a vízfelületeket kivettük a vizsgálatból. Az előbbieket alacsony párolgással és így magasabb effektív csapadékkal, míg a vízfelületek a potenciális párolgásnál is magasabb párolgási értékkel, s így gyakorlatilag nulla effektív csapadékkal rendelkeznek (vízfelszín felett ennek nincs is értelme). A városok, települések a kis párolgatóképesség miatt kirajzolódnak az effektív csapadék térképeken (55. ábra) és a relatív talajvízkészlet térképeken is (7.8. Melléklet), hiszen a kis párolgás miatt nagyobb a talajban maradó vízmennyiség. (Ez a kép azonban elnagyolt, hiszen a városi felszínek elvezetik és nem átengedik a csapadékot.)

Erdős területeken a két módszertannal számított párolgási értékek közötti eltérés pozitív, 20 mm feletti. Mecsek és a Dráva vidékén meghaladhatja az 50 mm-t. Jól látszik a szikések kisebb párolgása. Az alapmodellől vett eltérés azonban kicsi, 10-20 mm közötti.

- Melyek az indikátorok korlátai?

Négy-négy térkép elkészítését javasoljuk a két módszertannal (a felszínborítottság figyelembevétele nélkül és annak figyelembevételével) a párolgás (ET) és az effektív csapadék ($P - ET$) értékeire az 1981-2010-es 30 éves éghajlati normál időszakra és a 2015-ös referencia évre. Több lehetőség közül választottuk ki a Thornthwaite-féle potenciális párolgáson és az egy-dimenziós talajmodellen alapuló eljárást. Egyszerűsége, fizikai megalapozottsága és a módszer átláthatósága indokolta a döntést. Jól követi a talajhatásokat, és a második számítási

módszer figyelembe veszi a növényzet sajátosságait is. Vannak összetettebb eljárások a párolgás meghatározására (műholdas információk, SVAT modellek, részletesebb talaj-hidrologiai modellek). Ezek egy-egy területen pontosabb eredményeket adhatnak, ugyanakkor nagyobb a számításigényük, és nem terjeszthetők ki minden esetben a 30 éves referencia időszakra.

Sok hasznos éghajlati index (hőmérséklet, csapadék, szárazság) áll rendelkezésre a jelenlegi és a változó klíma leírására. Ezeket célzott vizsgálatokhoz kell/lehet felhasználni. Nem láttuk értelmét néhány ilyen index kiragadásának és térképi ábrázolásának. Elbonyolítaná a változások követését és egyszerű értelmezését, amit a párolgás, csapadék, effektív párolgás segítségével teszünk szemléletessé.

4.4.2.4 Jóllét

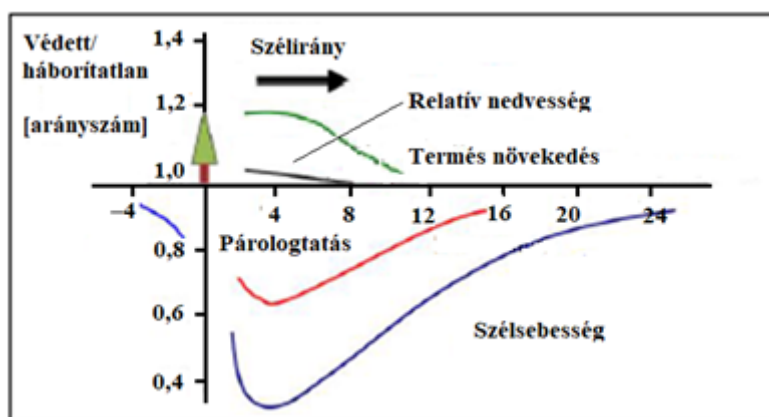
A 4. szinten a jólléthez való hozzájárulás értékelése, illetve a jólléti dimenziók pontos meghatározása még további átgondolást, az ebben szakértő kollégákkal való közös munkát igényel. A jólléti érték több kvantitatív (számszerűsített) és kvantifikált kvalitatív (számszerűsíthető minőségi) tényező (jólléti dimenzió) összértékéből fog összeállni. Ezek közül két, egymással is összefüggő, szempontrendszerrel emelünk ki: a **természetvédelmi és mezőgazdasági**, illetve a **humán vonatkozásokat**. Ezek figyelembevételével teszünk javaslatot az indikátorok kialakítására.

a) Nézzük először a **jóllét természetvédelmi és mezőgazdasági vonatkozásait!** A mikroklíma szabályozás közvetlen jólléti hatása pl. a **párolgotatás** közvetlen hűtő hatása, az **árnyékolás**, de emellett legalább ilyen fontos, ha nem fontosabb a **hő stressz** elleni védelem (növények és állatok esetében is), illetve a **termésmennyiségre** kifejtett hatás. Ez utóbbi számszerűsíthető, pl. az erdősávok termésmenővelő hatásával (57. ábra).

Kiemelt szerep jut a mikroklíma-szabályozásnak a Zöld Infrastruktúra fejlesztési rendszerben (Konkoly-Gyuró and Kollányi 2017): „A mezőgazdasági területeken a mikroklíma, a vízháztartás szabályozása és a talajvédelem hatásai által a termőhely javítását, a biodiverzitás növelését szolgálják a fás szárú állományokból álló mezsgyék, erdősávok, fasorok, facsoportok. Az erdőterületeken a nagyobb összefüggő erdőállományok ehhez hasonló ökológiai, talaj-, klíma-, vagy vízvédelmi funkciókat töltenek be, de a szabályozó hatásterület jóval kiterjedtebb lehet.”

Hosszútávon az eredmények tájtervezési stratégiák előkészítéséhez nyújthatnak segítséget (ökoszisztéma elemek; fasorok, víztestek szerepének hangsúlyozása).

Tekintsük át részletesen **az erdősávok mikroklimatikus hatását: mérséklék a szelet, növelik a relatív nedvességet, csökkentik a párolgást, s mindösszesen növelik az erdősávokhoz közeli szántók termésátlagát** (57. ábra). E hatás akár 500 m-es távolságban is kimutatható. A szélsőségek csökkenés itt még 20-30%-os is lehet.



57. ábra Az erdősávok hatása a szélesség, párolgás, relatív nedvesség és a terméseredmény várható alakulására egy gabonaföldön az erdősávtól vett relatív (az erdősáv magasságával kifejezett) egységekben (Alemu 2016)

Fontos a szegélyek szerepe. A különböző felszínborítottságok találkozása gazdagabb élővilágot, ökológiai folyosót, szélárnyékoló hatást biztosíthat. A szegélyek, erdősávok szerepet játszanak a természetvédelmi területek puffer-zónájának kialakításában, a vizes élőhelyek védelmében (párolgás-csökkentés), de mérséklék a lefolyást és a talajeróziót is. A szegélyek-erdősávok 100-200 m-es távolságában szakirodalmi adatok szerint kimutatható a terméseredmény növekedése. A diverz tájszerkezet stabilabb produkciót, magasabb rezilienciát eredményezhet a szántóföldi növénytermesztésben. (A párolgást csökkentő beavatkozások a termékbiztonságot növelik. Adott csapadékmennyiség esetén csökkenő párolgás növekvő effektív csapadékot jelent.) Nem kell külön hangsúlyozni a legeltetésben a szegélyek szerepét (árnyékolás, jobb minőségű fű, ami külföldi kutatások alapján kimutatható gazdasági haszonnal is jár). A kérdésektől és a további felhasználási céloktól függően többféle elemzést, szakirodalmi kutatást lehet végezni, pl. hogyan befolyásolja a felszíni hőmérsékletet a növényzet állapota, illetve annak hiánya? Hogyan hűtenek, mennyire egyenlítik ki a szélsőségeket a különböző típusú élőhely-kategóriák?

Egyszerű indikátorként az erdőterület relatív nagyságát (%) javasoljuk.

A következő index-csoport lehet a **szegély-gyakoriság (esetleg szegélyhossz)**, továbbá a 100 m-es, 200 m-es és az 500 m-es-es szegély-felület (a szegélytől vett távolság és a szegélyhossz szorzata) ott ahol a magas vegetációból (erdő, cserjések, erdősávok) lépünk át az alacsony vegetációba, illetve vizes élőhelyekre (az index a Tájkarakter projekt-elemben meghatározottak alapján értelmezhető).

A gyakorlat számára fontos információ az adott ökoszisztéma, egy mozaikos táj **szélesség csökkentésének mértéke**. Ennek jó indikátora lehet az érdességi magasság logaritmikus átlaga, illetve az állomány felett 2 m-rel becsült szélesség (U_2) gyengülése a 10 m-es referenciaszinthez képest (U_{10});

$$U_{2/10} = \frac{U_2}{U_{10}} = \frac{\ln 2 - \ln \bar{z}_0}{\ln 10 - \ln \bar{z}_0}$$

ahol a logaritmikusan átlagolt érdességi magasság az adott területre (1-2 km-es rácsfelbontás, vagy sugár)

$$\bar{z}_0 = \exp \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln (z_{0,i}) \right],$$

ahol N az elemi felszínek száma, $z_{0,i}$ az i -edik felszínelem érdességi magassága (itt külön nem adjuk meg az értékeit). E relatív értékből a napi szélsőértékek alapján további térképezhető mennyiségeket kaphatunk. Fontos lehet az erdőállomány belsejében is a szélsőérték becslése. A végleges indikátorok kialakítása egy mintaterületen (pl. Bodrogköz) elvégzett számítások után további egyeztetéseket igényel.

b) A mikroklíma jóléti szolgáltatásainak másik csoportja a **humán vonatkozásokat** tartalmazza (pl. levegőkörnyezet, humán komfort, turisztikai szempontok, rekreáció, lásd a 7.5. Melléklet 2. táblázatát is). A humán mikroklimatológia fontos része a meteorológiának (Unger et al., 2012). Az időjárás (szél, hőmérséklet, nedvesség, sugárzás), alakítja hőérzetünket, befolyásolja alkalmazkodó képességünket. A táji mikroklíma, a **levegőminőség** fontos eleme az egészségmegőrzésnek, a **rekreációnak**, jelentős **turisztikai** értékkel bír. Mindezeket számszerűsíthetjük jól megválasztott indikátorokkal (Burkhard and Maes 2017).

A kérdésfeltevéstől és további felhasználási céltól függően el lehet végezni olyan kimutatást, hogy pl. hány fő veszi igénybe a kedvező mikroklímát, tehát hányan élnek olyan környezetben, ahol a lokális klíma index pl. 4 vagy 5. A **hőérzettel** kapcsolatos hőmérsékleti fogalmak mögött az emberi hőháztartás modellezése áll az egyszerű indexektől a bonyolult energetikai számításokig. Ezeket az objektív mérőszámokat sokszor az emberek szubjektív véleményével, hőérzetével súlyozva jelenítik meg az indexek, kategória-határok, hiszen nem vagyunk egyformák.

Itt a leggyakrabban használt hőmérsékleti fogalmak: a „fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet” (physiologically equivalent temperature), a szélsőérték hűtő hatást kifejező hőérzet index (Wind chill temperature), illetve a T_o operatív (vagy sugárzási konvektív) hőmérséklet, ami az emberi test részletes energiaháztartási modellezésén alapul a standard meteorológiai adatok felhasználásával (Campbell and Norman 1998).

A T_o operatív hőmérséklet – világos fizikai-energetikai háttere miatt - választottuk kulcs-indikátornak. Az emberi testre kifejtett hőterhelést jellemzi. A T_o számításához becsülni kell az emberi testre jutó nettó izotermális sugárzást (R_{ni}), valamint az ember mellmagasságában a léghőmérsékletet (T) és a szelet (U). Az R_{ni} a globálisugárzás (R_g), a felhőzet (N), az aktuális vízgőznyomás (e) és a léghőmérséklet (T) függvényében számítható. E változók havi/évi adatai a CarpatClim adatbázisban található napi értékek alapján származtathatók. (A FORESEE adatbázisból hiányzik a szélsőérték, így ennek az indexnek az előállítását statisztikai módszerekkel, pl. a PET és a T_o közötti kapcsolat feltárásával lehetséges.) A ruházattal borított

emberi test albedóját 0,20-0,25 körülnek vesszük. A módszertan részletes leírása Campbell and Norman (1998) munkájában olvasható. Az indikátor korlátja, hogy nem veszi számításba a hőterhelést csökkentő vízgőzhiányt, azaz a vízgőzzel telített levegő hőterhelését becsüli. Kárpát-medencében a T_o havi értékei -5 és +50 °C közöttiek (az eredmények publikálása folyamatban van).

A humán hőérzetet az operatív hőmérséklettel, T_o -val jellemeztük. A T_o eloszlása és átlagos évi értékei követik a hőmérséklet évi eloszlását, de annál magasabb értékek. A humán hőérzet térkép alapján látható, hogy egy ember átlagos évi hőérzete Budapesten 16 °C míg, a magasabb hegyvidéki régióban csupán 8 °C az 1981-2010-es éghajlati normálidőszakra vetítve. Jól látható az éghajlatváltozás hatása is. A 2015-ös referencia évre ezek az adatok rendre 18 C és 9 C (58. ábra). Kirajzolódik a budapesti városi hősziget, illetve a Duna-Tisza köze nagyobb T_o értékei. A 30 éves átlagos térképen jól látszik a Csongrád megye déli részén megjelenő helyi maximum, ami „elmosódott” 2015-ben. Ez az évek közötti változékonyságra utal.

Az indikátor korlátja, hogy nem veszi számításba a hőterhelést csökkentő vízgőzhiányt, azaz a vízgőzzel telített levegő hőterhelését becsüli. Kárpát-medencében a T_o havi értékei -5 és +50 °C közöttiek (az eredmények publikálása folyamatban van).

E **hőterhelés** egy átlagos ruházat (nadrág, ing, pulóver) mellett értendő (1 clo, Heat resistance of clothing, a ruházat hő-ellenállása, clo units) külső időjárási körülmények között (Ács et al., 2019). Így egy átlagos ember hőterhelésén keresztül (hőmérsékleti mutatóként kifejezve) jelenik meg a klíma, ami más indikátorokkal is összevethető (Blazejczyk et al., 2012). Természetesen hegyvidéken hidegebb van, a felhőzet függvényében változik a besugárzás, illetve a szélsébség is. (Az operatív hőmérséklet lényege azonban nem ebben van.)

Az operatív hőmérséklet alkalmas a külső környezet változásának a számszerűsítésére. Megadja, **hogymennyivel érezzük melegebbnek pl. a 2015-ös évet, mint az 1981-2010-es 30 évet** (éghajlati normál érték). Megjegyezzük, hogy a kültéren a hideg elleni védekezés könnyen megoldható a ruházat növelésével (clo index változása), míg a meleg elleni védekezés korlátozott. Ezt a kockázatot számszerűsíti az operatív hőmérséklet, különösen a nyári hónapokra számított értékeivel.

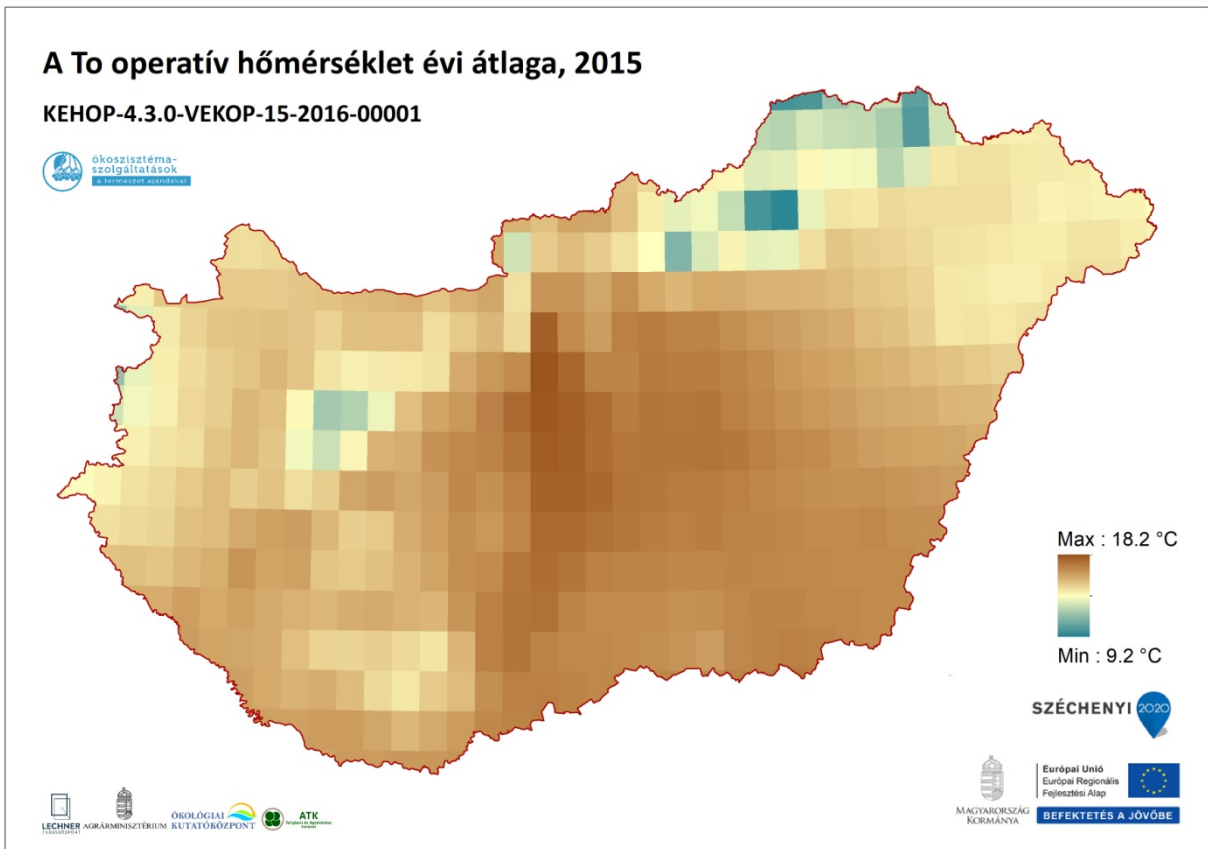
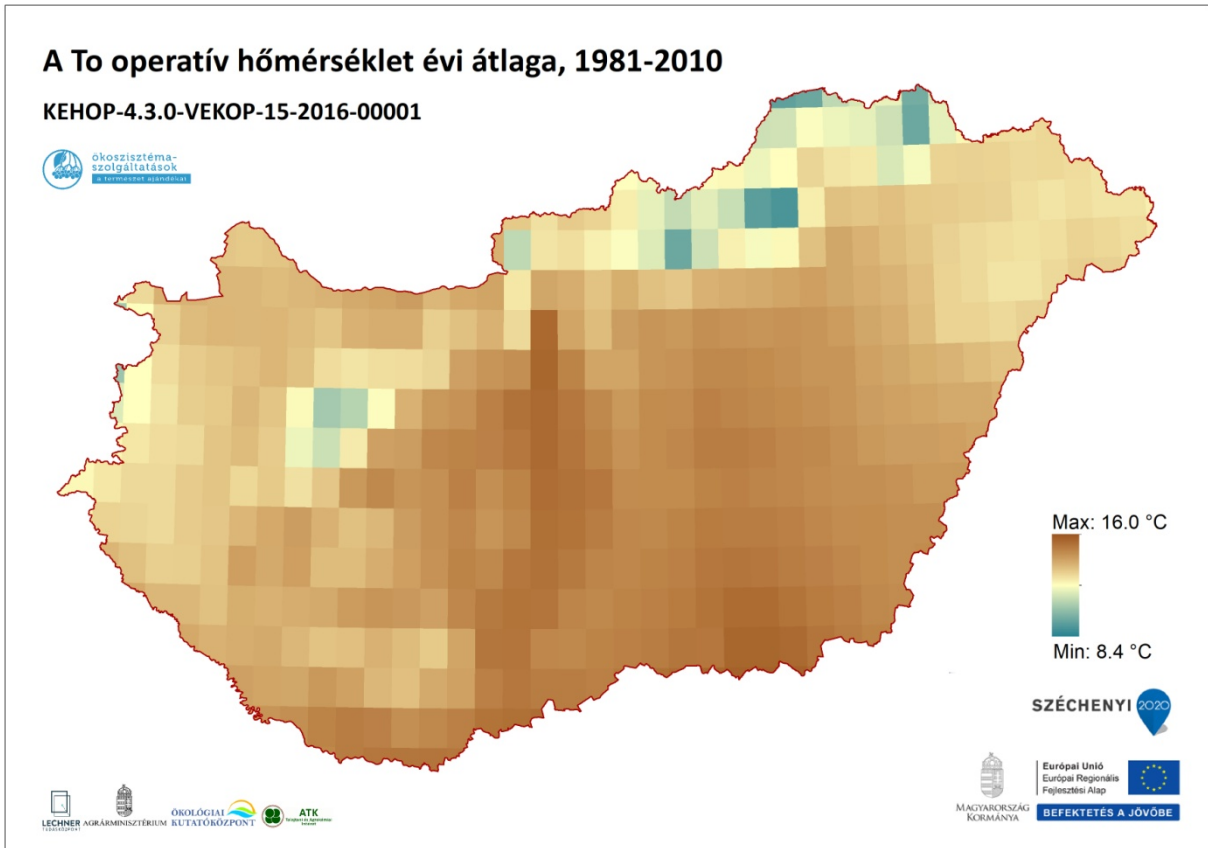
Fontos tervezési feladat a beltérek temperálása. Itt adott az optimális operatív hőmérséklet. A kérdés az, hogy mekkora légkondicionáló kapacitást kell kiépíteni, hogy optimális környezetben dolgozhassunk, s ebben milyen változások lehetnek. Erre is választ kell adnunk. Szintén számszerűsíthető egy erdő, egy liget árnyékoló hatása (Mérések híján irodalmi adatok felhasználásával, illetve érzékenységi vizsgálatokkal).

Az operatív hőmérséklet jól meghatározott fizikai elvek alapján készül. Már az 1990-es években felmerült ennek ökológiai alkalmazása (Bakken, 1992). Adott élőlényekre jellemző állatpopulációkra is kiszámítható ez az érték, s számszerűsíthető pl. a felszínborítottság változásából származó hőmérsékletváltozás hatása az ottani állatközösségre. Természetesen megfelelő mérések híján ez itt is érzékenységi vizsgálatot jelent.

További jóléti indikátor a felszínborítottság alapján számítható **levegőminőségi és rekreációs index**, amit Burkhard and Maes (2017) munkája alapján átültethetünk a NÖSZTÉP alaptérkép kategóriáira (7.5 Melléklet 2. táblázat.).

Összefoglalva: a tájléptékű mikroklíma jólléthez való hozzájárulásának az értékelése, illetve a jólléti dimenziók, indikátorok pontos meghatározása további átgondolást, az ebben szakértő kollégákkal való közös munkát igényel még. A jólléti érték több kvantitatív és kvantifikált kvalitatív tényező (jólléti dimenzió) összértékéből fog összeállni. Ezt a döntés-előkészítő munkát alapozta meg a fejezet.

Tervezett indikátorok: a) az erdőterület relatív aránya, b) a T_o operatív hőmérséklet, c) levegőminőségi és rekreációs index. A lehetőségek függvényében foglalkozunk az erdősávok és más szegélyek okozta környezeti hatásokkal, illetve a vegetáció (felszínborítottság) szélsőesség gyengítő (módosító) hatásával.



58. ábra A T_o operatív hőmérséklet évi átlaga az 1981-2010 közötti éghajlati normál időszakra (fent) és a 2015-ös referencia évre (lent).

4.4.2.5 Jövőkép elemzés

Egy melegedő környezetben élünk, aminek a sajátja a növekvő aszályhajlam és az időjárási szélsőségek gyakoriságának növekedése. Felértékelődik a mikroklíma-szolgáltatás. Érték a vegetáció árnyékoló, talajt megkötő, csapadékot visszatartó szélsébséget mérséklő hatása. Fontos a vizes ökoszisztémák fenntartása (párologtató képesség, hűtőhatás, széntárolás). Mindezek a mezőgazdaság, a turisztika, vagy a vidék népességmegtartó szerepe szempontjából is lényegesek, s egyre inkább számszerűsíthetők, ami pl. művelési ág változtatásnál lehet fontos. A mikroklíma-szolgáltatás az erdősávok táji értéke mellett megjelenik a közeli szántóterületek terméshozadékában, ami szintén számszerűsíthető.

Cél, hogy a melegedés a szárazodás és a szélsőségesé válás mellett úgy alakítsuk környezetünket, hogy mérsékeljük a klímaváltozás káros hatásait (árnyékolás, növekvő besugárzás mérséklése, a környezet hűtő hatásának kihasználása). Sok helyen (kivéve pl. összefüggő erdők) törekedni kell a mozaikos tájszerkezet fenntartására, a növekvő beépítés hatásainak mérséklésére (város/vidék gradiens) és az erdőterületek növelésére.

A hazai természetvédelmet tudjuk segíteni azzal, hogy kimutatjuk, milyen értékes az ökoszisztémák mikroklíma-szolgáltatása pl. a vidéki turizmus fejlesztésében, az erdők közfunkcióinak megtartásában, a csapadék visszatartásban, az éghajlatváltozás lokális hatásainak mérséklésében. Fontos annak tudatosítása is, hogy milyen negatív következményei vannak a „rossz irányú” változásoknak. Különösen fontos a művelési ág változások esetén a mikroklímavédelmi szempontok megjelenése: a táji mozaikosság, vagy a vizes élőhelyek fenntartása, a város/vidék klíma-gradiens megtartása (a beépítés mérséklése, pl. a vízparti területeken). A cél, hogy a tájleptékű mikroklíma-szolgáltatás ökoszisztéma-szolgáltatás az externáliákból az internáliák közé kerüljön.

Ökológiai szempontból cél a mikroklíma éghajlatváltozást mérséklő hatásának fenntartása, a rekreáció és a vidéki turizmus környezeti feltételeinek fenntartása/javítása, a több lábbon álló hazai farmgazdaságok fejlődéséhez szükséges környezeti háttér biztosítása. Fontos szerepe van a vízi ökoszisztémák (tavak, folyóvizek, mocsaras területek) fenntartásának, a mikroklíma szempontú szemlélet érvényesülésének a fenntartható mezőgazdaságban.

Vannak feladatok az ismeretterjesztésben és az oktatásban is az óvodától a felsőoktatásig.

Gazdasági oldalról a fő kérdés, hogy az ökoszisztéma mikroklíma-szolgáltatása, vagy annak hiánya hogyan jelenik meg az emberi jóllétben és hogyan számszerűsíthető (pl. turizmus, tájhasználat, vidék lakosságmegtartó szerepe). Hogyan lehet ösztönözni a mikroklíma szempontjából optimális művelési ág-változtatásokat? Hogyan védhető és bővíthető gazdasági eszközökkel a vizes ökoszisztémák, illetve az erdők szerepe? Hogyan számszerűsíthető mindez az Agrárminisztérium pályázati és támogatási rendszerében, pl. az ott alkalmazott indikátorok esetében.

Lehetséges outputok

- kedvező mikroklíma táji fenntartása, illetve megteremtése, erdősávok, szegélyek szerepének hangsúlyozása,
- a mikroklíma szolgáltatások szerepeltetése pályázati célok között,
- fenntartható, folyamatos erdőborítást biztosító erdőgazdálkodás támogatása (tarvágások kedvezőtlen mikroklíma hatásának kizárása),
- Natura 2000 védőterületeinek kialakítása (erdősítés, mozaikos tájszerkezet),
- vizes élőhelyek szerepének növelése (szinergiák kihasználása),
- táji szintű vízgazdálkodás kialakítása,
- vízmegtartó szántóföldi művelés elősegítése,
- mesterséges felületek csökkentése,
- művelési ág változtatásoknál a mikroklíma szolgáltatások figyelembevétele,
- város/vidék klíma-gradiens fenntartása/csökkentése (új beépítések szabályozása),
- mesterséges felszínek pl. naperómű telepek negatív mikroklíma hatásának minimalizálása,
- oktatási és ismeretterjesztési vonatkozások.

Ötletek további elemzésekhez

- a mikroklíma-szolgáltatás indirekt módon hozzájárul a turisztikai, népegészségügyi szolgáltatásokhoz,
- a területalapú támogatásoknál figyelembe lehetne venni a mikroklíma-szolgáltatás fenntartását, illetve a művelési ág-változtatásoknál, annak javítását,
- a vizes élőhelyek megtartása, rekonstrukciója a mikroklíma javítása mellett a szénmegkötést is növeli,
- mesterséges felszínek (pl. naperómű telepek) mikroklímát befolyásoló hatásának minimalizálása, rekultivációs területeken a mikroklíma-szolgáltatási szempontok figyelembevétele,
- utak ipari területek környezetének megváltoztatása (párologtatóképesség növelése, fatelepítés stb.).

4.4.2.6.5 Trade-off, szinergiák elemzése

Az erdők, vizes élőhelyek, mozaikos tájszerkezet megőrzése az új beépítések (ipar, utak, közlekedés, lakóparkok) kialakításánál a mikroklíma-szolgáltatásokat is szem előtt kell tartani, nem csökkenhetnek. A táj turisztikai értékeinek kihasználása a mikroklíma-szolgáltatások növelésével is támogatható, de ehhez szükség van szemléletformálásra/változásra.

A mikroklíma-szolgáltatások értékékként jelenhetnek meg a gazdasági elemzésekben. Egy optimális mikroklíma (tájszerkezet) képes mérsékelni a melegedő és szárazodó környezet kedvezőtlen hatásait. A cél az externáliákból internáliák kialakítása, a hatások, változások

számszerűsítése (a tájérték változása, turisztikai potenciál). Számszerűsíthető lehet, hogy milyen gazdasági hasznot/kárt (kockázatot) jelent adott értékkel történő szélsőséges, benapozás, hőmérséklet vagy relatív nedvesség változás, s hogy hat ez pl. a turizmusra és a jóléti szolgáltatásokra, mennyire romlik vagy javul a táj „élhetősége”.

Fontos a szerepet játszik a mikroklíma-szabályozás a táji környezet, a vidék népességmegtartó szerepének erősítésében, a kötődések kialakításában, a fejlesztési lehetőségek kihasználásában (pl.: Szigetköz, Őrség, Bodroghöz, Hegyalja, Balaton-felvidék).

5. Áttekintés (Koncz Péter)

Szolgáltatás	Szint	Indikátor	Adatbázis	Értékelés	Térkép és elérhetősége	Metaadat	Felhasználás: ZöldInfra (ZI), Szintézis (sz)
Növényi energia / fa-kitermelés, tűzifa	1.1	Élőfakészlet (m ³)	✓Országos Erdőállomány Adattár	Kész	Kész, Lechner Központ	kész	ZI, sz
	1.2	Erdők természetessége	✓Országos Erdőállomány Adattár	Kész	Kész, Országos Erdőállomány Adattár	utalás	sz
	2.1	Folyónövedék (m ³ ha/év)	✓Országos Erdőállomány Adattár	Kész	Kész, Lechner Központ	kész	sz
	2.2	Átlagnövedék (m ³ ha/év)	✓Országos Erdőállomány Adattár	Kész	Kész, Lechner Központ	kész	sz
	3.1	Tűzifaként kitermelt fa mennyisége (m ³ ha/év)	✓Országos Erdőállomány Adattár	Kész	Kész, Lechner Központ	kész	sz
	3.2.	Tűzifaként kitermelt fa mennyisége őshnos vs nem őshnos bontásban (m ³ ha/év)	✓Országos Erdőállomány Adattár	Kész	Készül, Lechner Központ	ugyanaz a metadat, mint 3.1 esetében.	sz
	4.	Energia-ellátásban betöltött szerep, légszennyezés, piaci érték	Elérhető adatok alapján kész, kész, javaslatokat foglalmaztunk meg	Elérhető adatok alapján kész, javaslatokat foglalmaztunk meg	Nem készül	-	-
	+1	Trade-off: légszennyezés, éghajlat-szabályozás, erdők ökológiai szerepe. Jövőkép: tudástranszfer szerepe, prognózis-modellek.					-
Növényi energia / energianövények	1.	Talajértékszám	✓MTA-TAKI (DoSoReMi)	Az elérhető adatok szintjén kész	Kész, MTA-TAKI	Kész, MTA-TAKI	-
	2.	Energetikai ültetvényekről betakarítható biomassa mennyisége	Adathiány, kis területi kiterjedés miatt elemzése nem releváns	Az elérhető adatok szintjén kész; többes hasznosítás miatt a termelés helyszíne nem azonosítható	Nem készül	-	-
	3.	Energia ültetvényekről betakarított biomassa mennyisége				-	-
	4.	Energia-ellátás, piaci érték				-	-
	+1	Trade-off: biológia sokféleség, talajvédelem, vízgazdálkodás, földhasználat					-

Szolgáltatás	Szint	Indikátor	Indikátorok kiválasztása, adatbázis	Értékelés	Térkép és elérhetősége	Metaadat	Felhasználás: ZöldInfra (ZI), Szintézis (sz)
Növényi energia / szántóföldi melléktermékek	1.	Talajértékszám	✓MTA-TAKI (DoSoReMi)	Az elérhető adatok szintjén kész	Kész, MTA-TAKI	Kész (MTA-TAKI)	-
	2.	Búza, napraforgó, kukorica-termesztés során keletkező melléktermék	Nem állnak rendelkezésre adatok	Nem ismert a melléktermékek hozama, termelési helyszíne és felhasználási szintje, ezért adathiány miatt további elemzés és térképezés nem végezhető el. További adatgyűjtést javasoltunk.		-	-
	3.	Energetikai célra felhasznált melléktermék mennyisége.				-	-
	4.	Energia-ellátás, piaci érték				-	-
	+1	Trade-off: talajerő-visszapótlás, állattenyésztés, légszennyezés, földhasználat				-	-
Éghajlat-szabályozás	1.1	Földhasználati forma (és a földhasználat változás)	✓Alaptérkép, (és Nemzeti Üvegházgáz Leltár)	Kész	Kész, Lechner Központ	Alaptérkép	
	1.2	Aktív föld feletti és földalatti növényi biomasza széntartalma (t C/ha)	✓Erdők: Országos Erdőállomány Adattár	Erdők föld feletti biomasza esetében kész (további nem készül)	Kész, Lechner Központ	Kész	ZI, sz
	1.3.	Talaj széntartalma (t C/ha)	✓	Kész	Kész, MTA-TAKI	Kész	ZI, sz
	2.	Szénmegkötés maximuma (t CO ₂ /ha/év)	✓	Kész	BiomeBGC-MAg 2.0 modell alapján a Lechner Központ elkészítette	Leírás	sz
	3.	Tényleges széndioxid és üvegházgáz mérleg (t CO ₂ ekv/ha/év)	✓	Kész	BiomeBGC-MAg 2.0 modell alapján a Lechner Központ elkészítette	Kész	sz
	4.	Piaci érték (Ft/t CO ₂), klímakárok	Részben kész, (4. munkafázis része)	Gazdasági elemzéshez szükséges inputokat átadtuk Érintettek, szempontok azonosításában részt vettünk.		-	-
	+1	Trade-off/szinergia: víz- és tápanyag gazdálkodás, árvízvédelem, élelmiszertermelés, földhasználat Jövőkép: szénmegkötés növelése, üvegház gáz kibocsátás csökkentése					

Szolgáltatás	Szint	Indikátor	Indikátorok kiválasztása, adatbázis	Értékelés	Térkép és elérhetősége	Metaadat	Felhasználás: ZöldInfra (ZI), Szintézis (sz)	
Mikroklíma-szabályozás	1.1	Országos tájkarakter típusok	✓ ZöldInfra (ZI)	Kész	Kész, Lechner Közp., ZI	-		
	1.2	Táji mozaikosság (Shannon diverzitás index)	✓ ZöldInfra	Kész	Kész, Lechner Közp., ZI	-		
	1.3	Percepcionális jellegindikátor, tájkarakter típus	✓ZöldInfra	Kész	Kész, Lechner Közp., ZI	-		
	1.4	f-index (párologtató képesség)	✓FORESEE, ELTE	Kész	Kész, Lechner Közp.	Kész	ZI, sz	
	1.5	Lokális klíma index	✓FORESEE, ELTE	Kész	Kész, Lechner Közp.	Kész	ZI, sz	
	2.1	Potenciális párolgás	✓FORESEE, ELTE	Kész	Kész, Lechner Közp.	Kész	sz	
	2.2	Potenciális vízigény	✓FORESEE, ELTE	Kész	Kész, Lechner Közp.	Kész	sz	
	2.3	Feddema-féle éghajlat-osztályozás	✓FORESEE, ELTE	Kész	Kész, Lechner Közp.	Kész	sz	
	3. 1	Tényleges párolgás és effektív csapadék (vízmérleg, vízhiány)	✓FORESEE, ELTE	Kész	Kész, Lechner Közp.	Kész	ZI, sz	
	3.2	Átlagos talajvízkészlet, hasznos talajvízkészlet és relatív talajnedvesség	✓FORESEE, MTA TAKI, ELTE	Kész	Kész, Lechner Közp.	Kész		
	4.	Hőérzet, széltörés	Hőérzet térkép kész (FORESEE adatbázis, ELTE, Lechner Közp.). Érintettek, szempontok azonosításában részt vettünk, (4. munkafázis része)					
	+1	Trade-off/szinergia: földhasználat, földhasználat változás, vidék/város gradiens, rekreáció, mikroklíma szolgáltatások számszerűsítési lehetőségei (externáliák/internáliák)						

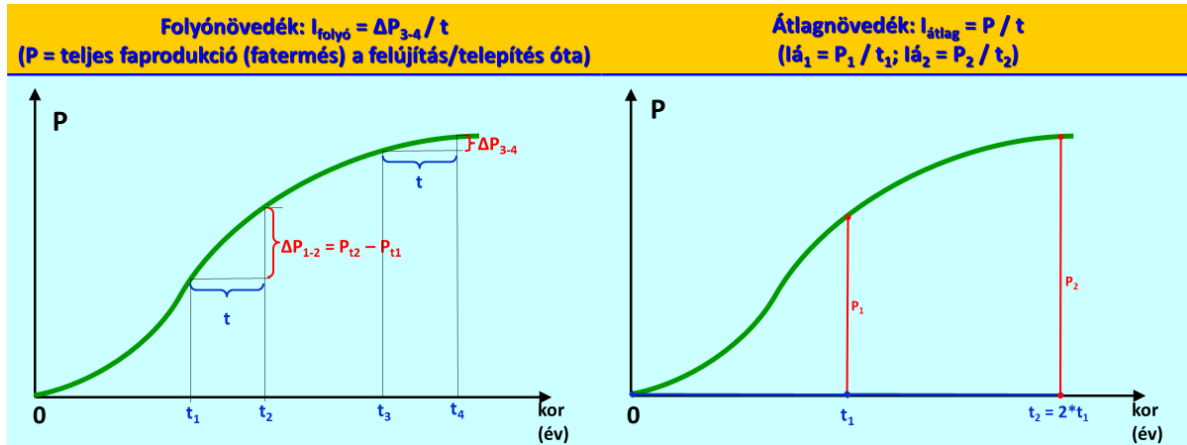
6. Következő lépések (Koncz Péter)

Fontos az ismeretek alkalmazása a stratégiai és támogatáspolitikai döntések során, a jogalkotásban és főleg a gyakorlatban. A fejlesztési javaslatokat az egyes ökoszisztéma-szolgáltatásoknál megemlítettük, illetve a NÖSZTÉP szintézis anyagának 4.6 fejezetében is megtalálhatóak.

7. Mellékletek

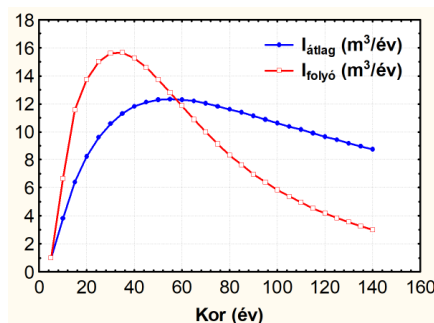
7.1 Folyónövedék és átlagnövedékek számítása (Somogyi Zoltán)

Az erdőrésztlenkénti (hektáronkénti) folyónövedék és az átlagnövedék közti különbséget, azok matematikai definíciójával az alábbi két ábra szemlélteti (7.1. Melléklet 1. ábra):



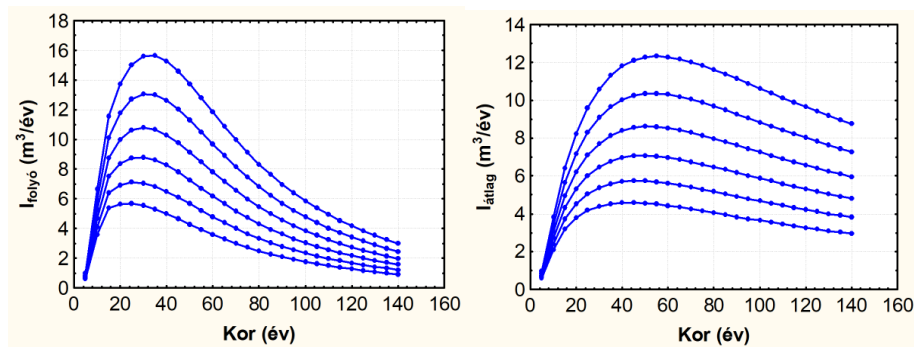
7.1. Melléklet 1. ábra Folyónövedék és átlagnövedék közti különbség szemléltetése

Az ábrákról látszik, hogy a két növedék különböző időszakok átlagos, 1 évre vonatkozó növekedési sebességét méri; közöttük szoros matematikai kapcsolat van; és hogy mindkét növedék függ t -től, vagyis a kortól, amit az alábbi ábra (konkrét fatermési tábla adataival) jobban mutat (7.1. Melléklet 2. ábra):



7.1. Melléklet 2. ábra Növekedési sebességek szemléltetése

Fentiekén kívül megjegyzendő, hogy a folyó- és átlagnövedék függ a termőhely minőségétől; jobb termőhelyen gyorsabb a fanövekedés, mint gyengébb termőhelyen. Az előforduló termőhelyeken mérhető növedékek tartományát hagyományosan hat sávra osztják fel (ezek az ún. fatermési osztályok, bár ennek a felosztásnak ma már inkább csak demonstratív szerepe van), és a sávokra jellemző növedékek között jelentős különbségek azonosíthatók (7.1. Melléklet 3. ábra):



7.1. Melléklet 3. ábra Az előforduló termőhelyeken mérhető növedékek tartománynak sávonkénti felosztása (bal oldalt folyónövedék, jobb oldalt átlagnövedék)

A „potenciális” növedék hosszú időszak átlagos növekedési sebessége, amit egy referencia korban (pl. lassan növvő fafajoknál 75 év) vett átlagnövedékkel azonosíthatunk. Ha ez (pl. a fenti ábrán a legalsó görbéről véve) kb. 4,5 m³/ha/év, akkor ehhez képest a folyónövedék kb. 0 és 6 között változik. (Nulla a növedék pl. véghasználat után, felújítás előtt.) Az ugyanolyan termőhelyű, de különböző korú faállományok potenciális növedéke ugyanakkora, de aktuális folyónövedéke ettől elég nagy eltéréseket mutat.

7.2 Melléklet A talaj szerves szén (SOC), illetve szervesanyag tartalma (SOM) és a terméshozam közti összefüggés (Horváth László, Koncz Péter)

A talaj szerves széntartalmának növelése (növekedése) szénmegkötés által segít az üvegházhatású gázok hatásának csökkentésében. Ez win-win helyzet, ugyanis egyúttal a terméshozam és ezzel együtt az élelmezés biztonság is növekszik.

A talaj szerves szénkészlete (Soil Organic Carbon, SOC) és a talaj szervesanyag tartalma (Soil Organic Matter, SOM) között szoros a korreláció, ahol a SOC a SOM mennyiségének a kb. fele, 50-58 %-a (Pribyl 2010). Ezért ami alább a SOM-ra vonatkozik, az vonatkozik a SOC-ra is.

Allison (1973) egy átfogó tanulmányban részletezi a szerves széntartalom növekedésének pozitív hatásait.

- A SOM tápanyag a talaj mikroflórája és -faunája számára, a lebomlása által.
- A talaj szerves és ásványianyag-tartalma együtt biztosítja a növények fejlődését a talajkondíciók széles tartományában.
- A talaj szerves és ásványianyag-tartalma együtt segíti az ion adszorpciót, a gyökérzet ion felvételt, cserét.
- A SOM kelátképződés útján stabilizálja a mikroelemeket, puffer kapacitást ad, mely a pH-t egy állandó tartományban tartja. Másrészt felelős a növény növekedése számára alkalmas fizikai környezet fenntartásáért, növeli az aggregációt, bevonatot képez az agyagszemcséken, segíti a vízszivárgást, vezetést.
- Segíti az aerációt, kedvezően hat a hőmérsékleti viszonyokra, a mikrobiológiai aktivitásra és a gyökér penetrációra.
- Kedvezően hat a vízforgalomra, vízmegetartásra és a víz hasznosulására.

A talaj szerves anyag tartalma pozitív befolyással van a szántóföldi munkagépek forgalma miatti talaj tömörülések hatásának csökkentésében. Arvidsson (1998) szerint a magas szervesanyag tartalmú talajoknál nő a hozam, ellentétben az alacsony szervesanyag tartamúakkal, ahol hasonló járműforgalom mellett ez inkább csökken.

Bauer and Black szerint (1994) az USA Észak-Dakota államában tavaszi búzánál 10 t ha⁻¹ szerves anyag növekedés a magtermés mennyiségét 156 kg ha⁻¹-ral növelte.

Lal (2006) vizsgálata szerint is nő a terméshozam a talajok restaurációjával. Ezek szerint fejlődő országokban búzánál 200-700 kg ha⁻¹, rizsnél 100–500 kg ha⁻¹ és kukoricánál 300-3.000 kg ha⁻¹ terméshozam növekedést lehet elérni minden 10 t ha⁻¹ szerves anyag növekedés hatására. Az ajánlott művelési technikák alkalmazása javíthat a talaj minőségén a vízvisszatartó kapacitás és a kation-cserélő kapacitás növekedésével, másrészt segíthet az erózió csökkentésében. Számításaik szerint 10 t ha⁻¹év⁻¹ szervesanyag növekedés 320 millió t év⁻¹ magtermés növekedéssel járna a fejlődő országokban. Az élelmiszer biztonság növekedésén kívül ez a stratégia 5 milliárd t C év⁻¹ szén megkötéssel kompenzálná a fosszilis energiahordozók égetéséből származó CO₂ kibocsátást.

Pan et al. (2009) elemezték a terméshozam és a talaj szervesanyag tartalma közti korrelációt 1949 és 1998 között, Kína összes tartományára kiterjedve. Megállapították, hogy a hozam és az SOM között szoros összefüggés van a legtöbb helyen. A termésmennyiség éves változékonyságát a szervesanyag növekedés csökkenti, azaz a hozam mennyiségét stabilizálja. Hogy ezek a jelenségek az alkalmazott műtrágyák esetleges növelésének hatásai, erre vonatkozólag nincs információ ebben a tanulmányban.

Ez a néhány példa is mutatja, hogy az eddigi vizsgálatok és tanulmányok alapján a szervesanyag tartalom növekedése amellet, hogy a szénmegkötést növeli, javítja a talaj fizikai, kémiai és biológiai állapotát. Ezek a folyamatok végső soron a terméshozamra, a biomassza produkcóra is kedvezően hatnak.

Ugyanakkor meg kell említeni, hogy a talaj szerves széntartalmának növekedése a denitrifikációs folyamatok hatását is növeli, ami növeli az üvegház hatású dinitrogén-oxid képződést és az ezzel együtt járó emissziót. Burford and Bremner (1975) 17 különböző talajon végzett mérései szerint a denitrifikációs kapacitás szignifikáns korrelációt ($r=0,77$) mutatott a teljes széntartalommal valamint a vízzeloldható szerves anyaggal és a mineralizációra képes széntartalommal ($r=0,99$). Anaerob inkubációs kísérletükben a nitráttal kezelt talajoknál a nitrát fogyás szoros korrelációt mutatott ($r=0,999$) a N₂ és az N₂O képződéssel.

7.3.1 Biogeokémiai modellek (Horváth László, Koncz Péter)

Az üvegházgáz mérleg meghatározásához a különböző gázok fluxusainak (áramlásainak) ismerete szükséges, amit elsősorban terepi pontmérésekkel lehet meghatározni. A mérések térbeli és időbeli korlátai miatt azonban országos lefedettségben erre nincs lehetőség. A biogeokémiai, biofizikai modellek alkalmazása viszont ezt lehetővé teszi. A modellek működésének hitelességét a terepi mérések alapján végzett kalibrációval és validációval lehet biztosítani.

A modellek az üvegházgáz fluxusokat pontmérések, statisztikai adatok és fajlagos kibocsátási tényezők segítségével (input adatok) számítják ki. A modellek jellemzően biofizikai

megközelítésük, tehát képesek a főbb folyamatokat (fotoszintézis, légzés, kémiai bomlás, evapotranszpiráció stb.) számszerűsíteni a meteorológiai változatosságok és a kezelések hatásait (trágyázás, kaszálás stb.) is figyelembe véve. Az ilyen modellekhez százas nagyságrendű input adat szükséges (a folyamatok, a meteorológiai körülmények, illetve a talaj, a növényzet és a kezelések parametrizálásához), output adatként pedig a szén és az üvegházgáz mérleg adatait kapjuk meg (NEE, NBP és NGHG). Az MTA ATK szakemberei a 2019. május 19-ei megbeszélésen 2019. november 31-re tudták vállalni az üvegházgáz-mérleg elkészítését a BiomeBGC-AgroMo modell segítségével („Klíma és Energia_MTA_ATK_AgroMo-BiomeBGC megbeszélés_20190516”).

A tanulmányban több modell eredményre is hivatkozunk. A NÖSZTÉP során készített új eredmények a Biome-BGC Mag 2.0 modellel készültek, amely leírása a 7.3.2. Mellékletben található.

a) A Biome-BGC modell

A Biome-BGC egy kis térskálájú, folyamatorientált **biogeokémiai ökológiai rendszermodell**, mely többféle vegetációtípus működésének szimulálására alkalmas. Habár a modell nitrogén- és vízforgalmat is kezel, alapvetően a növényi szénforgalom legfontosabb paramétereit számítja, nevezetesen az ökológiai rendszer nettó szén-cseréjét (NEE), a bruttó primer termelést (GPP) és az ökoszisztéma teljes légzését.

A világszerte használatban lévő, hasonló jellegű modellek sorából a Biome-BGC kiemelkedik részletes dokumentáltságával, amely megkönnyíti a modell adaptálását és továbbfejlesztését (White et al. 2000). Az ökológiai modellek használatánál jelentős korlát - a dokumentálatlan paraméterválasztás mellett - a helyi mérési adatok hiánya. A vizsgált területen ugyanis nem feltétlenül áll rendelkezésre minden igényelt bemenő adat (pl. a talaj szerves anyag tartalma, a vizsgált ökológiai rendszer szén- és nitrogéntartalma stb.), illetve ahogy haladunk a lokálistól a regionális térbeli skála felé, a pontos, térben is részletes mérések egyre kevésbé megvalósíthatók.

Biome-BGCMuSo modell a Biome-BGC egy továbbfejlesztett változata, a célból, hogy javítsa a különböző szárazföldi ökológiai rendszerek szén-, nitrogén- és vízforgalma szimulációjának pontosságát már meglévő modulok továbbfejlesztésével és új, komplex modulok beépítésével, valamint a gyakorlatban megjelenő emberi beavatkozások figyelembevételével (Dobor, 2016). A fejlesztések első szakaszában a modellstruktúra javítására került sor (pl. a többrétegű talajmodul bevezetése, a szárazság miatt fellépő növényi pusztulás hatásának figyelembevétele és a modell fenológia javítása), valamint beépítésre került néhány emberi beavatkozást szimuláló modul, pl. legelés, kaszálás (Hidy et al. 2012).

A második fejlesztési szakaszban többek között további olyan fejlesztések történtek, amelyek javították a mezőgazdasági növények szimulációit (Hidy et al. 2016a). Mivel a szántóföldeken végzett munkálatoknak jelentős hatásuk van az elért termésre, az adott év szénmérlegére, így kulcsfontosságú az emberi beavatkozás figyelembe vétele. Új művelési tevékenységeket építettek be (vetés, trágyázás, öntözés, szántás és aratás). A fejlesztéseknek köszönhetően a modell alkalmas a földhasználat-váltás szimulálására is (Hidy et al. 2016b).

b) 4M crop modell

A 4M modell (Fodor et al. 2014) a **növényi produkció** és **termésmennyiség** mellett a talajnedvesség, talajhőmérséklet és a növényi tápanyagforgalom szimulációját is magában foglalja. Figyelembe veszi a három fő tápanyag (nitrogén, foszfor, kálium) átalakulását és mozgását, valamint a nitrát kimosódás és a denitrifikáció folyamatát is. A modell bemenő adatai a napi meteorológiai viszonyok és a talajvíz mélysége, míg a kényszerfeltételeket az emberi beavatkozással (szántás, trágyázás, vetés, öntözés és betakarítás) kapcsolatos befolyásoló tényezők adják.

c) Biome-BGC-AgroMo modell

Az AgroMo egy hazai fejlesztésű, egyesített biogeokémiai és crop (szántóföldi modul) integrált modellrendszer, amely konkrét klímaadaptációs forgatókönyveket is szolgáltat az agrárszektor résztvevői számára, a gazdától a döntéshozóig. Az **AgroMo** rendszer központi eleme a hazai fejlesztésű BBGC-MAG légkör-talaj-növény rendszermodell, melynek fejlesztése a **Biome-BGCMuSo** (Hidy et al. 2012; Hidy et al. 2016a) és a **4M** (Fodor et al. 2014) **modellek integrációjával** és új modulok hozzáadásával valósult meg. A modell az ökoszisztémák működését szimulálja, a légkör-talaj-növény rendszer anyagforgalmát írja le, és különböző tér és időbeli léptékekre parametrizálható. A hibrid modell minden növénytípus (egynyári, évelő, fás szárú, C3-as és C4-es stb.) szimulációjára képes, amely a mezőgazdasági természetben előfordul. A létrejövő komplex adatbázis lehetővé teszi egy Integrált Modellrendszer fejlesztését és tesztelését (Barcza et al. 2018).

A modell alkalmas arra, hogy közös alapot teremtsen a különböző ökoszisztéma-szolgáltatások (árvízi kockázat csökkentés, éghajlat-szabályozás, élelmiszer termelés) összehasonlításához. Mindezek hozzájárulnak ahhoz, hogy a modell a termés hozam becslés mellett alkalmas az éghajlat-szabályozáshoz hozzájáruló üvegházgáz mérleg modellezésére is.

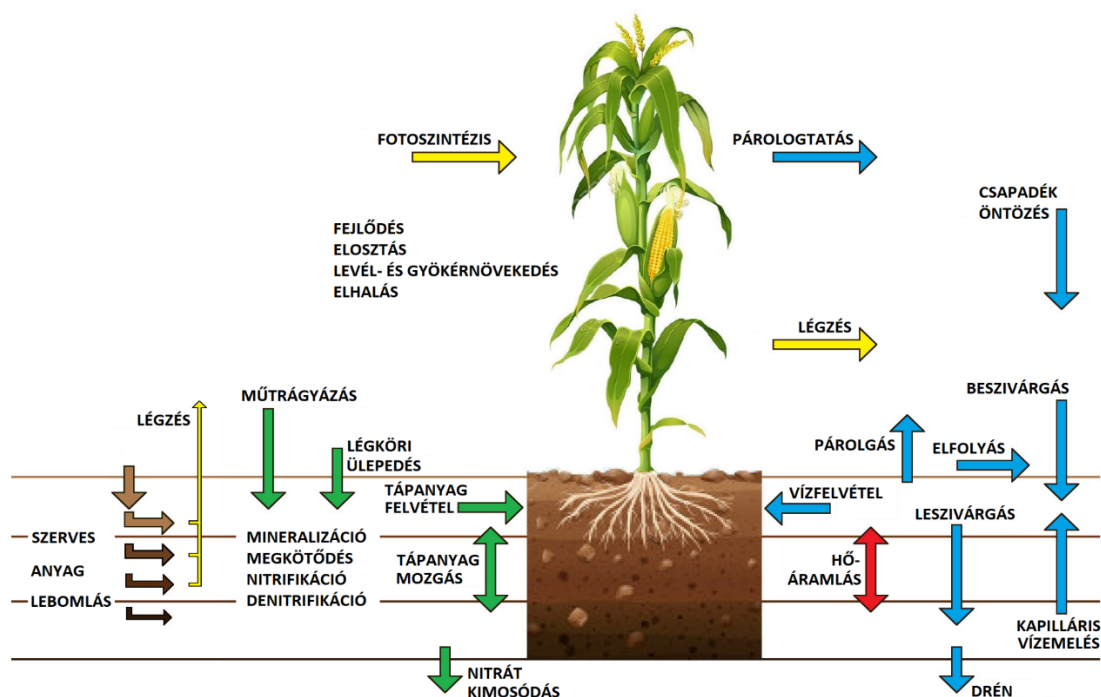
d) A biogeokémiai modellek használhatósága a NÖSZTÉP projekt szempontjából

Az éghajlat-szabályozás szempontjából a **Biome-BGCMuSo** továbbfejlesztett változata a 7.3.2 fejezetben a modellezők által ismertetett **Biome-BGCMaG 2.0** modell alkalmas az **üvegházgáz forgalom számítására**. A 4M crop, tehát a szántóföldi modullal rendelkező modellel kombinált Biome-BGCMuSo modell, azaz a **Biome-BGC-AgroMo** komplex modell output adatai már túlmutatnak az ökoszisztémák éghajlat-szabályozásával kapcsolatos igényeken, viszont nélkülözhetetlenek az Élelmiszer SZMCS számára.

7.3.2 Országos üvegházgáz mérleg készítése a Biome-BGCMag 2.0 modell felhasználásával (Fodor Nándor, Hidy Dóra és Barcza Zoltán)

1. A szimulációs modell bemutatása

A Biome-BGCMag 2.0 (Biome-BGCMuSo v6.02) napi léptékű, determinisztikus modell, amely számításait a légkör-talaj-növény rendszer számszerű (paraméterek és változók) jellemzői határoznak meg. A paramétereken túl, amelyek a rendszer fizikai, kémiai és biológiai jellemzőit definiálják, a főbb változók kezdő-, perem- és kényszerfeltételeit is meg kell adni a modell számára. A bemenő adatok között szereplő paraméterek a modell függvényeit és egyenleteit szabályozzák: a növények fejlődését és növekedését, illetve a talaj nedvesség-, hő-, szén- és tápanyagforgalmát (7.3.2. Melléklet 1. ábra). A kezdőfeltételek közül a talajszelvény egyes rétegeinek nedvesség- és tápanyagtartalma a legfontosabb. A peremfeltételek tulajdonképpen a napi meteorológiai adatok, de idetartozik a talajvíz mélysége is. A kényszerfeltételek tulajdonképpen az emberi beavatkozás számszerű kifejeződései: trágyázással, vetéssel, öntözéssel és betakarítással (aratás, szántás, kaszálás, szálalás) kapcsolatos adatok.



7.3.2. Melléklet 1. ábra. A Biome-BGCMuSo v6.02 modell által szimulált főbb folyamatok.

A Biome-BGCMuSo v6.02 modellnek alapvetően két futási fázisa van. Az ún. spinup, avagy felpörgetési módban hosszútávú meteorológiai adatsorok felhasználásával a modell szimulálja az ökológiai rendszer fejlődését az egyensúlyi állapot elérésig. A spinup futtatás által generált, a vizsgált életközösségre vonatkozó kezdeti nitrogén és széntározókat a második, normál futási fázis használja fel az ökológiai rendszer működésének napi léptékű modellezéséhez. A spinup egy opcionális futtatási fázis, ha megfelelő mennyiségű információval rendelkezünk a

szimulálni kívánt terület talajának szén- és nitrogéntartalmáról, nem szükséges spinup futtatást használnunk.

A modell nagy előnye, hogy jól dokumentált, illetve más ökológiai modellekkel szemben a szénkörforgalom modellezésére specializáltak, így arra nagy megbízhatósággal használható. Ennek köszönhetően széleskörben használták különböző ökológia vizsgálatokhoz.

Hidy Dóra és Barcza Zoltán 2005-ben kezdték el alkalmazni a Biome-BGC akkoriban legfrissebbnek számító, 4.1.1-es verzióját a hegyhátsági fűállomány szénforgalmának vizsgálatára. A szimulációs eredmények és a mért adatok összevetésekor szisztematikus modellhibákra derült fény. Ezek az emberi tevékenység szimulációjának hiánya, a vegetációs periódus becslésének pontatlansága, a talajnedvesség-tartalom túlbecslése egy-egy nagy csapadék után, illetve a talajkiszáradás növényi működésre gyakorolt hatásának hiánya. A tapasztalt hibákat a modell forráskódjának módosításával korrigálták: módosították a Biome-BGC fenológiai folyamatokat, illetve a talaj vízforgalmát szimuláló modulját, melynek eredményeképpen kiküszöbölték a fent említett hibákat. Ezt követően a módosított modellt alkalmassá tették kaszált és legeltetett gyepek szén- és vízháztartásának szimulációjára és előkészítették a mezőgazdasági területek művelési módjainak szimulációját (aratás, vetés, szántás, műtrágyázás modell beépítése). A kaszálás és a legeltetés szimulációját alkalmuk nyílt validálni örvény-kovariancia adatok segítségével, ugyanis a hegyhátsági gyepet évente kétszer kaszálják, a bugaci gyepen pedig extenzív legeltetés folyik.

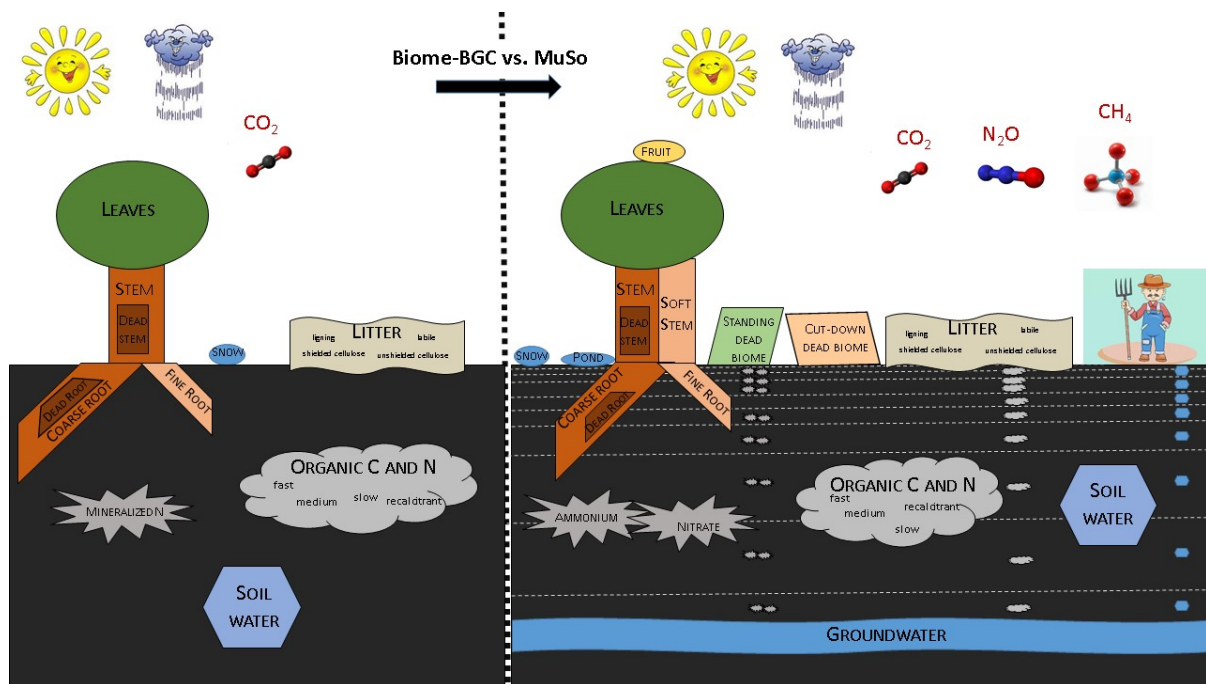
2013-ban Hidy Dóra elnyert egy MTA Posztdoktori Pályázatot, melynek kitűzött célja a Biome-BGC továbbfejlesztése, kalibrációja, egyéb ökológiai modellekkel való összevetése volt. A Posztdoktori Pályázat eredményeképpen 2014-ben megszületett a már újnak tekinthető modellverzió, a Biome-BGCMuSo, mely a szén-dioxid forgalom mellett a másik két legfontosabb üvegházgáz (a nitrogén-dioxid és a metán) forgalmának modellezése, a talajban lejátszó dekompozíciós folyamatok pontosabb leírása, illetve a különböző művelési módok hatásának vizsgálatai is megvalósíthatók. Így az ökológiai rendszerek éghajlat-módosító visszacsatolási mechanizmusai, illetve ezen keresztül az ember földhasználati hatása is sok szempontra kiterjedően modellezhetővé vált. A fejlesztés eredményeit rangos tudományos folyóiratokban publikálták, legutóbb a Geoscientific Modell Development (EGU) c. lapban (Hidy et al. 2016). A modellfejlesztés illetően egy fontos döntés volt, hogy a tudományos eredményeiket közzétették a kutatói közösség számára: a felhasználói kézikönyv és a forráskód bárki számára elérhető az általunk készített honlapon (<http://nimbus.elte.hu/bbgc>). Az utolsó publikált modellverzió a Biome-BGCMuSo 6.0, amely a Biome-BGCMaG nevet viseli: teljes biogeokémiai modell, amely valamennyi fő földhasználati típus szimulációjára képes beleírta a növényben és a talajban lejátszó meghatározó fizikai, kémiai és biológiai folyamatokat, különös tekintettel az ÜHG körforgásra.

A legfontosabb modellfejlesztések az eredeti Biome-BGC modellhez képest:

- Az egyrétegű talajmodul többrétegűvé alakítása (amely magában foglalta a talaj termodinamikájának, hidrológiájának, szén- és nitrogénforgalmának fejlesztését).
- A növényi hervadás, a talajnedvesség-stressz szimulációjának továbbfejlesztése.
- A különböző művelési módok szimulációjának beépítése

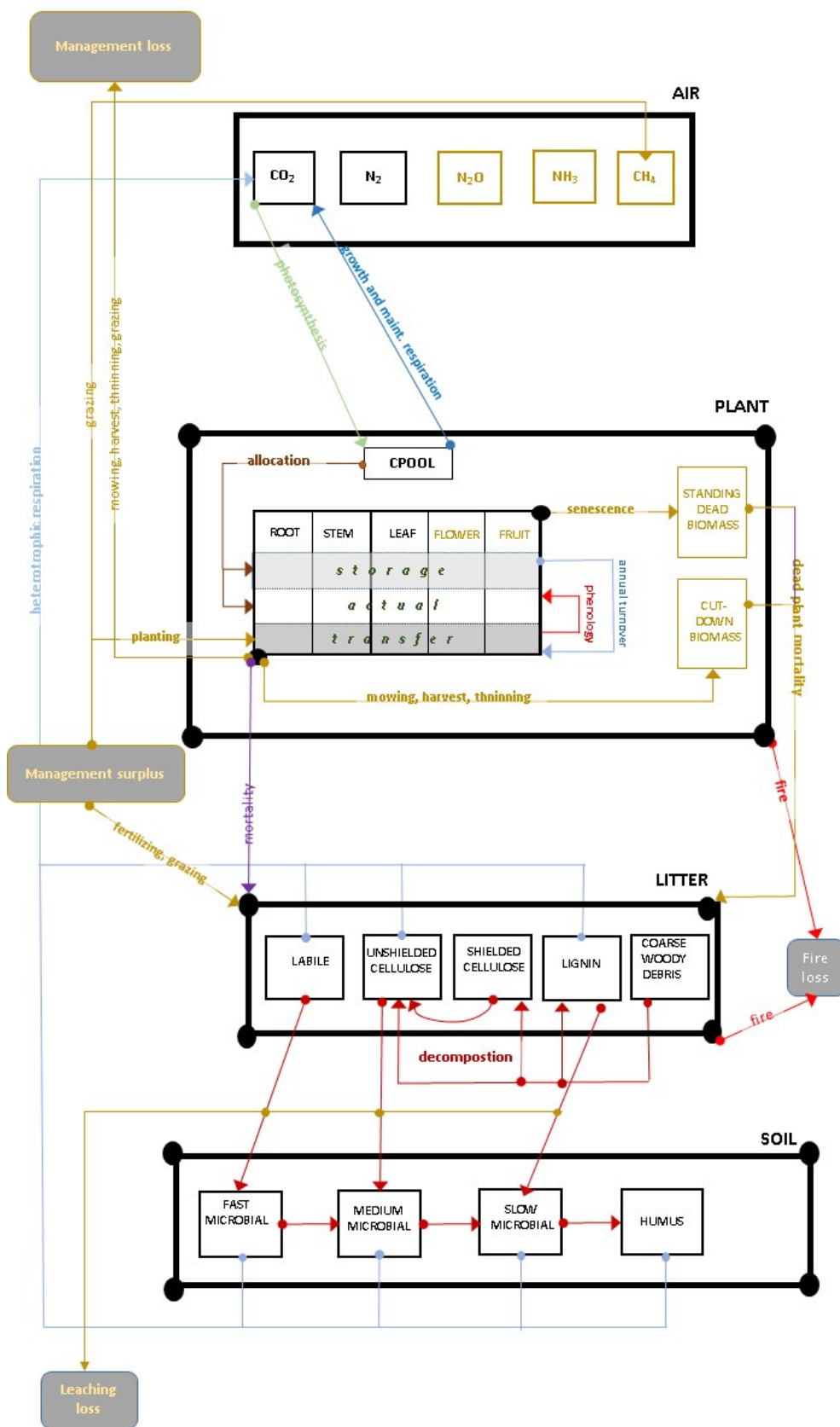
- A szén-dioxid mellett fontos üvegházhatású gázok kibocsátásának szimulációjának beépítése (metán és a dinitrogén-oxid),
- A növényi modul kiegészítése újabb növényi részekkel (lágyszár, termés, lábbon álló elhalt biomassza, levágott biomassza)
- A fotoszintézis és a respiráció akklimációjának szimulációja.
- A spinup és normál futási fázist összekötő tranzienst futás megvalósítása
- A növényi sztómaellenállás szimulációjának továbbfejlesztése.
- Dinamikus allokáció megvalósítása
- Az ammónium és nitrát tározók forgalmának, illetve a nitrifikáció és a denitrifikáció folyamatának explicit modellezése
- A kultúrnövények szimulációjának megvalósítása: szántóföldi növények specifikus folyamatainak modellezése

A 2. ábrán láthat az eredeti Biome-BGC v4.1.1 és a Biome-BGCMuSo v6.02 (Biome-BGCMaG) összehasonlítása: itt jól láthatók az újonnan beépített modellelemek.

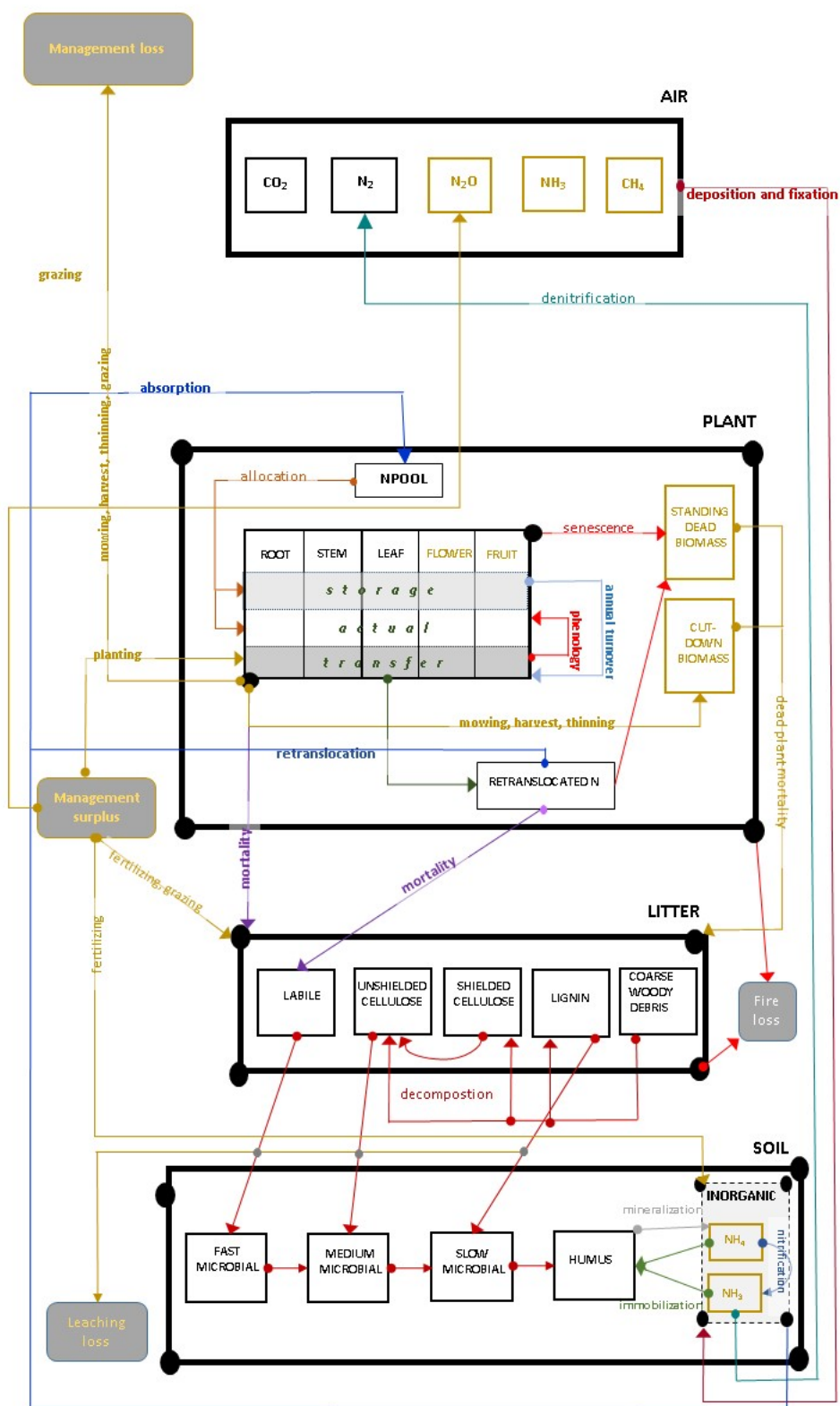


7.3.2. Melléklet 2. ábra Az eredeti Biome-BGC v4.1.1 és a Biome-BGCMuSo v6.02 (Biome-BGCMaG) összehasonlítása

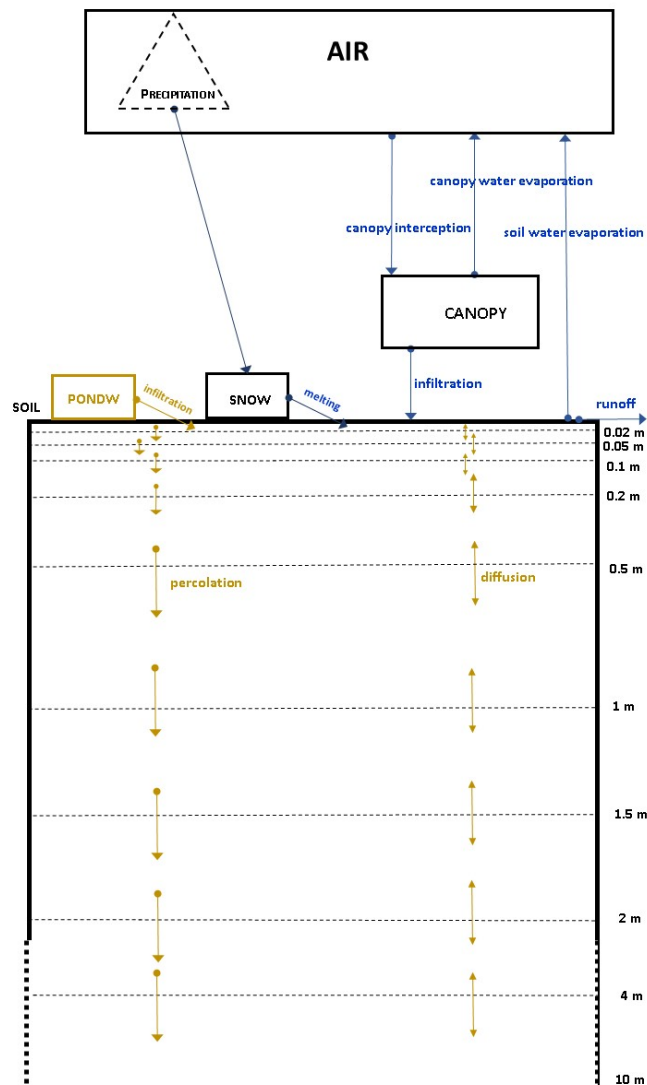
A következő ábrákon mutatjuk be a Biome-BGCMuSo v6.02 modell szén- (7.3.2. Melléklet 3. ábra), nitrogén- (7.3.2. Melléklet 4. ábra) és vízforgalmának (7.3.2. Melléklet 5. ábra) folyamatábráját. Sárgával jelöltük azokat a folyamatokat, illetve tározókat, melyeket csak a Biome-BGCMuSo-ban szerepelnek.



7.3.2. Melléklet 3. ábra Biome-BGCMuSo v6.02 szénforgalom modul folyamatábrája



7.3.2. Melléklet 4. ábra Biome-BGCMuSo v6.02 nitrogénforgalom modul folyamatábrája



7.3.2. Melléklet 5. ábra Biome-BGCMuSo v6.02 vízforgalom modul folyamatábrája

2. Legfontosabb bemenő adatok

A futásokhoz az MTA ATK TAKI talajadatbázisának (dosoremi.hu; térbeli felbontás 1 ha) és a FORESEE klimatikus adatbázis (nimbus.elte.hu/FORESEE; térbeli felbontás: 10 km) adatait használtuk fel. Bár talajadatok 100 m-es felbontásban is rendelkezésre álltak nem futtattuk le a modellt a 0,1 fokos (kb. 10×10 km-es) rács valamennyi 100 méteres alcellájára, mert így az országos szimulációk növénycsoportonként közel egy hétig tartottak volna. Mivel a modell paramétereit beállítás során számtalan országos futást kellett végezni, a 100 m-es felbontásba történő modellezés nem fért bele a megadott időkeretbe. Ehelyett minden 10 km-es cella 10000 alcellája közül kiválasztottuk azt, amelyik legjobban reprezentálta a cellát (legközelebb állt a cellaátlaghoz). A szimulációkhoz (*dőlt betűvel*) illetve a reprezentáns cella kiválasztásához az alábbi adatokat használtuk fel a talajok 0-30, 30-60, 90-100 és 100-200 cm-es rétegeire vonatkozóan; *dőlt betűvel* az alábbi képletben felhasznált jelölésekkel:

1. térfogattömeg [kg/m³], TT
2. humusz [%], HU
3. mésztartalom [%]
4. pH []
5. homok frakció [%], HO
6. vályog frakció [%], VA
7. agyag frakció [%], AG
8. maximális nedvességtartalom [V%]
9. szabadföldi vízkapacitás [V%]
10. holtvíztartalom [V%]

A földhasználati kategóriák (erdők, gyepesek, szántók) a Corine2000 adatbázis alapján készültek (Barcza et al 2010).

Reprezentáns cella kiválasztása; amelyre CF értéke a legkisebb:

Célfüggvény a j. adatrétegre (CF_j), illetve a teljes célfüggvény (CF), amely minimumát keressük egy cellához tartozó 10000 alcellára. j=1 a 0-30 cm-es talajréteget jelöli. Az avg indexszel jelölt tényezők az adott paraméterek 10000 alcellára vonatkozó átlagait jelölik. (A célfüggvény (objective function) az optimalizációs eljárások témakörének alapfogalma. Azt az alcellát (i sorszámot) kerestük a 10000-ból, amelyre a célfüggvény helyettesítési értéke a legkisebb.)

$$CF_j = \sum_{i=1}^{10000} \frac{abs(TT_i - TT_{avg})}{TT_{avg}} + \sum_{i=1}^{10000} \frac{abs(HU_i - HU_{avg})}{HU_{avg}} + \sum_{i=1}^{10000} \frac{abs(HO_i - HO_{avg})}{HO_{avg}}$$

$$+ \sum_{i=1}^{10000} \frac{abs(VA_i - VA_{avg})}{VA_{avg}} + \sum_{i=1}^{10000} \frac{abs(AG_i - AG_{avg})}{AG_{avg}}$$

$$CF = \frac{5 \times CF_1 + 3 \times CF_2 + 2 \times CF_3 + CF_4}{11}$$

A szimulációkhoz az alábbi napi léptékű meteorológiai adatokat használtuk fel:

1. globálsugárzás [MJ/m²]
2. maximum hőmérséklet [°C]
3. minimum hőmérséklet [°C]
4. csapadék [mm]

A növények produkcióját és üvegházhatású gáz mérlegét befolyásoló főbb paraméterek (fenofázisok hossza, fényhasznosítási hatékonyság, fajlagos levélfelület, gyökérnövekedési ütem, maximális sztómakonduktancia, levél nitrogéntartalom és a főbb növényi részek közötti anyagelosztás arányszámai) értékét úgy állítottuk be, hogy a szimulált termés illetve biomassza értékek elfogadható egyezést mutassanak a különböző adatbázisokból elérhető megfigyelt értékekkel: a szimulált hozamok átlaga a megfigyelt hozamok átlaga ± szórás tartományon belülre essen. Kukorica és búza esetében a martonvásári és egy németországi tartamkísérlet (Klingenberg, eddy-állomás) eredményeit használtuk fel erre a célra. Gyepesek esetében a bugaci eddy-kovariancia állomások adatait is felhasználtuk, de csak szubjektív módon. Lombhullató

erdő esetében szlovák erdész kollégák által beállított paramétereket használtunk (K. Merganičová, személyes kommunikáció). A talaj szervesanyag-tartalmával (SOM) kapcsolatos átalakulási folyamatok paramétereit úgy állítottuk be, hogy modell ún. spinup (egyensúlyi) fázisának végén a szimulált SOM értékek a legjobb egyezést mutassák a DoSoReMi adatbázisban elérhető megfigyelés-alapú SOM értékekkel. **A fentiekhez egy fontos kiegészítés:** Az országos futtatási eredményeink előzetes [ún. preliminary] eredmények. A modell teljeskörű, valamennyi meghatározó paraméterére kiterjedő kalibrálására még nem volt lehetőségünk, illetve időnk. A paraméterek 'szakértői' beállítása még elnagyolt, ami azt jelenti, hogy bár reális eredményekre törekedtünk, a modell mérésekkel ellenőrizhető kimeneti értékei nem feltétlenül felelnek meg a valóságnak, csak a megfigyelési adatok által definiált 'még elfogadható' tartományba esnek. Ennél pontosabb illetve megbízhatóbb eredmények várhatók a közeljövőben, amikor elkészül a Biome-BGCMaG optimalizációs modulja. Jelen eredmények stratégiai döntésekre történő felhasználását nem javasoljuk. Sarokszámok kapcsán a csoportunk korábbi publikációit javasoljuk tanulmányozni.

3. Szimulációk

A modell paramétereinek beállítása után az ország valamennyi 10×10 km-es cellájára **8 modell variánst** futtattunk le (még akkor is ha egy-egy cellában az általunk elérhető adatbázis szerint egy adott földhasználati típus egyáltalán nem szerepel):

1. extenzív kukorica (adatfájl: „maize_ext”)
2. intenzív kukorica (adatfájl: „maize_int”)
3. extenzív őszi búza (adatfájl: „wheat_ext”)
4. intenzív őszi (adatfájl: „wheat_int”)
5. természetes gyep (adatfájl: „pasture_nat”)
6. egyszer kaszált gyep (adatfájl: „pasture_cut”)
7. természetes erdő (adatfájl: „forest_nat”)
8. ritkított erdő (adatfájl: „forest_thi”)

(Klíma SZMCS megjegyzései: ezek a modellezők által használt terminológiák, illetve beállítási, modell futtatási kérdések miatt a 2, 4, 6 és 8-as modell variánsokat alkalmaztuk a tanulmányban.)

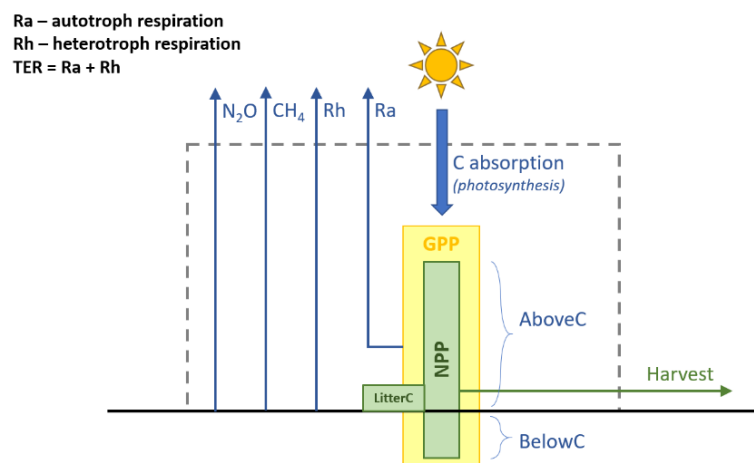
Variánsok (művelések és ökoszisztémák) ismertetése

1. Extenzív kukorica: vetés: április 20-a, aratás: október 10-e, 100 kg/ha/év N műtrágya, melléktermés (a földfeletti biomassa azon része, ami nem termés: leginkább a szár és a levél tömegének összege) a területen marad
2. Intenzív kukorica: vetés: április 20-a, aratás: október 10-e, 180 kg/ha/év N műtrágya, melléktermés lekerül a területről
3. Extenzív őszi búza: (vetés: október 5-e, aratás: június 10-e, 80 kg/ha/év N műtrágya, melléktermés a területen marad)
4. Intenzív őszi búza: búza (vetés: október 5-e, aratás: június 10-e, 150 kg/ha/év N műtrágya, melléktermés lekerül a területről)
5. Természetes gyep: nincs emberi beavatkozás (hipotetikus gyep, a NÖSZTÉP 2. szintjének, a potenciális szolgáltatásnak tekinthető)
6. Egyszer kaszált gyep: kaszálás: július 6-a, kaszálás után maradt levélfelületi index: 1,5 m² m⁻²
7. Természetes erdő: nincs rajta emberi beavatkozás.(hipotetikus erdő, a NÖSZTÉP 2. szintjének, a potenciális szolgáltatásnak tekinthető)

8. Kezelt erdő: Egyszeri szálalást feltételezünk úgy, hogy az időszak elején (1990-ben) a faállomány 25%-át kivágják. A kivágottból az elszállított biomassa aránya: 90% a fás szárú és 60% a lágyszárú biomasszára.

Valamennyi futás esetében az alábbi **kimenő változókat** irattattuk ki az 1988-2017 időszak minden évére. A változók közötti összefüggéseket az alábbi 7.3.2. Melléklet 6. ábra magyarázza. **Kimenő változók** (térképezett: 3, 6, 7, 8, 10, 11, 12):

1. GPP - Gross Primary Productivity, bruttó primer produkció [gC/m²/y]
2. TER - Total Ecosystem Respiration, ökoszisztéma légzés [gC/m²/y]
3. NEE - Net Ecosystem Exchange, nettó ökoszisztéma szén-dioxid csere [gC/m²/y]
4. NPP - Net Primary Production, nettó primer produkció [gC/m²/y]
5. NEP - Net Ecosystem Production, nettó ökoszisztéma produkció [gC/m²/y]
6. NBP - Net Biome Production, nettó biom produkció [gC/m²/y]
7. aboveC - Carbon content of the above ground part of plants, föld feletti biomassa szénkészlete [g/m²]
8. belowC - Carbon content of the above ground part of plants, föld alatti biomassa szénkészlete [g/m²]
9. SOC - Soil Organic Carbon content, talaj szerves szénkészlete [t/ha]
10. N₂O - Dinitrogen Oxide emission of soil, a talaj dinitrogén-oxid fluxusa [gN₂O-N/m²/y]
11. CH₄ - Methane emission of soil, a talaj metán fluxusa [gCH₄-C/m²/y]
12. NGHGB - Net GreenHouse Gas Balance, nettó üvegházgáz mérleg [gC/m²/y]



$$\mathbf{NPP = GPP - Ra; NPP^* = AboveC + BelowC + (LitterC)}$$

$$\mathbf{NEP = NPP - Rh; NEP = GPP - TER; (NEE = -NEP)}$$

$$\mathbf{NBP = NEP - Harvest}$$

$$\mathbf{NGB = NBP - N_2O(Ceq) - CH_4(Ceq)}$$

7.3.2. Melléklet 6. ábra A változók közötti összefüggések (az ábrán NGHGB helyett annak rövidebb formája az NGB szerepel).

Bővebben a modellről, beállításokról:

Hidy, D., Barcza, Z., Marjanović, H., Ostrogović Sever, M.Z., Dobor, L., Gelybó, G., Fodor, N., Pintér, K., Churkina, G., Running, S., Thornton, P., Bellocchi, G., Haszpra, L., Horváth, F., Suyker, A., Nagy, Z. (2016a) Terrestrial ecosystem process model Biome-BGCMuSo v4.0: summary of improvements and new modeling possibilities. Geoscientific Model Development, 9, 4405-4437.

7.3.3 Különböző modellbeállítások mellett vizsgált további térképek az üvegházgáz forgalomra vonatkozóan (Koncz Péter, Horváth László)

A **Biome-BGC-Mag 2.0** modell eredmények alapján 112 db térkép (layout) készült el. A különböző ökoszisztémákra (erdő, gyep és kétféle szántó; kukorica és búza), időintervallumokra (1988-2014 és 2015), valamint eltérő, az üvegházgáz mérleg fontos komponenseire (paramétereire) készültek el a térképek (layout-ok). A főbb térképeket a „4.3.4.3 Tényleges ÖSz, felhasználás” fejezetben bemutattuk. A 7.3.2. fejezetben látható hogy **különböző kezelési beállítások** mellett is készültek térképek, ezeket mutatjuk be ebben a fejezetben. Fontos, hogy **további modellbeállítások lehetnek szükségesek** a valóság pontosabb leképezéséhez. Az alábbi **hipotetikus** modellfuttatások az ökoszisztémák működésének megértését segítik.

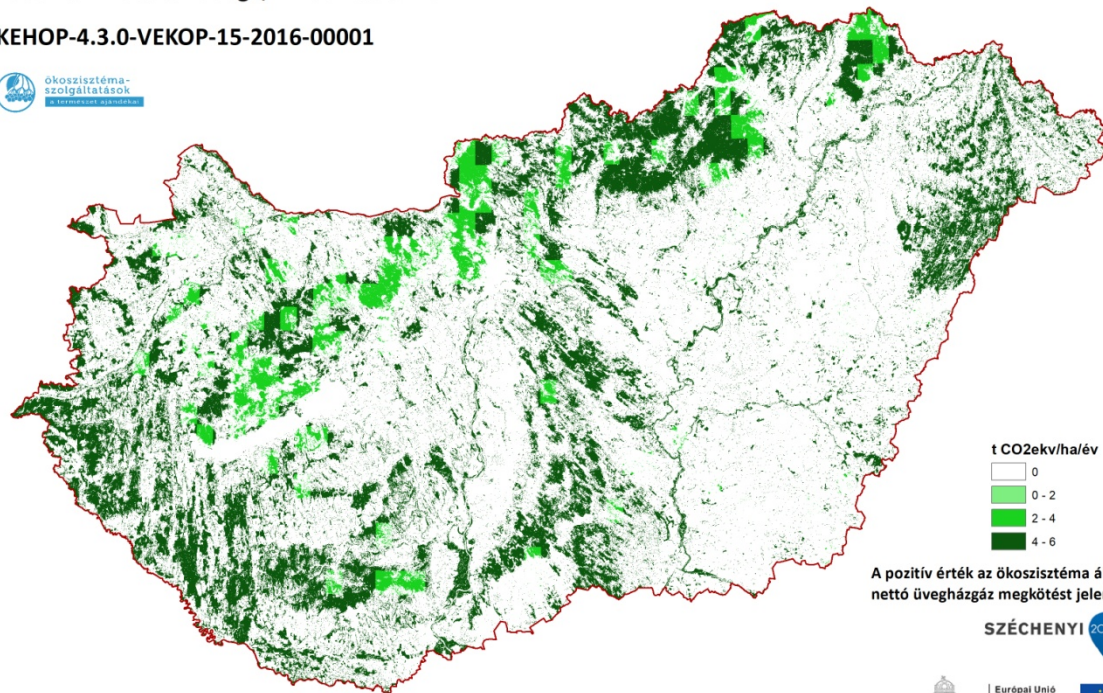
Erdők, nincs fakitermelés (hipotetikus modellbeállítás)

Azon modellbeállítás mellett amikor, azt **feltételezzük**, hogy az **erdőkben nincs fakitermelés** abban az esetben az üvegházgáz mérleget a 7.3.3. Melléklet 1. ábrája mutatja. Fontos, hogy ez egy elméleti állapot, jelen szociális, gazdasági, társadalmi környezet mellett nem kivitelezhető és nem is cél állapot. **Azt látjuk, hogy az erdők nettó üvegházgáz megkötése jelentősebb azzal szemben, amikor van fakitermelés.** Az üvegházgáz mérlegben a kivitt famennyiség csökkenti a nettó megkötést, mert az erdőből kivitt fa a mérlegben negatív tagként jelenik meg, hiszen ez az ökoszisztéma számára veszteség (és a kivitt famennyiség fele tűzifa, ami az égetés során visszakerül a légkörbe).

A térképen itt élesebben kirajzolódik a 33. ábrához képest, hogy a magasabban fekvő, kedvezőbb csapadék ellátottsággal bíró erdők nettó üvegházgáz mérlege magasabb, mint az alacsonyabb területen található erdőké. Fontos, megjegyezni, hogy fakitermelés nélkül alacsonyabb üvegházgáz megkötés is várható, mivel nincs fiatal növedék, nincs erdőtelepítés, ami képes lenne jelentős szén-dioxid megkötésre, illetve az erdő korosodása során a szénmegkötés jellemzően lassul. Az idősebb állományokban ugyanakkor egyre magasabb a raktározott szén mennyiség.

Hipotetikus erdők (nincs fakitermelés) nettó üvegházgáz mérlege (t CO₂ekv/ha/év),
1988-2014 időszak átlaga, 2. kaszkád szint.

KEHOP-4.3.0-VEKOP-15-2016-00001



t CO₂ekv/ha/év
0
0 - 2
2 - 4
4 - 6

A pozitív érték az ökoszisztéma általi
nettó üvegházgáz megkötést jelenti

SZÉCHENYI 2020



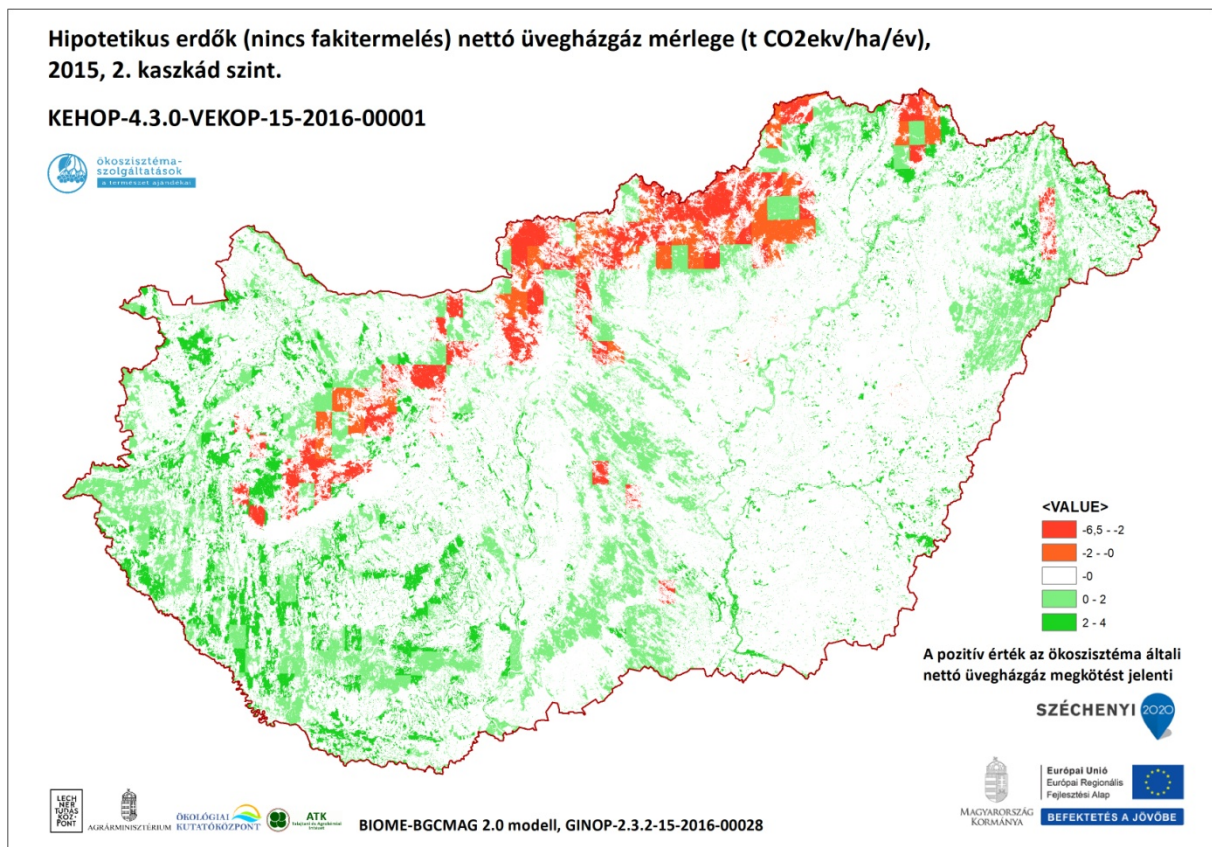
BIOME-BGCMAG 2.0 modell, GINOP-2.3.2-15-2016-00028



BEFEKTÉÉS A JÖVŐBE

7.3.3. Melléklet 1. ábra Hipotetikus erdők (nincs fakitermelés) nettó üvegházgáz mérlegének területi eloszlása (1988-2014-ben) a Biome-BGC-MAG 2.0 modell alapján (7.3.2 Melléklet)

Ha csak a **2015**-ös évre vonatkozó térképet elemezzük (fakitermelés nélkül), akkor azt látjuk, hogy a száraz év miatt az **erdők több helyen nettó üvegházgáz kibocsátással jellemezhetőek** (7.3.3. Melléklet 2. ábra).



7.3.3. Melléklet 3. ábra Hipotetikus erdők (nincs fakitermelés) nettó üvegházgáz mérlegének területi eloszlása 2015-ben a Biome-BGC-MAG 2.0 modell alapján (7.3.2 Melléklet)

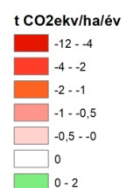
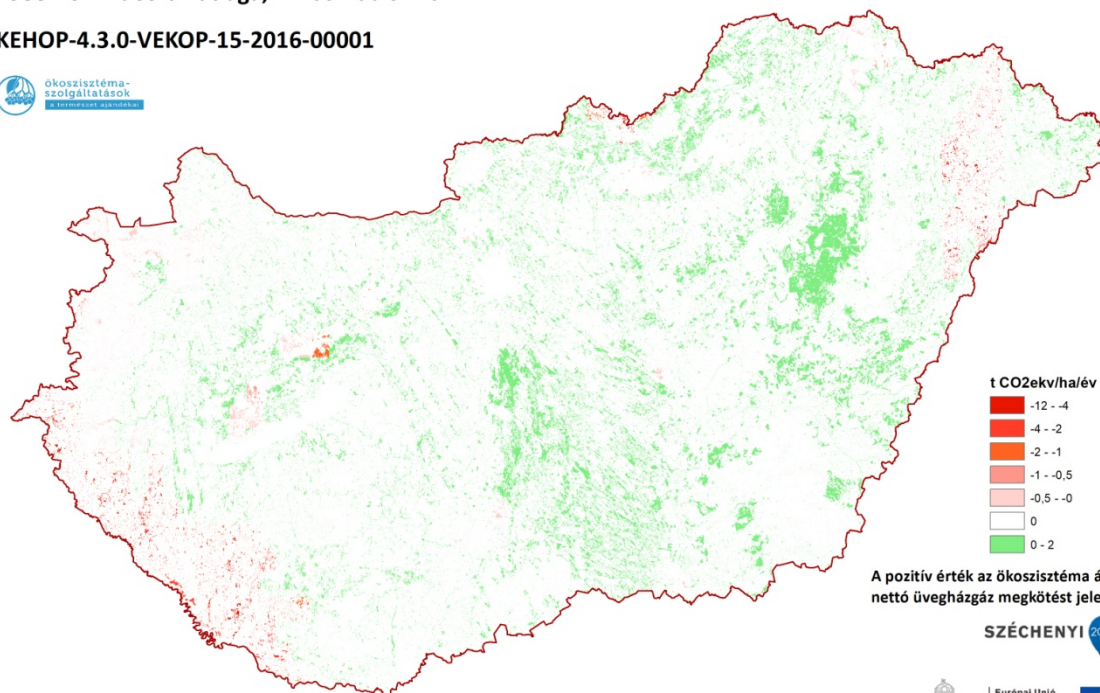
Gyepes, nincs kezelés (hipotetikus modellbeállítás)

A gyepes lehetséges nettó üvegházgáz mérlegének területi eloszlását, amikor azt feltételezzük, hogy **nincs kaszálás** a 7.3.3. Melléklet 4. ábra mutatja. A területi eloszlás hasonló az 34. ábrához (van kaszálás). Látható, hogy jelentős nettó üvegházgáz megkötéssel továbbra is a Duna-Tiszai közti, Tiszántúli gyepes rendelkeznek, és pl. a nyírségi, dél zalai, dél somogyi területek, egyes domb és hegyvidéki területek nettó kibocsátóak. Ugyanakkor az is látható, hogy azon modellfuttatáshoz képest, amikor mindenhol kaszálást feltételeztünk, ezen futtatás szerint több helyen (hegyvidéki területek peremterületein) a gyepes jelentősebb megkötéssel bírtak. Tehát a **kaszálás klímavédelmi szempontból kedvezőtlen**, amit terepi mérések is igazoltak (Koncz et al 2017).

Fontos eredmény, hogy a gyepes **2015-ben** (évi egyszeri kaszálási modell-beállítás mellett) az átlagtól eltérően (34. ábra) jelentős **nettó üvegházgáz kibocsátást** mutattak a **száraz év** miatt (7.3.3. Melléklet 5. ábra).

Hipotetikus gyepek (nincs kaszálás és legeltetés) nettó üvegházgáz mérlege (t CO₂ekv/ha/év),
1988-2014 időszak átlaga, 2. kaszkád szint.

KEHOP-4.3.0-VEKOP-15-2016-00001



A pozitív érték az ökoszisztéma általi nettó üvegházgáz megkötést jelenti



AGRÁRMINISZTERIUM KÜLTÖRÖKÖZPONT



BIOME-BGCMAG 2.0 modell, GINOP-2.3.2-15-2016-00028

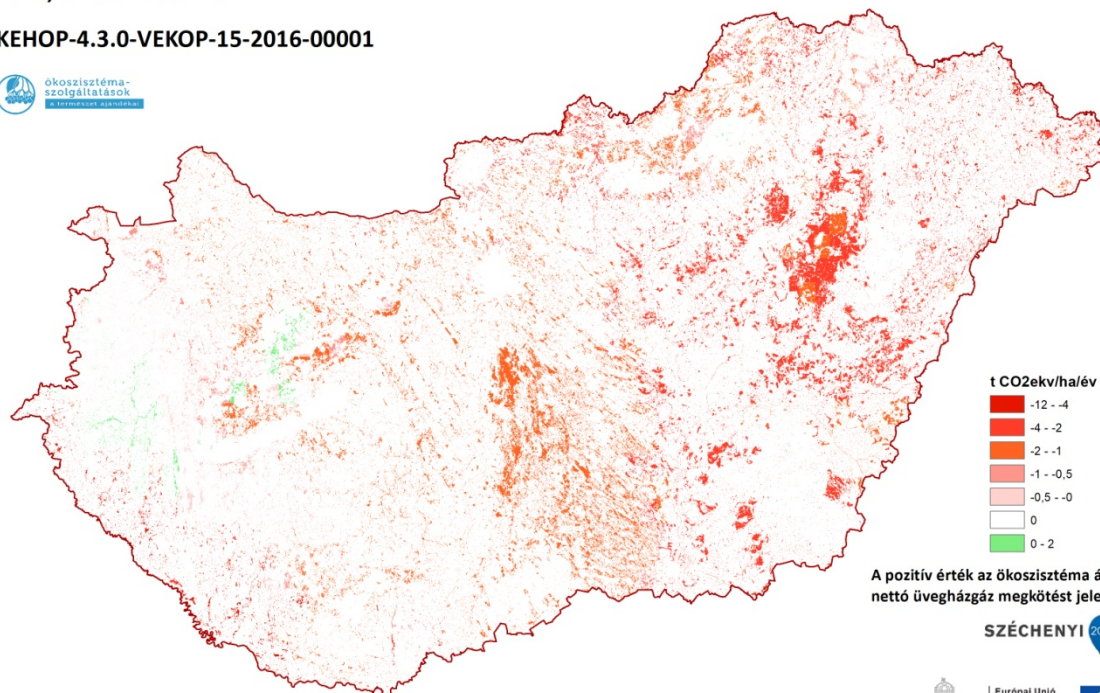


BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

7.3.3. Melléklet 4. ábra A gyepek potenciális nettó üvegházgáz mérlegének (nincs kaszálás) területi eloszlása (1988-2014-ben) a Biome-BGC-MAG 2.0 modell alapján (7.3.2 Melléklet)

Kezelt gyepek (évi egyszeri kaszálás) nettó üvegházgáz mérlege (t CO₂ekv/ha/év).
2015, 3. kaszkád szint.

KEHOP-4.3.0-VEKOP-15-2016-00001



A pozitív érték az ökoszisztéma általi nettó üvegházgáz megkötést jelenti



AGRÁRMINISZTERIUM KÜLTÖRÖKÖZPONT



BIOME-BGCMAG 2.0 modell, GINOP-2.3.2-15-2016-00028

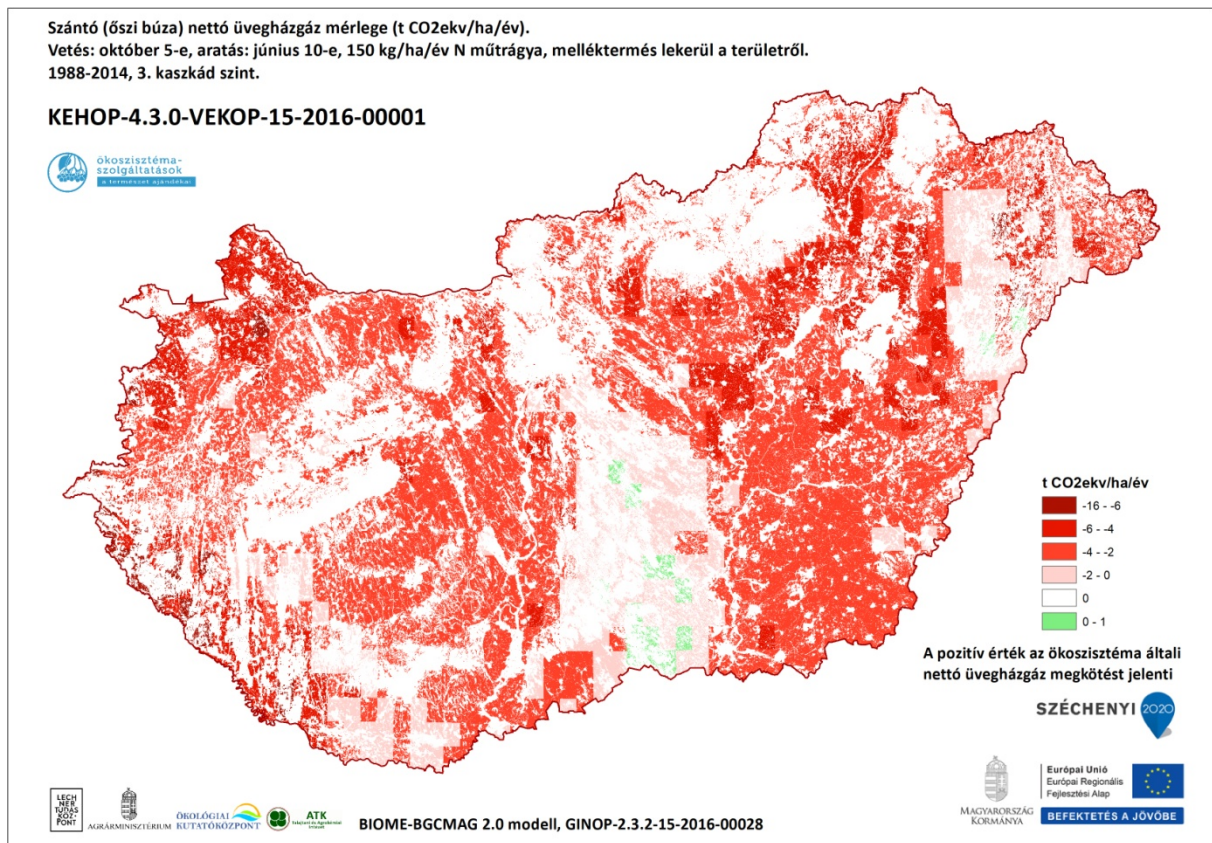


BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

7.3.3. Melléklet 5. ábra A gyepek (egyszeri kaszálás mellett) nettó üvegházgáz mérlegének területi eloszlása 2015-ben a Biome-BGC-MAG 2.0 modell alapján (7.3.2 Melléklet)

Szántók, búza

Kukorica mellett **búzára** vonatkozóan is készültek modellfuttatások (7.3.3. Melléklet 6. ábra). Ha azt feltételezzük, hogy a szántónak alkalmas területekre búzát vetünk, úgy a nettó üvegházgáz mérleg **területi eloszlása a kukoricához képest hasonló volt, de a kibocsátás alacsonyabb** (6 tonna helyett 3,2 tonna szén-dioxid egyenérték évente hektáronként). Sőt, egyes területeken, ahol jelentős a globális energia besugárzás (Duna-Tisza köze), tehát jelentős szén-dioxid megkötés, ott nettó üvegházgáz megkötés tapasztalható! Tehet **a búza kedvezőbb üvegházgáz mérleggel jellemezhető a kukoricával szemben.**



7.3.3. Melléklet 6. ábra A szántók (búza) nettó üvegházgáz mérlegének területi eloszlása (1988-2014-ben) a Biome-BGC-MAG 2.0 modell alapján (7.3.2 Melléklet)

7.4 A nemzeti üvegházgáz leltár célja, módszerei, rendszerhatárai (Somogyi Zoltán)

A nemzeti üvegház gáz (ÜHG) leltárak (UNFCCC 2019a) célja a nemzeti szintű ún. mitigációs (kibocsátás-csökkentési) **szakpolitikák kialakításának és megvalósításának elősegítése.**

Ennek a célnak leginkább az ÜHG-k országos léptékben összesített kibocsátási és elnyelési kataszterei felelnek meg. E leltárak célja éves időléptékben az antropogén eredetű olyan ÜHG kibocsátások és elnyelések becslése, amelyekkel az emberiség lényeges befolyást gyakorol a Föld energia-mérlegére (IPCC, 2013, IPCC, 2014).

Az összes kibocsátás és elnyelés közül ebben a fejezetben a mezőgazdasági és a földhasználati szektorban elsősorban a CO₂, a CH₄ és az N₂O tartozik a fontos ÜHG-k közé. Ezen gázok éves kibocsátási és elnyelési adatait az ÜHG leltárak az IPCC (2006) módszertana alapján definiált szektorokra bontva tartalmazzák. E fejezet számára elsősorban az állattenyésztés és a mezőgazdasági földek mű- és szerves trágya kezelésének hatásait összegző „Agriculture” (Mezőgazdaság), valamint a különböző földhasználati ágakra (szántógazdálkodás, erdőgazdálkodás stb.) kiterjedő ún. földhasználati szektor („land use, land use change and forestry”, LULUCF) jelentős.

Fontos elvárás az ÜHG leltárakkal szemben, hogy a becsült kibocsátások és elnyelések adatsorai transzparenssek („transparent”), torzítatlanok („accurate”), teljesek („complete”), és időben konzisztensek („consistent”), illetve más országokban alkalmazott módszerekkel összevethetőek („comparable”) legyenek (ún. TACCC kritériumok), továbbá elvárás, hogy a leltárakat mindenben a tudományos elveknek és eredményeknek megfelelő módszerekkel készítsék (UNFCCC 2019b, UNFCCC 2019c), és tartalmuk minőségét átlátható nemzetközi ellenőrzési folyamatokkal (UNFCCC 2019d) is biztosítsák.

Az ÜHG leltárak módszertanát jelenleg az ENSZ (ld. fent és EU, 2019) jogszabályaiban hatályosnak tekintett, számos lektorálási folyamaton átesett 2006-os IPCC Útmutató (IPCC, 2006) „jó gyakorlat” elvárásai („good practice”), ill. annak 2019-es átdolgozása („Refinement”) alapján kidolgozott hazai módszerek (NIR 2019) figyelembevételével ismertetjük. Az IPCC módszertannak még nem alakult ki teljes körűen a magyar nevezéktana, ezért, és esetenként az egyértelműség kedvéért - zárójelben - hivatkozunk az eredeti angol nyelvű megnevezésre is.

Az IPCC módszertana a becslési módszer komplexitására nézve három fő szintet („Tier”) különít el. A Tier 1 módszernél mind a becslési módszert és annak formuláját, mind pedig az abban alkalmazandó EF (emission factor, emissziós tényező, konkrét tevékenységi típusokra alkalmazandó) átlagos („alap” vagy „default”) értéket az IPCC módszertan explicite megadja. Ezt a módszert kell alkalmazni minden olyan esetben, amikor az adott tevékenység esetén az ország nem rendelkezik saját, pontosabb értékkel. Ennél pontosabbnak tekinthető a Tier 2 szint, amikor a formulába nem az alapértéket helyettesítjük be, hanem az országspecifikus értéket. Végül a Tier 3 szinten a becslési módszer, és értelemszerűen az ahhoz tartozó paraméterek is ország-specifikusak. Az ilyen módszerek alkalmazása speciális feltételekhez kötött.

A kibocsátások éves mennyiségét a Tier 1 és 2 szintű módszerrel általában alulról felfelé építkezve, egy-egy évben az emberi tevékenység mértékét ún. **emissziós tényezővel** („emission factor”) **szorozva becsülhetjük meg:**

$$E = AD * EF,$$

ahol E = emisszió nagysága; AD = az emberi tevékenység mértékére jellemző ún. aktivitási adat („activity data”, pl. az egy év alatt eltüzelt olaj mennyisége; autó-kilométerek mennyisége; kiszórt műtrágya mennyisége stb.); EF = az egységnyi tevékenység során keletkező kibocsátás, az ún. emissziós tényező (pl. km-enkénti CO₂ kibocsátás; kiszórt műtrágya kilogrammonkénti N₂O kibocsátás nagysága stb.). A különböző emisszióknál az EF esetenként többféle faktor kombinációjából áll elő.

A fenti (egy-egy kibocsátásokról módosított, de koncepcióját tekintve hasonló) eljárás alkalmazásával pl. egy-egy gyár, erőmű, autó stb. emissziója becsülhető; az országos összes emisszió pedig ezen egységek összeadásával adódik.

Hasonló alapelveket használva, többnyire országspecifikus emissziós faktorokat használva becsüli (tehát Tier 2-es, 3-as szinten) az üvegház gáz leltár a mezőgazdaságból származó, közvetlen (pl. műtrágyázás) és közvetett (pl. elfolyás) emberi hatásból származó, valójában a mezőgazdasági területeken történő, de nem azok inherens folyamataiból adódó nem-CO₂ kibocsátást. Ez a kibocsátás elvben csökkenthető, illetve akár meg is szüntethető, és a változásának mértéke az emberi behatás mértékének változását indikálja.

Elsősorban a földhasználati szektorban a fenti módszerekhez képest azonban más módszereket is alkalmazni kell.

Fontos kiemelni, hogy az ÜHG leltárak fő célját elsősorban nem egy-egy év kibocsátásainak „pontos” becsülésével lehet elérni, hanem a **kibocsátások trendjének becsülését** lehet elérni. (Többek között emiatt fontos a fent említett, a módszereiben és adataiban konzisztens idősorok levezetése.) A trendek alakulása elsősorban az aktivitási adatoktól függ, és csak másodsorban függ (esetenként nem függ) az emissziós faktorok pontosságától. Ebből a szempontból is jelentős az IPCC módszertanának az az eleme, hogy országos lefedettségét rendszeresen gyűjtött, minőségellenőrzéseken átesett, egy-egy ország esetében „legjobbnek tekinthető” országos statisztikákra építi.

A **földhasználati szektor** a többi szektorhoz képest sokkal komplexebb, ami a becsülést nagyban bonyolítja, több lényeges különbséget okozva a fent említett, E = AD * EF típusú megközelítéshez képest.

① A földhasználati szektorban nemcsak **kibocsátások**, **hanem** – mindenekelőtt a széndioxid esetében – **nyelő folyamatok is** lezajlanak, ezért a szén nettó egyenlegét kell figyelembe venni. Az elnyelések és kibocsátások esetében ún. széntárolónként (annak jellegzetességeit is figyelembe vevő módszerrel) becsüljük meg a tároló szénkészletének változását, és a nettó szénkészlet-változást váltjuk át (nettó) széndioxid kibocsátásra vagy elnyelésre.

A földterületeken (szárazföldi ökoszisztémákban) a NÖSZTÉP projekten belül értelmezett kibocsátások és elnyelések a fent említett Agriculture szektorbeli (elsősorban nem-CO₂)

kibocsátások és a LULUCF szektorbeli (CO₂ és nem-CO₂) kibocsátások és elnyelések összegéből állnak elő.

② A földhasználati szektorban jelentkező sokféle kibocsátás és elnyelés nem kizárólag, és nem is elsősorban **antropogén**, hanem (a kibocsátási és elnyelési folyamat jellegétől függő mértékben) **természetes folyamatok** hatására alakul ki. (Megjegyezzük, hogy mivel a NÖSZTÉP is hasonló elvet adoptált, ezért az ÜHG leltár adatait jelenleg átalakítás nélkül át tudja venni.) Az ÜHG leltár céljai számára fontos feladat volna az antropogén és a természetes fluxusok szétválasztása. Ez a szétválasztás talán egy-egy konkrét esetben, illetve helyszínen megvalósítható, ám országos szinten egyelőre lehetetlennek látszik. Egy-egy kivételtől eltekintve szintén lehetetlen pillanatnyilag, hogy egyes környezeti tényezőknek (klíma, légszennyezések, CO₂-trágyázási effektus stb.) a kibocsátási és elnyelési fluxusokra gyakorolt hatását becsüljük, illetve kizárjuk („factoring out”).

Az ezzel a kérdéssel foglalkozó legutóbbi konszenzus (IPCC, 2010, 2019) szerint jelenleg nem ismert olyan módszer, amely az ÜHG leltár céljaira alkalmazható lenne a „factoring out” kezelésére. Ezért a földhasználati szektorban a kibocsátások és elnyelések becslésére továbbra is az IPCC (2006) által alkalmazott ún. „managed land proxy” (kezelt területeken jellemzően antropogén kibocsátás tapasztalható) a mérvadó módszer. Ez a proxy azt mondja ki, hogy kezelt területen az összes kibocsátást és elnyelést egyszerre kell figyelembe venni, és ezek nettó értékével kell közelíteni az antropogén kibocsátások nettó értékét.

(Megjegyezzük, hogy az antropogén és természetes folyamatok szétválasztása már csak azért sem könnyű – ha egyáltalán lehetséges –, mert valójában nem módszer-, hanem definíció-függő; a „factoring out” pedig a klímaváltozás kezelésének jelenleg fontos időtávlataiban – elsősorban a következő 2-3 évtizedben, Somogyi, 2019 – általában nem releváns, mert a trendeket sokkal inkább a közvetlen emberi behatások, semmint a közvetettek határozzák meg. Ez alól kivételt képez viszont pl. a faelhalás, ami nagyon nagy emissziót eredményezhet, s ami magának a klímaváltozásnak a közvetlen következménye lehet, l. Somogyi, 2018, Somogyi, 2016.)

③ Az IPCC módszertana arra épít, hogy a **kibocsátások és az elnyelések nem felszínborítástól, hanem földhasználatától függenek**. Így pl. kezelt terület esetében nem „erdőről” beszélünk általában, hanem „kezelt erdőről”. A becslési módszer a kezeléstől függ. Az IPCC módszertana 6 földhasználati kategóriát különít el: (kezelt) erdőket („Forest land”), szántókat („Cropland”), gyepeket („Grassland”), vizes területeket („Wetlands”), lakott területeket („Settlements”) és az összes többi (jellemzően terméketlen) területeket („Other lands”). Fontos emellett, hogy külön folyamatok indulnak be, speciális elnyelő és kibocsátó folyamatokat kiváltva akkor, amikor egy-egy földhasználati formát egy másikkal váltunk le, tehát pl. amikor erdőt telepítünk, vagy amikor gyepterületet szántóvá alakítunk. Ezért az IPCC módszertan egy-egy földhasználati kategórián belül elkülöníti az egy adott időszakban **ugyanazzal a földhasználattal érintett területeket** („remaining”, **maradó** kategóriák, pl. szántó művelési ágban maradó területek, „Cropland remaining cropland”) és a **művelési ágat váltó** területeket („land converted to another land use”, pl. szántó fával történő betelepítése esetén „Cropland converted to Forest land”). Egy-egy maradó, illetve konverziós kategóriában megadott nettó emisszió vagy nettó nyelés tehát a „maradó” és a konvertált területekre becsült emissziók és nyelések összegeként adódik.

A földhasználati szektorban elsősorban az egyes földhasználati kategóriákra levezetett területek azok, amelyek alapján a kibocsátásokat és elnyeléseket becsüljük, ezért a terület-meghatározás pontosságának alapvető szerepe van.

④ A terület-meghatározást nehezíti, hogy a **pillanatnyi felszínborítási állapot nem feltétlenül jelzi a jellemző földhasználatot** (pl. a fent említett véghasználat után a felszínt akár még évekig nem borítják fák, legfeljebb lágyszárú növények, mégis erdő művelési ágú területnek tekintjük, ha azt valóban fel is újítják). Láttuk ugyanakkor, hogy a kibocsátások és elnyelések becsléshez fontos tudni a földhasználatok nagyságának időbeli alakulását. Ezért pusztán földhasználati statisztikákra nem szabad építeni az ÜHG becsléseket.

⑤ Egy-egy maradó, illetve konverziós kategóriában a **széntárolónkénti egyenlegképzés** két módszer valamelyikével történhet. A **folyamat-alapú módszernél** („gain-loss” method) **minden nyelő és kibocsátó folyamatot egyenként** kell figyelembe venni; ilyen pl. az, amikor a biomassza esetében külön becsüljük a fanövekedésből eredő nyelés mennyiségét, és külön-külön a fakitermelésből adódó, a faállomány sűrűségétől függő elhalásból, valamint a sűrűségtől nem függő, különböző bolygatásokból (erdőtűz, szárazság, rovarkárosítás stb.) származó fapusztulásból származó kibocsátás mennyiségét, majd az egyes mennyiségeket – előjelhelyesen – összeadjuk:

$$\Delta C = I - H - M - D, \text{ ahol}$$

ΔC = a biomassza széntároló szénkészletének változása egy adott időszakban;

I = a fanövekedés miatti széntartalom-növekedés;

H = a fakitermelések (fahasználatok) miatti széntartalom-csökkenés;

M = a sűrűségfüggő fa elhalás miatti széntartalom-csökkenés;

D = a sűrűségfüggetlen bolygatások miatti széntartalom-csökkenés nagysága.

A **szénkészletek különbségén alapuló módszer** („stock difference” method) esetében **két egymást követő időpontban becsüljük a széntároló szénkészletének nagyságát**, majd azok különbségét vesszük:

$$\Delta C = (C_2 - C_1) / t, \text{ ahol}$$

ΔC = t idő alatti szénkészlet-változás 1 évre vetített átlaga;

C_2 = t_2 (későbbi) időpontban becsült szénkészlet (pl. erdők fakészletének, vagy talajok széntartalmának a készlete);

C_1 = t_1 (korábbi) időpontban becsült szénkészlet.

A szénkészletek különbségén alapuló módszert alkalmazzuk a hazai ÜHG leltárban pl. az erdei biomassza, valamint a nem erdő földhasználati kategóriák talaj széntartalmának becslésére. Az erdei biomasszánál az Országos Erdőállomány Adattár alapján az évente becsült fafajonkénti fakészletek különbségéből számoljuk a szénkészlet-változást. A talajoknál a kiindulópontot olyan szénkészletek képezik, amelyeket a TIM alapján a földhasználati konverzióknál

egymásnak megfeleltethető típusokra vezettünk le (Zsembeli, 2013, NIR 2015, Somogyi et al, 2016).

⑥ A többi szektortól eltérően a földhasználati szektorban **egy-egy antropogén hatás eredménye nem feltétlenül azonnal mutatkozik meg emisszióban vagy kibocsátásban, hanem később vagy sokkal később.** Ha pl. egy adott évben erdőt telepítünk (tehát szántót erdővé alakítunk), a terület talajának szénkészlete egy egyensúlyi (a szántóra jellemző) nagyságról egy másik (az erdőre jellemző) nagyságra akár két évtized vagy még hosszabb idő alatt áll át; a telepített fák biomaszája pedig (a telepítés előtti jellemzően nulla közeli értékről) akár egy évszázad vagy még hosszabb idő alatt éri el a területen hosszú távon fenntartható biomasza mennyiségét. Ennek az a következménye, hogy a konverziós kategóriába került területeket hosszú ideig (alapértelmezés szerint 20 évig) az adott kategóriában tartunk (a konverziós kategóriák terület-nagysága így egy 20 év hosszúságú görgetéssel áll elő). Az éves szénkészlet-változást ennek megfelelően kell becsülni. A talajok esetében pl. a fenti képletben használt t időszak hossza tehát 20 év, és a 5. táblázatban bemutatott talajszén készlet különbségekből eredő szénkészlet-változásokat (a jelenleg a hazai ÜHG leltárban alkalmazott módszer szerint) 20 évre egyenletesen elosztva számoljuk el.

⑦ Annak, hogy a szénkészlet változás egyenlegét nem egy-egy parcellára, hanem különféle földhasználati maradó, illetve konverziós kategóriákra vezetjük le, továbbá, hogy parcella szinten a kibocsátások és elnyelések nem mindig egyidőben, földhasználati kategóriákban viszont sokszor egyidőben történnek, fontos kihatása van arra, hogy hogyan kell értelmezni az egyenlegek dinamikáját. Ez a dinamika egyrészt teljesen eltér a többi szektorban tapasztalható kibocsátások dinamikájától, másrészt jelentősen különbözik a parcellák (állományok) dinamikájától.

Az ÜHG becsléseket sokkal inkább tájleptékűnek és nem parcella- (vagy állomány) léptékűnek kell elképzelni („top-down” vs. „bottom-up”). Ezt (egyszerűsített formában, pl. állandó külső tényezőket feltételezve) az erdők példáján lehet jól szemléltetni. Egy parcella-léptékű (egykorú) erdőrészletben a szénkörforgalom egy konkrét, speciális ciklusban zajlik, melynek hossza megegyezik az ún. vágásfordulóval (az erdőfelújítástól vagy erdőtelepítéstől a véghasználatig terjedő időszak hosszával). E ciklus első, hosszú évtizedekig tartó részében növekednek a fák és időnkénti, kisebb mértékű fakitermelések vagy fapusztulások figyelhetők meg (vagyis a nettó növekedés a jellemző); második, nálunk jellemzően nagyon rövid (gyakran legfeljebb néhány hétig tartó) időszakában pedig a véghasználati készletről nullára csökken az erdei föld feletti biomasza széntartalma, valamint sokszor az avaré és a holtfáé is (amikor is a nettó kibocsátás a jellemző). Ezzel szemben egy földhasználati kategóriában (és még az azokon belül definiált típusokban is) sok-sok, különböző korú erdőrészlet található, és emiatt a kategória (típus) egészére vonatkozó nettó szénegyenleget a fenti, többé-kevésbé egyszerre jelen lévő nettó elnyelő és nettó kibocsátó folyamatok egyszerre határozzák meg. Ennek az az eredménye, hogy egy-egy kategória (típus) szénegyenlege időnként pozitív, időnként viszont negatív irányban eltér a nullától; hosszú távon (pl. a vágásforduló hosszával egyenlő hosszúságú időszakban) viszont minden típus szénegyenlege nulla vagy ahhoz nagyon közeli. A szénegyenleg végső soron hosszú távon a nulla körül ingadozik.

A földhasználati szektorban a fentieket is figyelembe véve az alábbi fő lépések megtételével történik az ÜHG kibocsátás és elnyelés becslése:

- (1) definiáljuk a különböző maradó és konverziós földhasználati kategóriákat;
- (2) a minél nagyobb pontosság érdekében, a rendelkezésre álló aktivitási adatok és emissziós faktorok függvényében megfelelő sztratifikálást alkalmazunk (vagyis az ország összes szárazföldi területét megfelelő részekre bontjuk a maradó és konverziós kategóriák, illetve az azon belüli típusok, pl. klímátípus, talajtípus, fafaj, kezelési típus stb. függvényében);
- (3) levezetjük évente az ún. földhasználat-változási mátrixot, vagyis megbecsüljük a fenti 5. táblázatban bemutatott kategóriák területét, továbbá ezen belül az egyes típusoknak a területét és/vagy más aktivitási adatát;
- (4) meghatározzuk az egyes típusokra alkalmazható emissziós faktorokat („model paraméterek”);
- (5) a megfelelő képleteket alkalmazó modellel kiszámítjuk a kibocsátásokat és elnyeléseket;
- (6) elvégezzük a bizonytalansági elemzést, ezen belül – ahol lehetőség van rá – a kvantitatív bizonytalansági becslést;
- (7) szigorú minőségellenőrzést végzünk, és ha kell, módosítjuk a számítást;
- (8) részletesen leírjuk az összes módszert, beleértve az explicit és implicit feltételezéseket is.

Hangsúlyozzuk, hogy a sztratifikálással kialakított földhasználati kategóriákon, és az azok részeit képező típusokon belül akár nagy változatosság is elképzelhető. Önmagukon belül azonban ilyen értelemben homogéneknek tekintjük a típusokat, és az egy-egy típuson belül minden állományra ugyanazt a módszert (adott esetben ugyanazt az emissziós faktort) alkalmazzuk. Így pl. az erdők esetében a hasonló termőhelyen tenyésző, hasonló fafajösszetételű faállományoknak nagyon különböző lehet a kora, és ennek következtében a (pillanatnyi) szénegyenlege, ám mindegyik állományra ugyanazt a kor-fakészlet görbét alkalmazhatjuk. A típusok között a folyamatokat és az emissziós tényezőket illetően nagyobbak a különbségek, és emiatt más módszereket vagy paramétereket alkalmazunk rájuk.

7.5 Tájleptékű mikroklíma szabályozási indikátorok paraméterei (Weidinger Tamás, Ács Ferenc)

A NÖSZTÉP alaptérkép 20 x 20 m-es felbontású élőhely-kategóriái lehetőséget adnak a felszínborítottságtól függő indexek, változók előállítására és térképezésére. Az Ökoszisztéma alaptérkép négy szintű. Az első szint 6 fő kategóriája:

- Mesterséges felszínek (Urban),
- Agrárterületek (Croplands),
- Gyepterületek és egyéb lágyszárú növényzet (Grasslands and other herbaceous vegetation),
- Erdők és egyéb fás szárú növényzet (Forests and woodlands),
- Vizes élőhelyek (Wetlands),
- Felszíni vizek (Rivers and lakes).

E csoportokat részletezi a 2. szint 22 kategóriája és a 3. szint 56 felszínborítottsági típusa. Mi a 3. adatszintre határoztuk meg az indikátor értékeket elsősorban a CORINE adatbázis felszíni kategóriáira megadott értékek átszámolásával, illetve a numerikus előrejelzési modellekben alkalmazott felszíni paraméterek alapján, ami óhatatlanul szubjektív elemeket (döntéseket) is tartalmaz.

A szabályozási célú indikátorok skálája: -5 (kedvezőtlen), +5 (kedvező) határok között változik (Burkhard et al. 2012, Burkhard and Maes 2017). Ide tartozik az f -index – a potenciális és a tényleges párolgás közötti átszámítás (Larondelle et al. 2014), a lokális klíma index, vagy mikroklíma-index, a globális klíma szabályozási index, ami az ökoszisztéma szénmegkötő képességét számszerűsíti a felszínborítottság ismeretében, továbbá a levegőminőség szabályozási és a rekreációs index, ami a humán jóllét mérőszáma. A levegőminőség szabályozási, illetve a rekreációs index is szorosan kapcsolódik a mikroklímához. Gondoljunk csak a légszennyezettség térbeli eloszlására, vagy a rekreációs tevékenységre, üdülési, pihenési szokásainkra, s benne a táji változatosság, a tiszta levegő és a mikroklíma szerepére. Ezekre a 4. kaszkádszinten a jólléti szolgáltatásoknál lehet szükség.

Megadtuk a z_0 - érdességi magasság (Pineda et al. 2004, Silva et al. 2007, McKenna et al. 2014, alapján), az ε - felszíni emisszivitás, az a - albedó felszínborítottságtól függő értékeit is (Pineda et al. 2004, Drüsler, 2011 alapján).

Az f -index a potenciális párologtatóképességet fejezi ki, vagyis optimális vízellátottság esetén megadja, hogy az adott felszín mennyivel párologtat többet, vagy kevesebbet, mint az alacsony fűfelszín optimális vízellátottság mellett, ami a potenciális párolgás (PET). Ezt kell tehát megszorozni az adott felszínre jellemző f -index-szel, hogy az ottani maximális párolgást (optimális vízellátottság mellett) megkaphassuk ($f \times PET$). A PET meghatározását Thorntwaite módszerével lásd a 7.5 Mellékletben!

Ezt az egyszerű képet (f -index alkalmazását) árnyalja, pontosítja az összetett párolgási index, az ún. Kc növény-konstans, ami a vegetációs periódus különböző szakaszaiban keres

kapcsolatot a potenciális (*PET*) és az adott felszín típusra jellemző optimális vízellátottság melletti (maximális) párolgás között ($Kc \times PET$). Az általunk alkalmazott módszertanban az évet négy szakaszra bontjuk, s a felszínborítottság függvényében határozzuk meg a *Kc* növény-konstansokat a NÖSZTÉP alaptérkép 1., 2. és 3. adatszintjéhez tartozó hazai felszínborítottság kategóriáira. A növény-konstansok a vegetációs időszak kezdeti szakaszára, *Kc*₁: március-április, közepére, *Kc*₂: május-szeptember, végére, *Kc*₃: október-november, illetve a téli időszakra, *Kc*₄: december-február lettek megadva a FAO56 módszertan (Allen et al., 1998) és Nistor et al. 2017 alapján.

Eredményeinket három táblázatban mutatjuk be, követve a 4.4. fejezetben közölt számítások sorrendjét. A 7.5. Melléklet 1. táblázata az *f*-index és a lokális klíma index értékeit mutatja (1. kaszkád szint). Ezt követi a felszíni paraméterek a *z*₀ érdességi magasság, az ϵ - felszíni emisszivitás és az *a* albedó értékeinek táblázatba foglalása, illetve a globális klímaszabályozási, a levegőminőség szabályozási és a rekreációs index bemutatása (7.4. Melléklet 2. táblázat)

A *Kc* növény-konstansokat (*Kc*₁, ..., *Kc*₄) a 7.4 Melléklet 3. táblázata tartalmazza az év négy szakaszára.

A jobb áttekinthetőség miatt csak az 1. és a 2. adatszint felszínborítottsági típusait és sorszámaikat tüntettük fel, de az indexek megadásánál szereplő intervallumok már a 3. adatszintet jellemzik. A NÖSZTÉP térképek elkészítéséhez a 3. adatszint mind az 56 felszín típusára külön-külön megadtuk az értékeket a Lechner Tudásközpont munkatársainak.

7.5 Melléklet 1. táblázat Tájleptékű mikroklíma szabályozási indikátorok a NÖSZTÉP alaptérkép 1-3 adatszintjéhez tartozó hazai felszínborítottság kategóriáira. *Potenciális párologtatóképesség* (f-index) és a *lokális klíma index*: -5 (kedvezőtlen), +5 (kedvező) (Schwarz et al. 2011, Burkhard et al., 2012, Burkhard and Maes 2017).

1. szint (MAES 2)	Kód	2. szint (~ EUNIS 2)	Kód	f-index	Lokális klíma index
Mesterséges felszínek (Urban)	1	Épületek	1.1	0,35 – 0,45	-5
		Utak és vasutak	1.2	0,60 – 0,70	-4 – -2
		Egyéb burkolt vagy burkolatlan mesterséges felületek	1.3	0,85	-2
		Zöldfelületek mesterséges környezetben	1.4	1,05 – 1,10	0 – 1
Agrárterületek (Croplands)	2	Szántóföldek	2.1	1	0
		Állandó kultúrák	2.2	1,10 – 1,20	-4 – 0
		Komplex területek	2.3	1,15	1
Gyepterületek és egyéb lágyszárú növényzet (Grasslands and other herbaceous vegetation)	3	Homoki gyepek	3.1	0,90 – 1	1
		Szikes és szikesedésre hajlamos gyepek	3.2	0,90	1
		Szikkakibúvásokkal tarkított gyepek	3.3	0,90	1
		Zárt gyepek kötött talajon vagy domb- és hegyvidéken	3.4	1	1
		Máshová nem besorolható lágyszárú növényzet	3.5	1	1
Erdők és egyéb fás szárú növényzet (Forests and woodlands)	4	Többletvízhatástól független (TVFLN) erdők	4.1	1,10 – 1,25	5
		Természetszerűbb galériaerdők	4.2	1,25	5
		Egyéb vízhatás alatt álló (TVHA) erdők	4.3	1,10 – 1,25	5
		Idegenhonos fajok dominálta erdők, faültetvények	4.4	1,10 – 1,20	1 – 5
		Erdőként nyilvántartott faállomány nélküli, vagy felújítás alatt álló területek	4.5	1,05 – 1,10	1
		Máshová nem besorolható fás szárú növényzet	4.6	1,15	4
Vizes élőhelyek (Wetlands)	5	Lágyszárú dominanciájú vizes élőhelyek	5.1	1,20 – 1,25 (1,30 – 1,40*)	3 – 4
		Fás szárú dominanciájú vizes élőhelyek	5.2	1,20 (1,40*)	2
Felszíni vizek (Rivers and lakes)	6	Állóvizek	6.1	1,30 (1,40*)	2
		Vízfolyások	6.2	1,25 (1,40*)	4

MAES – Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services

EUNIS – European Nature Information System (Somodi et al. 2017a)

* – Korábbi elemzésekben használt, a szakirodalomban is megtalálható f-index érték.

7.5 Melléklet 2. táblázat Felszíni paraméterek és szabályozási indikátorok a NÖSZTÉP alaptérkép 1-3 adatszintjéhez tartozó hazai felszínborítottság kategóriáira. z_0 – érdességi magasság (m), ε – felszíni emisszivitás, a – albedó; továbbá a globális klíma szabályozási index (G_{clim}), a levegőminőség szabályozási index (Air_q) és a rekreációs index ($Recr$). Az indexek értékei: -5 (kedvezőtlen), +5 (kedvező) (Burkhard and Maes 2017).

1. szint	Kód	2. szint	Kód	z_0 (m)	ε	a	G_{clim}	Air_q	$Recr$
Mesterséges felszínek (Urban)	1	Épületek	1.1	0,7 – 1	0,15	0,88	-3	-5	-4
		Utak és vasutak	1.2	0,06 – 0,6	0,15	0,945 – 0,88	-5 – -3	-5 – -2	-3 – -1
		Egyéb burkolt vagy burkolatlan mesterséges felületek	1.3	0,035	0,15	0,93	-4	-4	-1
		Zöldfelületek mesterséges környezetben	1.4	0,4 – 0,6	0,15	0,94 – 0,95	1	-2 – 0	-1 – 2
Agrárterületek (Croplands)	2	Szántóföldek	2.1	0,05	0,18	0,98	-1	-1	1
		Állandó kultúrák	2.2	0,05 – 0,2	0,17 – 0,19	0,98 – 0,985	-1 – 0	-1 – 0	3 – 5
		Komplex területek	2.3	0,1 – 0,3	0,16 – 0,18	0,985	0	1	2
Gyepterületek és egyéb lágyszárú növényzet (Grasslands and other herbaceous vegetation)	3	Homoki gyepek	3.1	0,05	0,17	0,85	0 – 1	1	2
		Szikes és szikesedésre hajlamos gyepek	3.2	0,05	0,17	0,85	1	1	2
		Szikkalibúvákkal tarkított gyepek	3.3	0,05	0,17	0,85	1	1	2
		Zárt gyepek kötött talajon vagy domb- és hegyvidéken	3.4	0,1	0,18	0,98	1	1	3
		Máshová nem besorolható lágyszárú növényzet	3.5	0,1	0,16	0,98	0	0	1
Erdők és egyéb fás szárú növényzet (Forests and woodlands)	4	Többletvízhatástól független (TVFLN) erdők	4.1	0,75	0,13 – 0,14	0,93 – 0,95	4	5	5
		Természetserűbb galériaerdők	4.2	0,75	0,14	0,93	4	5	5
		Egyéb vízhatás alatt álló (TVHA) erdők	4.3	0,75	0,14	0,93	4	5	5
		Idegenhonos fajok dominálta erdők, faültetvények	4.4	0,25 – 0,75	0,14 – 0,17	0,93 – 0,975	0 – 4	0 – 4	3 – 4
		Erdőként nyilvántartott faállomány nélküli, vagy felújítás alatt álló területek	4.5	0,06 – 0,4	0,14 – 0,19	0,93 – 0,98	1 – 2	1 – 1	2 – 3
		Máshová nem besorolható fás szárú növényzet	4.6	0,1	0,17	0,96	3	2	5
Vizes élőhelyek (Wetlands)	5	Lágyszárú dominanciájú vizes élőhelyek	5.1	0,05 – 0,1	0,11 – 0,12	0,95	4 – 5	1 – 2	3 – 4
		Fás szárú dominanciájú vizes élőhelyek	5.2	0,3	0,12	0,95	2	3	4
Felszíni vizek (Rivers and lakes)	6	Állóvizek	6.1	0,005	0,08	0,98	1	3	5
		Vízfolyások	6.2	0,002	0,08	0,98	1	3	4

7.5. Melléklet 3. táblázat. Tájéltékű mikroklíma-szabályozási indikátorok. Növény-konstansok (K_c) a NÖSZTÉP alaptérkép 1-3. adatszintjéhez tartozó hazai felszínborítottság kategóriáira. i) növény-konstansok a vegetációs időszak kezdeti szakaszára (K_{c1} : március-április), közepére (K_{c2} : május-szeptember), végére (K_{c3} : október-november) és a téli időszakra (K_{c4} : december-február) (FAO56 módszertan (Allen et al. 1998) és Nistor et al. 2017 alapján).

1. szint (MAES 2)	Kód	2. szint (~ EUNIS 2)	Kód	K_{c1}	K_{c2}	K_{c3}	K_{c4}
Mesterséges felszínek (Urban)	1	Épületek	1.1	0,13 – 0,24	0,38 – 0,49	0,26 – 0,31	0,13 – 0,24
		Utak és vasutak	1.2	0,29 – 0,32	0,63 – 0,68	0,47 – 0,49	0,29-0,32
		Egyéb burkolt vagy burkolatlan mesterséges felületek	1.3	0,36	0,81	0,59	0,36
		Zöldfelületek mesterséges környezetben	1.4	0,83	1,09-1,19	1,04	0,5
Agrárterületek (Croplands)	2	Szántóföldek	2.1	1,07	1,31	0,63	0,5
		Állandó kultúrák	2.2	0,39-0,90	0,97-1,36	0,65-0,90	0,39-0,5
		Komplex területek	2.3	1,05	1,29	1,19	0,5
Gyepterületek és egyéb lágú szárú növényzet (Grasslands and other herbaceous vegetation)	3	Homoki gyepek	3.1	0,54 – 0,58	0,81 – 0,87	0,68 – 0,73	0,5
		Szikes és szikesedésre hajlamos gyepek	3.2	0,54	0,81	0,68	0,5
		Szikkalibúvásokkal tarkított gyepek	3.3	0,54	0,81	0,68	0,5
		Zárt gyepek kötött talajon vagy domb- és hegyvidéken	3.4	0,38	1,14	1,03	0,38
		Máshová nem besorolható lágú szárú növényzet	3.5	0,65	1,08	0,92	0,5
Erdők és egyéb fás szárú növényzet (Forests and woodlands)	4	Többlévízhatástól független (TVFLN) erdők	4.1	1,13 – 1,19	1,13 – 1,40	1,13 – 1,38	0,6 – 1,0
		Természetszerűbb galériaerdők	4.2	1,19	1,38	1,38	0,6
		Egyéb vízhatás alatt álló (TVHA) erdők	4.3	1,13 – 1,19	1,30 – 1,38	1,30 – 1,38	0,6
		Idegenhonos fajok dominálta erdők, faültetvények	4.4	0,97 – 1,15	1,19 – 1,33	1,13 – 1,33	0,3-0,6
		Erdőként nyilvántartott faállomány nélküli, vagy felújítás alatt álló területek	4.5	0,39 – 0,87	1,09 – 1,17	1,03 – 1,06	0,39 – 0,5
		Máshová nem besorolható fás szárú növényzet	4.6	0,89	1,11	1,06	0,5
Vizes élőhelyek (Wetlands)	5	Lágú szárú dominanciájú vizes élőhelyek	5.1	1,17 – 1,20	1,17 – 1,20	0,84 – 0,86	0,5
		Fás szárú dominanciájú vizes élőhelyek	5.2	1,16	1,16	0,89	0,5
Felszíni vizek (Rivers and lakes)	6	Állóvizek	6.1	1,44	1,19	1,44	1,44
		Vízfolyások	6.2	1,15	1,15	1,15	1,15

7.6 Melléklet Potenciális párolgás (PET) számítás (Weidinger Tamás, Ács Ferenc)

A **potenciális párolgás** (PET), a jó vízellátottságú alacsony vegetációra (füfelszín) jellemző (Anon 1956). A PET jól jellemzi a légkör „**vízszívó**” hatását. A **PET számításában** az egyszerűbb havi adatok alkalmazása mellett (Thorntwaite-alapú módszerek) a Penman-Monteith-egyenlet megoldásán alapuló FAO-56 módszertan terjedt el, ami napi adatokra is alkalmazható. Az egyes számítási eljárások közötti eltérés évi átlagban nem haladja meg a 10-20%-ot, amit a CarpatClim adatbázis feldolgozásával is igazoltunk (FAO56 és a Thorntwaite számítási módszerének összehasonlítása, Lakatos et al. (2018, 2020).

Nézzük Thorntwaite módszerét! A havi potenciális párolgás (evapotranszspiráció) a következőképpen számolható:

$$PET_h = 16 \left(\frac{L}{12}\right) \left(\frac{N}{30}\right) \left(\frac{10T_i}{I}\right)^\alpha$$

Itt L a nappal átlagos hossza az adott hónapban, órákban megadva (h). Ehhez ismerni kell az adott hely földrajzi szélességét. A képletben N a napok száma az adott hónapban, T_i a havi átlaghőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$), I az éves hőindex,

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1,514},$$

míg α a hőindex komplex függvénye, melynek munkafüggvénye:

$$\alpha = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^{-2} + 1,7912 \times 10^{-2} I + 0,49239.$$

A havi potenciális párolgást mm-ben kapjuk. Ha a havi átlaghőmérséklet 0°C , vagy az alatti, akkor a PET_h értéke nulla.

7.7 Feddema-féle éghajlat-osztályozás (Ács Ferenc, Weidinger Tamás)

Feddema (2005) éghajlatosztályozási rendszere a Thorntwaite-féle módszer továbbfejlesztett változata. Célja az volt, hogy a klímaosztályozást egyszerűbbé tegye. Az éghajlat jellemzésére négy különböző mérőszámot használ:

- **hőellátottság** (az évi PET alapján kategorizálva),
- éves vízellátottság, $I_{m,évi}$, az éves potenciális párolgás és az évi csapadék hányadosa alapján,
- szezonális mértéke, A_{ing} , a csapadék és a potenciális párolgás évi ingásának a hányadosa, amit a legnagyobb és a legkisebb havi értékek különbségeként számítunk:
- az éven belüli ingás erőssége (a szezonális típusa).

Az éves **vízellátottságot** (más néven ariditási tényező) a potenciális párolgás ($PET_{év}$) és az évi csapadék ($P_{év}$) aránya határozza meg ($\frac{PET_{év}}{P_{év}}$):

$$I_{m, \text{ évi}} = \begin{cases} 1 - \frac{PET_{\text{év}}}{P_{\text{év}}}, & \text{ha } P_{\text{év}} > PET_{\text{év}} \\ 0 & \text{ha } P_{\text{év}} = PET_{\text{év}}, \\ \frac{P_{\text{év}}}{PET_{\text{év}}} - 1 & \text{ha } P_{\text{év}} < PET_{\text{év}} \end{cases}$$

Az ariditási tényező értéktartománya -1 (nincs csapadék) és +1 (nincs potenciális párolgás $PET_{\text{évi}} = 0$) között változik. A 0 érték azt mutatja, hogy az éves csapadék (vízbevétel, P) megegyezik az éves víz-kiadással, itt a potenciális párolgással.

A szezonális mértéke a csapadék ($P_{\text{ing,évi}}$) és a potenciális párolgás évi ingásának ($PET_{\text{ing,évi}}$) a hányadosa, amit a legnagyobb és a legkisebb havi értékek különbségeként számítunk:

$$A_{\text{ing}} = \frac{P_{\text{ing,évi}}}{PET_{\text{ing,évi}}}$$

Az éven belüli ingás erősségét ($I_{m, \text{ing}}^{\text{évi}}$) – az évi vízellátottság mintájára számított – legnagyobb és legkisebb havi vízellátottság különbségeként állítjuk elő. Ebből határozzuk meg a szezonális típusát. A havi I_m értékek évi ingadozásának maximális érték 2, ami azt jelenti, hogy egy hónapban nincs csapadék, míg egy másik hónapban a PET értéke nulla. Feddema klasszifikációja négy típust különböztet meg.

Feddema klímaosztályozását eredetileg globális skálán alkalmazta és eredményeit az egész Földre vonatkozóan mutatta be. Az általa alkalmazott módszertan lehetővé teszi a négy mérőszám alapján regionális osztályok kialakítását, egy folytonos változó diszkrétizálását, osztályokba sorolását. Így a módszertan alkalmas regionális klímaosztályozásra, a Kárpát-medence éghajlatának, a változás tendenciáinak a leírására.

A klímaosztályozás határait, az egyes klíma-osztályok közötti különbségeket fizikai és klimatológiai elvek alapján határoztuk meg (7.7. Melléklet 1. táblázat). Minden éghajlatosztályt négy számjegy jellemez, amit a négy mérőszám értéke jelöl ki. „Melyik dobozba esik” az adott év, az adott időszak éghajlata? Az 1981-2010 közötti 30 éves éghajlati normál időszakot, illetve a 2015-ös évet elemezzük (lásd a 4.4.2.2 Potenciális ŐSz fejezetet).

Feddema-féle éghajlatosztályozás elvei, alapképletei megtalálhatók Ács and Breuer (2013), Ács et al. (2015) és Ács (2017) munkáiban a módszer kritikai értékelésével és a regionalizálási lehetőségek felvázolásával együtt.

7.7 Melléklet 1. táblázat. A Feddema-féle regionális Kárpát-medencei éghajlat-osztályozás csoportbeosztása.

Hőmérsékleti kategóriák a hőellátottság alapján (első számjegy)		
1xxx	hideg	$PET_{év} < 600 \text{ mm}$
2xxx	hűvös	$600 \text{ mm} \leq PET_{év} < 675 \text{ mm}$
3xxx	mérsékeltlen hűvös	$675 \text{ mm} \leq PET_{év} < 750 \text{ mm}$
4xxx	enyhén meleg	$750 \text{ mm} \leq PET_{év} < 900 \text{ mm}$
5xxx (még nincs a területen)	meleg	$900 \text{ mm} \leq PET_{év}$
Évi vízellátottsági kategóriák (második számjegy), $I_{m,évi}$		
x1xx	extrém száraz	$I_{m,évi} < -0,330$
x2xx	száraz	$-0,330 \leq I_{m,évi} < -0,165$
x3xx	mérsékeltlen száraz	$-0,165 \leq I_{m,évi} < 0$
x4xx	mérsékeltlen nyirkos	$0 \leq I_{m,évi} < 0,165$
x5xx	nyirkos	$0,165 \leq I_{m,évi} < 0,330$
x6xx	nedves	$0,330 \leq I_{m,évi}$
Szezonális, vagy ingadozási arány (harmadik számjegy) (jellegzetes éves hőmérséklet- és/vagy csapadék-ingadozás), A_{ing}		
xx1x	csak jellegzetes hőmérséklet-ingadozás	$A_{ing} < 0,5$
xx2x	jellegzetes hőmérséklet- és csapadék-ingadozás	$0,5 \leq A_{ing} < 2$
xx3x (nincs a területen, nem is jellemző)	csak jellegzetes csapadék-ingadozás	$2 \leq A_{ing}$
Éven belüli ingadozás (a szezonális) mértéke (negyedik számjegy), $I_{m,ing}^{évi}$		
xxx1	jelentős	$I_{m,ing}^{évi} < 1$
xxx2	nagy	$1 \leq I_{m,ing}^{évi} < 1,4$
xxx3	nagyon nagy	$1,4 \leq I_{m,ing}^{évi} < 1,5$
xxx4	extrém közeli	$1,5 \leq I_{m,ing}^{évi} < 1,6$
xxx5	extrém	$1,6 \leq I_{m,ing}^{évi}$

7.8 Melléklet. Párolgás-számítás 1D csöbör modellel i) a talaj paramétereinek ii) a talaj és a felszínborítottság figyelembevételével (Weidinger Tamás, Ács Ferenc)

i) Alapmodell: a havi csapadék, a havi potenciális párolgás és a talajparaméterek figyelembevételével

A számításoknál a módosított Thornthwaite-féle módszert alkalmazzuk (Ács and Breuer 2013). Ennek lényege röviden a következő: a tényleges (aktuális) **evapotranszpiráció** ET a **talaj vízellátottságát jellemző β -együttható** és a **potenciális evapotranszpiráció (PET)** szorzata. *Szemléletesen: ha csökken a talaj víztartalma, azt a növényzet nehezebben tudja felvenni. Ezt adja meg a β -együttható.*

Az i -edik hónap ($i = 1, \dots, 12$) esetén

$$ET_i = \beta_{i-1} \cdot PET_i.$$

A havi potenciális párolgást a 7.6. Melléklet tartalmazza. Az aktuális hónapot megelőző hónap β_{i-1} vízellátottsága az $(i - 1)$ -edik hónap vízkészletének θ_{i-1} -nek a következő függvényeként jellemezhető:

$$\beta_{i-1} = (\theta_{i-1} - \theta_w) / (\theta_f - \theta_w),$$

ahol θ_f és θ_w az ismert textúrájú talaj szabadföldi vízkapacitás és hervadásponthoz tartozó vízkészlet. A vízellátottság tehát megadja, hogy a csöbör (1 m-es talajszelvény) milyen mértékben telített.

Ha $\theta_{i-1} = 1$, vagyis a talaj telített, akkor $\beta_{i-1} = 1$, vagyis a párolgás intenzitása megegyezik a potenciális párolgással.

Ha $\theta_{i-1} = 0$ vagyis a talaj ki van száradva ($\theta_{i-1} = \theta_w$), nem áll rendelkezésre elpárologtatható víz, akkor $\beta_{i-1} = 0$. A következő hónapban a párolgás értéke nulla lesz. Az egyszerűség kedvéért az adott hónap lehetséges párolgását az előző hónap végére meghatározott talajvízkészlet segítségével számítjuk.

A legfontosabb talajtípusok mértékadó értékeit a 7.8. Melléklet 1. táblázata tartalmazza. Látható, hogy a következő i -edik hónapra vonatkozó θ_i vízkészlet ismerete nélkülözhetetlen a további hónapokra vonatkozó számításokhoz, ennek egyenlete a következő:

$$\theta_i = \theta_{i-1} + P_i - ET_i.$$

Abban az esetben, ha $\theta_i > \theta_f$, akkor $\theta_i = \theta_f$ helyettesítéssel élünk, vagyis azt feltételezzük, hogy a többlet víz elfolyik.

Az egyenlet havi léptékű és mindegyik változó mértékegysége [mm] (tudva, hogy a felső 1 m-es talajrétegben dolgozunk). A módszer alkalmazásához nélkülözhetetlen a szabadföldi vízkapacitás (θ_f) és a hervadásponthoz tartozó (θ_w) értékek ismerete. A különböző textúrájú legfontosabb magyarországi talajok esetében ezen értékek a 7.8 Melléklet 1. táblázatában láthatók (Nemes, 2003).

A havi csapadék és a potenciális párolgás értékei a FORESEE adatbázisból megadhatók. Rendelkezésre állnak a talajadatok a TAKI munkatársainak jóvoltából az itt bemutatottnál részletesebb (200 m-es) felbontásban.

Az evapotranszpiráció (ET) folyamata mind az ökoszisztéma hőellátottságával, mind az ökoszisztéma vízellátottságával meghatározott (van elegendő víz a talajban a párolgáshoz.).

Abban az esetben, amikor $P_h \geq PET_h$ vagy $P_{év} \geq PET_{év}$ az ET értelemszerűen megegyezik a PET-tel.

Az ET értékei természetesen hasonlóak PET értékeihez. Megjegyezzük, hogy ET – a növényállomány, illetve a talajborítottság (pl. vízfelszín) esetén nagyobb lehet, mint a potenciális evapotranszpiráció.

7.8. Melléklet 1. táblázat. A különböző textúrájú főbb magyarországi talajok mértékadó vízháztartási jellemzői (Nemes 2003). A vízkészlet-értékek 1 m-es talajmélységre vonatkoznak.

Fizikai féleség	Hervadáspon (θ _w) vízkészlete [mm/m]	Szabadföldi vízkapacitás (θ _f) vízkészlete [mm/m]	Hasznos vízkészlet (θ _f - θ _w) [mm/m]
homok	15	80	65
homokos vályog	105	274	169
vályog	136	332	196
vályogos agyag	175	387	212
agyag	272	485	213

A hasznos vízkészlet területi eloszlását a 4.4.2.3 fejezetben (Tényleges ÖSz, felhasználás) mutattuk be (51. ábra). Az értékek 70 mm és 220 mm között változnak a talaj típusától függően. Ez az elsődleges tároló, ami megadja, hogy a lehullott csapadék milyen arányban párologhat. Télen a csapadék feltölti a csöbröt, így „minden év elején telített talajvízkészlet értékekkel indul a természet”.

ii) A talaj és a felszínborítottságot figyelembe vevő, f-indexszel, vagy a növény-konstansokkal kibővített alapmodell

A számítást az előző részben bemutatott eljárással végezzük, azzal az eltéréssel, hogy a **Thorntwaite-féle módszerrel számított havi potenciális párolgás (PET_i) helyett az adott ökoszisztémára (felszínborítottságra) jellemző maximális párolgási értékből indulunk ki**, amit a) az ($f * PET_i$) ökoszisztéma függő maximális párolgás (f-index alkalmazása), vagy az év

Ismét megjegyezzük, hogy ET – a növényállomány, illetve a talajborítottság (pl. vízfelszín) esetén nagyobb lehet, mint a potenciális evapotranszpiráció. Vízfelszíneknél ez az arányszám 1,2-1,4, de erdők esetén is meghaladja az 1-et. Ne feledjük el, hogy vízfelszín felett (tavak folyók) korlátlan a vízutánpótlás.

Az 1D csőbőr modell működését egy számpéldával illusztráljuk. A 7.8 Melléklet 1. ábrája a csőbröt, az 1 m-es talajszelvényt ábrázolja. Egyszerűség kedvéért olyan esetet vizsgálunk, ahol $f=1$, vagyis nem vesszük figyelembe a felszínborítottságot. Nem módosítjuk az adott havi potenciális párolgást.

A vízmérleg alakulását az i és az $i+1$ hónap között 7.8 Melléklet 2. ábrája szemlélteti. A talaj fizikai jellemzői a felső 1 m-es talajrétegben legyenek:

- hervadáspon (θ_f): 100 mm,
- szabadföldi vízkapacitás (θ_w): 250 mm,
- talajvízkészlet az az i -edik hónap végén (θ_i): 190 mm.

Az i -edik hónap végén a β_i vízellátottságot jellemző együttható értéke:

$$\beta_i = \frac{\theta_i - \theta_w}{\theta_f - \theta_w} = \frac{190 - 100}{250 - 100} = 0,6,$$

Nézzük, mi történik az $(i+1)$ -edik hónapban!

A csapadék legyen $P_{i+1} = 30$ mm, a potenciális párolgás legyen 120 mm. Így az $(i+1)$ -edik hónapban a becsült párolgás:

$$ET_{i+1} = PET_{i+1} \times \beta_i = 120 \times 0,6 = 72 \text{ mm.}$$

Most már kiszámolhatjuk az $(i+1)$ -edik hónap végén a talajvízkészletet (θ_{i+1}) és az új vízellátottságot jellemző együtthatót (β_{i+1}), amit a következő hónapra vonatkozó számításoknál használunk. Ezek rendre:

$$\theta_{i+1} = \theta_i + P_{i+1} - ET_{i+1} = 190 + 30 - 72 = 148 \text{ mm.}$$

Mivel $\theta_{i+1} < \theta_f$, ezért az $(i+1)$ -edik hónapban nincs lefolyás ($S_{i+1} = 0$ mm). Így tehát

$$\beta_{i+1} = \frac{\theta_{i+1} - \theta_w}{\theta_f - \theta_w} = \frac{148 - 100}{250 - 100} = 0,32,$$

s így folytatódhat a számítás.

Kihangsúlyozandó, hogy e modellnél egyszerűbb modell a talajvízkészlet előrejelzésére, az évi menet számítására nincs.

7.9 Melléklet. Átlagos (mm/m) és relatív (%) talajvízkészlet értékek az 1981-2010 és a 2015-ös évre (Weidinger Tamás, Ács Ferenc)

Az 1D csőbőr modellel (7.8 Melléklet) kapott évi átlagos talajvízkészlet térképeket mutatjuk be az 1981-2010-es éghajlati normál időszakra, illetve a 2015-ös referencia évre. Két térképsorozatot elemzünk. Az 1D alapmodellel (felszínborítottság nélkül) kapott átlagos és relatív talajvízkészlet értékeket a 7.9 Melléklet 1. és 2. ábrája mutatja, míg a felszínborítottság figyelembevételével (f-index) kapott relatív talajvízkészlet értékeket a 7.9 Melléklet 3. ábrája szemlélteti.

A talajvízkészlet átlagos értékei mm/m-ben, illetve a **talajvízkészlet relatív értékei** %-ban vannak megadva. A relatív talajvízkészlet az aktuális vízkészlet ($\theta - \theta_w$) (vagyis a számított talajvízkészlet (mm/m) és a hervadásponthoz való vízkészletének különbsége) és a hasznos vízkészlet ($\theta_f - \theta_w$) (vagyis a szabadföldi vízkapacitás és a hervadásponthoz való vízkészletének különbsége) hányadosa %-ban kifejezve:

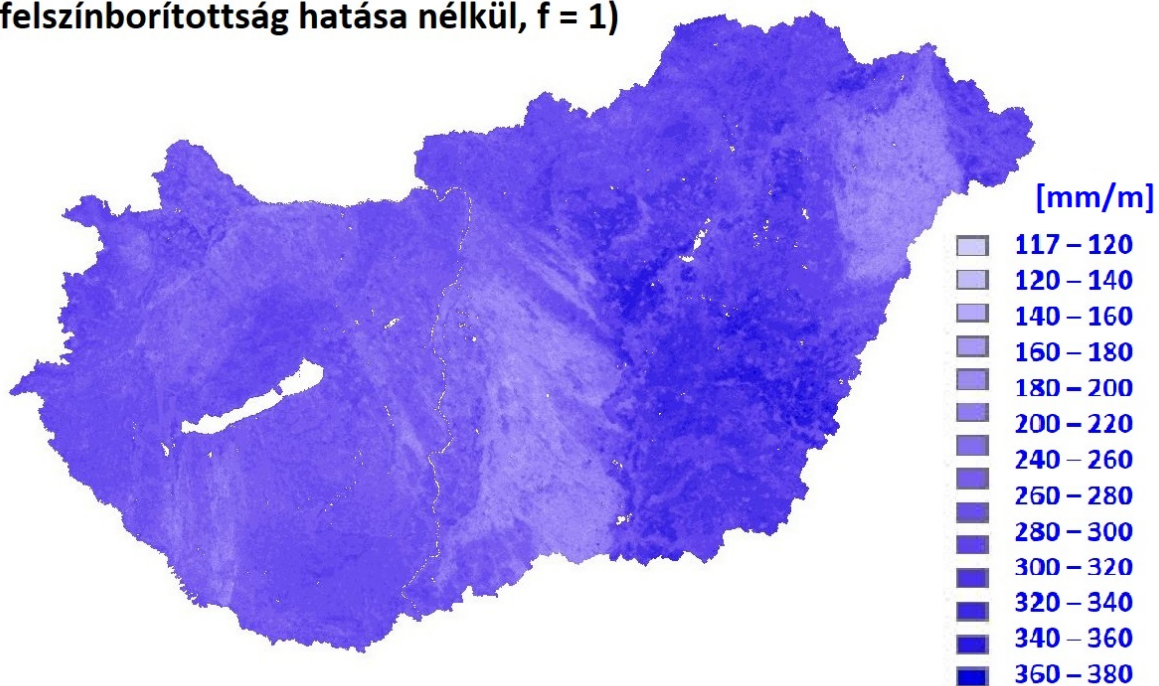
$$\frac{\theta - \theta_w}{\theta_f - \theta_w} \times 100 \text{ [\%]}.$$

Az alapmodell átlagos talajvízkészlet térképei (7.9 Melléklet 1. ábra) jól követik a hasznos vízkészlet szerkezetét (51. ábra). A talajvízkészlet átlagos értékei 120 mm/m és 380 mm/m között változnak. A 2015-ös év csapadéktalaja és annak eloszlása alig különbözik a 30 éves éghajlati normától, így az átlagos talajvízkészlet térképekben sem látunk jelentős eltérést a 30 éves éghajlati normálértéktől. A homokos területekre jellemző 120-160 mm/m-től (Duna-Tisza köze, Nyírség) haladunk a Közép- és az Alsó-Tiszavidék, majd a Kőrösök vidékének magasabb értékei felé. Éles határ van a Nyírség alacsonyabb és a Beregi-síkság magasabb évi vízkészlet-adatai között. Dunántúlon a Dráva völgyében, illetve a Rábaköz egyes területein találunk nagyobb értékeket. Középhegységeink közepes értékekkel jellemezhetők; a Bükkben látunk magasabb értékeket. A felszínborítottság figyelembevételével (f-index) készített átlagos vízkészlet térképeket külön nem elemezzük. Érdekesebbek a relatív talajvízkészlet térképei. A következőkben ezeket mutatjuk be.

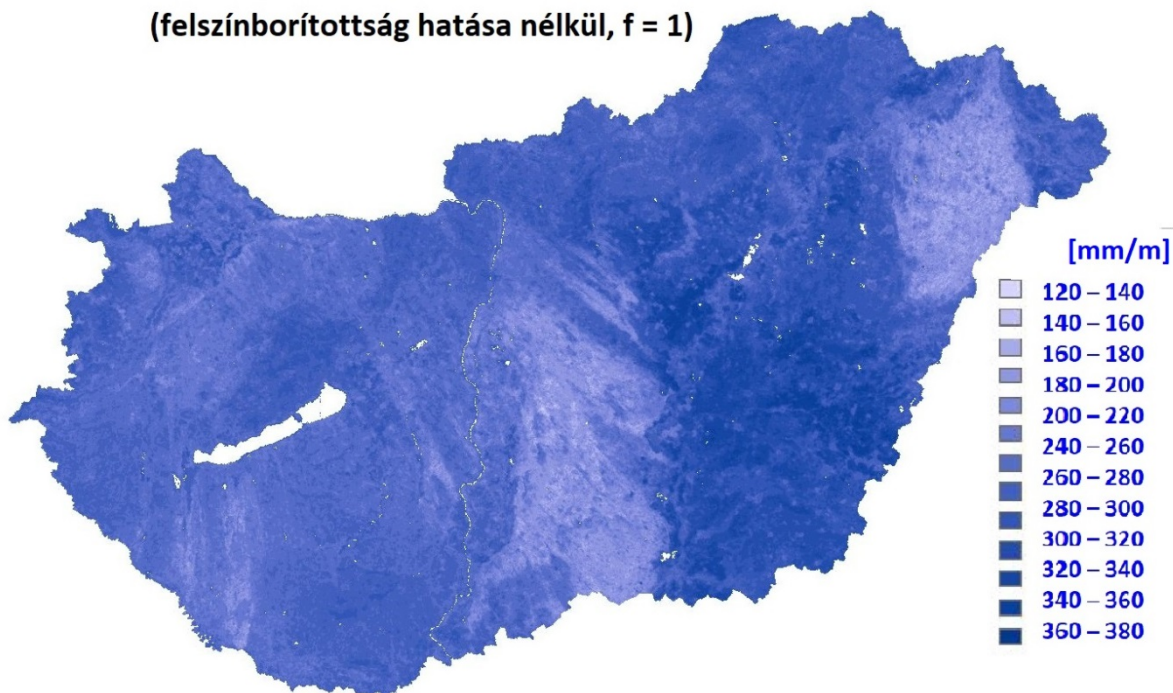
Az **alapmodell relatív talajvízkészlet értékeit** (7.9 Melléklet 2. ábra) döntően a csapadékeloszlás alakítja. Legnagyobb értékeket az Alpokalján, a Dráva vidékén és a középhegységeink magasabban fekvő részein találunk. Legkisebb értékek a Duna-Tisza köze északi és középső területeit, illetve Csongrád megyében a Maros vidékét jellemzik. A nagyobb csapadék miatt elmosódik a hasznos vízkészletben még megjelenő különbség a Nyírség, illetve a beregi és a szatmári vidék közötti. A nagy csapadék „kisimítja” a relatív talajvízkészlet térképet. Hasonló szerkezetű az 1981-2010-re és a 2015-ös évre vonatkozó térkép. Ez következik a talajvízkészletek hasonlóságából is. Kisebb eltérések azonban vannak, pl. nagyobb relatív talajvízkészletet látunk a Bakonyerdő és a Budai-hegység területén 2015-ben, mint a 30 éves éghajlati normálidőszakban. Itt a 2015-ös csapadék is nagyobb. Szabályos, jól kivethető átmenetekkel jellemezhető mindkét térkép izovonal-rendszere. Ezt a „**harmonikus**

képet” alakítja át a felszínborítottság figyelembevételével számított relatív talajvízkészlet (7.9 Melléklet 3. ábra) Kiugranak a városi területek, ahol a kisebb párolgás miatt nagyobb relatív talajvízkészleteket kapunk, akár 90%-os évi átlagokat (ez nem reális). Ismét megemlítjük, hogy a modellünk nem veszi figyelembe a városi elfolyást. A csapadéktöbblet egy része nem tud a talajba szivárogni, s a talaj párologtató felülete is csökken. A továbblépés egyik módja az intercepció modellezése. Városon kívüli területeken szembevető az erdők hatása: nagyobb párolgás, csökkenő átlagos relatív talajvízkészlet. A táji változatosság (eltérő f-értékek) is visszaköszönnek a térképeken. Az 1981-2010 közötti 30 évre és a 2015-ös évre jellemző térképek hasonló futásúak. Itt is jól látható a Bakonyerdő és a Budai-hegységben hullott 2015-ös csapadék hatása a nagyobb relatív talajvízkészletekben. **Érdemes tehát a vegetációt beépíteni a modellünkbe**, így számszerűsíthető nemcsak a talajok, hanem az ökoszisztémák párolgás és talajvízkészlet alakító hatása. Modellezhető a felszínborítottság-változások hatása, ami a tervezési folyamatokban hasznosulhat.

**Átlagos talajvízkészlet (θ) a felső 1 m-es talajrétegben, 1981-2010
(felszínborítottság hatása nélkül, $f = 1$)**

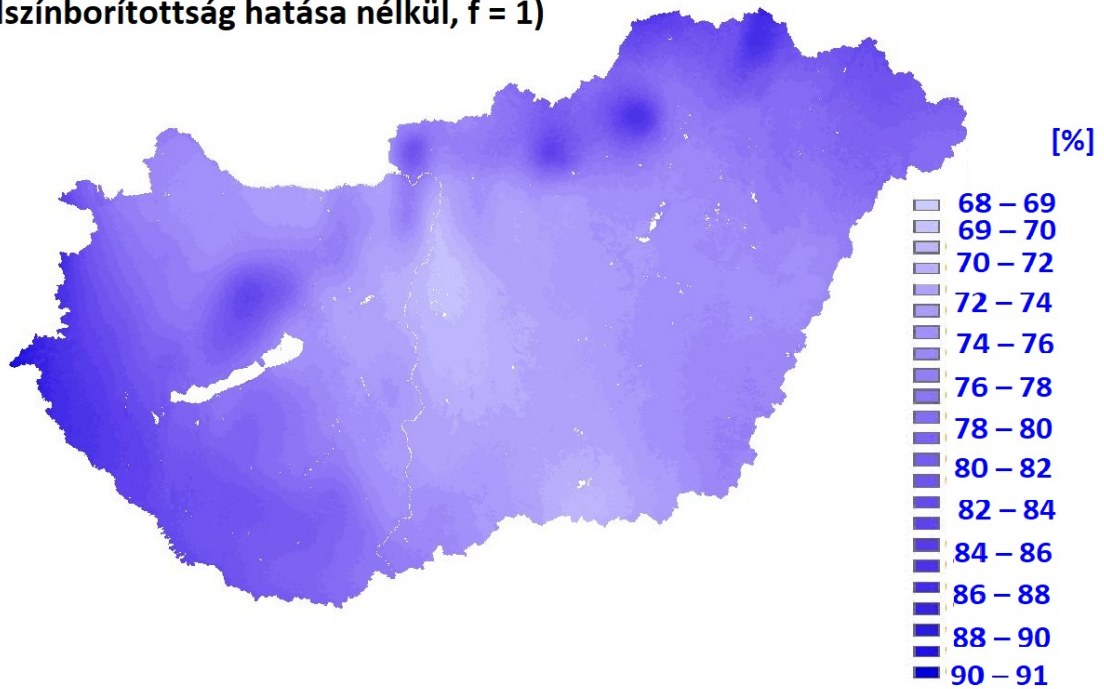


**Átlagos talajvízkészlet (θ) a felső 1 m-es talajrétegben, 2015
(felszínborítottság hatása nélkül, $f = 1$)**

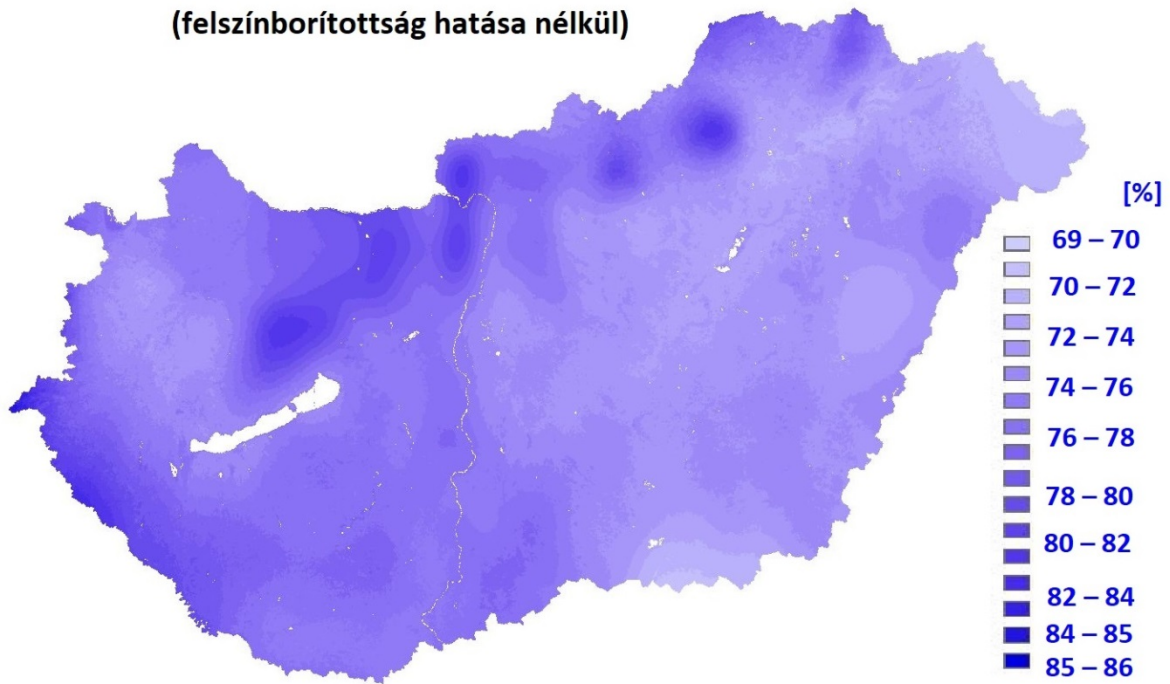


7.9 Melléklet. 1 ábra. Az átlagos évi talajvízkészlet a felső 1 m-es talajrétegben az 1D csőbőr
modellel végzett számításokkal a felszínborítottság hatása nélkül az 1981-2010 közötti
éghajlati normál időszakra (fent) és a 2015-ös referencia évre (lent). A térképet a Lechner
Tudásközpont készítette.

Relatív talajnedvesség (%) a felső 1 m-es talajrétegben, 1981-2010
(felszínborítottság hatása nélkül, $f = 1$)

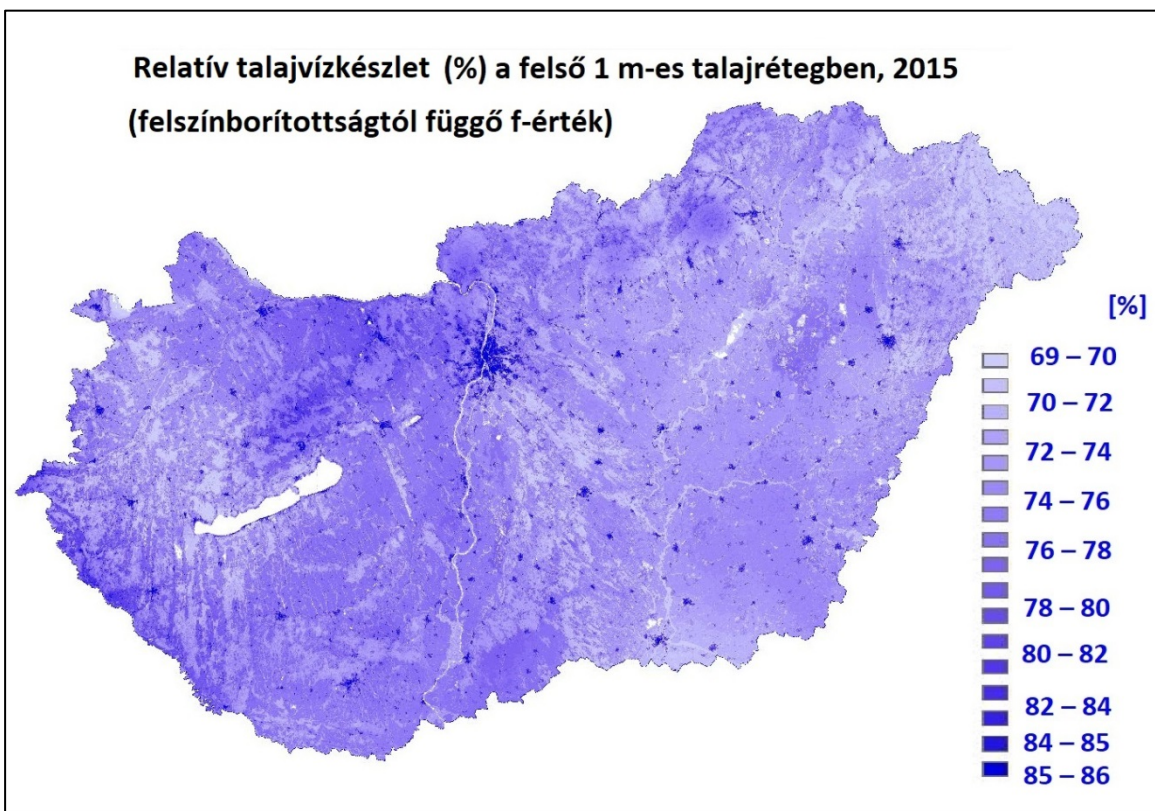
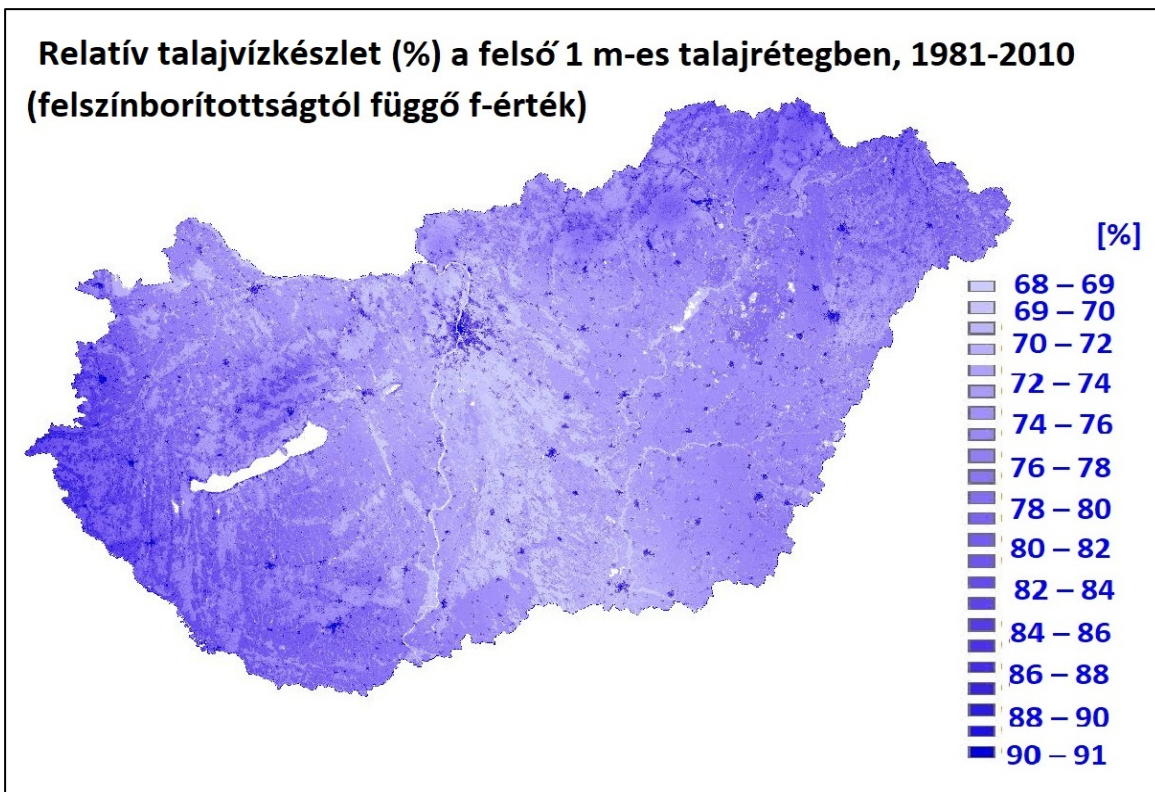


Relatív talajvízkészlet (%) a felső 1 m-es talajrétegben, 2015
(felszínborítottság hatása nélkül)



7.9 Melléklet. 2 ábra. Az évi átlagos relatív talajvízkészlet (%) a felső 1 m-es talajrétegben az 1D csőbőr modellel végzett számításokkal a felszínborítottság hatása nélkül az 1981-2010 közötti éghajlati normál időszakra (fent) és a 2015-ös referencia évre (lent).

A térképet a Lechner Tudásközpont készítette.



7.9 Melléklet. 3 ábra. Az évi átlagos relatív talajvízkészlet (%) a felső 1 m-es talajrétegben az 1D csőbőr modellel végzett számításokkal a felszínborítottság figyelembevételével (f-index) az 1981-2010 közötti éghajlati normál időszakra (fent) és a 2015-ös referencia évre (lent). A térképet a Lechner Tudásközpont készítette.

8. Irodalom

- Abdalla, M., Hastings, A., Cheng, K., Yue, Q., Chadwick, D., Espenberg, M., ... & Smith, P. (2019) A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. *Global change biology*, 25(8), 2530-2543.
- Adnan, N.A., Razi, N.M., Yusoff, Z.M., Latif, Z.A. (2017) Spatial Temporal Estimation and Analysis of Carbon Sequestration. *Advanced Science Letters*, 23(7), 6157-6162.
- Albert, C., Burkhard, B., Daube, S., Dietrich, K., Engels, B., Frommer, J., Götzl, M., Grêt-Regamey, A., Job-Hoben, B., Keller, R., Marzelli, S., Moning, C., Müller, F., Rabe, S.-E., Ring, I., Schwaiger, E., Schweppe-Kraft, B., Wüstemann, H. (2015) Development of National Indicators for Ecosystem Services Recommendations for Germany. Discussion Paper, BfN-Skripten 411, Bonn.
- Alemu, M.M. (2016) Ecological Benefits of Trees as Windbreaks and Shelterbelts. *International Journal of Ecosystem*, 6(1), 10-13.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and drainage paper 56*, Vol. 300. FAO: Rome, 6541.
- Allen, B., Kretschmer, B., Baldock, D., Menadue, H., Nanni, S., Tucker, G. (2014) Space for energy crops - assessing the potential contribution to Europe's energy future. Institute for European Environmental Policy. London Office.
- Allison, F.E. (1973): Soil organic matter and its role in crop production. *Developments in soil science 3*. Elsevier, Amsterdam, London, New York.
- Andrásfalvy, B., 2007: A Duna mente népének ártéri gazdálkodása. Ártéri gazdálkodás Tolna és Baranya megyében az ármentesítési munkák befejezése előtt. *Ekvilibrum Kiadó*, Budapest, 438 oldal.
- Anon, J. (1956) Proceeding of the informal meeting on physics in agriculture, *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 4, 162.
- Arany, I., Aszalós, R., Bereczki, K., Czúcz, B., Fodor, L., Kalóczkai, Á., Kiss, M., Kovács, E., Kovács-Hostyánszki, A., Marjainé Szerényi, Zs., Somodi, I., Vári, Á., Zölei, A. (2016) NÖSZTÉP koncepcionális és módszertani keretdokumentum. *Nemzeti Ökoszisztéma-szolgáltatások Térképezése és Értékelése Projektemel II/1E. 1.2.1.*, Budapest, 81. p.
- Arya, P. (2001) Introduction to Micrometeorology, *Academic Press*, Vol. 79, Serial Editor: Holton, J., 420 p.
- Arvidsson, J. (1998): Influence of soil texture and organic matter content on bulk density, air content, compression index and crop yield. *Soil & Tillage Research*, 49, 159-170.
- Ács, F. (2017) On twenty-first century climate classification. *European multiregional analyses*. Lambert Academic Publishing, 92 p. ISBN 978-620-2-00302-5.
- Ács, F., Breuer, H., 2013: Biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek. *Elektronikus könyv*, 244p., http://elte.prompt.hu/sites/default/files/elte-ttk/kozoz/tananyagok/acs-ferenc_biofiz-eghajlatoszt-modszerek.pdf.
- Ács, F., Breuer, H., Skarbit, N. (2015) Climate of Hungary in the twentieth century according to Feddema. *Theoretical and Applied Climatology*, 119, 161-169.
- Ács, F., Breuer, H., Szász, G. (2011) Estimation of actual evapotranspiration and soil water content in the growing season. *Agrokémia és Talajtan*, 1st online edition, selected and revised English versions of Hungarian Agrokémia és Talajtan papers from 2000 to 2010. Vol. 60 Supplementum, 57-74.
- Ács, F., Kristóf, E. Zsákai, A. (2019) New clothing resistance scheme for estimating outdoor environmental thermal load. *Geographica Pannonica*, 23(4), 245-255.
- Bajomi, A.Zs. (2018) A szociális tüzelőanyag-támogatás Magyarországon. *Habitat for Humanity Magyarország*, 31 p.
- Bakken, G.S. (1992) Measurement and Application of Operative and Standard Operative Temperatures in Ecology. *American Zoologist*, 32, 194-216.
- Balásházy, I. (2010): Aeroszolok légúti kiülepedésének és a kis dózisok biofizikai hatásainak vizsgálata. *MTA Doktori értekezés*.
- Baral, A., Malins, C. (2014) Comprehensive carbon accounting for identification of sustainable biomass feedstocks. *White paper*, International Council on Clean Transportation, Washington DC.
- Barcza, Z., Bondeau, A., Churkina, G., Ciais, Ph., Czóbel, Sz., Gelybó, Gy., Grosz, B., Haszpra, L., Hidy, D., Horváth, L., Machon, A., Pásztor, L., Somogyi, Z., Van Oost, K., (2010) Modeling of biosphere-atmosphere exchange of greenhouse gases – Model based biospheric greenhouse gas balance of Hungary. In: *Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective* (Ed.: Haszpra, L.). Springer, Dordrecht - Heidelberg - London - New York, 295-330.
- Barcza, Z., Fodor, N., Árendás, T., Árvai, M., Bartholy, J., Cseresnyés, I., Fodor, N., Gell, Gy., Gelybó, Gy., Haszpra, L., Hidy, D., Horváth, F., Ittész, D., Koós, S., Laborczi, A., Marton, A.T., Mészáros, J., Nagy, Z., Papp, G., Pásztor, L., Pintér, K., Pokovai, K., Pongrácz, R., Rada, M., Salma, I., Sándor, R., Szatmári, G., Takács, K., Takács, T. (2018) Az AgroMo megközelítés: integrált biogeokémiai és mezőgazdasági

- modellrendszer kialakítása a hazai agroklimatológiai környezetben – modellfejlesztés és megfigyelőrendszer kapcsolata és együttműködése. White paper. Martonvásár.
- Barcza, Z., Haszpra, L., Somogyi, Z., Hidy, D., Lovas, K., Churkina, G., Horváth, L. (2009) Estimation of the biospheric carbon dioxide balance of Hungary using the BIOME-BGC model. *Időjárás*, 113, 203-219.
- Bartha D. (2005): A magyarországi erdők természetességének vizsgálata. Kézirat, Sopron
- Bartholy, J., Pográc, R. (2012): Salma I. (szerk.) *Környezetkémia*, 3. Éghajlatváltozás. Typotex Kiadó. Budapest, 93 p. www.tankonyvtar.hu
- Bartholy, J., Weidinger, T. (1997) Magyarország éghajlati képe. *Pannon Enciklopédia Magyarország Földje*. (Szerkesztette: Karátson, D.) Kertek 2000 Könyvkiadó (Magyar Könyvklub; III. Kiadás 2009, Budapest, 224-225.
- Bartuś, T. (2014) Raster images generalization in the context of research on the structure of landscape and geodiversity. *Geology Geophysics and Environment*, 40(3), 271-284.
- Bastian, O., Grunewald, K. (2014) Landscape services: the concept and its practical relevance. *Landscape Ecology*, 29, 1463-1479.
- Bastviken, D., Cole, J., Pace, M. (2004) Methane emission from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. *Global Biogeochemical Cycles*, 18, GB4009.
- Bauer, A., Black, A.L. (1994) Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 185-193.
- Becerra-Jurado, G., Philipsen, C., Kleeschulte, S. (2015) Mapping and assessing ecosystems and their services in Luxembourg - Assessment results. *Le Gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg*, 74 p.
- Beck, H.E., Zimmermann, N.E., McVicar, T.R., Vergopolan, N., Berg, A., Wood, E.F. (2018) Data Descriptor: Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*. DOI:10.1038/sdata.2018.214
- Bereczki, K., Kalóczkai, Á., Kiss, M., Kovács, E., Kovács-Hostyánszki, A. (2017) A NÖSZTÉP érintett elemzési folyamat során értékelésére javasolt ökoszisztéma-szolgáltatások előzetes listája. MTA ÖK, Földművelésügyi Minisztérium, Budapest. 1-14.
- Biacs, P.Á. (2011) Klímaváltozás és élelmezésbiztonság. *Gazdálkodás*, 55, 553-540.
- Bihari, Z., Babolcsai, Gy., Bartholy, J., Ferenczi, Z., Gerhátné Kerényi, J., Haszpra, L., Homokiné Újváry, K., Kovács, T., Lakatos, M., Németh, Á., Pongrácz, R., Putsay, M., Szabó, P., Szépszó, G. (2018) Éghajlat. *Magyarország Nemzeti Atlasza*, 7 oldal. http://www.nemzetiatlasz.hu/MNA/MNA_2_5.pdf
- Biodiversity (2015) Provisioning services, Wood, Structure: Managed forest. (web) <https://www.biodiversity.fi/ecosystemservices/services/provisioning/wood/structure> (2019. 03. 14)
- Blazejczyk, K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H., Tinz, B. (2012) Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology*, 56, 515-535.
- Bokwa, A., Dobrovolny, P., Gál, T., Geletic, J., Gulyás, Á., Hajto, M.J., Holec, J., Hollósi, B., Kielar, R., Lehnert, M., Skarbit, N., Štastny, P., Švec, M., Unger, J., Walawender, J. P., Žuvela-Aloise, M. (2018) Urban climate in Central European cities and global climate change. *Acta Climatologica*, 51-52, 7-35.
- Bousquet, P., Ciais, P., Miller, J.B., Dlugokencky, E.J., Hauglustaine, D.A., Prigent, C., Van der Werf, G.R., Peylin, P., Brunke, E.-G., Carouge, C., Langenfelds, R. L., Lathière, J., Papa, F., Ramonet, M., Schmidt, M., Steele, L.P., Tyler, S.C., White, J. (2006) Contribution of anthropogenic and natural sources to atmospheric methane variability. *Nature*, 443, 439.
- Botta-Dukát, Z., Mihály, B. (2006) *Biológiai inváziók Magyarországon. Özönnövények II.*, 37-69.
- Breuer H. (2012) A talaj hidrofizikai tulajdonságainak hatása a konvektív csapadéokra és a vízmérleg egyes összetevőire: meteorológiai és klimatológiai vizsgálatok Magyarországon. PhD dolgozat, ELTE Földtudományi Doktori Iskola, 116 oldal.
- Burford, J.R., Bremner, J.M. (1975) Relationships between the denitrification capacities of soils and total, water-soluble and readily decomposable soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 7, 389-394.
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., Müller, F. (2012) Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, 21, 17-29.
- Burkhard, B., Maes, J. (2017) Mapping ecosystem services. *Advanced Books*, 1, e12837.
- Campbell, G.S., Norman, J.M. (1998) *An Introduction to Environmental Biophysics*. Springer, Second Edition, 286 p.
- CarpatClim – <http://www.carpatclim-eu.org>
- CarpatClim Deliverable D.3.7 (2013) Final report on the production of the climatology of the Carpathian Region. CARPATCLIM, Final report, 17 p. (web) http://www.carpatclim-eu.org/docs/deliverables/D3_7.pdf
- CECILIA éghajlati projekt – www.cecilia-eu.org/
- Chapuis-Lardy, L., Wrage, N., Metay, A., Chotte, J.-L., Bernoux, M. (2007) Soils, a sink for N₂O? A review. *Global Change Biology*, 13, 1-17.

- Christen, A., Vogt, R., (2004) Energy and Radiation Balance of a Central European City. *Internal Journal of Climatology*, 24, 1395-1421.
- Christensen, J.H., Christensen, O.B. (2007) A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change*, 81, 7-31.
- Conant, R.T., Cerri, C.E., Osborne, B.B., Paustian, K. (2017) Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecological Applications*, 27, 662-668.
- Conant, R.T. (2010) Challenges and opportunities for carbon sequestration in grassland systems: A technical report on grassland management and climate change mitigation. *Integrated Crop Management*, 9, 1-57.
- Correa, P.F.R., Koncz, P., Poilane, A., Schaak, H., Schönhart, M., Svoboda, P., Teixeira, R., van Rijn, C. (2018) Incentives. EIP-AGRI Focus Group – Grazing for Carbon. Mini-paper, 4, 12 p.
- Crutzen, P.J., Aselmann, I., Seiler, W. (1986) Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. *Tellus*, 388, 271-284.
- Czúcz, B., Arany, I., Potschin-Youngd, M., Bereczki, K., Kertész, M., Kiss, M., Aszalós, R., Haines-Young, R. (2018) Where concepts meet the real world: A systematic review of ecosystem service indicators and their classification using CICES. *Ecosystem Services*, 29(A), 145-157.
- de Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., Willemsen, L. (2010) Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7, 260-272.
- de Jong, E., Schappeart, H.J.V., Macdonald, K.B. (1974) Carbon dioxide evolution from virgin and cultivated soil as affected by management practices and climate. *Canadian Journal of Soil Science*, 54, 299-307.
- Dinya, L. (2018) Biomassza-alapú energiahasznosítás: a múlt és a jövő. *Magyar Tudomány*, Budapest, Akadémiai Kiadó, 179(8), 1184-1196.
- Dobor, L. (2016) Az éghajlatváltozás lehetséges hatásai a mezőgazdasági szénmérlegre és produktivitásra Magyarországon. Doktori értekezés. Környezettudományi Doktori Iskola, Környezeti földtudomány program, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Budapest.
- Dobor, L., Barcza, Z., Hlásny, T., Havasi, Á., Horváth, F., Ittész, P., Bartholy, J. (2015) Bridging the gap between climate models and impact studies: the FORESEE Database. *Geoscience Data Journal*, 2(1), 1-11.
- Drucza, M., Ács, F. (2006) Relationship between soil texture and near surface climate in Hungary. *Időjárás*, 110, 135-153.
- Drüszler, Á. (2011) A 20. századi felszínborítás változás meteorológiai hatásai Magyarországon . PhD értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, 137 oldal.
- Easterling, D.R., Alexander, L.V., Mokssit, A., Detemmerman, V. (2003) CCI/CLIVAR Workshop to develop priority climate indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84, 1403-1407.
- EEA (European Environment Agency) (2010) EEA greenhouse gas - data viewer (web) <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer> (2010. 11. 23.)
- ENA (2011): The European nitrogen assessment. Eds. M. Sutton et al., Cambridge University Press, Cambridge, U.K. p. 525.
- EU (2019) Emissions monitoring & reporting (web) https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress/monitoring_en (2019. 03. 19.)
- Európai Klímaértékelési Program és Adatbázis (European Climate Assessment and dataset) - www.ecad.eu
- Esteve, B.J. (2016) Land use influence in WRF model. A high resolution mesoscale modeling over Oriental Pyrenees. *Master de Meteorologia*, Universitat de Barcelona, 25 p.
- Fagerholm, N., Palomo, I. (2017) Participatory GIS approaches for mapping ecosystem services, in: *Mapping Ecosystem Services*. Chapter 5.6.2. Pensoft Publishers Sofia, 216-220.
- Favez, O., Cachier, H., Sciare, J., Sarda-Estève, R., Martinin, L. (2009) Evidence for a significant contribution of wood burning aerosols to PM_{2.5} during the winter season in Paris, France. *Atmospheric Environment*, 43, 3640-3644.
- Fodor, N., Pásztor, L., Németh, T. (2014) Coupling the 4M crop model with national geo-databases for assessing the effects of climate change on agro-ecological characteristics of Hungary. *International Journal of Digital Earth*, 7, 391-410.
- FORESEE: Open Database for Climate Change-Related Impact Studies in Central Europe, <http://nimbus.elte.hu/FORESEE/>
- Führer, E., Mátyás, Cs. (2005) A klímaváltozás hatása a hazai erdők szénmegkötő képességére és stabilitására. *Magyar Tudomány*, 7, 837.
- Führer, E., Horváth, L., Jagodics, A., Machon, A., Szabados, I. (2011) Application of Aridity Index in Forest Practice. *Időjárás*, 115, 205-216.
- Führer, E., Jagodics, A., Juhász, I., Marosi, Gy., Horváth, L. (2013) Ecological and economical impact of climate change on Hungarian forestry practice. *Időjárás*, 117, 159-174.

- Führer, E., Edelényi, M., Horváth, L., Jagodics, A., Jereb, L., Moring, A., Szabados, I., Pödör, Z. (2016) Effect of weather conditions on annual and intra-annual increments of a beech stand in Sopron-Mountains in Hungary. *Időjárás*, 120, 127-161.
- Gallego, J., Escribano, P. (2000) Landscape diversity indices from CORINE Land Cover and point observations. In: *Accuracy 2000*, edited by Heuvelink, G.M.B. and Lemmen, M.J.P. (Delft University Press, Delft), 233-236.
- Garnett, T., Godde, C., Muller, A., Rööös, E., Smith, P., de Boer, I.J.M., zu Ermgassen, E., Herrero, M., van Middelaar, C., Schader, C., van Zanten, H. (2017) Grazed and Confused? Ruminating on cattle, grazing systems, methane, nitrous oxide, the soil carbon sequestration question – and what it all means for greenhouse gas emissions. FCRN, University of Oxford.
- Gelencsér, A., May, B., Simpson, D., Sánchez-Ochoa, A., Kasper-Giebl, A., Puxbaum, H., Caseiro, A., Pio, C., Legrand, M. (2007) Source apportionment of PM_{2.5} organic aerosol over Europe: Primary/secondary, natural/anthropogenic, and fossil/biogenic origin. *Journal of Geophysical Research*, 112, D23S04.
- Gilmanov, T.G., Aires, L., Barcza, Z., Baron, V.S., Belelli, L., Beringer, J., Billesbach, D., Bonal, D., Bradford, J., Ceschia, E., Cook, D., Corradi, C., Frank, A., Gianelle, D., Gimeno, C., Gruenwald, T., Guo, H., Hanan, N., Haszpra, L., Heilman, J., Jacobs, A., Jones, M.B., Johnson, D.A., Kiely, G., Li, S., Magliulo, V., Moors, E., Nagy, Z., Nasyrov, M., Owensby, C., Pinter, K., Pio, C., Reichstein, M., Sanz, M.J., Scott, R., Soussana, J.F., Stoy, P. C., Svejcar, T., Tuba, Z., Zhou G. (2010) Productivity, respiration, and light-response parameters of world grassland and agroecosystems derived from flux-tower measurements. *Rangeland Ecology and Management*, 63, 16-39.
- Good, A.G., Beatty, P.H. (2011): *Fertilizing Nature: A Tragedy of Excess in the Commons*. *PLoS Biology* 2011 Aug., 9(8). e1001124. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3156687/>
- Göndöcs, J., Breuer, H., Pongrácz, R., Bartholy, J. (2017): Urban heat island mesoscale modelling study for the Budapest agglomeration area using the WRF model, *Urban Climate*, 21, 66-86.
- Gschwind, B., Lefevre, M., Blanc, I., Ranchin, T., Wyrwa, A., Drebszok, K., Cofala, J., Fuss, S. (2015) Including the temporal change in PM_{2.5} concentration in the assessment of human health impact: illustrations with renewable energy scenarios to 2050. *Environmental Impact Assessment Review*, 52, 62-68.
- Grosz, B., Horváth, L., Gyöngyösi, A.Z., Weidinger, T., Nagy, Z., André, K. (2015) Use of WRF result as meteorological input to DNDC model for greenhouse gas flux simulation. *Atmospheric Environment*, 122, 230-235.
- Grünwald, K., Herold, H., Marzelli, S., Meinel, G., Richter, B., Syrbe, R-U., Walz, U. (2016) Assessment of ecosystem services at the national level in Germany – illustration of the concept and the development of indicators by way of the example wood provision. *Ecological Indicators*, 70, 181-195.
- Grünwald, K., Syrbe, R.U., Walz, U., Richter, B., Meinel, G., Herold, H., Marzelli, S. (2017) Germany's ecosystem services – state of the indicator development for a nationwide assessment and monitoring. *One Ecosystem*, 2, e14021.
- Haines-Young, R., Potschin, M. (2010) The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In: Raffaelli, D.G., Frid, C.L.J., eds., *Ecosystem ecology: a new synthesis*, Cambridge University Press, 110-139.
- Haines-Young, R., Potschin, M.B. (2018) *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*. Available from www.cices.eu
- Haszpra, L., Barcza, Z., Szilágyi, I., (2010) *Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective* (Ed.: Haszpra, L.), Springer, Dordrecht - Heidelberg - London - New York, 9-27.
- Hidy, D., Barcza, Z., Haszpra, L., Churkina, G., Pintér, K., Nagy, Z. (2012) Development of the Biome-BGC model for simulation of managed herbaceous ecosystems. *Ecological Modelling*, 226, 99-119.
- Hidy, D., Barcza, Z., Marjanović, H., Ostrogović Sever, M.Z., Dobor, L., Gelybó, G., Fodor, N., Pintér, K., Churkina, G., Running, S., Thornton, P., Bellocchi, G., Haszpra, L., Horváth, F., Suyker, A., Nagy, Z. (2016a) Terrestrial ecosystem process model Biome-BGCMuSo v4.0: summary of improvements and new modeling possibilities. *Geoscientific Model Development*, 9, 4405-4437.
- Hidy, D., Barcza, Z., Thornton, P.E., Running, S.W. (2016b) *User's Guide for Biome-BGCMuSo 4.0*. 69 p. (web) http://nimbus.elte.hu/bbgc/files/Manual_BBGC_MuSo_v4.0.pdf.
- Horváth L. (2008) Üvegház hatású gázok (szén-dioxid, metán, dinitrogén-oxid) mérlegének becslése a légkör és mezőgazdasági területek között Magyarországon. Összefoglaló szakmai beszámoló, GVOP AKF 3.1.1.2004-05-0358 projekt. Országos Meteorológiai Szolgálat.
- Horváth, L. (2012) A reaktív nitrogén a légkörben; újabb európai kutatási eredmények. 38. Meteorológiai Tudományos Napok, 2012. november 22-23. Budapest. https://www.met.hu/doc/rendezvenyek/metnapok-2012/06_Horvath.pdf
- Humbolt konferencia az MTA-án (2019) Az örök értéket teremtő Alexander von Humboldt máig tartó hatása a természettudományokra. Előadótülés, 2019. november 25. 10.30-15.10 óra között, MTA Székház,

- Felolvasóterem. <https://mta.hu/esemenynaptar/2019-11-25-az-orok-erteket-teremto-alexander-von-humboldt-maig-tarto-hatasa-a-termeszettudomanyokra-3083>
- International Plant Nutrition Institute (2009) The global “4R” nutrient stewardship framework: developing fertilizer best management practices for delivering economic, social and environmental benefits. 2009. Accessed 15 July 2011. <http://www.ipni.net/4r>.
- IPCC (2006) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. (web) <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- IPCC (2007) IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report.
- IPCC (2010) Revisiting the Use of Managed Land as a Proxy for Estimating National Anthropogenic Emissions and Removals, eds.: Eggleston, H.S., Srivastava, N., Tanabe, K., Baasansuren, J. Meeting Report, 5-7 May, 2009, INPE, São José dos Campos, Brazil, Pub. IGES, Japan 2010.
- IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p. (web) <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- IPCC (2014) Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. (web) <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>
- IPCC (2019) 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. (To be published.)
- Johnson, K.A., Johnson, D.E. (1995) Methane emission from cattle. *Journal of Animal Science*, 73, 2483-2492.
- Johnston, A.E., Poulton, P.R., Coleman, K. (2009) Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Advances in Agronomy*, 101, 1-57.
- Karvosenoja, N., Tainio, M., Kupiainen, T., Tuomisto, J.T., Kukkonen, J., Johansson, M. (2008): Evaluation of the emissions and uncertainties of PM_{2.5} originated from vehicular traffic and domestic wood combustion in Finland. *Boreal Environment Research*, 13, 465-474.
- Kayranli, B., Scholz, M., Mustafa, A., Hedmark, Å (2010) Carbon storage and fluxes within freshwater wetlands: a critical review. *Wetlands*, 30, 11-124.
- Kearney, M.R., Isaac, A.P., Porter, W.P. (2014) Microclim: Global estimates of hourly microclimate based on long-term monthly climate averages. *Scientific Data*. DOI: 10.1038/sdata.2014.6
- Keeton W.S. (2018) Source or Sink? Carbon Dynamics in Eastern Old-Growth Forests and Their Role in Climate Change Mitigation. In: Barton, A.M., Keeton, W.S. (eds) *Ecology and Recovery of Eastern Old-Growth Forests*. Island Press, Washington, DC.
- Kiotói Jegyzőkönyv (1998) Nations, U. Kyoto protocol to the united nations framework convention on climate change.
- Kis-Kovács, G., Tarczay, K., Kőbányai, K., Nagy, E., Kovács, A., Lovas, K., Kottek, P., Király, I.É., Somogyi, Z., Zsembeli, J. (2014) National inventory report for 1985-2012. Hungarian Meteorological Service, Budapest.
- Kiss, M., Takács, Á., Pogácsás, R., Gulyás, Á. (2015): The role of ecosystem services in climate and air quality in urban areas: Evaluating carbon sequestration and air pollution removal by street and park trees in Szeged (Hungary). *Moravian Geographical Reports*, 23, 36-46.
- Kolláth, K., Csonka, T., Hoffmann, L. (2016) Beszámoló 2015. év éghajlatáról és szélsőséges időjárási eseményeiről. a Kormány 277/2005. (XII. 20.) Korm. Rendelete az Országos Meteorológiai Szolgálatról 2. § (1) e) pontja alapján, Országos Meteorológiai Szolgálat, 21 oldal.
- Kolozs, L. (szerk.) (2015) *Egyesített Erdészeti Monitoring*, Budapest. NÉBIH EI Erdőleltározási, Erdővédelmi és Szabályozási Osztály.
- Koncz, P., Balogh, J., Papp, M., Hidy, D., Pintér, K., Fóti, Sz., Klumpp, K., Nagy, Z. (2015) Higher soil respiration under mowing than under grazing explained by biomass differences. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 103, 201-215.
- Koncz, P., Pintér, K., Balogh, J., Papp, M., Hidy, D., Csintalan, Z., Molnár, E., Szaniszló, A., Kampfl, G., Horváth, L., Nagy Z. (2017) Extensive grazing in contrast to mowing is climate-friendly based on the farm-scale greenhouse gas balance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 240, 121-134.
- Konkoly-Gyuró, É. (szakmai témavezető) (2019) Magyarország tájkarakter alapú rendszerezésének módszertani megalapozása (Első változat). *Tájkarakter Konzorcium*, Budapest, 92 oldal.

- Konkoly-Gyuró, É., Kollányi L. (szerkesztők) (2017), Zöldinfrastruktúra-hálózat fejlesztése. A zöldinfrastruktúra szempontjából releváns intézményi és jogszabályi környezet áttekintése. MTA Ökológiai Kutatóközpont, Ormos Imre Alapítvány, Budapest, 115 oldal.
- Konkoly-Gyuró, É., Tirázi, Á., Balázs, P., Kollányi, L., Máté, K., Csorba, P. (szakértő) (2017) Tájkarakter alapú tipizálás. A tájkarakter alapú tájtipizálási rendszerek felhasználásával kapcsolatos hazai és nemzetközi módszertanok elemzése. Tájélműhely Kft., Ormos Imre Alapítvány Budapest, 187 oldal.
- Kottek, P., Ali, T.G., Czirok, I., et al. (2008) Magyarország erdőállományai 2006. Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Központ Erdészeti Igazgatóság, Budapest, 12 p.
- Kovács-Hostyánszki, A., Arany, I., Aszalós, R., Bereczki, K., Czúcz, B., Fodor, L., Kalóczkai, Á., Kiss, M., Kovács, E., Takács, A., Vári, Á., Zölei, A., Zsembery, Z. (2018) Az ökoszisztéma-szolgáltatások prioritizálása és a prioritizálás eredményeinek szintézise. MTA ÖK, Földművelésügyi Minisztérium, Budapest, 1-35.
- Kovács-Hostyánszki, A., Bereczki, K., Czúcz, B., Fabók, V., Fodor, L., Kalóczkai, Á., Kiss, M., Koncz, P., Kovács, E., Rezneki, R., Tanács, E., Török, K., Vári, Á., Zölei, A., Zsembery, Z. (2019) Nemzeti ökoszisztéma-szolgáltatás térképezés és értékelés, avagy a természetvédelem országos programja. Természetvédelmi Közlemények, 25, 80-90.
- Král, K., McMahon, S.M., Janik, D., Adam, D., Dušan, A., Vrška, T. (2014) Patch mosaic of developmental stages in central European natural forests along vegetation gradient. *Forest Ecology and Management*, 330, 17-28. 10.1016/j.foreco.2014.06.034.
- Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., Szalai, S. (2013) Creation of a homogenized climate database for the Carpathian region by applying the MASH procedure and the preliminary analysis of the data. *Időjárás*, 117(1), 143-158.
- Lakatos, M., Weidinger, T., Horváth, Á., Hoffmann, L., Bihari, Z., Szentimrei, T., Cuxart, J. (2018) Computation of PET on daily scale to estimate the surface energy budget components in the region of the PannEx RHP. 8th GEWEX Open Science Conference: Extremes and Water on the Edge. May 6-11, 2018 Canmore, Alberta, Canada. (https://www.gewexevents.org/wp-content/uploads/Website_S2_1500-canmore_pannex_et.pdf)
- Lakatos, M., Weidinger, T., Hoffmann, L., Bihari, Z., Horváth, Á. 2020: Computation of daily Penman-Monteith reference evapotranspiration in the Carpathian Region and comparison with Thornthwaite estimates. *Advances in Science and Research*, 16, 251-259.
- Lal, R. (2006) Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degradation & Development*, 17, 197-209.
- Larondelle, N., Haase, D. (2013) Urban ecosystem services assessment along a rural-urban gradient: Across-analysis of European cities. *Ecological Indicators*, 29, 179-190.
- Larondelle, N., Haase, D., Kabisch, N. (2014) Mapping the diversity of regulating ecosystem services in European cities. *Global Environmental Change*, 26, 119-129.
- Le Mer, J., Roger, P. (2001) Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. *European Journal of Soil Biology*, 37, 25-50.
- Losonczy, G. (2012) A levegő 2,5 mikron alatti részecskeméretű szállópor-tartalma és a korai halálzás Magyarországon. *Orvosi Hetilap*, 153, 285-288.
- Macfayden, A. (1970) Soil metabolism in relation to ecosystem energy flow. In: *Methods of Study in Soil Ecology* (ed. Phillipson, J.), IBP/UNESCO Symposium, Paris, 1970, 167-172.
- Maes, J., Liqueste, C., Teller, A., Erhard, M., Paracchini, M.L., Barredo, J.I., Grizzetti, B., Cardoso, A., Somma, F., Petersen, J.-E., Meiner, A., Gelabert, E.R., Zal, N., Kristensen, P., Bastrup-Birk, A., Biala, K., Piroddi, C., Egoh, B., Degeorges, P., Fiorina, C., Santos-Martín, S., Naruševičius, V., Verboven, J., Pereira, H.M., Bengtsson, J., Gocheva, K., Marta-Pedroso, C., Snäll, T., Estreguil, C., San-Miguel-Ayán, J., Pérez-Soba, M., Grêt-Regamey, A., Lillebø, A.I., Malak, D.A., Condé, S., Moen, J., Czúcz, B., Drakou, E.G., Zulian, G., Laval, C. (2016) An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. *Ecosystem Services*, 17, 14-23.
- Maes, J., Teller, A., Erhard, M., Grizzetti, B., Barredo, J.I., Paracchini, M.L., Condé, S., Somma, F., Orgiazzi, A., Jones, A., Zulian, A., Vallecillo, S., Petersen, J.E., Marquardt, D., Kovacevic, V., Malak, A.D., Marin, A.I., Czúcz, B., Mauri, A., Löffler, P., Bastrup-Birk, A., Biala, K., Christiansen, T., Werner, B. (2018) Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An analytical framework for ecosystem condition. Publications office of the European Union, Luxembourg. <https://biodiversity.europa.eu/maes>
- Marjanović, H., Alberti, G., Balogh, J., Czóbel, Sz., Horváth, L., Jagodics, A., Nagy, Z., Ostrogovid, M.Z., Peressotti, A., Führer, E. (2010) Measurements and estimations of biosphere-atmosphere exchange of greenhouse gases – Forests. In: *Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective* (Ed.: Haszpra, L.), 121-156.
- Martín-López, B., Gómez-Baggethun, E., García-Llorente, M., Montes, C. (2014) Tradeoffs across value-domains in ecosystem services assessment. *Ecological Indicators*, 37, 220-228.

- McKenna, R., Hollnaicher, S., Fichtner, W. (2014) Cost-potential curves for onshore wind energy: a high-resolution analysis for Germany. *Applied Ecology*, 115, 103-115.
- McDonald, J.D., Zielinska, B., Fujita, E.M., Sagebiel, J.C., Chow, J.C., Watson, L.G. (2000) Fine particle and gaseous emission rates from residential wood combustion. *Environmental Science and Technology*, 34, 2080-2091.
- McGarigal, K., Marks, B.J. (1995) FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 122 p.
- McKenney, M.S., Rosenberg, N.J. (1993) Sensitivity of some potential evapotranspiration estimation methods to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 64, 81-110.
- Metzger, M.J., Bunce, R.G.H., Jongman, R.H.G., Sayre, R., Trabucco, A., Zomer, R. (2013) A high-resolution bioclimate map of the world: a unifying framework for global biodiversity research and monitoring. *Global Ecology and Biogeography*, 22, 630-638.
- Minasny, B., Malone, B.P., McBratney, A.B., Angers, D.A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z., Cheng, K., Das, B.S., Field, D.J., Gimona, A., Hedley, C.B., Hong, S.Y., Mandal, B., Marchant, B.P., Marti, M., McConkey, B.G., Mulder, V.L., O'Rourke, S., Richer-de-Forges, A.C., Odeh, I., Padarian, J., Paustian, K., Pan, G., Poggio, L., Savin, I., Stolbovoy, V., Stockmann, U., Sulaeman, Y., Tsui, C., Vågen, T., Van Wesemael, B., Winowiecki, L. (2017) Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292, 59-86.
- Molnár, O., Gustafson, P., Johanneson, S., Boman, J., Barregård, L., Sällsten, G. (2005): Domestic wood burning and PM2.5 trace elements: Personal exposures, indoor and outdoor levels. *Atmospheric Environment*, 39, 2643-2653.
- Monks, P.S., Granier, C., Fuzzi, S., Stohl, A., Williams, M.L., Akimoto, H., Amann, M., Baklanov, A., Baltensperger, U., Bey, I., Blake, N., Blake, R.S., Carslaw, K., Cooper, O.R., Dentener, F., Fowler, D., Fragkou, E., Frost, G.J., Generoso, S., Ginoux, P., Grewe, V., Guenther, A., Hansson, H.C., Henne, S., Hjorth, J., Hofzumahaus, A., Huntrieser, H., Isaksen, I.S.A., Jenkin, M.E., Kaiser, J., Kanakidou, M., Klimont, Z., Kulmala, M., Laj, P., Lawrence, M.G., Lee, J.D., Liousse, C., Maione, M., McFiggans, G., Metzger, A., Mieville, A., Moussiopoulos, N., Orlando, J.J., O'Dowd, C.D., Palmer, P.I., Parrish, D.D., Petzold, A., Platt, U., Pöschl, U., Prévôt, A.S.H., Reeves, C.E., Reimann, S., Rudich, Y., Sellegri, K., Steinbrecher, R., Simpson, D., ten Brink, H., Theloke, J., van der Werf, G.R., Vautard, R., Vestreng, V., Vlachokostas, Ch., von Glasow, R. (2009) Atmospheric composition change – global and regional air quality. *Atmospheric Environment*, 43, 5268-5350.
- Mononen, L., Auvinen, A.P., Ahokumpu, A.L., Rönkä, M., Aarras, N., Tolvanen, H., Kamppinen, M., Viirret, E., Kumpula, T., Vihervaara, P. (2016) National ecosystem service indicators: measures of social-ecological sustainability. *Ecological Indicators*, 61, 27-37.
- MTA ÖK (2018) KEHOP 4.3.0 – NÖSZTÉP szakirodalmi áttekintés összefoglaló. http://www.termeszetvedelem.hu/_user/browser/File/KEHOP/NOSZTEP/5_%20Szakirodalmi%20%C3%A1ttekint%C3%A9s.pdf (Letöltés 2018. 08. 20.)
- Mukherjee, S., Mukherjee, S., Garg, R., Bhardwaj, A., Raju, P.L.N. (2013). Evaluation of topographic index in relation to terrain roughness and DEM grid spacing. *Journal of Earth System Science*, 122, 869-886.
- Müller, F., Burkhard, B. (2012) The indicator side of ecosystem services. *Ecosystem Services*, 1, 26-30.
- Nagy, Z., Pintér, K., Czóbel, S., Balogh, J., Horváth, L., Fóti, Sz., Bercza, Z., Weidinger, T. Csintalan, Zs., Dinh, N.Q., Grosz, B., Tuba, Z. (2007). The carbon budget of semi-arid grassland in a wet and a dry year in Hungary. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121(1-2), 21-29.
- NÉBIH (2015) Erdővagyon és erdőgazdálkodás Magyarországon 2015-ben. <https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/1166168/Erdovagyon+gazdalkodas+2015.pdf/e94a3513-4051-69fe-ed9e-0d6cf2297527>
- NÉBIH (2016) Erdővagyon és erdőgazdálkodás Magyarországon 2016-ban. https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/206281/leporello_2016_hun.pdf
- Nelson, E., Mendoza, G., Regetz, J., Polasky, S., Tallis, H., Cameron, D.R., Chan, K.M.A., Daily G.C., Goldstein, J., Kareiva, P.M., Lonsdorf, E., Naidoo, R., Ricketts, T.H., Shaw, R. (2009) Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7, 4-11.
- Nelson, D.R., Neil Adger, W., Brown, K. (2007) Adaptation to Environmental Change: Contributions of a Resilience Framework. *Annual Review of Environment and Resources*, 32, 395-419.
- Nemes, A. (2003) Multi-scale hydraulic pedotransfer functions for Hungarian soils. PhD Dissertation. Wageningen University, Wageningen.
- Nistor, M.-M., Cheval, S., Gualtieri, A.F., Dumitrescu, A., Botan, V.E., Berni, A., Hognogi, G., Irimu, I.A., Porumb-Ghiurco, C.G. (2017) Crop evapotranspiration assessment under climate change in the Pannonian basin during 1991-2050. *Meteorological Applications*, 24, 84-91.

- NIR (2007) National Inventory report for 1985-2005. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium - Országos Meteorológiai Szolgálat, 164 pp.
- NIR (2015) National Inventory Report for 1985-2013. Hungary. Compiled by the Hungarian Meteorological Service, Unit of National Emissions Inventories. Budapest.
- NIR (2019) National Inventory Report for 1985-2017. Hungary. Compiled by the Hungarian Meteorological Service, Unit of National Emissions Inventories. Budapest.
- O'Casey, E. (2017) A New Appreciation for Old Forests. Sustainablewoodstock.org. <https://www.sustainablewoodstock.org/a-new-appreciation-for-old-forests/> (Letöltés: 2019. 07. 14)
- Országos Erdőállomány Adattár (2011) (web) <https://portal.nebih.gov.hu/-/adatszolgaltatas-az-orszagos-erdoallomany-adattarbol-es-az-erdeszeti-nyilvantartasi-terkeprol> (2019. 03. 13.)
- Pálvölgyi, T., Selmeczi, P. (szerkesztők) (2016) Tudásmegosztás, alkalmazkodás és éghajlatváltozás. A Magyar Földtani és Geofizikai Intézet kutatási-fejlesztési eredményei a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer létrehozására. Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, 85 oldal. ISBN 978-963-671-308-9
- Pan, G.X., Smith, P., Pan, W.N. (2009) The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129, 344-348.
- Pásztor, L., Laborczy, A., Takács, K., Szatmári, G., Dobos, E., Illés, G., Bakacsi, Zs., Szabó, J. (2015) Compilation of novel and renewed, goal oriented digital soil maps using geostatistical and data mining tools. *Hungarian Geographical Bulletin*, 64, 49-64.
- Pavao-Zuckerman, M.A., Waller, J.C., Ingle T., Fribourg, H.A. (1999) Methane emissions of beef cattle grazing tall fescue pastures at three levels of endophyte infestation. *Journal of Environmental Quality*, 28, 1963-1969.
- Pavlović, M. (szerkesztő) (2014) Klímaadaptációs és Kockázatértékelési Kézikönyv a Duna makrorégióra. BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, 120 oldal. ISBN 978-963-87837-6-9
- Pavlović, M. (szerkesztő) (2014) Klímaadaptációs és Kockázatértékelési Kézikönyv a Duna makrorégióra. BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, 120 oldal. ISBN 978-963-87837-6-9
- Pfadenhauer, J., Grootjans, A. (1999) Wetland restoration in Central Europe: aims and methods. *Applied Vegetation Science*, 2, 95-106.
- Pineda, N., Jorba, O., Jorge, J., Baldasano, J.M. (2004) Using NOAA AVHRR and SPOT VGT data to estimate surface parameters: application to a mesoscale meteorological model. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 25(1), 129-143.
- Pribyl, D.W. (2010) A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. *Geoderma*, 156, 75-83.
- Popp, J., Bai, A. (2018) Megújuló energiaforrások, különös tekintettel a bioüzemanyag-gyártásra: Nemzetközi kitekintés. Magyar Tudomány [Digitális kiadás] Budapest, Akadémiai Kiadó.
- Popp, J., Harangi-Rákos, M., Kapronczai, I., Oláh, J. (2018) Magyarország megújuló energiatermelésének kilátásai. *Gazdálkodás, Hermann Ottó Intézet*, 2, 103-123.
- Poppe, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G.D. (2002): Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of the American Medical Association*, 287, 1132-1141.
- Poppe, C.A., Burnett, R.T., Thurston, G.D., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Godleski, J.J. (2004): Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate matter air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation*, 109(1), 71-77.
- Rodríguez-Loinaz, G., Alday, J.G., Onaindia, M. (2015) Multiple ecosystem services landscape index: A tool for multifunctional landscapes conservation. *Journal of Environmental Management*, 147, 152-163.
- Salma I. (Szerk.) (2012) Környeztkémia. Typotex Kiadó, Budapest, p. 93.
- Schwarz, N., Bauer, A., Haase, D. (2011) Assessing climate impacts of planning policies – An estimation for the urban region of Leipzig (Germany). *Environmental Impact Assessment Review*, 31, 97-111.
- Silva, J., Ribeiro, C., Guedes, R. (2007) Roughness length classification of CORINE land cover classes. Maia (Portugal), Megajoule-Consultants.
- Skarbit, N. (2018) Városklíma-elemzés térben és időben részletes mérések, valamint lokális léptékű klímamodell alapján. PhD dolgozat, SZTE Földtudományok Doktori Iskola, 114 oldal.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, Ch., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U., Towprayoon, S., Wattenbach, M., Smith, J. (2007) Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363, 789-813.
- Solymos, R. (1969) Új hazai fatermési táblák. *Az Erdő*, 18, 125-129.
- Somodi, I., Bede-Fazekas, Á., Lepesi, N., Czúcz, B. (2016) Természetes ökoszisztémák éghajlati sérülékenységének elemzése. *Kutatási jelentés. MFGI, Budapest, 2016. április 25*

- Somodi, I., Molnár, Zs., Czúcz, B., Bede-Fazekas, Á., Bölöni, J., Pásztor, L., Laborci, A., Zimmermann, N.E. (2017a) Implementation and application of Multiple Potential Natural Vegetation models – a case study of Hungary. *Journal of Vegetation Science*, 28, 1260-1269.
- Somodi, I., Tanács, E., Belényesi, M., Lehoczki, R., Kosztra, B., Maucha, G., Naszádos, A., Szekeres, Á., Pataki, R., Petrik, O., Kristóf, D. (2017b) Ökoszisztéma alaptérkép és adatmodell kialakítása (Verzió 3.0). Nemzeti ökoszisztéma-szolgáltatások térképezése és értékelése projektelelem (NÖSZTÉP), 73 oldal.
- Somogyi, Z. (2001) Erdő nélkül? L'Harmattan, Budapest, 157 p.
- Somogyi, Z., Király, É.I., Kozma-Bognár, V., Berényi-Üveges, J. (2016) Estimating historical and future GHG emissions and removals in the LULUCF sector in Hungary. In: Neményi, M., Nyéki, A. (ed.): Proceedings of the workshop on „Impact of Climate Change on Agriculture”, 25 Sept. 2015, Mosonmagyaróvár, ISBN 978-963-359-057-7, pp. 50-66.
- Somogyi, Z. (2005) Produkció és biomassza. In: (szerk.: Mátyás Csaba) Erdészeti ökológia. Mezőgazda Kiadó.
- Somogyi, Z. (2008) A hazai erdők üvegház hatású gáz leltára az IPCC módszertana szerint (Greenhouse gas inventory of forests in Hungary using the IPCC methodology). *Erdészeti Kutatások*, 92, 145-162.
- Somogyi Z. (2009a) Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz: hogyan fogjunk hozzá? *Erdészeti Lapok*, CXLIV. évf. 6. szám, 164-167.
- Somogyi, Z. (2009b) Using the carbon accounting model CASMOFOR to separate the effect of disturbances ("mortality"), age class distribution and site distribution: need and feasibility. Revisiting the Use of Managed Land as a Proxy for Estimating National Anthropogenic Emissions and Removals. (web) http://www.scientia.hu/cv/2009/Factoring_out_by_modelling_Zoltan_S.pdf
- Somogyi, Z. (2018) Forest Reference Level of Hungary. (web) <https://cdr.eionet.europa.eu/hu/eu/mmr/lulucf/envxbyrxa/>
- Somogyi, Z. (2019) Az erdei biomassza égetése gyorsíthatja a klímaváltozást. *Erdészeti Lapok* CLIV. évf. 2. szám (2019. február), 5-7.
- Soussana, J.F., Allard, V., Pilegaard, K., Ambus, P., Amman, C., Campbell, C., Ceschia, E., Clifton-Brown, C., Czobel, S., Domingues, R., Flechard, C., Fuhrer, J., Hensen, A., Horváth, L., Jones, M., Kasper, G.J., Martin, C., Nagy, Z., Neftel, A., Raschi, A., Baronti, S., Rees, R.M., Skiba, U., Stefani, P., Manca, G., Sutton, M., Tuba, Z., Valentini, R. (2007) Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121, 121-134.
- Soussana, J.F., Loiseau, P., Vuichard, N., Ceschia, E., Balesdent, J., Chevallier, T., Arrouays, D. (2004) Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. *Soil Use and Management*, 20, 219-230.
- SoEF (2015) State of Europe's Forests 2015 (FOREST EUROPE). Publisher: Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. Publisher: Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. <https://foresteurope.org/state-europes-forests-2015-report/>
- Szatmári, G., Pirkó, B., Koós, S., Laborci, A., Bakacsi Zs., Szabó, J., Pásztor, L. (2019) Spatio-temporal assessment of topsoil organic carbon stock change in Hungary. (submitted paper to Soil & Tillage Research).
- Századvég, Kutatási gyorsjelentés. (2019. november). Ökoszisztéma-szolgáltatások és a jóllét kapcsolata. In: 1000 fős CATI-módszerű lekérdezés 15 perces kérdőívén, Századvég Politikai Iskola Alapítvány
- Szépszó, G., Horányi, A. (2008) Transient simulation of the REMO regional climate model and its evaluation over Hungary. *Időjárás*, 112, 203-231.
- Szépszó G., Csorvási A. (2016) ALADIN Climate modell szimulációk eredményei. Tanulmány „A Balaton vízforgalmának a klímaváltozás hatására becsült változása” című NATér EEA-C11-1 beszámolóhoz. https://www.met.hu/RCMTeR/doc/reports/C11-1_Balaton_meteorologia.pdf
- Takács, Á., Kiss, M., Hof, A., Tanács, E., Gulyás, Á., Kántor, N. (2016) Microclimate modification by urban shade trees – an integrated approach to aid ecosystem service based decision-making. *Procedia Environmental Sciences*, 32, 97-109.
- Tanács, E., Kiss, M., Vári, Á., Kristóf, D. (2018) Az ökoszisztéma-állapot térképezés keretmunkatereve. MTA ÖK, Földművelésügyi Minisztérium, Budapest, 1-16.
- Tanács, E., Bede-Fazekas, Á., Standovár, T., Vári, Á., Szitár, K., Csecserits, A., Kiss, M. (2019) Az általános ökoszisztéma-állapot indikátorok térképezésének módszertana. NÖSZTÉP dokumentum, Budapest, 132 pp.
- The Danish Ecological Council (2016): https://aireas.files.wordpress.com/2017/01/161128_brc3a6ndefyringshc3a6fte_uk_2-udgave.pdf, magyar változat: Levegő munkacsoport https://aireas.files.wordpress.com/2017/01/161128_brc3a6ndefyringshc3a6fte_uk_2-udgave.pdf
- Thomson, A.J., Giannopoulos, G., Pretty, J., Baggs, E.M., Richardson, D.J. (2012) Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 367, 1157-1168.
- Tóth, P., Bulla, M., Nagy, G. (2011) Energetika. A biomassza energetikai hasznosítása, energiatermelés biomasszából. (web) https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Energetika/ch04s02.html

- Tuba, Z. (2008) A magyarországi Bodrogköz tájmonográfiája, szerkesztette: Tuba, Z., társszerkesztő: Frisnyák, S., Lorántffy Zsuzsanna Szellemében Alapítvány, Gödöllő–Sárospatak.
- Turner, K., Badura, T. Ferrini, S. (2019) Valuation, natural capital accounting and decision-support: process, tools and methods. Technical support for the development of Natural Capital Accounting Final Deliverable, Task 4.2, 66 p.
- UK (2011) UK National Ecosystem Assessment. The UK national ecosystem assessment: synthesis of the key findings. 87 p. (web) http://www.wensumalliance.org.uk/publications/UKNEA_SynthesisReport.pdf
- UNFCCC (2019a) National Greenhouse Gas Inventory submissions. (web) <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/national-inventory-submissions-2018> (2019. 03. 19.)
- UNFCCC (2019b) Transparency and Reporting (web) <https://unfccc.int/process#:0c4d2d14-7742-48fd-982e-d52b41b85bb0> (2019. 03. 19.)
- UNFCCC (2019c) Reporting requirements (web) <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/reporting-requirements> (2019. 03. 19.)
- UNFCCC (2019d) Inventory Review Reports (2018) (web) <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/inventory-review-reports/inventory-review-reports-2018> (2019. 03. 19.)
- Unger, J., Sümeghy, Z., Kántor, N., Gulyás, Á. (2012) Kisléptékű környezeti klimatológia. Szegedi Egyetemi Kiadó, 221 oldal.
- Veperdi, G. (2008) Fatermésztan Sopron. 84. pp. (web) <http://docplayer.hu/38193055-Fatermestan-oktatasi-segedanyag-oklevel-es-erdimernok-szak-hallgatoi-reszere-osszeallitotta-dr-veperdi-gabor-tantargyfelelis.html>
- Vincente-Serrano, S.M., Beguería S., López-Moreno, J.I. (2009) A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23, 1696-1718.
- Weidinger, T., Bartholy, J., Pongrácz, R., Mészáros, R., Lagzi, I., Csapó, É., Gyöngyösi, A.Z., Leelőssy Á. (2012) A katasztrófavédelem válasza a XXI. század globális kihívásaira. Az egyetemi meteorológia oktatás, kutatás és a katasztrófavédelem kapcsolódási pontjai. *Katasztrófavédelem*, LIV(2), 11-13.
- White, M.A., Thornton, P.E., Running, S.W., Nemani, R.R. (2000) Parameterization and sensitivity analysis of the Biome-BGC terrestrial ecosystem model: net primary production controls. *Earth Interactions*, 4, 1-85.
- Zagyvainé Kiss K.A. (2012) Az avar intercepció vizsgálata a Soproni-Hegységben. PhD dolgozat. NYME Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori iskola. 121 oldal.
- Zhao, H., Huang, W., Xie, T., Wu, X., Xie, Y. Feng, S., Chen, F. (2019) Optimization and evaluation of a monthly air temperature and precipitation gridded dataset with a 0.025° spatial resolution in China during 1951–2011. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-17. 10.1007/s00704-019-02830-y.
- Zsembeli et al. (2013) Calculation of organic carbon stocks of the soil types of Hungary on the base of their humus content. (Research report. Manuscript.)