

A TALAJ ÉS A KLÍMA KAPCSOLATA THORNTHWAITE SZEMPONTJÁBÓL

ÁCS FERENC² – BREUER HAJNALKA

RELATIONSHIP BETWEEN SOIL AND CLIMATE ACCORDING TO THORNTHWAITE

Abstract: Using a Thornthwaite-based biogeochemical model, we analyse the relationship between soil processes and climate. In the essay we focus on water and carbon, as well as water vapour and carbon-dioxide since these components are most relevant for soil and climate processes. It is analysed in detail how water and organic carbon-dioxid emitted from the soil depend upon climate types.

BEVEZETÉS

Thornthwaite, C. W. (1948) módszere a víz, a növényzet és a klíma elemi kapcsolatrendszerén alapul; figyelembe veszi a talaj víztározó képességét és a növényi párolgás alapvető tulajdonságait. *Thornthwaite, C. W.* (1948) modellje két szempontból is előnyös: részletes klímaklasszifikációra ad lehetőséget valamint könnyen kibővíthető – elsősorban a talajban lejátszódó folyamatok leírásán keresztül – biogeokémiai jellegű modellé. Annak köszönve, hogy lehetővé teszi a részletes klímaklasszifikációt, ma is elterjedt. *Mintz, Y.* és *Serafini, Y.* (1981) valamint *Mintz, Y.* és *Walker, G. K.* (1993) Thornthwaite módszerét alkalmazta az evapotranspiráció és a gyökérszóna nedvességtartalmának globális eloszlású becslésére. A módszert gyakorlati célokra is alkalmazzák: az Amerikai Egyesült Államokban a gabona nedvességi indexek földrajzi eloszlásának becslésére, vagy Kanadában (Kanadai Klíma Központ) a talajnedvesség heti változásainak feltérképezésére (lásd *Mintz, Y. – Walker, G. K.* 1993). A modell – mint ahogyan már említettük – könnyen kibővíthető a talajban lejátszódó biogeokémiai folyamatok leírásával, ami alapján elemezhető a klíma és talaj fizikai és biogeokémiai tulajdonságainak kapcsolata is.

Míndezekek alapján, e tanulmány célja, a talaj és a klíma kapcsolatának elemzése egy Thornthwaite típusú biogeokémiai modell alapján. E thornthwaite-i biogeokémiai modellt *Thornthwaite, C. W.* (1948) biofizikai modellje és egy empirikus talaj respiráció modell (*Peng, C. H. et al.* 1998) alkotja. Vizsgálatainkban részletesen elemezzük

- 1) a talajban tárolt víz és szerves szén mennyiségének és a klímának a kapcsolatát,
- 2) az evapotranspiráció, a talaj respiráció és a klíma kapcsolatát.

² Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék. 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A. E-mail: acs@nimbus.elte.hu

Az elemzést egy földi adatbázison végezzük. Az éghajlati adatokat havi és évi csapadék és hőmérséklet adatok alkotják. A talaj sajátosságait a talaj fizikai féleségével és hidrofizikai paramétereivel fejezzük ki. Az éghajlatokat igen egyszerűen és tömören, a thornthwaite-i klímaképletekkel jellemezzük. A modell feltételezi a klíma, a növényzet és a talaj közötti egyensúlyt, ebből eredően a klíma, a növényzet és a talaj időbeli változatlanóságát. Elemzéseinkben a két legfontosabb nyomgázra, a vízgőzre és a szén-dioxidra összpontosítunk.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A Thornthwaite típusú biogeokémiai modell

Thornthwaite, C. W. (1948) a klímákat klímaképletek formájában jellemzi. A klímaképletet 4 betű alkotja. Az 1. betűt egy nedvességi állapotot jellemző klimatikus index, a 2. betűt a PET potenciális evapotranspiráció, a 3. betűt a víztöbblettel és a vízhiánnyal arányos nedvességi és szárazsági index, míg a 4. betűt a nyári (június, július és augusztus) és évi PET értékek aránya határozza meg. A klímaképlet első két betűje az évi, míg az utolsó két betűje az évszakos vízmérleg jellemzőkre utalnak. A klímaképlet első két betűjének elnevezéseit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat A thornthwaite-i klímaképlet 1. és 2. betűjéhez tartozó elnevezések
Table 1 Designations belonging to the first and the second letters of the Thornthwaite formula

A klímaképlet 1. betűje	A vízellátottság jellemzése	A klímaképlet 2. betűje	A hőellátottság jellemzése
A	Perhumid	A'	Megatermális
B4	Humid	B4'	Mezotermális
B3	Humid	B3'	
B2	Humid	B2'	
B1	Humid	B1'	
C2	Nedves szubhumid	C2'	Mikrotermális
C1	Száraz szubhumid	C1'	
D	Szemiarid	D'	Tundra
E	Arid	E'	Fagyos

Thornthwaite, C. W. (1948) vízmérleg- és klímamodelljét egy empirikus talaj respiráció modellel egészítettük ki. Így, a thornthwaite-i biofizikai modellt biogeokémiai modellé alakítottuk. A Thornthwaite típusú biogeokémiai modell teljes matematikai leírása **Breuer H.** (2005) munkájában található meg.

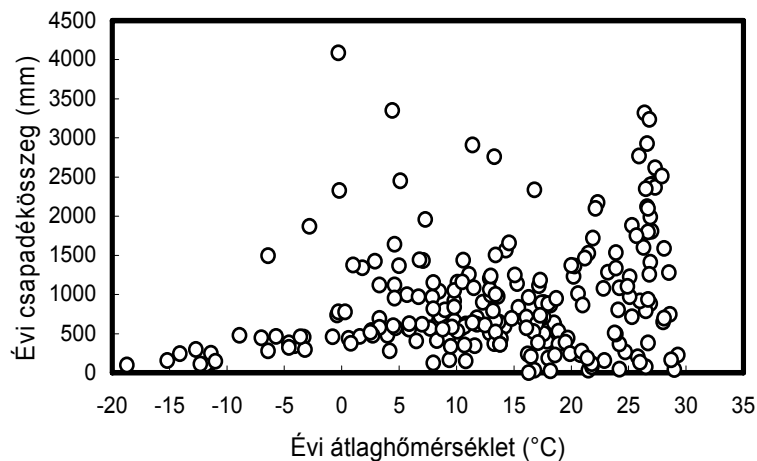
Adatforgalom

A bemenő adatok: az állomás földrajzi helyzete (földrajzi szélesség és hosszúság), a klímaadatok (évi csapadékösszeg és átlaghőmérséklet), a hasznos víztar-

talom kezdeti értéke, a talaj fizikai felesége, és a talajban levő szerves szén mennyisége. A modell kimenő adatai: a potenciális evapotranspiráció (PET), ami a hőellátottságot jellemzi, a vízellátottság (víztöbblet (S), vízhiány (D)), a tényleges párolgás (ET), a talaj respiráció (SR), és a klímaképlet.

Klímaadatok

A klímaadatokat 230 állomás havi és évi csapadék P és hőmérséklet T adatai alkotják. Ezek **Lamb, H. H.** (1978) könyvében található meg „*A World Climatic Table*” című fejezetben. Ezen adatok mellett más klímaadatok is vannak, ezeket tanulmányunkban nem használjuk. Az állomások területi eloszlása nem egyenletes, de a Föld összes klímáit lefedik. A 230 állomásból kb. 30 állomás az óriási óceáni térség kisebb szigetein van. Megemlítendő az is, hogy az állomások adatai nem ugyanazon és nem ugyanakkora hosszúságú időszakokra vonatkoznak. A Föld klímáit jellemző 230 állomás P-T diagramja az 1. ábrán látható.



1. ábra A Föld klímáit jellemző 230 állomás P-T diagramja
Figure 1 Earth climates represented by P-T diagram of 230 stations

Talajadatok

A talajok fizikai feleségét **Kottek, M.** és **Rubel, F.** (2003) munkája alapján állapítottuk meg. E munkában öt fizikai feleséget különböztetnek meg: a homokot, a homokos vályogot, a vályogot, az agyagos vályogot és az agyagot. Egyes állomások területén előfordult még jég, szikla és tőzeg illetve kotu. Ezen esetekben a felvehető vízmennyiséget egységesen 100 mm-ben állapítjuk meg.

Az ásványi talajok gyökérszónában levő szerves és szervesetlen széntartalma különböző térképek alapján határozható meg. A **FAO-UNESCO** (2000) által készített térképek alapján látható, hogy a talaj szerves széntartalma nagy térbeli változottságot mutat. Látható az is, hogy a szerves szén mennyisége függ a hőmérséklettől és a nedvességtől is. A mocsaras, tundra éghajlatú területeken a szerves széntar-

talom a legnagyobb (80-120 kg m⁻²), míg a sivatagi területeken a legalacsonyabb (0-2 kg m⁻²).

A numerikus vizsgálatok esetei

A numerikus vizsgálatokat különböző feltételek mellett végezzük el. E feltételek a hasznos víztartalmat határozzák meg. Három esetet különböztetünk meg. Az 1. eset az ún. referencia eset. Ekkor a hasznos víztartalom 100 mm függetlenül a textúrától. A 2. és 3. esetben a hasznos víztartalom függ a textúra függő, azaz függ a $\Psi(\Theta)$ víztartó-képesség függvény alakjától. A 2. esetben a $\Psi(\Theta)$ számítására **Clapp, R. B.** és **Hornberger, G. M.** (1978) parametrizációját és **Cosby, B. J.** (1984) paramétereit alkalmazzuk, míg a hasznos víztartalom a $pF= 2,5 - 4,2$ -es értéktartományával adott ($pF= \log_{10} (|\Psi(\Theta)| \text{ cm vízoszlop magasság})$). A 3. esetben a $\Psi(\Theta)$ -t ugyanúgy számítjuk, mint a 2. esetben, de a hasznos víztartalom a $pF= 1,7 - 4,2$ -es értéktartományával definiált.

A különböző esetekhez és a talaj különböző fizikai féleségeihez tartozó hasznos víztartalmakat a 2. táblázat tartalmazza. Láthatjuk, hogy a 3. esetben a növényzet által felvehető hasznos víztartalom értékek a legnagyobbak. Homok esetében kb. 160 mm, míg vályogra vonatkozóan megközelítően 280 mm. Látható az is, hogy a homokra vonatkozóan a 2. esetben a hasznos víztartalom kevesebb, mint 100 mm.

2. táblázat A növényzet által használható vízmennyiség a talaj különböző fizikai féleségeire és a numerikus vizsgálatok különböző eseteire vonatkozóan.

Table 2 The amount of water used by vegetation referring to different physical types of soils and to the different cases of analyses

Fizikai féleség	A növényzet által használható vízmennyiség [mm]		
	Numerikus vizsgálatok esetei		
	1.	2.	3.
Homok	100	92,6	168,3
Homokos vályog	100	125,8	234,3
Vályog	100	153,6	272,2
Agyagos vályog	100	109,1	263,4
Agyag	100	125,5	213,9

VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

A klímák rövid áttekintése

A 230 állomás klímáinak 1. betű szerinti eloszlását mind a három futtatás esetében a 3. táblázat szemlélteti. A C2-C1-es klímájú állomásokból (ezen állomások a mérsékelt övezetekre jellemzők) van a legtöbb. Összesen 78 az 1. esetben, 79 a 2. esetben és 81 a 3. esetben. Szembetűnő, hogy a klímák száma és típusa érzé-

keny a hasznos víztartalom változásaira. Ezen érzékenység ugyan nem nagy, de észrevehető. Az igen nedves (A-B4-B3) és a száraz (D-E) klímájú állomások száma 50 körül van.

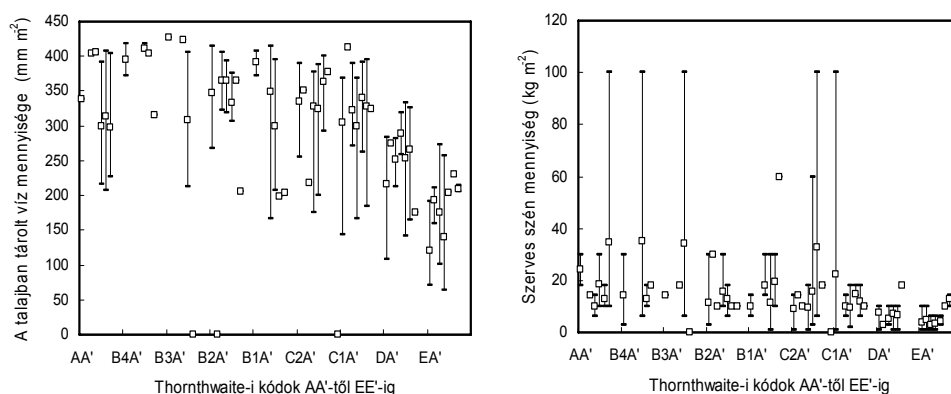
3. táblázat A klímák száma a thornthwaite-i kód 1. betűje szerint a 3 futtatás esetén
 Table 3 Number of climates in case of the first letter of the Thornthwaite code in three cases

A klímaképlet 1. betűje	1.eset	2.eset	3.eset
A	26	26	25
B4	13	13	11
B3	9	9	11
B2	25	23	21
B1	23	24	20
C2	43	42	40
C1	35	37	41
D	23	23	28
E	33	33	33

A talajban tárolt víz és szerves szén mennyiségének és a klímának a kapcsolata

A talajban tárolt vízmennyiség thornthwaite-i klímaképletek szerinti változását a 3. futtatás esetén (tényleges textúra, a hasznos víztartalom a legnagyobb) a 2a. ábra szemlélteti. Látható, hogy a talaj nagy víztározó. A talaj víztározó képessége éghajlatfüggő. Mielőtt rátérnénk e függés elemzésére, mondjuk egypár szót a klímaképletek jelöléséről! A klímaképlet 1. és 2. betűi – mint ahogy látható az 1. táblázatban – A-tól E-ig és A'-tól E'-ig változnak. Az A-klíma a legnedvesebb, az E-klíma pedig a legszárazabb. Hasonlóképpen az A'-klíma a legmelegebb, az E'-klíma pedig a leghidegebb. Ezek után sejtjük is már, hogy pl. az A-klíma és a B4-klíma között AA', AB4', AB3', AB2', AB1', AC2', AC1', AD' és AE' klímák vannak. Ez persze így van a D és E klímák között is. Mindezek után nyilvánvaló, hogy AA' kombináció a legnedvesebb és a legmelegebb kombinációját jelenti. Hasonlóképpen az EA' kombináció a legszárazabb és a legmelegebb kombinációját jelenti. Ugyanakkor, például az EE' kombináció, ami a legszárazabb és a leghidegebb kombinációja, meg sincs jelölve. Az ábrán az adott klímákhoz tartozó pontok átlagértékeket jelölnek. Kihangsúlyozandó, hogy az adott klímaképlethez tartozó talajok fizikai féleségei különböznek, azaz a talajvízmennyiség-átlagértékek nem egy konkrét fizikai féleségre vonatkoznak. Egyes pontoknál kis oszlopocskák is láthatók. Az oszlopocskák felső pontja a maximális, míg az alsó pontja a minimális értéket mutatja. Most pedig, térjünk vissza az elemzésre! A nedves klímákban (A-B4), a talajban tárolt vízmennyiség 400 mm m^{-2} , azaz a θ megközelíti a θ_s (telítési vízmennyiség) értékeket. A mérsékelt nedves (C2-C1) klímákban a talajban tárolt vízmennyiség $300\text{-}370 \text{ mm m}^{-2}$. A száraz (D-E) klímákban ezen érték akár 150 mm m^{-2} értéknél is kisebb lehet. A nedvesség hatása mellett a hőellátottság hatása

is észrevehető. A hőellátottság csökkenésével a talajban tárolt vízmennyiség növekszik a kisebb párolgás miatt. Így például a C2-es "meleg" és "hideg" klímák közötti talajvíz mennyiség eltérések 50 mm m^{-2} körül vannak. Ezzel szemben az E-klímákban ezen eltérések már 100 mm m^{-2} körüliek. Láthatjuk azt is, hogy az ingadozások (az oszlopok nagysága) igen nagyok. Ez a talaj fizikai félesége hatásának tulajdonítható.



2. ábra a) A talajban tárolt vízmennyiség évi átlagának és b) a szerves szén mennyiségének kapcsolata a thornthwaite-i kódokkal 3. futtatás esetén (a hasznos víztartalom a legnagyobb).

Figure 2 a) Relationship between the annual average soil water storage b) organic carbon stored in the soil and Thornthwaite's climate types obtained by the 3rd run (available water is the largest)

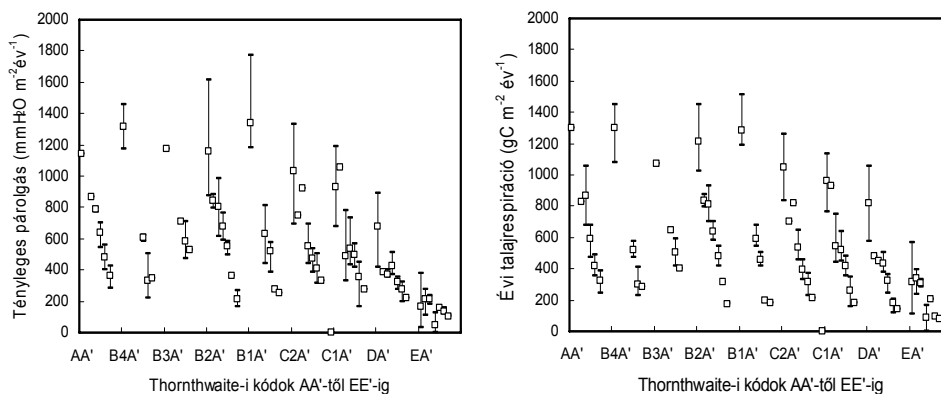
A talajban tárolt szerves szén mennyiségének klímáktól való függését a 2b. ábra szemlélteti. Látható, hogy a szerves szén mennyisége a talajban annál kisebb, minél melegebb és szárazabb az éghajlat (Jenny, H. 1941). A hőellátottság hatása a talajban levő szerves szén mennyiségére szembevetendő. Így például a C2A' (száraz és meleg) klímában a szénmennyiség 10 kg m^{-2} körüli, míg az C2D' (száraz és hideg) klímában megközelíti a 40 kg m^{-2} -t. Továbbá a szárazabb (C1-E) klímákban átlagosan kevesebb szén található, mint a nedvesebb klímákban. Láthatjuk azt is, hogy az átlagos értékektől való eltérések igen nagyok.

Az evapotranspiráció, a talaj respiráció és klíma kapcsolata

Az evapotranspiráció klímaképletek szerinti változása a 3. futtatás esetén a 3a. ábrán látható. Az ET víz- és hőellátottságtól való függése nyilvánvaló. Az igen nedves és meleg klímákban (AA'-B1A') az ET átlagok $1200 \text{ kg m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ érték körüliek. A B1A' klímától a DA' klímáig, azaz a meleg és nedves klímáktól a meleg és félszáraz klímáig, az ET átlagok 1200 -ról $600 \text{ kg m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ értékre csökkennek. A meleg és igen száraz klímákban (EA') az ET átlagértékek $200 \text{ kg m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ érték körüliek. Tehát az igen száraz és meleg klímák (EA') ET átlaga kb. 1/6-da az igen nedves és meleg klímák (AA') ET átlagának. Nézzük meg most közelebbről a

hőellátottság hatását! Láthattuk, hogy az AA' klímában az ET átlag $1200 \text{ kg m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ érték körüli. Az AD' klímában, azaz a nedves és hideg klímákban, az ET átlag már $350 \text{ kg m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ érték körüli. Hasonlóképpen, az igen száraz és meleg klímákban (EA') az ET átlag $200 \text{ kg m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ érték körüli, míg az igen száraz, hideg klímákban ez az érték $100 \text{ kg m}^{-2} \text{ év}^{-1}$. Tehát az igen nedves klímákban az ET a hőellátottság csökkenésére valamelyest erősebben csökken, mint az igen száraz klímákban. Láthatjuk, hogy az ET klímaképletek szerinti változása – e változás a víz- és hőellátottság kombinált hatásából ered – a fűrészfogakhoz hasonlítható. Főleg a nedves klímákban, ott ugyanis a “fogak” nagysága nem csökken. A száraz klímákban a vízhiány növekedésével a “fogak” nagysága csökken. Mindezek alapján a klímaképletek szerinti ilyen “fűrészfog-típusú” változást “fűrészfüggvénynek” keresztelhetnénk el.

Az évi talaj respiráció klímaképletek szerinti változását a 3. futtatás esetén a 3b. ábra szemlélteti. Ugyanúgy, mint az előbbi esetben, a víz- és hőellátottságtól való függés “fűrészfüggvényyszerűen” érvényesül. A változások mértéke is (mennyivel csökken az SR átlaga a vízellátottság vagy a hőellátottság csökkenésével) igen hasonló, de van egy alapvető különbség. A vízátvitel három nagyságrenddel nagyobb, mint a CO₂ átvitele. Ugyanis, a víz mennyiségét kg-ban, míg a széndioxidban levő szén mennyiségét g-ban fejezzük ki. Láthatjuk azt is, hogy ebben az esetben az átlagtól vett eltérések valamelyest kisebbek, mint az előbbi esetben.



3. ábra a) Az évi evapotranspiráció b) az évi talajrespiráció és a thornthwaite-i kódok kapcsolata a 3. futtatás esetén (a hasznos víztartalom a legnagyobb)
 Figure 3 Relationship between a) the annual evapotranspiration, b) the annual soil respiration and the Thornthwaite's climate types obtained by the 3rd run (available water is the largest)

BEFEJEZÉS

E tanulmányban a talaj és a klíma közötti kapcsolatot elemezzük. Az elemzést egy Thornthwaite típusú biogeokémiai modell alapján végezzük. E thornthwaite-i biogeokémiai modellt *Thornthwaite, C. W.* (1948) biofizikai modellje és egy empirikus talaj respiráció modell (*Peng, C. H. et al.* 1998) alkotja. A modell feltételezi a klíma, a növényzet és a talaj közötti egyensúlyt, ebből eredően a klíma, a növényzet és a talaj időbeli változatlanóságát. Számításainkat egy földi adatbázison végezzük. Elemzéseinkben a vízre és a szénre, azaz a vízgőzre és a szén-dioxidra összpontosítunk. Ugyanis, a talaj és a klíma szempontjából e két anyag a legfontosabb. Vizsgálatainkban részletesen elemezzük a talajban tárolt víz és szerves szén, valamint a talajból kibocsátott vízgőz- és szén-dioxid áramok vízellátottságtól és hőellátottságtól való függését. Ezen eredményeket – mintegy összefoglalva – a 4. táblázat szemlélteti.

4. táblázat A talajban tárolt víz és szerves szén mennyisége, a légkörben tárolt víz és szén mennyisége valamint a talaj és a légkör közötti vízgőz- és szén-dioxid áramok nagyságai
 Table 4 Quantity of water and organic coal stored in the soil and in the air, as well as the magnitude of water-vapour and carbone-dioxide fluxes between the soil and the atmosphere

Anyag	Klímarendszer-összetevők	
	talaj	légkör
	Anyagmennyiség (kg m ⁻²)	
Víz	100-400 (2a. ábra)	25
Szén	1-60 (2b. ábra)	1,5
	A talaj és a légkör közötti anyagáramok (kg m ⁻² év ⁻¹)	
Vízgőz	100-1200 (3a. ábra)	
Szén-dioxid	0,1-1,2 (3b. ábra)	

Vessük össze a víz és a szén anyagmennyiségeit és anyagáramait! Láthatjuk, hogy a talaj nagy víz- és széntározó. A talajban legalább egy nagyságrenddel több víz és szén van, mint a légkörben. A vízgőz formájában levő víz és a szén-dioxidban levő szén mennyisége a légkörben nyilván változó; a feltüntetett értékek globális átlagot jelentenek (*Häntel, M.* 2001). Láthatjuk azt is, hogy a vízgőzáram maximális évi értéke akár háromszor is nagyobb lehet a talajban tárolt maximális vízmennyiség értékénél. Nyilvánvaló, hogy a vízgőz árama – évi léptékben – összemérhető a talajban levő vízmennyiséggel és többszörösen nagyobb, mint a légkörben levő vízmennyiség. E vízgőzáram értékek igen intenzív vízforgalomra utalnak a talaj és a légkör között. Ha ugyanezt megnézzük szénre és szén-dioxidra vonatkozóan, a helyzet megváltozik. A szén-dioxid áram legalább egy nagyságrenddel kisebb, mint a talajban tárolt szénmennyiség és a légkörben levő szén mennyiségénél is kisebb. Mivel a szén-dioxid árama nem mérhető össze a talajban és a légkörben levő szénmennyiséggel, a szénforgalom lassú, azaz sokkal kisebb intenzitású, mint a vízforgalom. E tény igen fontos, ugyanis azt sugallja, hogy egy

thornthwaite-i vízmennyiség-előrejelző modell analógiájára működő szénmennyiség-előrejelző modell futtatása igen nehézkes, sőt sikertelen lenne. Mivel a szén esetében évi léptékben az áram és a mennyiség közötti arány igen kicsi, a talajban levő szénmennyiség kezdeti értékének pontatlansága, nagyfokú bizonytalansága időben tovább nőne. A modell képtelen lenne elérni egy olyan “egyensúlyi állapotot”, amelyből az előre jelzett szénmennyiség értékek a talaj és a légkör csatolt rendszerében megegyeznének a megfigyelésekkel vagy – rosszabbik esetben – a tapasztalati elvárásokkal. A Globális Cirkulációs Modellekkel végzett számításaik alapján e problémára rávilágítottak és részletesen foglalkoztak **Denning, A. S. et al.** (1996). Mindezek miatt a kombinált biogeokémiai modell szénmodulját mindössze egy egyszerű, statisztikailag meghatározott, a talaj respiráció számítására szolgáló formula alkotja.

IRODALOM

- Breuer H.** 2005. A klíma és a talaj kapcsolat-rendszere Thornthwaite szempontjából. XXVII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Budapest, ELTE, 2005 március 21-23, 33 p. [A tanulmány a következő címen áll rendelkezésre: ELTE, Meteorológiai Tanszék, Pázmány Péter sétány 1/A., 1117 Budapest].
- Clapp, R. B. – Hornberger, G. M.** 1978. Empirical equations for some soil hydraulic properties. *Water Resour. Res.* 14. pp. 601-604.
- Cosby, B. J. – Hornberger, G. M. – Clapp, R. B. – Ginn, T. R.** 1984. A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils. *Water Resour. Res.* 20. pp. 682-690.
- Denning, A. S. – Collatz, G. J. – Zhang, C. – Randall, D. A. – Berry, J. A. – Sellers, P. S. – Colello, G. D. – Datzlich, D. A.** 1996. Simulations of terrestrial carbon metabolism and atmospheric CO₂ in a general circulation model. *Tellus* 48B. pp. 521-542.
- FAO-UNESCO.** 2000. Soil Map of the World, digitized by ERSI. Soil climate map, USDA-NRCS Soil Survey Division, World Soil Resources, Washington D.C. (<http://soils.usda.gov/use/worldsoils/mapindex/sic.html>). (<http://soils.usda.gov/use/worldsoils/mapindex/soc.html>).
- Häntel, M.** 2001. Klimatologie. In: Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. 7, Erde und Planeten, Copyright 2001 by Walter de Gruyter & Co., D-10785 Berlin. pp 727.
- Jenny, H.** 1941. Factors of soil Formation. McGraw-Hill, New York.
- Kottek, M. – Rubel, F.** 2003. Wiener Meteorologische Schriften, Heft 1: Globale Klimadaten in standardisierter Darstellung, Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien. 136 p.
- Lamb, H. H.** 1978. Climate: Present, past, and future. Volume 1. fundamentals and climate now. London.
- Mintz, Y. – Serafini, Y.** 1981. Global fields of soil moisture and surface evapotranspiration. NASA Goddard Flight Center Tech. Memo., 8397, Research Review 1980/81. pp. 178-180.
- Mintz, Y. – Walker, G. K.** 1993. Global Fields of soil moisture and Land Surface Evapotranspiration Derived from Observed Precipitation and Surface Air Temperature. *J. Appl. Meteorol.* 32. 1305-1335.
- Peng, C. H. – Guiot, J. – Van Campo, E.** 1998. Past and future carbon balance of European ecosystems from pollen data and climatic models simulations. *Global Planet. Change.* 18. pp. 189-200.
- Thornthwaite, C. W.** 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Rev.* 38. pp. 5-94.