

## A Manabe-féle globális melegedési scenárió és feltételezett növényzetdinamikai következményei

Orlóci László

A Manabe scenárió alapja egy kapcsolt ocean-atmoszféra circulációs model. E szerint mintegy 2,5<sup>o</sup>-os globális földfelszíni hőmérsékletemelkedés várható az elkövetkező hat vagy hét évtized leforgása alatt. A szerző ezt alapul véve a felmelegedés következményeit elemzi észak-déli irányú szelvényen kelet Észak-Amerikában és magassági szelvényen Hawaii-ban. Növényzeti és klimatörténeti adatok alapján arra a következtetésre jut, hogy a megvizsgált területek átlagos hőmérsékletemelkedése többszörösen meghaladhatja a globális átlagértéket az északi szélesség és tengerszint fölötti magasság növekedésével arányosan. Ennek következményeként a megvizsgált területek hu"vös mérsékelt és hidegebb éghajlatú növényzetének a széthullása várható. A felmelegedés bizonyossága és a várható gazdasági és más tarsadalmi következmények késedelem nélküli tervezést indokolnak A növényzetmintázat éghajlati és eseménytörténeti kapcsolata nyilvánvalóvá teszi, hogy a zonális növényzet típusa a tervezés általánosításokra alkmas alapja..

A Manabe scenárió szerint a üvegházi gázok (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFC-ék, O<sub>3</sub>) térfogati növekedése 1990-től megfelel a széndioxid 1%-os átlagos évenkénti növekedésének, vagyis 2060-körüli megkétszereződésének (Manabe et al. 1990). Ezen az alapon a földfelszín 2 - 3<sup>o</sup>-os felmelegedése várható. Egy ilyen mértéku" hőmérsékletemelkedés éghajlattörténetileg szélsőségesnek tekintendő, meggondolva, hogy a globális átlaghőmérséklet ma mindössze 4<sup>o</sup>-al magasabb mint 18000 - 20000 évvel ezelőtt, az utolsó eljegesedés mélypontján. Érdekes

megemlíteni, hogy az utóbbi interglaciális időszakokban a globális átlaghőmérséklet  $18^{\circ}$  alatt, és az utolsó 2000000 éves ingadozása a  $\pm 3,5^{\circ}$  különbséghatáron belül maradt (McKay és Hengeveld 1990).

Az üvegházi-dilemma lényegi megvizsgálását összefoglalóan Mason (1990) és Czelnai (1993) munkáiban találjuk meg. A üvegházi gázok, különösképpen a széndioxid koncentrációjának rohamos növekedése jól ismert tény (Bacastow és Keeling 1981, Bolin 1989). Megemlítendő, hogy ezzel a folyamattal párhuzamosan a globális hőmérséklet a századfordulótól napjainkig  $0,5^{\circ}$ -al emelkedett (Henderson-Sellers 1990).<sup>1</sup> De a kettő összekapcsolása helytelen. Ennek az oka az, hogy noha a üvegházi gázok  $1^{\circ}$ -os melegedést indokolnak a század kezdetétől, nagyobb hőmérsékletemelkedés nem Igen lesz érzékelhető még legalább két-évtizedig a mélytengerek hőinerciája miatt (Mason 1990). A légköri üvegházi gázok, vízpára és por az infravörös sugárzásnak mintegy 91%-át nyelik el, és ezáltal a Föld felszínét melegen tartják. Enélkül a föld átlaghőmérséklete  $-19^{\circ}$  lenne a jelenlegi  $\pm 15^{\circ}$  helyett. Ugyancsak említést érdemel az a tény, hogy molekuláris alapon a metán 21-szer hatásosabb üvegházi gáz mint a széndiokszid és a CFC gázok a metánt több mint 700-szor mulják felül hatásukban.

A helyi felmelegedési lépték függ sokminden között a szélességi körtől, amit az általános áramlásmodellek bizonyítanak (Mason 1990). Az 1. táblázat felmelegedési értékei az áramlásmodellektől függetlenül növényzetéghajlati adatokra alapozottak és kiszámításuk a következő példa szerint történik. A Port Harrison (Quebec) és Timmins (Ontario) földrajzi vonalon a sarkvidéki tundra jelenlegi déli határa megközelítőleg a  $58^{\circ}$  szélességi körön van, ahol a mostani évi átlaghőmérséklet  $-7,5^{\circ}$ . Mintegy 9,500 évvel korábban, a sarkvidéki tundra déli határa körülbelül 10 fokkal délebbre Timmins vidékén volt, ahol a jelenlegi évi átlaghőmérséklet  $1,3^{\circ}$ . A történeti és jelenlegi határok mai hőmérséklet különbsége  $8,8^{\circ}$ . A Föld felszínének a 9500 évvel korábbi átlaghőmérsékletét  $12,6^{\circ}$ -ra becsu"lik. Ez csak  $2,4^{\circ}$ -kal alacsonyabb, mint a mai globális átlaghőmérséklet. Ezek szerint Timmins melegedési léptékértéke  $8,8/2,4=3,7$ . A várható helyi hőmérséklet emelkedése  $3,7 \times 2,5=9,3^{\circ}$ , az előrejelzett évi átlaghőmérséklet pedig  $9,3^{\circ} \pm 1,3^{\circ}=10,6^{\circ}\text{C}$ . Tehát Timmins vidékén a hőmérséklet-emelkedés előrejelzésénél durván a globális melegedés négyszeresével kell számolni. Hasonló elgondolásokra alapozottak az 1. táblázatban foglalt ML, HE és VH értékek. Ezek tanulmányozása után felvetődik a kérdést, hogy milyen növényzettípusok alkalmasak a területek kolonizálására a felmelegedés után.

---

<sup>1</sup> Hőmérséklet értékek a Celsius skála szerint.

1. táblázat. Növényzeti régiók hosszúságkör és t.sz.f. magasság szerinti leírása. A táblázat déli és alsó magassági határokat tüntet fel.. A hosszúsági körök a régiók déli határát jelzik a Port Harrison és Nashville földrajzi vonalon. A meleg örökzöld erdők esetében ez a határ nem klímatis. Aláhúzott értékek extrapolációk. Rövidítések: ML - melegedési lépték, HE - melegedési fok, VH - várható átlag hőmérséklet.

|                  | Sarkvidéki tundra     | Boreális fenyvesek | Fenyves - lombos keverék erdők | Hu''vös lombhullató erdők | Meleg örökzöld lombos erdők | Trópusi alpesi tundra | Trópusi alhavasi bozót |
|------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|
| Helység          | Port Harrison, Quebec | Timmins, Ontario   | Stratford, Ontario             | Nashville, Tennessee      | Mobil, Alabama              | Mauna Kea, Hawaii     |                        |
| E:szaki sz.      | 58° 26 ;              | 48° 31 ;           | 43° 22 ;                       | 36° 10 ;                  | 31° 42 ;                    | 19° 49 ;              |                        |
| T.sz.f. magasság |                       |                    |                                |                           |                             | 3300                  | 2000                   |
| Csapadék mm      | 372                   | 711                | 773                            | 1,144                     | 1,439                       | 510                   | 1020                   |
| E:vi átlagos t.  | -7,5                  | 1,3                | 8,3                            | 15,6                      | 19,8                        | 0                     | 4,4                    |
| ML érték         | <u>4,9</u>            | 3,7                | 2,8                            | 2,1                       | <u>1,5</u>                  | 1,8                   | 1,8                    |
| HE érték °C      | 12,3                  | 9,3                | 7,0                            | 5,3                       | 3,8                         | 4,5                   | 4,5                    |
| VH érték °C      | 4,8                   | 10,6               | 15,3                           | 20,9                      | 23,6                        | 4,5                   | 8,9                    |

A típusválasztásnál a paleoökológiai ismeretek (Delcourt és Delcourt 1987), klímagrafikonok (Walter et al. 1975), növényzet osztályozás (Braun 1950, Krajina 1965), szimulációs csapadék adatok (Mason 1990) és talajnedvesség értékek (Stewart és Tiessen 1990) nyújtanak segítséget. A paleoökológiai ismeretek azt mutatják, hogy a növényzet erősen hőmérséklet érzékeny. Ezt a tényt Delcourt és Delcourt (1987, Fig. 1-4) az utóbbi 20,000 évet átölelő növényzetdinamikai ábrája egyértelműen mutatja kelet Észak-Amerikában. Az utolsó (Laurentide) eljegesedés mélypontján 18000-20000 évvel ezelőtt a jégtakaró a Port Harrison - Nashville (Tennessee) földrajzi vonalon körülbelül a 40. szélességi körig terjedt, de hatása a növényzetben egészen a 32. szélességi körig kimutatható. Az eljegesedés mélypontján a globális átlaghőmérséklet 11° volt, a sarkvidéki tundra mintegy 100 km sávban követte a jégtakaró szegélyét, és a boreális fenyőerdők egy 500 km széles övet formáltak, amit egy 100 km széles átmeneti növényzetöv választott el a délkeleti örökzöld lombos-fenyves erdőségektől. Az utóbbi fajösszetételét a tengeremelléki-trópusi légtömegek szabályozzák. Ezért, leszámítva az északi peremvidéket, a délkeleti örökzöld lombos-fenyves erdők a jégkorszak közvetlen hatásán kívül maradtak. A 21000 éves Milankovitch precessziós ciklus során bekövetkezett fokozatos felmelegedés a jégtakarót lassan északra szorította. Mintegy

10000 évvel ezelőtt a jégtakaró határa már Timmins környékén volt. A tundra továbbra is egy keskeny sávot formált a jégtakaró peremén, a boreális fenyvesek déli határa pedig Stratford (Ontario) környékére vándorolt. Az átmeneti jellegű fenyves-lombos erdők déli határa feltolódott a 40. szélességi kör közelébe, a hu”vös lombhullató erdők régiója pedig egy széles zónát formált a 33. szélességi körtől északra. A jelenlegi növényzet határokat a Port Harrison-Nashville vonalon az 1. táblázat mutatja.

A jégtakaró visszahúzódását követő növényzeti változások érintik a trópusok magashegységeit is. Mauna Kea<sup>2</sup>, a hawaii-i szigetek legmagasabb tu”zhányójának növényzete ennek jellemző példája. A 4000± m-es magasságát már az eljegesedés előtt elérte és csúcsa a véletlen folytán helyenként a mai napig megőrzi az eljegesedés nyomait (Cruikshank 1986). Mintegy 20000 évvel ezelőtt, a hatalmas tu”zhányó csúcsát 3200 m-től jégsapka takarta. A jégréteg maximális vastagságát 60 m-re becsülik. Ezzel egyidőben a havasi tundra alsó határa 2500 méter körüli lehetett. Mintegy 10000 évvel később a globális hőmérséklet 12,5° fokra emelkedett, a jégsapka elolvadt, a havasi tundra 3200 m fölé tolódott, helyét pedig az alhavasi cserjés foglalta el. Az alhavasi cserjés mai átlagos évi hőmérséklete 4,4°, a havasi tundráé pedig 0° (2. táblázat). Ezek alapján Mauna Kea felső régióinak a melegedési léptéke 4,4/2,5 vagyis 1,8 .

Az előzőekből következik, hogy még egy viszonylag kismértékű felmelegedés is széles elmozdulásokat okozhat a növényzeti övekben, ami elárulja a bioklimatikus rendszer nagyfokú érzékenységét. Fontos tényező a felmelegedés üteme is. A gyorsütemű felmelegedés a növénygyedek elpusztulását és a növénytakaró szétesését okozza, míg a lassú felmelegedés ezek zonális vándorlását és a növénytársulások felújulását teszi lehetővé földrajzilag távoleső helyeken is.

2. táblázat. Bioklimatikus szelvény a Mauna Kea tu”zhányó passzátszelektől védett oldalán. A táblázat Krajina (1963) osztályozásának és klimatikus adatainak felhasználásával készült.

|           |                                  |                            |                  |
|-----------|----------------------------------|----------------------------|------------------|
| Növényzet | Tengerszint-<br>feletti magasság | E:vi átlag-<br>hőmérséklet | E:vi<br>csapadék |
|-----------|----------------------------------|----------------------------|------------------|

<sup>2</sup> Mauna Kea, vagy Fehér hegy, hawaii-i név, a csúcs téli hósapkájára utal.

|                             | m         | °C   | mm        |
|-----------------------------|-----------|------|-----------|
| Havas tundra és lávasivatag | 3300 -    | 0    | - 510     |
| Alhavas cserjés             | 2000-3300 | 4.4  | 510-1020  |
| Nedves szavanna             | 1200-2000 | 10.0 | 1270-1520 |
| Nedves nyitott erdő         | 500-1200  | 20.0 | 1020-1270 |
| Száraz tüskés bozót         | 300- 500  | 23.1 | 640-1020  |
| Száraz szavanna             | - 300     | 24.6 | - 640     |

Az interglaciális felmelegedést két tényezőcsoport befolyásolja. Az egyik a Milankovitch féle lassú precessziós ciklusnak paramétereit tartalmazza. A másik csoport a nap radiációs energiájának és a légkör CO<sub>2</sub> tartalmának a változásával kapcsolatos. Az utóbbiak képesek a precessziós ciklus felmelegedési vagy lehűlési folyamatának a gyors leforgású módosítására.

A növényzetet tekintve a hatás különbözik. A lassú globális felmelegedés lehetővé teszi a növényzeti övek fokozatos lecserélését, átalakulását. A Manabe scenárió jellemzője a gyors felmelegedés, ami lehetetlenné teszi a zonális növényzetvándorlást. Emiatt a növényzet szétesésére kell számítani. A következmények a fajoktól függenek. Egy faj csak akkor vészeli át a rendkívül gyors felmelegedést ha az nem pusztítja el az egyedeket. E tekintetben fontos az egyed széles hőtürése. Ugyancsak fontos a faj plaszticitása, és a propagulumainak gyors terjesztése klímátikusan megfelelő vidékekre. A faj fennmaradásának feltétele, hogy alkalmazkodjon a fotoperiódushoz és elviselje az új talajviszonyokat is. Az alábbi összegezés az 1. táblázatban leírt növényzeti régiók viszonyait sorolja fel a feltételezett 2,5<sup>o</sup>-os globális felmelegedés után, és az alkalmasnak vélt növényzettípusok jellemzőit ismerteti:

**Port Harrison, Quebec** (58<sup>o</sup> 26 ; é. sz.) Itt az évi csapadék 500-600 mm-re és az évi átlaghőmérséklet 5<sup>o</sup>-ra emelkedik. A talajnedvesség 20-30%-kal csökken. Ezek Minnesota félszáraz tölgy-hikori erdő klímájának a jellemzői.

**Timmins, Ontario** (48<sup>o</sup> é. sz.) A csapadék nem változik, az évi átlaghőmérséklet 11<sup>o</sup>-ra emelkedik, a talajnedvesség pedig 40-50%-al csökken. Ezek a paraméterek éghajlatilag Nebraska középső vidékének száraz tölgy-hikori erdőire és szavannáira emlékeztetnek.

**Stratford, Ontario** (43<sup>o</sup> é. sz.) Az évi csapadék 700 mm-re csökken, az évi átlaghőmérséklet

15<sup>o</sup>-ra emelkedik, a talajnedvesség 30-40%-al csökken. Ezek megközelítően közép-Oklahoma száraz tölgy-hikori szavannáinak és füves pusztáinak éghajlatviszonyait írják le.

**Nashville, Tennessee** (36<sup>o</sup> é. sz.) Itt az évi csapadék (1,144 mm) nemigen változik, de a nyár szárazabbá, a tél pedig nedvesebbé válik. A bőséges csapadék és a magas hőmérséklet (21<sup>o</sup>) a meleg örökzöld kevert erdőséget jelölik meg, mint alkalmas növényzetmodellt.

**Mobil, Alabama** (20<sup>o</sup> é. sz.) A csapadék bősége (1,439 mm) és évi eloszlása nem változik, a magas hőmérséklet (23<sup>o</sup>) pedig serkenti új féltrópusi növényzeti elemek megjelenését, de nem változtatja meg lényegesen a növényzet jellegét.

**Mauna Kea, Hawaii** (19<sup>o</sup> é. sz.) A havasi régió hőmérséklete 4<sup>o</sup>-ra, az alhavasié pedig 9<sup>o</sup>-ra emelkedik. A csapadék (510 -1020 mm) valószínűleg nem változik. Ezek alapján a növényzeti övek magasabbra tolódása várható, ahol ezt a topográfiai viszonyok, talajszárazság, alacsony csapadék, és korlátozott életterület megengedi.

Az elmondottak alapján feltételezhető, hogy a felmelegedést követően. kétirányú fajvándorlás fogja meghatározni keleti Észak-Amerika növényzetmintázatát. Az egyik észak-keleti irányú. Ez egy széles sávon felhossa a tölgy-hikori erdőség, szavanna és a füvespuszták (THS) termőhelyileg alkalmas elemeit Minnesota - Oklahoma vidékéről Port Harrison, Timmins és Stratford térségébe. A másik fő vándorlási irány északi, így a déli meleg örökzöld erdők (MÖ) kiterjedését hozza magával. Ezek alapján a Manabe scenárió a THS és MÖ növényzetek nagymértékű elterjedéséhez vezet. A sarkvidéki tundra elveszti termőhelyét a Hudson Öböl és Labrádor térségében, a boreális fenyvesek és az átmeneti fenyves-lombos erdők pontszerű azonális termőhelyekre szorulnak vissza. A hu”vös lombhullató erdők övezete feltolódik Labrádorba és az onnan délre fekvő tengermelléki vidékekre. Helyi hu”vös mélyedések, elszigetelt tőzeglápok, és az Appalachian hegyvidék magasabban fekvő területei lesznek majd menedékhelyei az eltu”nő növényzetnek.

Várható, hogy a növényzet vertikális mintázatában eltolódások következnek be. Ez veszteségekkel is járhat. Így Mauna Kea mérsékelt nedves szavannájának szárazságtu”rő

elemei elfoglalják a jelenlegi alhavasi növényzet vidékét, az alhavasi növényzet megfelelő elemei felhúzódnak a mai havasi tundra helyére, a trópusi tundra pedig megsemmisül. Az alacsonyabb magashegységekben, amire a Maui sziget Haleakala tu”zhányója egy jó példa, az alhavasi növényzet is eltu”nhet. A korlátozott termőterület, a laza vulkanikus salak, a légkör és talaj szárazsága az új társulások kialakulását korlátozhatja.

A precessziós ciklus hossza 21000 év, 18000 évvel ezelőtt kezdődött és ma már messze elhagyta azt a pontot, ahol a folyamat átfordul a felmelegedéstről a lehu”lésre. Ezen a ponton a földet érő szoláris radiáció eloszlása a tél és nyár hőmérsékletének különbségét maximálja. Mivel a precessziós ciklus a mérsékeltövi vidékek újabb eljegesedése felé halad, az üvegházi felmelegedés még előnyösnek is tu”nne, ha nem két különböző időléptéku” folyamatról konvolúciójáról lenne szó.

Úgy tu”nik, hogy a üvegházi gázok jelenlegi szintje már elegendő egy bizonyos fokú felmelegedésre. Ezt a folyamatot megállítani nem lehet. Csak ameliorációs lépésekről lehet szó, mint például a széndioxid kibocsátás nagymértéku” csökkentése, az erdőirtások beszu”ntetése. A politika szintjén sajnos nem értik meg a feladat nagyságát. Czelnai (1993) ehhez a gondolathoz szorosan kapcsolódó elemzése különösen figyelmet érdemel. A politikai gyengeség eddig nemcsak az ameliorációs lépések elődázásához vezetett, de *horribile dictu* helyet adott különböző féle negatív gazdaságtervezésnek. Ennek jó példája a rövid vágásfordulóju erdőgazdálkodás gondolata, rövidesen a gyakorlata is, mondván, hogy ez a természetes erdőpusztulással járó gazdasági veszteségeket csökkenti.

Nyilvánvaló, hogy a növényzet szétesésével a láncreakció nem áll meg. Egyrésztől, megváltoznak a környezeti tényezők, amely magával hozza a csapadék hiánnyal, a talajnedvességének és termőerejének csökkenésével, tavak és folyók szintjének apadásával, növekedő evapotranspirációval, járó nehézségeket. Másrésztől pedig az érintett területeken a társadalmak éghajlati alapjai tu”nnek el. Ezekre a felkészülés sürgős tervezést igényel, hiszen a globális felmelegedés kockáztatja a fejlett társadalmak jövőjét.

*Irodalom*

- Bacastow, R. - Keeling C.D.> Atmospheric carbon dioxide concentration and the observed air-born fraction. In> B. Bolin (ed.), Carbon Cycle Modelling> 103-112. Wiley, Chichester, 1981.
- Bolin, B.> Changing climate. In> L. Friday - R. Laskey (eds.), The Fragile Environment> 127-147. Cambridge University Press, New York, 1989.
- Botkin, D.B. -. Nishbet, R.A. Projected harvest of timber during global warming. In> A. Qureshi (ed.), Forests in a Changing Climate> 265-293. Climate Institute, 324 Fourth Street, NE, Washington DC, 20002-5821, 1992.
- Braun, E. L.> Deciduous Forests of Eastern North America. Blakiston, Toronto, 1950.
- Czelnai, R. Az üvegház-dilemma. Magyar Tudomány 10> 1213-1226, 1993.
- Cruikshank, D.P.> Mauna Kea. A Guide to the Upper Slopes and Observatories. University of Hawaii, Institute of Astronomy, Honolulu, Hawaii, 1986.
- Delcourt, P.A. - Delcourt, H.R..> Long-term Forest Dynamics of the Temperate Zone. Ecological Studies 63, Springer-Verlag, New York., 1987.
- Henderson-Sellers, A.> Modelling and monitoring greenhouse warming. Trends Ecol. and Evol.> 5270-275, 1990.
- Krajina, V. J.> Biogeoclimatic zones on the Hawaiian Islands. Newsletter of the Hawaiian Botanical Society: 793-98, 1963.
- Manabe, S., K. Bryan - Spelman, M.J.> Transient response of a global ocean-atmosphere model to a doubling of atmospheric carbon dioxide. J. Phys. Oceanogr. 20722-749, 1990.
- Mason, J.> The greenhouse effect and global warming. Information Office, British Coal, C.R.E. Stoke Orchard, Cheltenham, Gloucestershire, U. K., GL52 4RZ, 1990.
- McKay, G.A. - Hengeveld, H.> The changing atmosphere. In> C. Mungall and D.J. McLaren (eds.), Planet Under Stress> 46-79. Oxford University Press, Toronto, 1990.
- Milankovitch, M. M.> Canon of isolation and the Ice Age problem. Royal Serb Acad. Spec. Publ.> 133, 1941.

Mueller-Dombois, D.> Potential effects of the increase in carbon dioxide and climate change on the dynamics of vegetation. *Water, Air and Soil Pollution*> 6461-79., 1992.

Mungal, C. - McLaren, D.J. (eds.)> *Planet Under Stress*. Oxford University Press, London, 1990.

Stewart, J. - Tiessen, H.> Grasslands into deserts. In: C. Mungall and D.J. McLaren>. 188-206, Oxford University Press, London, 1990.

Walter, H. - Harnickell, E. - Mueller-Dombois, D.> *Climate-diagram Maps*. Springer -Verlag, New York, 1975.