



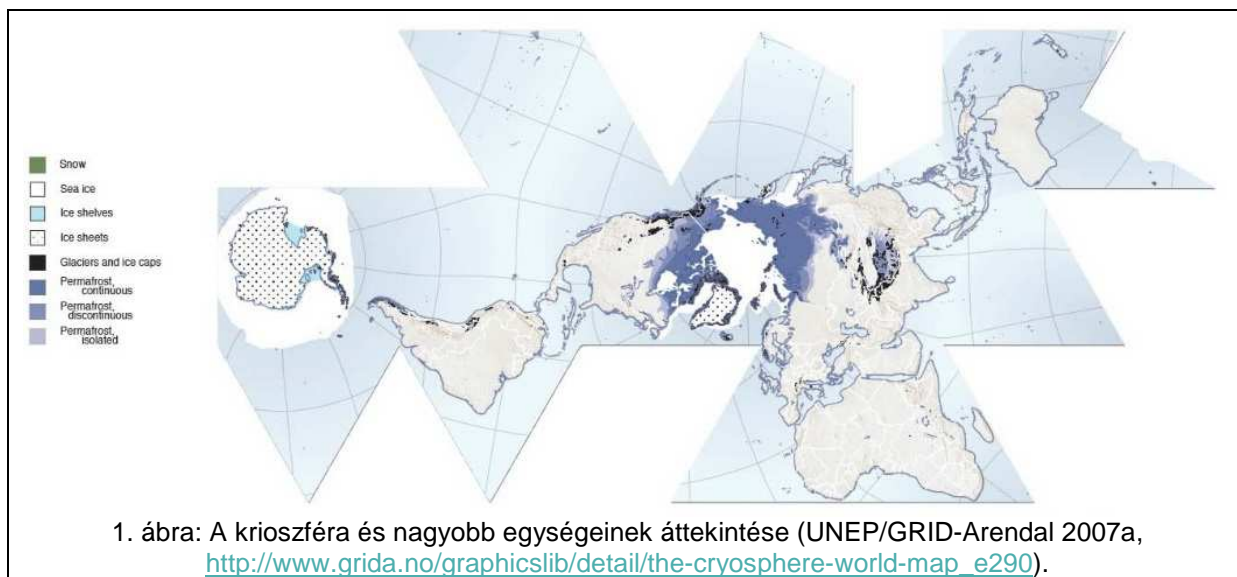
Sarkvidék-kampány

Klíímaváltozás

1. A krioszféra és a sarkvidékek bemutatása

1.1 A krioszféra és a sarkvidékek

A krioszféra (a görög „cryos” – hideg szóból származik) a Föld jéggel fedett területeinek a tudományos megnevezése. A krioszféra magában foglalja a havat, a fagyott talajt, a folyók és tavak jegét, a gleccsereket, a jégsapkákat és a tengeri jégtakarót egyaránt (lásd 1. ábra).



Ez magában foglalja az Antarktisz és Grönland nagyterjedésű jégtakaróját, az Arktisz és az Antarktisz tengeri jegét, Kanada, Szibéria és más országok sarkkörön túli fagyott területeit, és a hegyi gleccsereket is.

A krioszféra két fontos eleme:

- Sarki jég – Az Arktisz és az Antarktisz nagy kiterjedésű sarkvidéki területei. Bár sok tekintetben nagyon különbözőek, mindkét területen a hideg uralkodik, jég, hó és víz jelenlétében. A legfontosabb különbség, hogy az Északi-sarkvidék fagyott óceán a kontinensek szárazföldjei és nyílt óceánok által körülvéve, míg a Déli-sarkvidéket a fagyott antarktisi kontinens alkotja, óceánokkal körülvéve (IPCC 2001, <http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg2/592.htm>).
- Magashegyi gleccserek – A gleccserek hegyvidéki területeken alakulnak ki. Ezeket a sarkvidékektől távol lévő (pl. Andok, Himalája) képződményeket hívják magashegyi gleccsereknek is (NSIDC 2009, <http://nsidc.org/cgi-bin/words/letter.pl?A>).

Miért ilyen fontos a krioszféra az éghajlatunk számára?

A krioszféra szerves része a globális éghajlati rendszerünknek. Például a jég és a hó, valamint a fagyott talaj fényvisszaverő tulajdonsága (albedó) révén nagyon hatékonyan veri vissza a nap energiáját. Ez nagyban befolyásolja, hogy mennyi napenergia marad a bolygónk fűtésére. A krioszféra nagyban befolyásolja a légkör nedvességtartalmát a felhők, az eső és a viharok mintázatával együtt, csakúgy, mint a folyók, tavak és más vizek dinamikáját. A tengeri jégtakaró és ezeknek, valamint a gleccsereknek az olvadása jelentős befolyással van a világ óceánjainak áramlataira, az édes és sós víz arányára (NCAR 2009).

Egyéb okok a krioszféra értékelésére

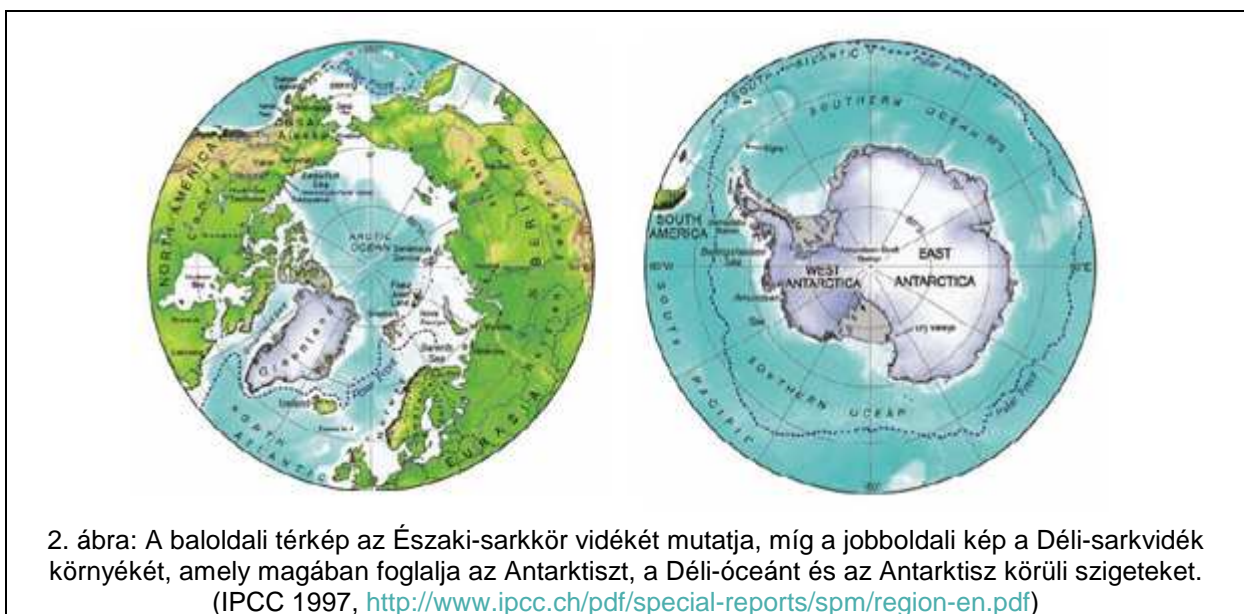
Azon kívül, hogy a krioszféra sokrétű biológiai sokfélesége révén támogatja az ökoszisztémát és a társadalmi-gazdasági előnyöket, nagy mennyiségű vizet tartalmaz fagyasztott állapotban, amely ha újra folyékonyra válna, globális szinten mintegy 65 méterrel emelné a tengerek és óceánok vízszintjét (UNEP 2007). Fontos figyelembe venni azt is a klímaváltozás más hatásaival összhangban, hogy már egy méteres tengerszint növekedés is számos tengerparti élőhelyet és emberi települést veszélyeztetne (World Bank 2010; Hallegatte et al 2013).

Tudjon meg többet:

- National Snow & Ice Data Center. State of the cryosphere, http://nsidc.org/cryosphere/sotc/sea_level.html
- Richard Z. Poore, Richard S. Williams, Jr., and Christopher Tracey Sea Level and Climate. Fact Sheet fs002–00 January 2000, rev. September 2011 Sea Level and Climate. US Geological Survey, <http://pubs.usgs.gov/fs/fs2-00/>
- EarthLabs: Future of the Cryosphere Part B: Sea Level Rise, <http://serc.carleton.edu/eslabs/cryosphere/6b.html>
- UNEP (2009) Climate Change Science Compendium 2009, http://www.unep.org/pdf/ccScienceCompendium2009/cc_ScienceCompendium2009_full_en.pdf
- World Bank (2010) Turn down the Heat. Why a 4 degree centigrade warmer world must be avoided. http://climatechange.worldbank.org/sites/default/files/Turn_Down_the_heat_Why_a_4_degree_centigrade_warmer_world_must_be_avoided.pdf

1.2 A sarkvidéki régiók

A sarkvidéki régiók az Északi- és a Déli-sark körüli jeges területekre terjed ki. Az Északi-sark körül ez a terület az Északi-sarkkörön belüli területet foglalja magába, a Déli-sark körül az Antarktisz területét (lásd 2. ábra).



A sarkvidékek a bolygónk leghidegebb területei, de az Arktisz és az Antarktisz nagyon különböző tulajdonságokkal rendelkeznek. Míg az Északi-sarkvidéken a szárazföldek veszik körül a tengert, addig az Antarktisz fagyott kontinensét veszik körül az óceánok (IPCC 1997, <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/region-en.pdf>). Az éghajlati rendszer is egészen más a két régióban; az Antarktisz éghajlata sokkal hidegebb és óceánibb, míg az Arktisz éghajlata inkább kontinentális/szubalpin (WWF 2007a, <http://www.eoearth.org/view/article/154458/>). Mind az arktiszi, mind az antarktiszi jégtakaró esetében természetes, hogy egy éves ciklus szerint részlegesen megolvad és újrafagy, így a téli hideg periódus végére éri el maximális kiterjedését, amelyet követően a melegebb környezeti hatásra fokozatosan húzódik vissza.

Az Északi-sarkvidék magába foglalja Kanada, Finnország, Norvégia, Oroszország, Svédország, az Egyesült Államok (Alaszk) északi területeit, valamint Grönland és Izland egészét. Az ökoszisztéma is változatos, az északi területek állandó jégborításától a délebbi területek tajga és boreális erdeiig. A tundra az egyik legnagyobb kiterjedésű ökoszisztéma, de más ökoszisztémák is előfordulnak, úgy mint az alpesi a magashegyi területeken, babérerdők a partmenti területeken és a völgyekben, valamint mocsarak (UNEP 1997, http://www.grida.no/publications/other/geo1/?src=/geo1/ch/ch2_15.htm). Az Arktisz sok emlős otthonául szolgál, valamint fontos szerepet tölt be a vonuló madarak éves ciklusában (CBD 2007, <http://www.cbd.int/doc/bioday/2007/ibd-2007-booklet-01-en.pdf>). Halfaunája szintén nagy és diverz.

Az elmúlt 15 millió évben változatlanul az Antarktisz a leghidegebb, legszárazabb és legszelesebb kontinens. Az átlaghőmérséklet $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ (az orosz Vostic állomáson mértek már $-87\text{ }^{\circ}\text{C}$ -t), a legnagyobb mért szélsőségek pedig elérték a 250 km/h -t (NERC-BAS 2007b, http://www.antarctica.ac.uk/bas_research/science/biodiversity/biodiversity.php). Az Antarktisz 97,7 %-át állandó jég borítja, azaz csaknem 14 millió négyzetkilométert. Két nagy jégpáncél alkotja, a kelet-antarktiszi és a nyugat-antarktiszi, valamint jégvidékek, melyek a tengerre is kinyúlnak (UNEP/GRID-Arendal 2003, http://www.grida.no/graphicslib/detail/antarctica-overview_58cf). A jégtakaró vastagsága miatt (amely a legvastagabb részén 2146 méter) az Antarktisz a világ legmagasabb kontinense. Csak néhány állatfaj küzd meg a zord antarktiszi éghajlattal, egyedül a Marieland tundra (amelyet nem borít állandó jégtakaró) rendelkezik viszonylag nagyobb biodiverzitással és biomasszával (UNEP/GRID-Arendal 2008, http://www.grida.no/graphicslib/detail/antarctica-overview_58cf). Az Antarktisz környéki tengerek azonban gazdagok planktonban, amelyre gazdag és változatos tengeri tápláléklánc épül (CBD 2007, <http://www.cbd.int/doc/bioday/2007/ibd-2007-booklet-01-en.pdf>).

2. A klímaváltozás fenyegető hatása a sarkvidékekre

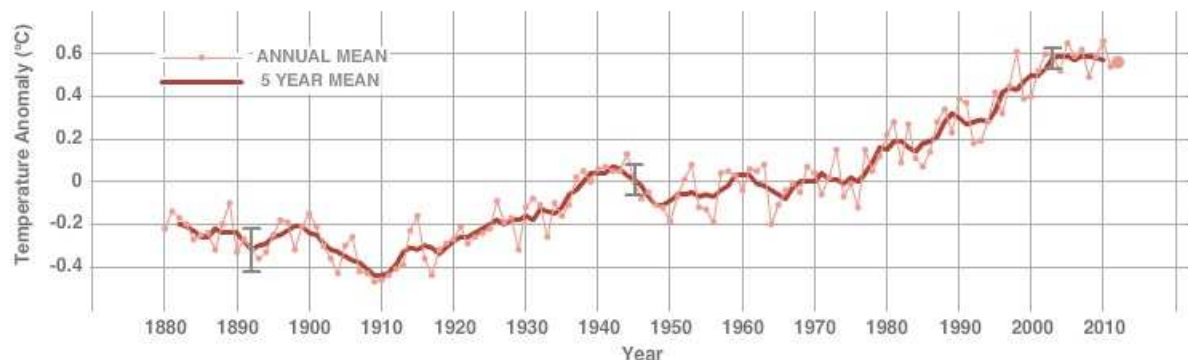
A sarkvidékek nagyon érzékenyek a klímaváltozás különféle hatásaira, melyek tovább növelik ezeknek a régióknak és egyben az egész világnak a fenyegetettségét. A fő szempontok az alábbiak:

2.1 A levegő és a tengerek hőmérsékletének emelkedése

A Föld felszíni átlaghőmérséklete a 19. század vége óta 0,8 °C-kal növekedett, de a sarkvidékeken ez a növekedés még nagyobb mértékű. Az északi sarkvidéken elsősorban a téli hőmérséklet az, amely nagyobb mértékben emelkedett, mint a többi régióban. Alaszkában és Kanada nyugati részén a téli átlaghőmérséklet az elmúlt fél évszázadban 3-4 °C-kal növekedett (ACIA 2006, http://acia.cicero.uio.no/factsheets/1_arctic_climate_trends.pdf). Az Antarktisz félszigetén (a Vernadsky Station mérései alapján) 1951 óta 2,5 °C-kal növekedett az éves hőmérséklet (IPCC 2007, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter15.pdf>). A hőmérséklet növekedése láthatóan nagyobb mértékű a sarkvidékeken, mint a Föld más régióiban (IPCC 2007; AMAP 2012). Fontos szem előtt tartani azt is, hogy a melegedő óceánok további hőmérséklet-emelkedést okoznak a sarkvidékeken is.

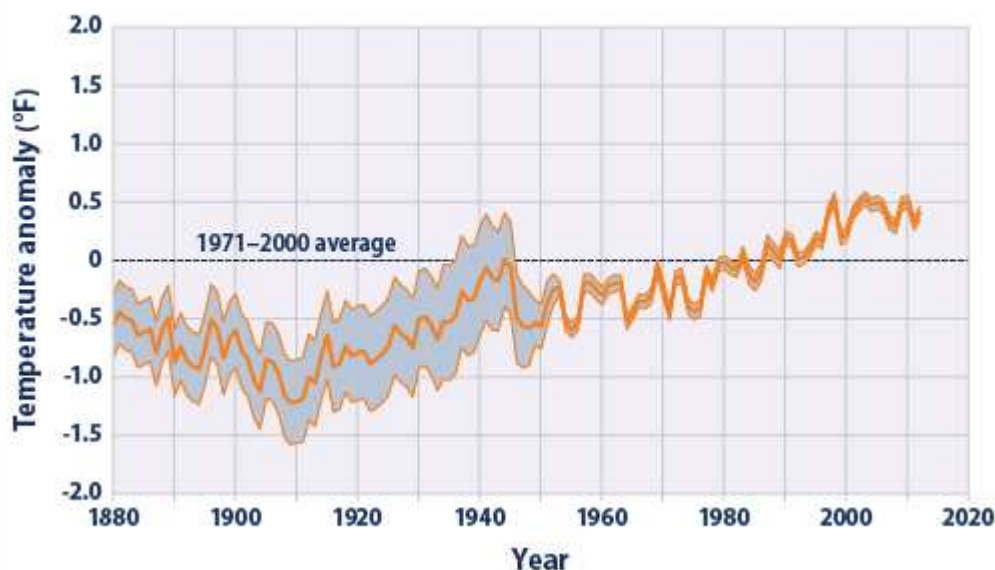
GLOBAL LAND-OCEAN TEMPERATURE INDEX

Data source: NASA's Goddard Institute for Space Studies (GISS). This trend agrees with other global temperature records provided by the U.S. National Climatic Data Center, the Japanese Meteorological Agency and the Met Office Hadley Centre / Climatic Research Unit in the U.K. Credit: NASA/GISS



3. ábra: A NASA által készített grafikon a Föld felszínének átlaghőmérsékletét mutatja be. A felszíni hőmérséklet 2012-ben a mérések kilencedik legmagasabbját érte el (forrás: NASA/GISS). A szürke hiba sávok mutatják a mérések bizonytalanságát. Ez a kutatás jórészt megegyezik a Climatic Research Unit és a National Atmospheric and Oceanic Administration méréseivel. NASA, http://climate.nasa.gov/key_indicators

Figure 1. Average Global Sea Surface Temperature, 1880–2012



4. ábra: Az Egyesült Államok Környezetvédelmi Ügynöksége (EPA) által készített grafikon a világ óceánjainak felszíni hőmérsékletének változását mutatja be. A változás ábrázolásaként az 1971-2000 közötti hőmérséklet-változás átlagát veszi alapul. A változás mintázata akkor sem változna, ha más időszakot vennénk alapul. A szürke sáv a mérések számából és módszeréből adódó bizonytalansági tartományt mutatja. Adatok forrása: NOAA 2013,

<http://www.epa.gov/climatechange/science/indicators/oceans/sea-surface-temp.html>

Tudjon meg többet:

- IPCC: TS.3.1.1 Global Average Temperatures, <http://www.knmi.nl/climatescenarios/monitoring/temperature.php>
- Major feedbacks on climate via the cryosphere: AMAP. (2011) Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA): Climate Change and the Cryosphere. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. Xii + 538pp., <http://www.amap.no/swipa>
- National Academy of Sciences (2010). Advancing the Science of Climate Change. Accessed December 1, 2010.
- National Academy of Sciences (2006, July 27). Testimony to U.S. House of Representatives — Climate Change: Evidence and Future Projections. Accessed November 30, 2010.
- NASA (2010, January 21). NASA Climatologist Gavin Schmidt Discusses the Surface Temperature Record. Accessed November 30, 2010.
- NASA Earth Observatory (2010, June 3) Fact Sheet: Global Warming. November 30, 2010.
- NOAA National Climatic Data Center (n.d.). Global Warming Frequently Asked Questions. Accessed December 1, 2010.
- NOAA 2012 Arctic Report Card, <http://www.climate.gov/news-features/features/2012-arctic-report-card>
- NOAA State of the Climate in 2012, <http://www.ncdc.noaa.gov/news/2012-state-climate-report-released>
- Romanovsky & Osterkamp 2001. Permafrost Response on Economic Development, Environmental Security and Natural Resources. Ch: Permafrost: Changes and impacts. Pp: 297-316 (Book)

- World Bank (2010) Turn down the Heat. Why a 4 degree centigrade warmer world must be avoided.

2.2 Hótakaró

A hótakaró kiterjedése az elmúlt 30 év alatt mintegy 10%-kal csökkent (ACIA 2006, http://acia.cicero.uio.no/factsheets/1_arctic_climate_trends.pdf), különösen a tavaszi és a nyári időszakokban. A csökkenés az északi féltekén nagyobb mértékű (AMAP 2012). A déli féltekén a hosszútávú mérések azt mutatják, hogy az elmúlt 40 évben nem változott vagy kis mértékben csökkent a hótakaró mértéke (IPCC 2008, <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/chapter2.pdf>). A tavaszi olvadás az elmúlt 65 évben 1-2 héttel korábbra tolódott, valamint az is bizonyított, hogy a téli olvadás mértéke is növekedett Eurázsiaián és Észak-Amerikában (IPCC 2007, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter1.pdf>).

Az előrejelzések alapján a 21. század során a hótakaró tovább fog csökkenni, annak ellenére, hogy egyes magasabban fekvő területeken növekedés várható (Walsh 1995, <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF01095153>), amely az ökoszisztémák újrafel-osztását eredményezheti (Daimaru and Taoda 2004, <http://sciencelinks.jp/j-east/article/200507/000020050705A0128792.php>). Általánosságban elmondható tehát, hogy a hó megmaradásának időszaka később kezdődik, míg az olvadás korábban, így összességében a hóval való borítottság időszaka csökken (IPCC 2008, <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/chapter2.pdf>; AMAP 2012).

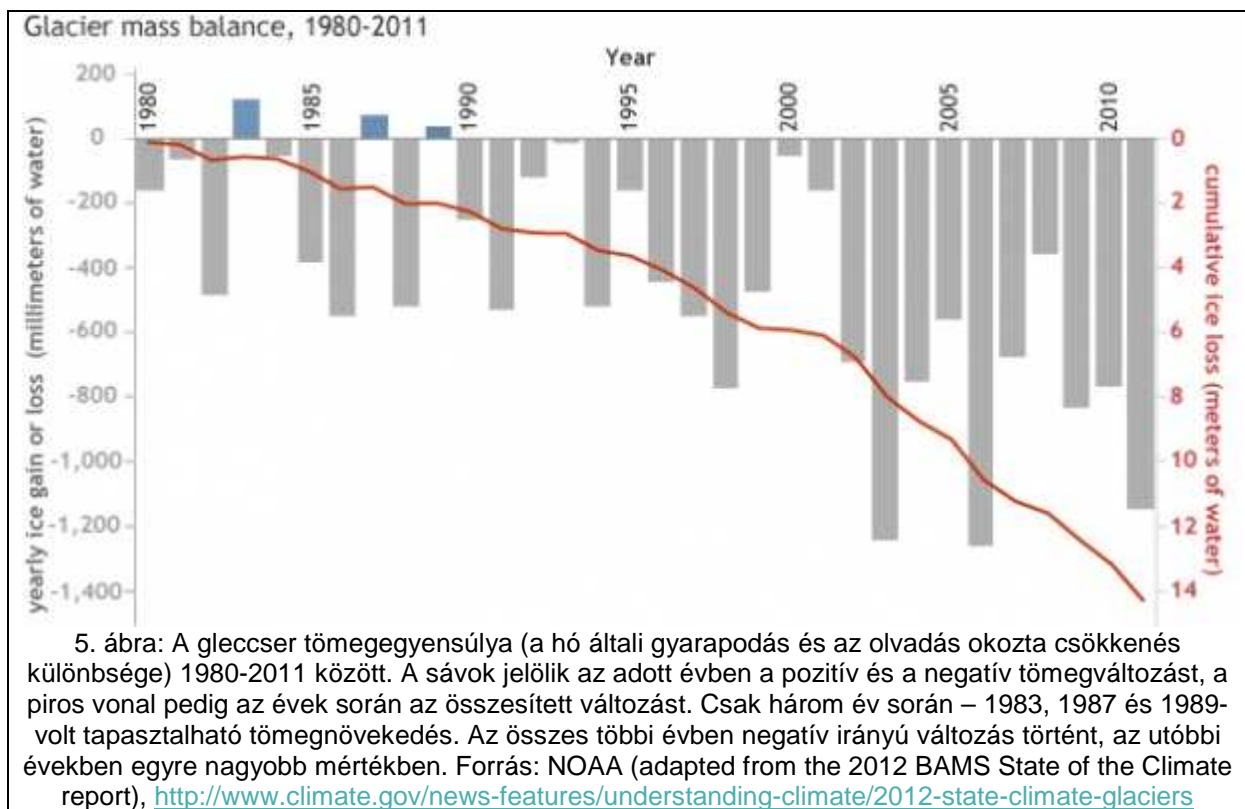
Tudjon meg többet:

- AMAP, 2012. Arctic Climate Issues 2011: Changes in Arctic Snow, Water, Ice and Permafrost. SWIPA 2011 Overview Report. AMAPs 2011 assessment of the Arctic Cryosphere (the SWIPA assessment) updates information presented in the 2004/5 Arctic Climate Impact Assessment. <http://www.amap.no/swipa>
- IPCC Technical Paper VI – 2008: Climate Change and Water. Ch 2: Observed and projected changes in climate as they relate to water. (Report, <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/chapter2.pdf>)
- IPCC fourth assessment report: Climate Change 2007. Working Group I Report “The Physical Science Basis”, Ch 4 Observations: Changes in Snow, Ice and Frozen Ground. (Report, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter4.pdf>)
- Walsh, J.E., 1995. Long-term observations for monitoring of the cryosphere, Climatic Change 31: 369-394. (Abstract, <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF01095153>)
- Daimaru, H. and H. Taoda, 2004. Effect of Snow Pressure on the Distribution of Subalpine Abies mariesii Forests in Northern Honshu Island, Japan. Journal of Agricultural Meteorology 60: 253-261. (Abstract, <http://sciencelinks.jp/j-east/article/200507/000020050705A0128792.php>)

2.3 Gleccserek és jégsapkák

Kiterjedt kutatások (IPCC 2007; World Bank 2010; AMAP 2012) folynak a gleccserek világszerte tapasztalható csökkenéséről, amely folyamat az elmúlt két évtizedben felgyorsult. Nagyon pontos műholdas mérések alapján a világ gleccserei (beleértve az Északi-sark gleccsereit is) 1961-1990 között $219 \pm 112 \text{ kg/m}^2$ -rel csökkent évente, 2001-2004 között pedig évente csaknem kétszeres mértékben, évi $510 \pm 101 \text{ kg/m}^2$ -rel. Az alaszakai gleccserek 98%-ának a tömege a visszahúzódás és/vagy elvékonyodás következtében csökkent (Arendt et al. 2002, <http://www.sciencemag.org/content/297/5580/382.abstract>).

Az előrejelzések szerint a gleccserek és jégsapkák olvadása 2100-ig a tengerek és óceánok szintjét 10-25 cm-rel fogja megemelni (Meier et al. 2007, <http://www.sciencemag.org/content/317/5841/1064.abstract>). Az Északi-sark gleccserei, az alaszakaiaktól eltekintve, az egységnyi területre eső tömeget tekintve nem a legnagyobbak ugyan, de nagy kiterjedésüknek köszönhetően mégis ők lesznek a tengerszint emelkedéséért a leginkább felelősek (Romanovsky et al. 2007; WWF 2008, http://assets.panda.org/downloads/arctic_climate_impact_science_1.pdf). A grönlandi és nyugat-antarktiszi gleccserek óceánok felőli végének vizsgálatai azt jelzik, hogy a tengerszint is hatással van a gleccserekre, azok sebességére, vékonyodására és visszahúzódására (Rignot et al 2008; Vieli et al 2009; King et al 2012; Shepherd et al 2012 and Zwally et al 2011). A Kelet-Antarktisz nagy része mentén szintén megfigyelhető a jégtakaró vékonyodása (Pritchard et al 2009). A legutóbbi tanulmányok megerősítették a kelet-antarktiszi gleccserek jelentős hatását, különösen a Csendes-óceán melegebb nyugati partvidékén, és arra a következtetésre jutottak, hogy a világ egyik legnagyobb jégtakaróját még jobban veszélyeztetheti a levegő és az óceánok melegevé válása, mint ahogy azt korábban gondolták (Miles et al 2013).



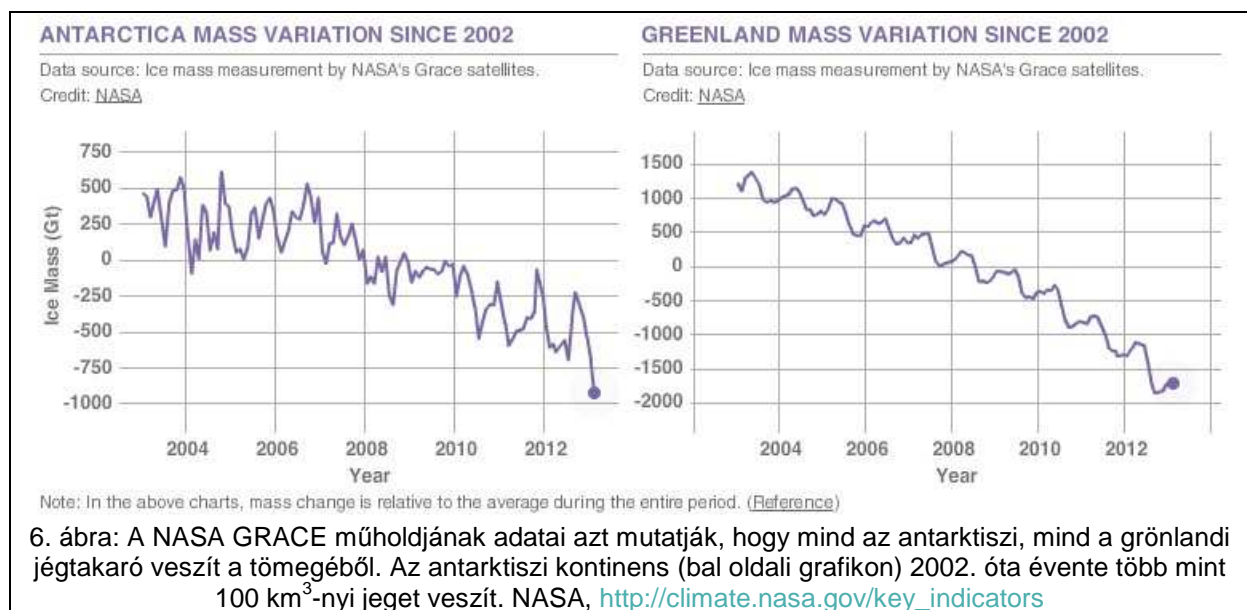
Tudjon meg többet:

- AMAP, 2012. Arctic Climate Issues 2011: Changes in Arctic Snow, Water, Ice and Permafrost. SWIPA 2011 Overview Report. AMAPs 2011 assessment of the Arctic Cryosphere (the SWIPA assessment) updates information presented in the 2004/5 Arctic Climate Impact Assessment. <http://www.amap.no/swipa>
- Arendt et al. 2002. Rapid Wastage of Alaska Glaciers and Their Contribution to Rising Sea Level Science 297 no. 5580, pp. 382 – 386. (Abstract, <http://www.sciencemag.org/content/297/5580/382.abstract>)
- IPCC fourth assessment report: Climate Change 2007. Working Group I Report “The Physical Science Basis”, Ch 4 Observations: Changes in Snow, Ice and Frozen Ground. (Report)

- IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Working Group II Report “Impacts, Adaptation and Vulnerability” Ch 1: Assessment of Observed Changes and Responses in Natural and Managed Systems. (Report)
- NASA, <http://climate.nasa.gov/>
- National Snow and Ice Data Centre (NISDC), <http://nsidc.org/>
- World Bank (2010) Turn down the Heat. Why a 4 degree centigrade warmer world must be avoided. http://climatechange.worldbank.org/sites/default/files/Turn_Down_the_heat_Why_a_4_degree_centigrade_warmer_world_must_be_avoided.pdf

2.4 Jégtakarók és jégpolcok

A jégtakarók nagyon érzékenyek a globális felmelegedésre; a hőmérséklet növekedése fokozza a grönlandi és antarktisi gleccserek olvadását. Amikor az olvadákvíz eléri a gleccser alatti alapkőzetet, felgyorsítja a gleccser mozgását (IPCC 2007, <http://www.newscientist.com/article/mg18925405.200>). Az Antarktisi-félsziget területén a felmelegedés a jégtakaró összeomlását eredményezte, amely a gleccser folyásának sebességét a tízszeresére növelte, és felgyorsította a jég visszahúzódását is (Rignot 2006, <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/364/1844/1637.abstract>). Az elkövetkezendő évtizedek során a sarkvidékeken történő változások hatására a jégtakarók nagy hatással lesznek a tengerek szintjének emelkedésére (Bell R. 2008, <http://www.nature.com/ngeo/journal/v1/n5/abs/ngeo186.html>).



Tudjon meg többet:

- AMAP, 2012. Arctic Climate Issues 2011: Changes in Arctic Snow, Water, Ice and Permafrost. SWIPA 2011 Overview Report. AMAPs 2011 assessment of the Arctic Cryosphere (the SWIPA assessment) updates information presented in the 2004/5 Arctic Climate Impact Assessment. <http://www.amap.no/swipa>
- Rignot E. 2006, Changes in ice dynamics and mass balance of the Antarctic ice sheet. The Royal Society. Vol 364, No. 1844 p.1637-1655 (Abstract, <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/364/1844/1637.full.pdf>)
- Rignot E. 2008. Changes in West Antarctic ice stream dynamics observed with ALOS PALSAR data. J. Geophys. Res, 35 (Abstract, <http://www.ess.uci.edu/researchgrp/erignot/files/RignotGRL2008.pdf>)

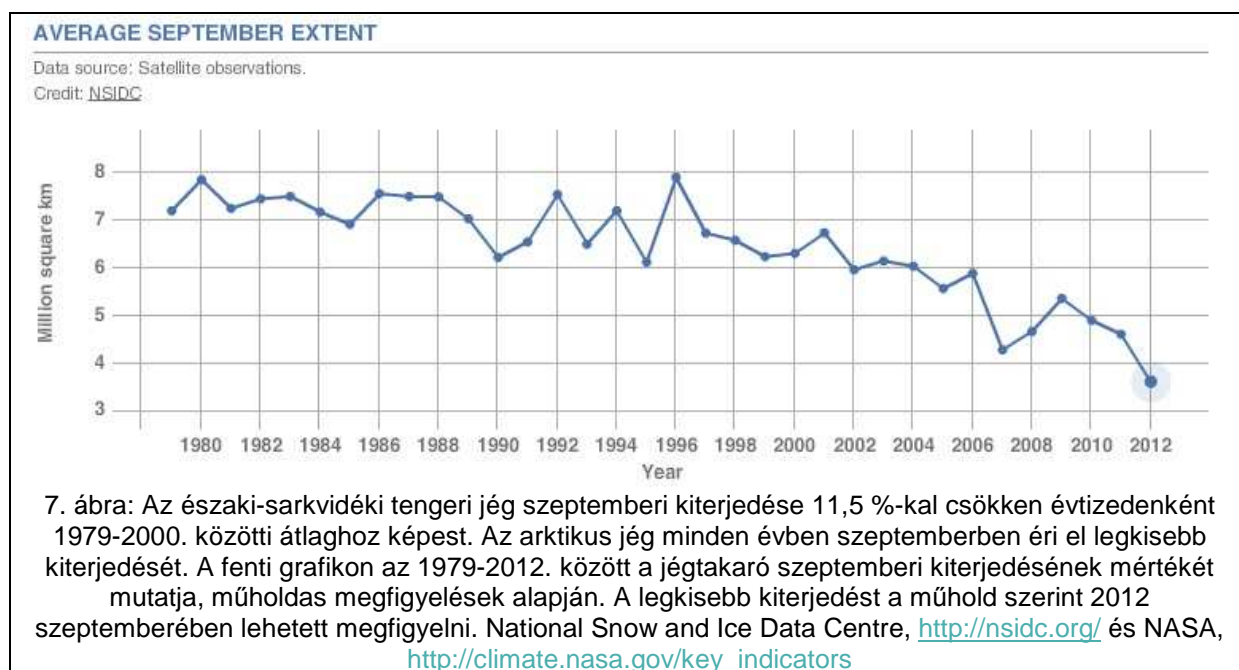
- Rignot, E. et al. (2008) Recent Antarctic mass loss from radar interferometry and regional climate modelling. *Nature Geosci.* 1, 106–110, <http://www.nature.com/ngeo/journal/v1/n2/abs/ngeo102.html>

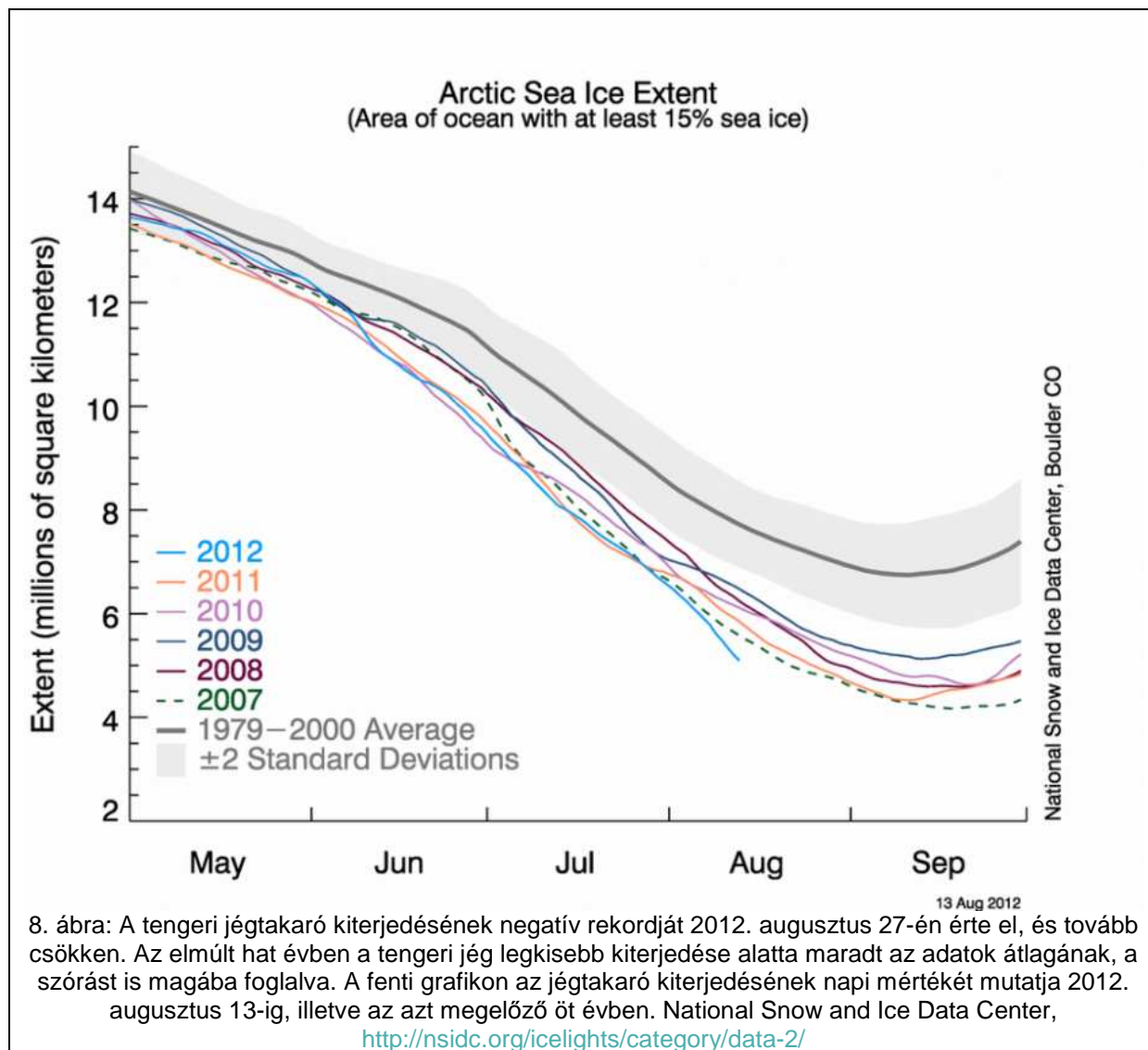
2.5 Tengeri jég

1979 óta az arktiszi téli jég kiterjedése körülbelül 3-4 %-kal csökkent évtizedenként (Meier et al. 2006). 2007-ben a tengeri jég legkisebb kiterjedése 39%-kal csökkent az 1979-2000. közötti átlaghoz képest, és ez a negatív rekord tovább csökkent 2012-ben (NOOA 2013). A globális felmelegedés az északi-sarki tengeri jégtakaró vastagságát is csökkenti, amely így egyre fiatalabb és vékonyabb. Ez azt jelenti, hogy az olvadási szezon kezdetekor a nyílt vízfelületek korábban kialakulnak, és nyáron nagyobb kiterjedésűek (Serreze & Stroeve 2008, <http://www.nature.com/climate/2008/0811/full/climate.2008.108.html>). Az arktiszi jégtakaró olvadásának növekedésével az óceán vize jobban felmelegszik, amely növeli a levegő hőmérsékletét is. Mivel ez a vártnál korábban volt kimutatható, így az Északi-sarkvidék talán már átlépte a fordulópontot a jégmentes nyár irányába (Connor S. 2008, <http://www.independent.co.uk/environment/climate-change/has-the-arctic-melt-passed-the-point-of-no-return-1128197.html>; Lenton 2008; Lenton et al 2011). Az előrejelzések azt mutatják, hogy a gyorsulás üteme különösen fontos lehet a következő évtizedekben a jégmentes nyarak kialakulásában.

(Serreze & Stroeve 2008, <http://www.nature.com/climate/2008/0811/full/climate.2008.108.html>)

Ugyanakkor a Déli-sarkvidéken a tengeri jégtakaró növekszik, amely, ahogy a National Snow and Ice Data Center (NSIDC) részletezi, annak köszönhető, hogy a globális felmelegedés és az ózon hiánya (mégpedig az Antarktisz fölötti ózonlyuk lassú javulása) a sarkvidéki szelek felerősödésével járnak. Elsősorban ennek köszönhetőek a tartósan hideg körülmények az Antarktiszon, valamint az ózonlyuknak köszönhetően az Antarktisz fölötti sztratoszféra is hidegebb. Az erősebb szél azzal jár, hogy a tengeri jeget fújja kifelé, kissé növelve annak kiterjedését, kivéve az Antarktisi-félszigeten, ahol a növekvő északi szél a jeget dél felé fújja. Így tehát a jég kiterjedése az északnyugati Antarktisi-félsziget környezetében továbbra is gyorsan csökken, míg a Ross-tenger és az Indiai-óceán déli területein jelentős növekedést mutat (NISCC 2013 & Stammerjohn et al., 2012).





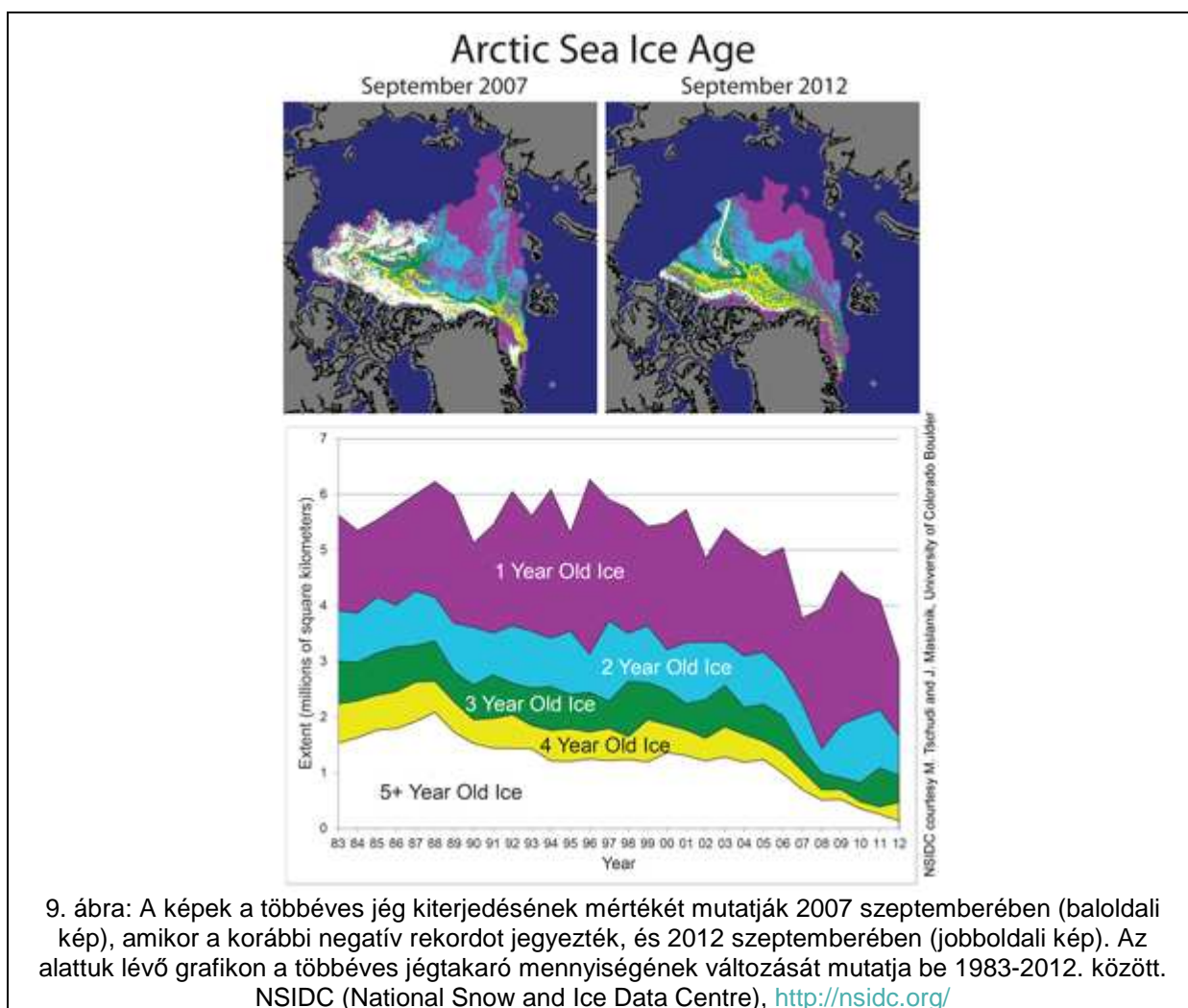
Tudjon meg többet:

- AMAP. (2011) Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA): Climate Change and the Cryosphere. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. Xii + 538pp.
- AMAP, 2012. Arctic Climate Issues 2011: Changes in Arctic Snow, Water, Ice and Permafrost. SWIPA 2011 Overview Report. AMAPs 2011 assessment of the Arctic Cryosphere (the SWIPA assessment) updates information presented in the 2004/5 Arctic Climate Impact Assessment, <http://www.amap.no/swipa>
- NSIDC (National Snow and Ice Data Centre, <http://nsidc.org/arcticseaicenews/2013/03/annual-maximum-extent-reached/>
- Meier, W.N., J.C. Stroeve, and F. Fetterer. 2006. Whither Arctic sea ice? A clear signal of decline regionally, seasonally and extending beyond the satellite record. Annals of Glaciology 46: 428-434, <http://www.the-cryosphere.net/7/699/2013/tc-7-699-2013.html>
- NASA, <http://climate.nasa.gov/>
- National Snow and Ice Data Centre (NISDC), <http://nsidc.org/>
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) State of the Climate in 2012: Highlights, <http://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/state-climate-2012-highlights>

- Stammerjohn et al. (2012) Regions of rapid sea ice change: An inter-hemispheric seasonal comparison. Geophys. Res. Lett., 39, L06501, doi:10.1029/2012GL050874, <http://pubs.giss.nasa.gov/abs/st06020o.html>

2.6 A régi vastag jégtakaró és a fiatal vékony jégtakaró

A hőmérséklet növekedésével mindenféle korú jég csökken. 1983 óta az ötévesnél idősebb jégtakaró gyorsabban csökken. Az arktiszi jégtakarónak nagy része most már elsőéves jég, amely a nyári időszakban gyorsabban elolvad. A tengeri jégtakaró korának becslésére kidolgozott újabb módszerek, amelyek a jég vastagságát és térfogatát veszik alapul, indikálják a jég elvékonyodását és a régebbi jegek hiányát is.



Tudjon meg többet:

- AMAP. (2011) Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA): Climate Change and the Cryosphere. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. Xii + 538pp. <http://www.amap.no/swipa>
- World Bank (2010) Turn down the Heat. Why a 4 degree centigrade warmer world must be avoided. http://climatechange.worldbank.org/sites/default/files/Turn_Down_the_heat_Why_a_4_degree_centigrade_warmer_world_must_be_avoided.pdf

2.7 A tengerek édesedése és az áramlások

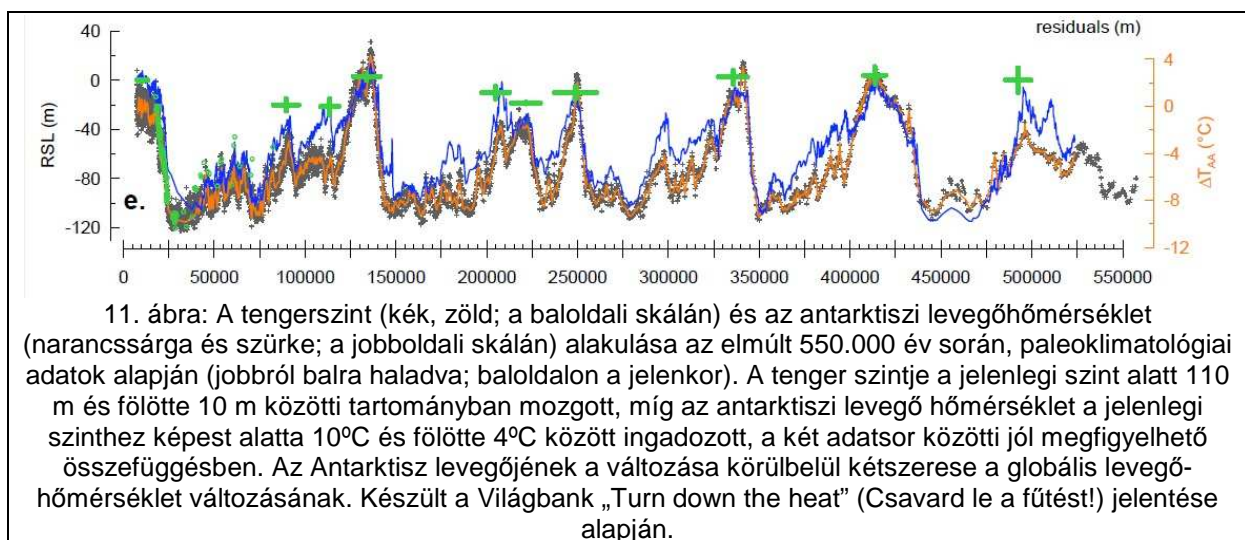
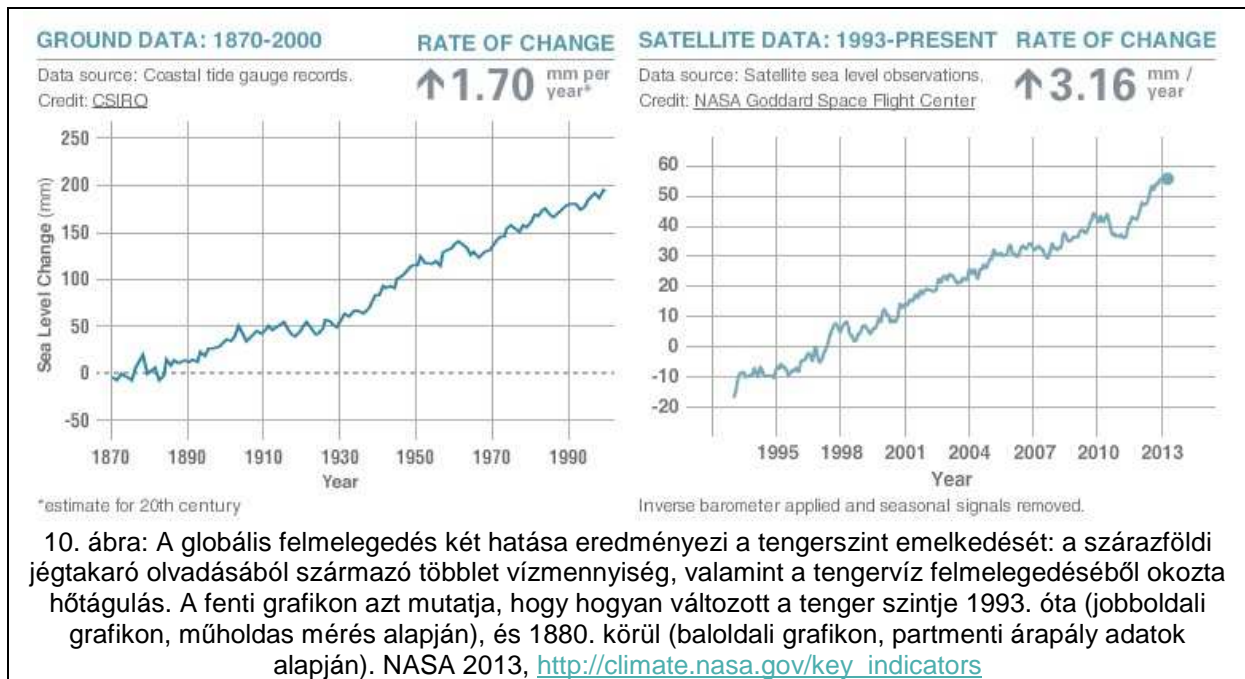
Az arktikus terület tengereit tápláló folyók vízhozama az elmúlt 30 évben megnövekedett a jég olvadása és a növekvő csapadékmennyiség hatására. Az óceánokba jutó nagyobb mennyiségű édesvíz hatására növekszik az óceánok hőelnyelő képessége, ami viszont a jégtakaró és a gleccserek olvadását fokozza (ACIA 2004; IPCC 2007, <http://www.amap.no/arctic-climate-impact-assessment-acia>). A termohalin cirkulációt is befolyásolják ezek a változások, mivel ezek hatására az áramlások mintázata is változhat az óceánokban (Arnell N. 2005, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2004JD005348/abstract>). A globális felmelegedés hatására a 21. század során minden bizonnyal meg fognak változni a szél- és légnyomási mintázatok, valamint az óceánok áramlási rendszerei (International Arctic Science Committee 2010, <http://www.eoearth.org/view/article/154991/>).

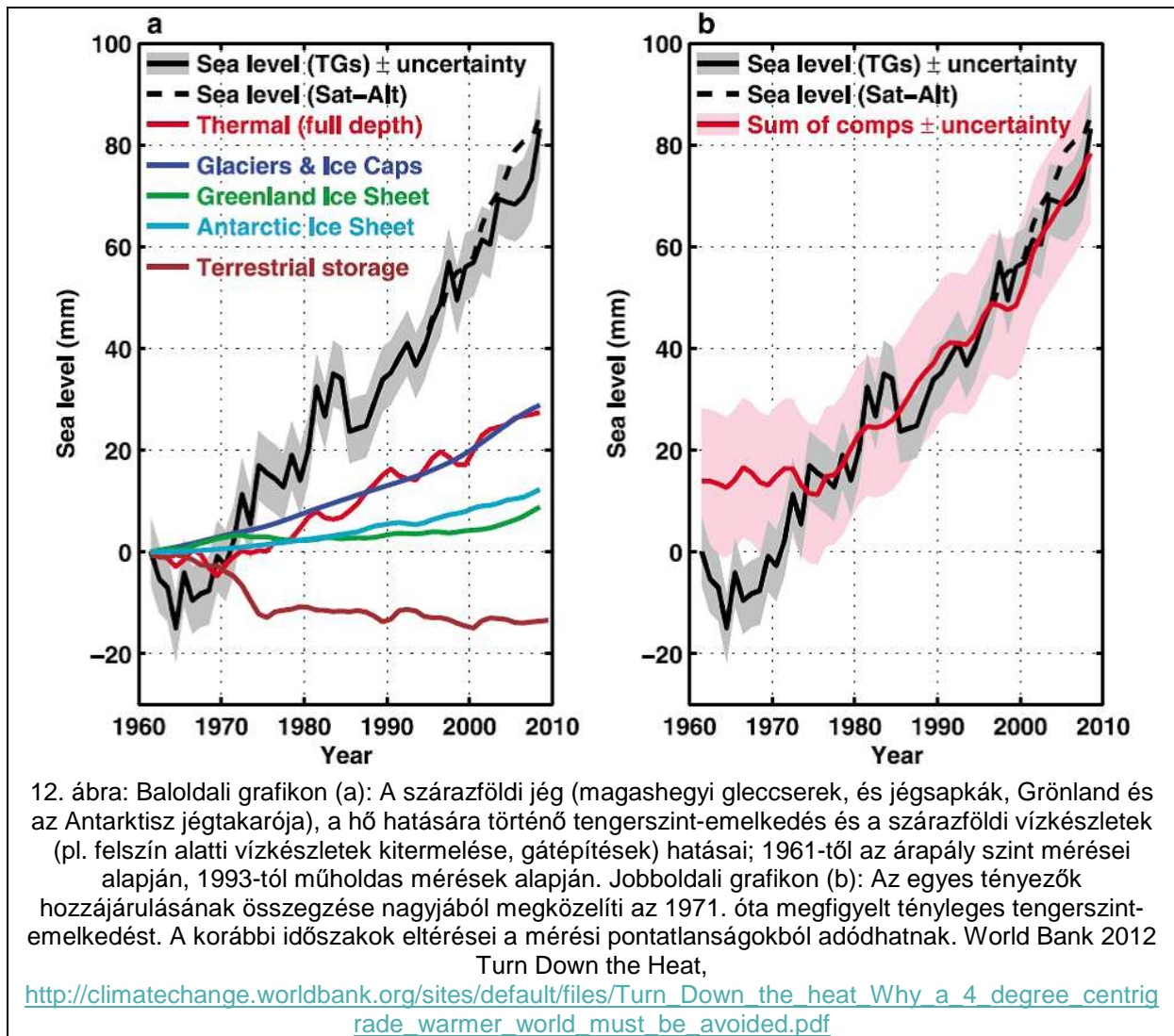
Tudjon meg többet:

- AMAP, 2012. Arctic Climate Issues 2011: Changes in Arctic Snow, Water, Ice and Permafrost. SWIPA 2011 Overview Report. AMAPs 2011 assessment of the Arctic Cryosphere (the SWIPA assessment) updates information presented in the 2004/5 Arctic Climate Impact Assessment. <http://www.amap.no/swipa>
- International Arctic Science Committee (2010) Ocean processes of climatic importance in the Arctic, <http://www.eoearth.org/view/article/154991/>
- Arnell (2005) Implications of climate change for freshwater inflows to the Arctic Ocean. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012), <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2004JD005348/abstract>
- Arctic Climate Impact Assessment 2004, <http://www.amap.no/arctic-climate-impact-assessment-acia>
- IPCC 2007 Polar regions (Arctic and Antarctic), <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter15.pdf>

2.8 A tengerszint emelkedése

A globális felmelegedés két hatása eredményezi a tengerszint emelkedését: a szárazföldi jégtakaró olvadásából származó többlet vízmennyiség, valamint a tengervíz felmelegedéséből okozta hőtágulás. A 2003-2008. közötti időszakban a tengerszint átlagos emelkedése 2,5 mm/év volt, egy kicsit kisebb mértékű, mint az 1993-2003. közötti időszakban (3,1 mm/év). A különböző faktoroknak a tengerszint emelkedéséhez való hozzájárulásában az elmúlt időszakban változások következtek be: a 2003-2008. közötti időszakban a tengerszint-emelkedés 80%-ban a sarki jégtakarók és a magashegyi gleccserek olvadásának volt köszönhető, míg az 1993-2003. közötti időszakban 50%-ban a hőtágulásnak (Cazenave et al. 2008, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818108001343>). Az éghajlat változásai a jövőben felgyorsítják a tengerek szintjének emelkedését. Az Éghajlat-változási Kormányközi Testület (IPCC) előrejelzései nem tartalmazzák a jégtakaró teljes változásának dinamikáját, így a 2100. esztendőre bekövetkező 18-59 cm-es tengerszint emelkedés csak óvatos becslésnek tekinthető (WWF 2008, http://assets.panda.org/downloads/arctic_climate_impact_science_1.pdf). Ugyanakkor a grönlandi és a nyugat-antarktiszi jégtakaró csökkenésének előrejelzése és értékelése alapján 0,8-2 m tengerszint emelkedés is várható 2100-ig (Pfeffer et al. 2008, <http://www.sciencemag.org/content/321/5894/1340.full>).





Tudjon meg többet:

- AMAP. (2011) Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA): Climate Change and the Cryosphere. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. Xii + 538pp. <http://www.amap.no/swipa>
- AMAP, 2012. Arctic Climate Issues 2011: Changes in Arctic Snow, Water, Ice and Permafrost. SWIPA 2011 Overview Report. AMAPs 2011 assessment of the Arctic Cryosphere (the SWIPA assessment) updates information presented in the 2004/5 Arctic Climate Impact Assessment. <http://www.amap.no/swipa>
- Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R.J. and Corfee-Morlot, J. (2013) Future flood losses in major coastal cities. Nature Climate Change 3, 802–806 (2013) doi:10.1038/nclimate1979, <http://www.nature.com/nclimate/journal/v3/n9/full/nclimate1979.html#ref3>
- NASA, <http://climate.nasa.gov/>
- National Snow and Ice Data Centre (NISDC), <http://nsidc.org/>
- NOAA Sea Level Rise and Coastal Flooding Impacts Viewer, <http://csc.noaa.gov/digitalcoast/tools/slrviewer>
- Pfeffer W. et al. 2008. Kinematic Constraints on Glacier Contributions to 21st-Century Sea-Level, <http://www.sciencemag.org/content/321/5894/1340.full>

- Rahmstorf, S., Cazenave, A., Church, J. A., Hansen, J. E., Keeling, R. F., Parker, D. E. and Somerville, R. C. J. (2007) Recent climate observations compared to projections. Science 316: 709., <http://pubs.giss.nasa.gov/abs/ra04500f.html>
- Rignot, E., Velicogna, I., van den Broeke, M. R., Monaghan, A. and Lenaerts, J. (2011) Acceleration of the contribution of the Greenland and Antarctic ice sheets to sea level rise, <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/234854>
- World Bank (2010) Turn down the Heat. Why a 4 degree centigrade warmer world must be avoided. http://climatechange.worldbank.org/sites/default/files/Turn_Down_the_heat_Why_a_4_degree_centigrade_warmer_world_must_be_avoided.pdf

2.9 Permafroszt

A permafroszt olyan talaj (illetve talaj vagy kőzet, amely magában foglalja a jeget és a szerves anyagokat is), amely legalább két egymást követő évben fagyott állapotban marad. Szinte kizárólag az Északi-sarkvidék területén fordulnak elő. Természetes folyamat, hogy a permafroszt a nyári időszakban elegendő hőt nyel el ahhoz, hogy legfelső rétege megolvadjon. Ebben a rétegben (ezt nevezzük aktív rétegnek) a növények képesek megtelepedni és az állatok táplálékot találnak maguknak. A globális felmelegedés nélkül ezen réteg alatt a talaj állandóan fagyott állapotban marad, megőrizve a szerves anyagokat, mint a nagy mennyiségű szén és a metán. Az arktikus permafroszt a becslések szerint 1700 milliárd tonna szén-dioxidot tartalmaz, kétszer annyit, mint a légkör. Paleoklimatikus vizsgálatok kimutatták, hogy a felmelegedés 3,5-szer gyorsabb folyamat, mint az eljegesedés, és a felmelegedéssel eltűnt a jégtakaró, amely 1500 km-re behatolt a szárazföldre, csaknem a teljes permafroszt régiót befedve (Lawrence et al. 2008, <http://www.cgd.ucar.edu/ccr/dlawren/publications/lawrence.grl.submit.2008.pdf>).

Az elmúlt 30 évben a permafroszt régió egyes területein 0,5-2°C közötti melegedés volt megfigyelhető (Romanovsky et al. 2008, http://www.coldregions.org/P_P_N092.htm), melyek közül a legérzékenyebbek a Jeges-tengerrel határos területek. 1900. óta az időszakosan fagyott területek legnagyobb kiterjedése 7%-kal csökkent. Az éves átlagos erózió mértéke a jégben gazdag partokon 2,5-3 m/év, míg a jégben szegény orosz arktikus partok mentén 1 m/év. Az alaszakai Beaufort-tenger partjai mentén az évi átlagos erózió mértéke 0,7-3,2 m/év, de a maximális értéke akár 16,7 m/év is lehet (IPCC 2007, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter4.pdf>). A permafroszt és a fagyott talaj degradációja hatással van a vizek felszíni megjelenésére is, mivel a szárazabb talajok esetén, ahol vékony a permafroszt, a tavak visszahúzódása figyelhető meg, míg a vastagabb permafroszt új vizes élőhelyek létrejöttéhez járul hozzá (WWF 2008, http://assets.panda.org/downloads/arctic_climate_impact_science_1.pdf). Az előrejelzések szerint a permafroszt déli határa ebben az évszázadban több száz kilométerrel fog észak felé tolni (ACIA 2006, http://acia.cicero.uio.no/factsheets/1_arctic_climate_trends.pdf).

Az északi-sarkvidéki kontinentális talapzat üledékében nagy mennyiségű metán-hidrát (jégbe ágyazott metángáz) van raktározva, és melegebb hőmérséklet esetén (ami a Föld történetének korábbi időszakaiban megfigyelhető volt) a metángáz felszabadulhat (IPCC 2007; Koven et al 2011; DeConto et al 2012). Az Északi-sarkvidék egyes területein a közelmúltban nagy mértékű metánkibocsátást figyeltek meg (Anthony et al 2012; Kort et al 2012). A permafroszt olvadásával felszabaduló szén-dioxid és a metán a légkörbe kerülve tovább erősíti a globális felmelegedést. A becslések szerint 2050-re a permafroszt területe 20-35%-kal csökken, az aktív réteg mélysége pedig 15-25%-kal, a legészakabbi területeken akár 50%-kal is növekedhet (IPCC 2007, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter15.pdf>). A permafroszt csökkenésével 2100-ra 1 millió km²-rel csökkenhet a fagyott talaj kiterjedése, valamint 900 millió tonna szén kerülhet a légkörbe (Strom R. 2007).

Tudjon meg többet:

- Nafeez Ahmed (2013) Seven facts you need to know about the Arctic methane timebomb. Earth Insight hosted by the Guardian, <http://www.theguardian.com/environment/earth-insight/2013/aug/05/7-facts-need-to-know-arctic-methane-time-bomb>
- DeConto et al (2012) Past extreme warming events linked to massive carbon release from thawing permafrost. Nature 484: 87-91., <http://www.nature.com/nature/journal/v484/n7392/full/nature10929.htm>
- KORT, E. A., WOFYSY, S. C., DAUBE, B. C. & DIAO, M. (2012): Atmospheric observations of Arctic Ocean methane emissions up to 82° north. Nature Geoscience 5: 318–321., <http://www.nature.com/ngeo/journal/v5/n5/abs/ngeo1452.html>
- Romanovsky, V.E, Smith, S.L., Christiansen, H.H, Shiklomanov, N.I., Streletskiy, D.A., Drozdov, D.S., Oberman, N.G., Kholodov A.L. and Marchenko, S.S. (2012) Permafrost. Arctic Report Card: Update for 2012. National, <http://www.arctic.noaa.gov/reportcard/permafrost.html>
- Schuur, E.A.G., BockheimJ., Canadell.G., EuskirchenE., FieldC.B., GoryachkinS.V., Hagemann, S., KuhryP., Lafleur, P.M., Lee, H., Mazhitova, G., Nelson, F.E., Rinke, A., Romanovsky, V.E., Shiklomanov, N., Tarnocai, C., Venevsky, S., Vogel, J.G. & Zimov, S.A. (2008) Vulnerability of Permafrost Carbon to Climate Change: Implications for the Global Carbon Cycle. Bioscience 58 (8): 701-714, <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1641/B580807>
- World Bank (2010) Turn down the Heat. Why a 4 degree centigrade warmer world must be avoided. http://climatechange.worldbank.org/sites/default/files/%20Turn_Down_the_heat_Why_a_4_degree_centigrade_warmer_world_must_be_avoided.pdf

2.10 Az élőhelyek változására és a fajokra gyakorolt hatás

A globális felmelegedés hatással van az élőhelyekre, és az ott élő fajokra egyaránt (Foden et al 2013). A vegetációs zónák várhatóan északabbra tolnak (pl. a tundrák helyén erdők jelennek meg, míg a tundrák a sarkvidéki jégsivatagok helyét veszik át (ACIA 2006, http://acia.cicero.uio.no/factsheets/1_arctic_climate_trends.pdf)), az előrejelzések szerint a tundrák kétharmadát erdők fogják elfoglalni (University of Cambridge 2006, <http://www.geog.cam.ac.uk/research/projects/tundrataiga/>). A sarkvidékeken élő fajok számára a jég alapvető fontosságú, mivel ezen pihennek, vadásznak, szaporodnak. A felmelegedő jövőben, amikor tovább folytatódik a Jeges-tenger jégtakarójának feldarabolódása, a tengeri emlősök körében növekedni fog az éhezés mértéke és csökkenni fog a születések száma (CBD 2007, <http://www.cbd.int/doc/bioday/2007/ibd-2007-booklet-01-en.pdf>). A hegyvidéki gleccserek várhatóan tovább csökkennek majd, amely számos faj élőhelyére hatással lesz. Az esőzést és havazást érintő változások hatással vannak a folyók vízhozamára és a vizes élőhelyekre, ezáltal az állatvilágra is, és esetleg felgyorsíthatják a nem őshonos, invazív növények terjedését a vízparti élőhelyeken (AMAP 2012). A tengerszint várható emelkedésével víz alá kerülnek a vizes élőhelyek és mélyföldek, növekedne a sós vizek mértéke a mocsarakban, folyótorkolatokban, víztározókban, amely az egész világ élővilágára hatással lenne (Pearce-Kelly et al 2013).

Tudjon meg többet:

- AMAP, 2012. Arctic Climate Issues 2011: Changes in Arctic Snow, Water, Ice and Permafrost. SWIPA 2011 Overview Report. AMAPs 2011 assessment of the Arctic Cryosphere (the SWIPA assessment) updates information presented in the 2004/5 Arctic Climate Impact Assessment., <http://www.amap.no/swipa>
- BARNOSKY et al (2012): Approaching a state shift in Earth's biosphere. Nature 486: 52–58., <http://www.nature.com/nature/journal/v486/n7401/full/nature11018.html>

- FODEN, W. B., MACE, G. M., VIÉ, J.-C., ANGULO, A., BUTCHART, S. H. M., DEVANTIER, L., DUBLIN, H. T., GUTSCHE, A., STUART, S. N. & TURAK, E. (2008): Species and case studies. *Conservation Biology* 24: 63–69
- Foden et al (2013) Identifying the World's Most Climate Change Vulnerable Species: A Systematic Trait-Based Assessment of all Birds, Amphibians and Corals. *PLoS ONE* 8(6): e65427. doi:10.1371., <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0065427>
- HOEGH-GULDBERG, O. & BRUNO, J. F. (2010): The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science* 328: 1523–1528.
- PARMESAN, C. & YOHE, G. (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37–42.
- Pearce-Kelly, P., Khela, S., Ferry, A.C. & Field, D. (2013) Climate-change impact considerations for freshwater-fish conservation, with special reference to the aquarium and zoo community. *Int. Zoo Yb.* (2013) 47: 81–92 DOI:10.1111/izy.12016, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/izy.12016/abstract>
- Titus J. and Barth M. 1984. Greenhouse effect and sea level rise: a challenge for this generation. Ch 1. An overview of the causes and effects of the sea level rise. EPA. (Book)
- WALKER, B. (2001): Catastrophic shifts in ecosystems *Nature* 413: 591–596.

2.11 Extrém időjárási körülmények

Az időszakos tengeri jég csökkenése már eddig is több helyen vezetett ahhoz, hogy a partok jobban ki vannak téve a nyílt víznek és a viharos hullámoknak. Ezek a változások azt eredményezik, hogy a hullámvészély és az erózió nagyobb veszélyt jelent egyes partvonalakra, az itt található infrastruktúrára, a vízparti szerkezetekre és kulturális örökségekre.

Az extrém éghajlati hatások várhatóan továbbra is súlyos hatással lesznek számos ökoszisztéma típusra. A globális felmelegedésnek a sarkvidékekre gyakorolt hatása egyre jobban érint minket is a partmenti károkon, a szélsőséges időjárásán és ezeknek a társadalmi-gazdasági következményein keresztül.

Tudjon meg többet:

- AMAP. (2011) Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA): Climate Change and the Cryosphere. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. Xii + 538pp., <http://www.amap.no/swipa/CombinedReport.pdf%20Chapter%209.4.5.2.1%3b%20p%2064-66%3b%20Chapter%2011>
- Carter, P. (2012) Arctic Summer Sea Ice Tipping Point. Video posting featuring Ted Scambos, Robbie Macdonald, Don Perovich, Mark Serreze and Vladimir Romanovsky., <http://vimeo.com/34547995>
- Hansen et al (Submitted) Scientific Case for Avoiding Dangerous Climate Change to Protect Young People and Nature. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, <http://pubs.giss.nasa.gov/abs/ha08510t.html>
- World Bank (2010) Turn down the Heat. Why a 4 degree centigrade warmer world must be avoided., http://climatechange.worldbank.org/sites/default/files/Turn_Down_the_heat_Why_a_4_degree_centigrade_warmer_world_must_be_avoided.pdf

2.12 Az óceánok savasodása

Az óceánok savasodása az óceánok savasságának növekedését jelenti egy hosszabb, általában egy évtized vagy nagyobb időtartam alatt, amelyet elsősorban a légkörből történő

szén-dioxid felvétele okoz (IPCC 2007). Ha nem avatkozunk közbe és nem dolgozunk összehangoltan a globális felmelegedés hatásai csökkentésért, nagy gondot jelenthet, hiszen az óceánok savasodása alapvetően befolyásolja a tengeri életközösségeket és fajokat (Hoegh-Guildberg & Bruno 2010; Veron 2010). Például a világ korallzátonyainak ökoszisztémái életképtelenek lennének, ha a mai légkör CO₂ szintje teljes hatását fejtené ki rájuk (Coral Crisis Working Group position statement 2009; Veron et al 2009, WAZA Position Statement 2010 and Veron 2012).

Az óceánok savasodása nagy veszélyt jelent a sarkvidéki tengerek táplálékláncára, és hangsúlyosabban hat ezekre a hidegebb óceánokra, mivel a hideg víznek nagyobb a szén-dioxid elnyelő képessége. Az Arctic Monitoring and Assessment Programnak (AMAP) a sarkvidéki óceánok savasodásáról készült jelentése kimondja, hogy az óceánok savasodása közvetetten a táplálék- és más forrásokon keresztül is hatást fejt ki. Például a madarakra és az emlősökre nem valószínű, hogy az óceánok savasodása közvetlen hatással lenne, de közvetetten hatással lehet ezekre is, ha a táplálékforrásuk csökken, növekszik, földrajzilag megváltozik az elhelyezkedése, vagy egyéb más módon reagál a savasodásra. Az óceánok savasodása megváltoztathatja a tápanyagoknak és esszenciális nyomelemeknek a tengeri élőlények számára a tengervízből való felvehetőségének a mértékét. Egyes külső héjat építő arktikus puhatestűekre is negatív hatással lehet az óceánok savasodása, különösen azok korai életszakaszában. A fiatal és a felnőtt halak valószínűleg meg tudnak birkózni a következő évszázad növekvő savasodásával, de az ikrák és a korai ivadék fázisban lévő halak már érzékenyebbek lehetnek. Általánosságban az élőlények az egyedfejlődésük korai szakaszában érzékenyebbek a savasodás hatására, mint később (AMAP 2013). A táplálékhálózat olyan fontos fajtái, mint a Pteropodák és más meszes héjat építő fajok a sarkvidéki tengerek közvetlenül sebezhető fajtái közé tartoznak, amelyeknek az elvesztése csökkenti a rendelkezésre álló tápanyagok mennyiségét és az óceánok légkörből történő CO₂ felvételének a képességét.

(IPCC 2007, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter15.pdf>; Sommerkorn M. 2008, http://assets.panda.org/downloads/closing_window_of_opportunity_.pdf)

Tudjon meg többet:

- Arctic Monitoring and Assessment Programme (2013) Arctic Ocean Acidification Assessment: Summary for Policymakers. Link to Arctic Council Web site
- Fabry, V.J.; Seibel, B.A.; Feely, R.A.; Orr, J.C. Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *J. Mar. Sci.* 2008, 65, 414–423.
- HOEGH-GULDBERG, O. & BRUNO, J. F. (2010): The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science* 328: 1523–1528.
- Veron, J.E.N., (2008). Mass extinctions and ocean acidification: biological constraints on geological dilemmas. *Coral Reefs* 27, 459–472.
- Veron, J.E.N., Hoegh-Guldberg, O, Lenton, T.M, Lough, J.M., Obura D.O., Pearce-Kelly, P., Sheppard, C., Spalding M., Stafford-Smith, M.G. and Rogers, A.D. (2009) The coral reef crisis: The critical importance of <350 ppm CO₂. *Marine Pollution Bulletin* 58 (2009) 1428–1436
- Veron, E.N. (2011) Ocean Acidification and Coral Reefs: An Emerging Big Picture. *Diversity* 2011, 3, 262-274; doi:10.3390/d3020262
- WAZA (2012): Resolution 67.2. Emergency resolution on avoiding disastrous and unmanageable climate change and ocean acidification impacts by returning atmospheric CO₂ concentrations to below 350 parts per million while it is still possible to do so. Gland, Switzerland: World Association of Zoos and Aquariums., http://www.waza.org/files/webcontent/1.public_site/5.conservation/climate_change/RES%2067.2%20Climate%20Change.pdf

2.13 A tengerek jege és az ipar

Mivel a Jeges-tenger egyre nagyobb felülete válik jégmentessé, ez csábítóan hat egyes országokra, hogy kiaknázzák az eddig elérhetetlen földgáz- és kőolaj-forrásokat. Az energiavállalatok fúrási engedélyekért folyamodnak, a hajózási társaságok pedig izgatottan keresnek újonnan megnyíló útvonalakat az Arktiszon át.



A Yamal nukleáris jégtörő (fotó: Wikimedia Creative Commons – Wofratz)

Mi van az Arktiszon élő emberekkel?

A gyors klímaváltozás már érinti, és egyre nagyobb mértékben érinti az Északi-sarkvidéken élő emberi társadalmakat (AMAP 2012). Az ő tradicionális életmódjuk és kultúrájuk teljes mértékben a sarkvidéki környezettől függ.

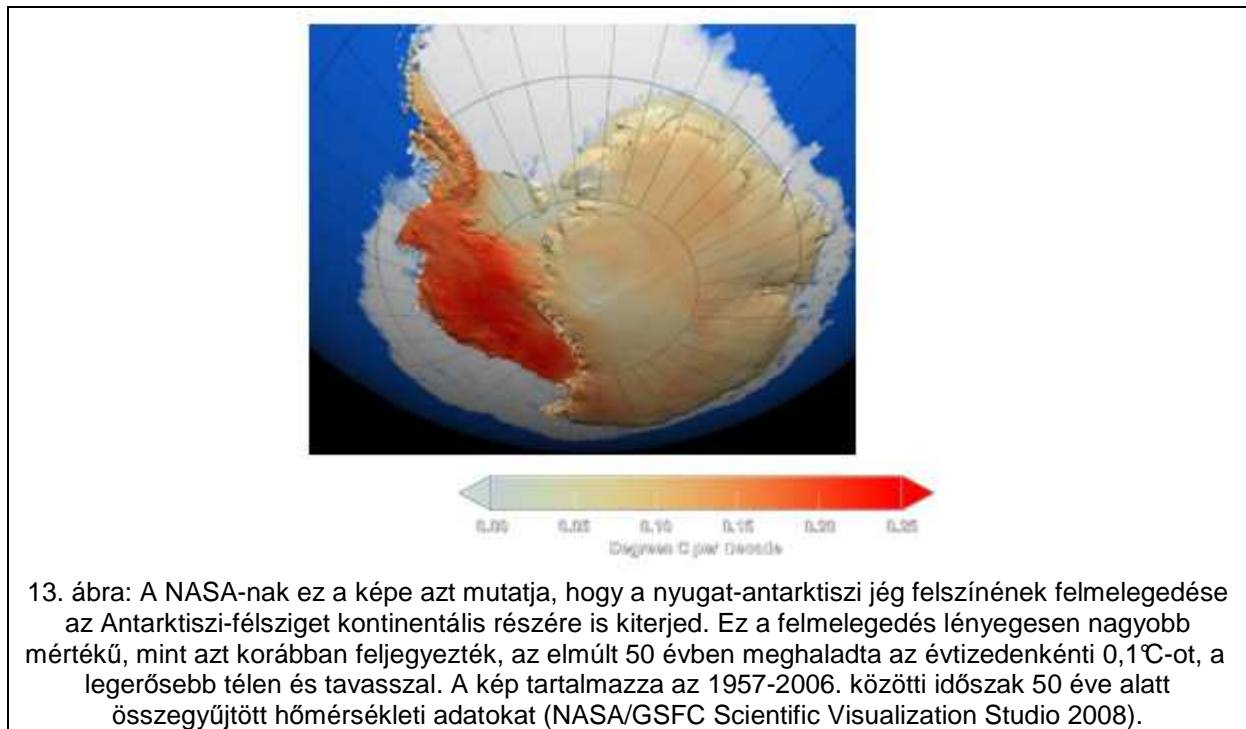
Tudjon meg többet:

- NSIDC (National Snow and Ice Data Centre, <http://nsidc.org/>)
- AMAP. (2011) Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA): Climate Change and the Cryosphere. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. Xii + 538pp., <http://www.amap.no/swipa/CombinedReport.pdf%20Chapter%209.4%3b%20p%2052-70%3b%20Chapter%2012.3.6.%20p.%2011-12>
- AMAP, 2012. Arctic Climate Issues 2011: Changes in Arctic Snow, Water, Ice and Permafrost. SWIPA 2011 Overview Report. AMAPs 2011 assessment of the Arctic Cryosphere (the SWIPA assessment) updates information presented in the 2004/5 Arctic Climate Impact Assessment., <http://www.amap.no/swipa>

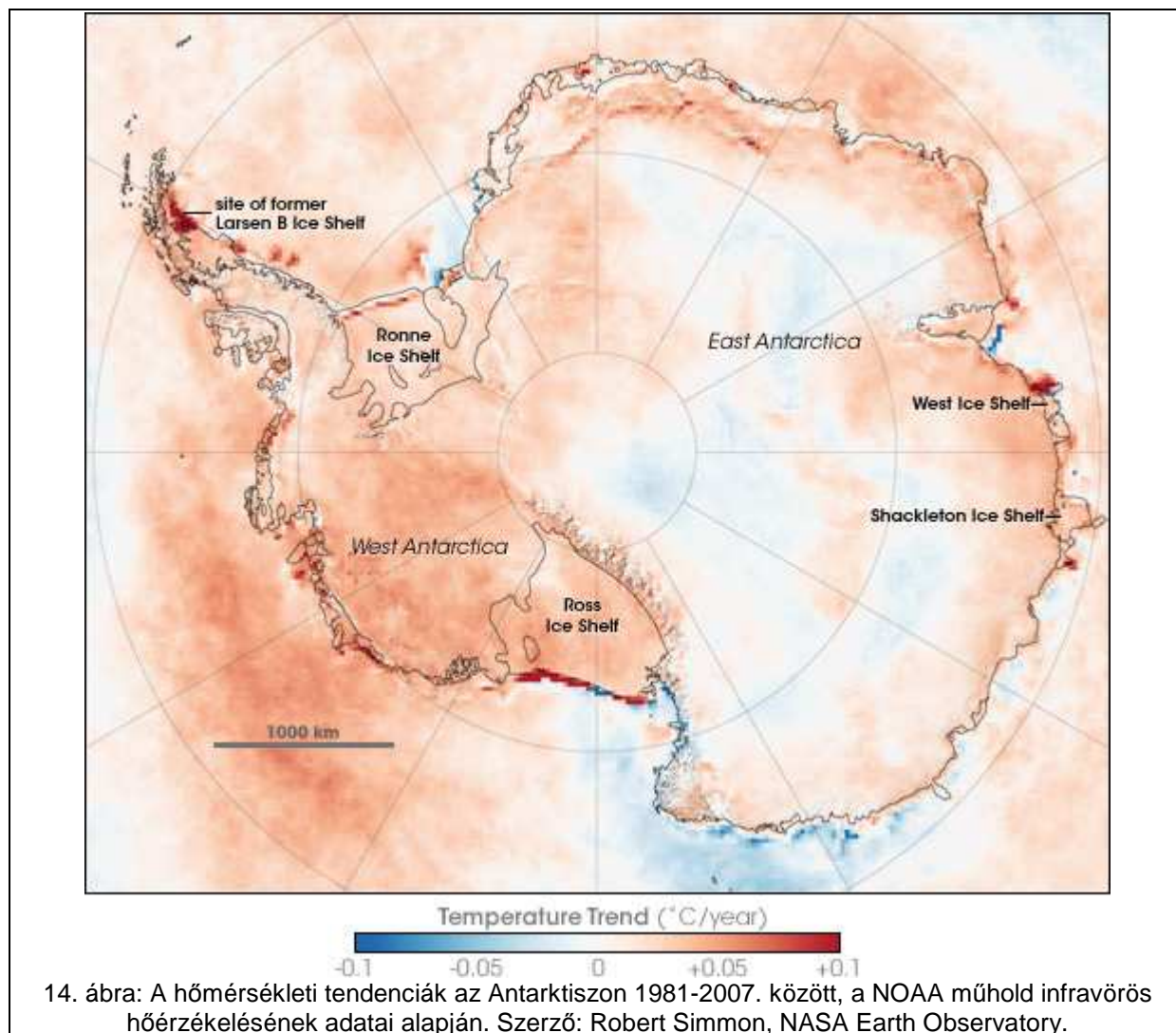
2.14 A globális felmelegedés veszélyei az Antarktiszra

A nyugat-antarktisz-i jégtakaró és a kelet-antarktisz-i jégtakaró melegedésében jelentős különbségek figyelhetők meg, melyeket eddig többnyire kevésbé vettek figyelembe, és amelyek elsősorban az ózonlyuk hűtési hatásának köszönhetőek (Thompson A. 2009, <http://www.livescience.com/3258-antarctica-warming-climate-picture-clears.html>). A nyugat-antarktisz-i jégtakarón, amely magában foglalja az Antarktisz-félszigetet is, jelentős felmelegedés tapasztalható, a félsziget nyugati partjai mentén a hőmérséklet-emelkedés 3°C (körülbelül tízszerese a globális felmelegedés általános értékének). Az elmúlt 50 esztendőben az Antarktisz-félsziget nyugati oldalán az óceán felső rétegének a hőmérséklete 1°C-kal emelkedett, és a félsziget nyugati oldalán a gleccserek 87%-a visszahúzódott (NERC-BAS 2007; IPCC 2007). 2002-ben a Larsen selfjég teljesen

összeomlott (NERC-BAS 2007, <http://www.antarctica.ac.uk/press/journalists/resources/science/climate%20change%20briefing.php>).



A nyugat-antarktiszi jégtakaró sokkal instabilabb, mint a kelet-antarktiszi, mivel a tenger szintje alatt ül a sziklaágyán, és a megfigyelések szerint egyre vékonyodik, amely a teljes jégtakaró összeomlásához is vezethet (NERC-BAS 2007a, http://www.antarctica.ac.uk/bas_research/science/climate/overview.php). A nyugat-antarktiszi jégtakaró fogyatkozásának bizonyítékai láthatóak a Amundsen-tenger térségében, valamint három gleccseren: a Pine Island-, a Thwaites- és a Smith-gleccseren. Ezen gleccserek jegének olvadása 12 év alatt 30%-kal gyorsult, és a tömegük vesztesége 170%-kal nőtt (Rignot E. 2008, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2008GL033365/abstract>). Ezeknek a jégpolcoknak az összeomlása előjelezheti a nyugat-antarktiszi jégtakaró teljes összeomlását, amely végül a világtengerek szintjének 5 méterrel való emelkedéséhez vezethet (Bentley C.R. 1998, <http://www.nature.com/nature/journal/v394/n6688/full/394021a0.html>), és világszerte felbecsülhetetlen ökológiai, társadalmi és gazdasági következményekkel járna. A CO₂ légkörbe történő növekvő mértékű kibocsátása, a várható erős szelek és az óceáni víztömeg rétegződésében bekövetkező változások megváltoztatják a Déli-óceán CO₂-elnyelő képességét is (amely az elmúlt 20 évben 30%-kal csökkent).



Az Antarktisz környéki tengeri jég esetében teljesen más a helyzet, az ugyanis a regionális éghajlati dinamikának köszönhetően változatlan, vagy akár növekszik is. Például a NOAA 2012-es klímajelentése (NOAA 2013) megerősítette, hogy az antarktisi tengeri jég maximális kiterjedése 2012. szeptember 26-án 7,51 milliárd km²-es kiterjedésével rekordot ért el. Ugyanakkor az antarktisi tengeri jég fennmaradása függ a kontinentális jégtakaró sorsától és a globális felmelegedés szélesebb körű hatásaitól (Hansen et al 2013).

3. Mit jelent mindez a világ többi részének?

Általánosságban a krioszféra, és különösen a sarkvidékek degradációja egyre súlyosabb következményekkel jár a világ többi részére is. Az olvadás hatására a permafrosztból egyre nagyobb mennyiségű szén-dioxid és metán szabadul fel, amely viszont tovább fokozza az üvegházhatást. A sarkvidékeken és a krioszféra más területein a jég visszahúzódása, valamint az erdősávok toródása nagymértékben csökkenteni fogják az albedót, amely a pozitív visszacsatolás révén további felmelegedést fog előidézni. Az óceánok áramlási rendszereiben bekövetkező változások további következményekkel lesznek a klímaváltozásra, valamint potenciálisan súlyos következményekkel lesznek a tengeri ökoszisztémákra. A jég olvadásából következő tengerszint-emelkedés befolyással lesz sok mélyföldi és partmenti területre. A biodiverzitásra, valamint a fajok elterjedésére és abundanciájára veszélyt fog jelenteni az élőhelyek elvesztése és az invazív fajok terjedése.



© Michael Wilson, A leleményes emberek

A tengerszint várható emelkedése egyre nagyobb hatással lesz a partmenti környezetre, beleértve a folyótorkolatokat és a felszín alatti vizek sótartalmát (Titus J. 2008, <http://www.scribd.com/doc/1811666/Environmental-Protection-Agency-rtc-sealevelrise>), komoly társadalmi-gazdasági és ökológiai befolyással. Habár elsőként Dél-, Délkelet- és Kelet-Ázsia, Afrika és az alacsony szigetek veszélyeztetett régiói fogják érezni a hatást (IPCC 2007, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter6.pdf>), de végső soron minden környezet és emberi település a partok mentén (köztük a világ sok vezető nagyvárosa) fenyegetett lesz (World Bank 2012; Hallegatte et al 2013).

3.1 A hazavihető üzenet

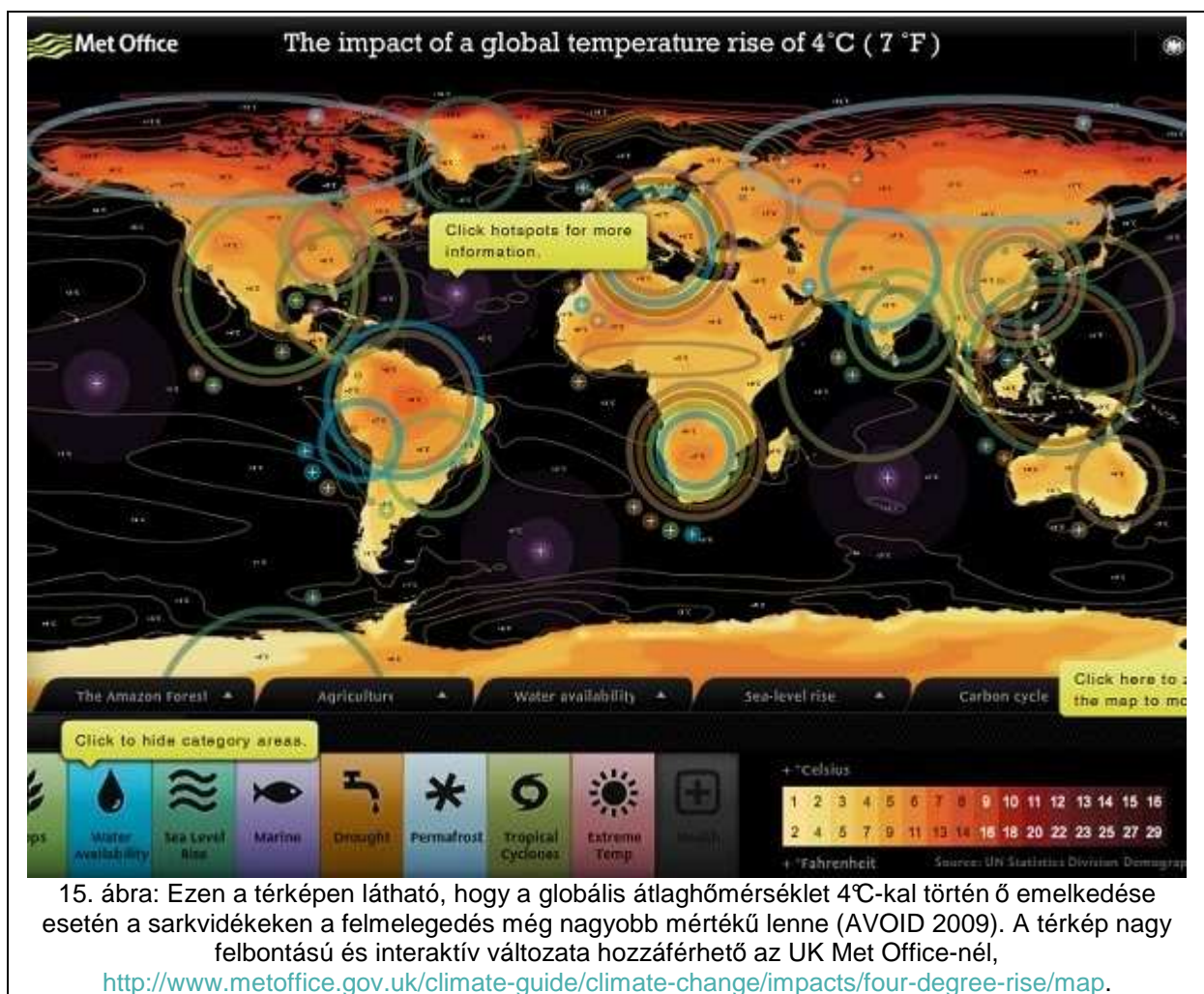
A sarkvidékek rendkívül fontos rendszerek, mivel hatással vannak a biológiai sokféleségre és kulcsfontosságú szerepük van a stabil éghajlat és a tengerek szintjének fenntartásában. Általuk látható az is, hogy a bolygónk fizikai és élő természete mennyire összefonódott, és hogy milyen sebezhetőek vagyunk mindannyian a globális felmelegedés jelenlegi szintje által is (AMAP 2012; Whiteman et al 2013).

Az északi-sarkvidék esetében egyre nagyobb gond, hogy ez a térség talán már belépett a változásnak abba a kétségbeesítő állapotába, amely végül a teljes jégtakaró, tengerjég és permafroszt elvesztéséhez vezet. Ugyanez vonatkozik a nyugat-antarktisi jégtakaróra is, habár, csakúgy, mint Grönland esetében, a jég hatalmas mennyisége miatt a teljes összeomlása néhány száz évig is eltarthat, a kelet-antarktisi jégtakaró esetében pedig akár több mint ezer évig is. Egy bizonyos szintű jégolvadás után az emberiség már nem tudja semmilyen hatásos megoldással megállítani ezt a folyamatot. Továbbá a jégtakaró

szétesésének a tengerszint emelkedésére gyakorolt viszonylag szerény hatása is olyan mértékű, hogy a tengeri és szárazföldi ökoszisztémák, valamint a partmenti települések, köztük a világ sok nagyvárosa, még ebben a században egyre kezelhetetlenebbé válik.

A sarkvidékeken már megfigyelhető hatások, és az a tény, hogy nagyon sok válaszreakció van folyamatban a felmelegedésre, köszönhetően az éghajlati rendszer tehetetlenségének kombinált hatásainak és a jégtakaró késleltetett válaszainak (Hansen 2012; Hansen et al 2013), mindezek azt jelzik, hogy most szembesülünk ezzel a kritikus szintet elérő kockázattal. Ha most nem cselekszünk annak érdekében, hogy a légkör szén-dioxid koncentrációja újra 350 ppm alá kerüljön, nagyon kevés időnk marad, amikor ez még lehetséges, és az emberiség lesz a felelős a tengerek szintjének több tíz méteres emelkedéséért, az egyre szélsőségesebb időjárásért, az óceánok savasodásáért, és mindazokért a hatásokért, amelyeket a Met Ocean alábbi ábrája mutat be a globális átlaghőmérséklet 4°C-kal történő emelkedésének hatásairól.

A WAZA 2012-es sürgősségi állásfoglalása rávilágít az északi-sarkvidéket fenyegető tényezőkre, ennek az egész világra kiható katasztrofális következményeire, a kezelhetetlen klímaváltozásra és az óceánok savasodására. Részletezi azokat a cselekvéseket is, amelyeket tennünk kell, ha el akarjuk kerülni ezt a jövőt. Ezek azok a tényezők, amelyek a Sarkvidék-kampány csapatát is ösztönzik.



15. ábra: Ezen a térképen látható, hogy a globális átlaghőmérséklet 4°C-kal történő emelkedése esetén a sarkvidékeken a felmelegedés még nagyobb mértékű lenne (AVOID 2009). A térkép nagy felbontású és interaktív változata hozzáférhető az UK Met Office-nél,

<http://www.metoffice.gov.uk/climate-guide/climate-change/impacts/four-degree-rise/map>.

3.2 A WAZA 67.2. állásfoglalása (WAZA éves konferencia, Melbourne, 2012. október 11.)

Sürgősségi állásfoglalás, hogy a katasztrofális és kezelhetetlen éghajlatváltozás és az óceánok savasodása a légköri CO₂-koncentráció 350 ppm alá történő csökkentésével elkerülhető lehessen:

- El kell ismernünk a NASA megerősítését, hogy a részletes műholdas megfigyeléseik alapján 2012. augusztus 27-én az arktiszi tengerjég korunk újabb mélypontjára zsugorodott, amely további bizonyíték arra, hogy a légkör szén-dioxid koncentrációja meghaladta a biztonságos globális határértéket;
- Aggodalmat okoz, hogy az éghajlati rendszer tehetetlensége elfedi a jelenlegi CO₂-szintnek és a pozitív visszacsatolásnak a valós hatásait, amelyeket már elkezdtek generálni;
- Aggasztó, hogy a tengerjég, a jégtakarók és a magashegyi gleccserek megállíthatatlan olvadása révén a tengerszint vészes emelkedése és az édesvízkészlet csökkenése, a fagyott állapotban lévő szén és metán kioldása, az óceánok savasodása, a változó éghajlati zónák, a szélsőséges időjárási események és a biológiai sokféleséget érintő tömeges kihalások együttes hatásai az emberiség számára is mélyreható következményekkel lesznek;
- Ismerjük fel, hogy 2030-ig a szén-dioxid kibocsátás fokozatos csökkentése jelentős enyhítő hatással lehet; a nehezen hozzáférhető kőolaj- és földgázlelőhelyek feltárásának elkerülése, az olajpala, az olajhomok és a más nem hagyományos fosszilis tüzelőanyagok kitermelésének elkerülése, és a légköri CO₂-szint 350 ppm érték alá csökkentése és különösen a természetes élőhelyek pusztításával és degradációjával járó folyamatoknak és a negatív hatású mezőgazdasági gyakorlatoknak az elhagyása által;
- Továbbá lássuk meg, hogy a biodiverzitás és az emberiség sorsa ezektől a veszélyforrásoktól függ, amelyek a csökkenő igényekkel elismerten és hatékonyan kezelhetők.

Ezért a WAZA minden tagjától azt kéri, hogy:

- A CO₂-kibocsátását aktívan csökkentse, ahol csak lehetséges, ahol pedig nem lehetséges, ott kompenzálja az élőhelyek támogatásának kezdeményezésével;
- Hívják fel a világ vezetőinek a figyelmét arra, hogy elkerüljék a katasztrofális és kezelhetetlen éghajlatváltozást és az óceánok savasodását az ebben az állásfoglalásban is szereplő, a CO₂-kibocsátást csökkentő intézkedések végrehajtásával, és a CO₂-szint 350 ppm érték alá csökkentésével, amíg ez még megtehető;
- A látogatók figyelmének felkeltésével összpontosítsanak ezekre a veszélyeztető tényezőkre, és a kérdések megválaszolására.

További információk a WAZA 67.2. sürgősségi állásfoglalásáról:

- WAZA statements and resolutions Climate change has been addressed principally by RES 49.1 at the 49th Annual Conference held in Sao Paulo, 1994, by RES 61.4 at the 61st Annual WAZA Conference, held in Leipzig, 2006 and the pre COP-15 communication to world leaders, via UN Secretary General in December 2009; (WAZA Climate change position statement and supporting resolution 65.1 at the 65th annual WAZA conference, 22 October 2010, <http://www.waza.org/en/site/conservation/climate-change>)
- NASA (27 August 2012) Arctic sea ice shrinks to new low in satellite era, <http://www.nasa.gov/topics/earth/features/arctic-seaice-2012.html>

- National Snow and Ice Data Center (NISDC) August 27 2012 Arctic Sea Ice News & Analysis, <http://nsidc.org/arcticseaicenews/>
- AMAP, 2011. Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA): Climate Change and the Cryosphere. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. xii + 538 pp., <http://www.amap.no/swipa/> With briefing video, http://www.youtube.com/watch?v=RTF2LI9g_W4
- Arctic summer sea ice tipping point. 2011 Video briefing featuring Dr's Ted Scambos, Robbie Macdonald, Don Perovich, Mark Serreze and Vladimir Romanovsky., <http://vimeo.com/34547995>
- Anthony et al (2012) Geologic methane seeps along boundaries of Arctic permafrost thaw and melting glaciers. *Nature Geoscience* 5: 419-426., <http://www.nature.com/ngeo/journal/v5/n6/full/ngeo1480.html>
- Barnosky et al (2012) Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature* 486: 52-58., <http://www.nature.com/nature%20journal/v486/n7401/full/nature11018.html>
- DeConto et al (2012) Past extreme warming events linked to massive carbon release from thawing permafrost. *Nature* 484: 87-91., <http://www.nature.com/nature/journal/v484/n7392/full/nature10929.htm>
- Duarte et al (2012) Abrupt Climate Change in the Arctic. *Nature Climate Change* 2: 60–62., <http://www.nature.com/nclimate/journal/v2/n2/full/nclimate1386.html>
- Hansen et al (Submitted) Scientific Case for Avoiding Dangerous Climate Change to Protect young People and Nature. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, <http://pubs.giss.nasa.gov/abs/ha08510t.html>
- Hansen et al (2011) Earth's energy imbalance and implications *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 13421-13449, <http://www.atmos-chem-phys.net/11/13421/2011/acp-11-13421-2011.html>
- Kort et al (2012) Atmospheric observations of Arctic Ocean methane emissions up to 82° north. *Nature Geoscience*, <http://www.nature.com/ngeo/journal/v5/n5/full/ngeo1452.html>
- Koven et al (2011) Permafrost carbon-climate feedbacks accelerate global warming. *PNAS*, <http://www.pnas.org/content/early/2011/08/17/1103910108.full.pdf>
- Isaksen, et al (2011), Strong atmospheric chemistry feedback to climate warming from Arctic methane emissions, *Global Biogeochem. Cycles*, 25, GB2002, <http://www.atmos.washington.edu/academics/classes/2011Q2/558/IsaksenGB2011.pdf>
- Veron, J.E.N. (2011) Ocean Acidification and coral reefs: An emerging big picture. *Diversity* 2011, 3, 262-274, <http://www.mdpi.com/1424-2818/3/2/262/pdf>
- An Iterative Reference List of Climate Change Science, Policy & Related Information. World Association of Zoos and Aquariums, Botanic Gardens Conservation International, Zoological Society of London and IUCN's Conservation Breeding Specialist Group and Climate Change Specialist Group., <http://www.waza.org/en/site/conservation/climate-change>