

## Mitä globaalimuutokset ovat?

Talouden kehittyminen ja luonnonvarojen hyväksikäyttö ovat nopeuttaneet väestön kasvua viimeisten vuosisatojen aikana. Samanaikaisesti luonnontilainen ympäristö on kärsinyt. Ilma, maaperä, vesistöt ja meret ovat saastuneet paikoin laajasti. Savusumu ja happosateet vaivaavat, ilmasto muuttuu, merenpinta nousee ja otsonikato lisääntyy. Näitä muutoksia kutsutaan **globaalimuutoksiksi**, sillä ne vaikuttavat maailmanlaajuisesti ihmiskunnan ja ympäristön tulevaisuuteen.

## Mitä globaalimuutoskenaariot ovat?

Ympäristömuutokset ovat jatkuvia ja monessa tapauksessa kiihtyviä. Ne uhkaavat ihmisten terveyttä ja hyvinvointia, luonnon ekosysteemejä ja monimuotoisuutta, veden laatua ja saatavuutta sekä ruoan ja hyötykasvien tuotantoa. Jotta ympäristömuutoksia ja niitä hidastamaan tarkoitettujen toimenpiteiden vaikutuk-

sia voitaisiin arvioida, on tärkeää tutkia ympäristön tilassa jo esiintyviä muutoksia ja ennakoita niiden suuntaa. Koska pääosa ympäristömuutoksista on vahvasti kytkeytynyt sosio-ekonomiseen kehitykseen, on välttämätöntä ensin tutkia sen mahdollisia muutoksia tulevaisuudessa. Luotettavia tulevaisuuden ennusteita on mahdotonta laatia, sillä ihmisen käyttäytymisen arvioihin liittyy aina suurta epävarmuutta. Tämän vuoksi usein laaditaan skenaarioita, jotka kuvaavat mahdollisia tilanteita tulevaisuudessa. *Kuva 1.* esittää ympäristömuutoksia aiheuttavien tekijöiden välisiä vuorovaikutuksia.

## Mitä skenaarioita FINSKENissä kehitetään?

Sosio-ekonomisesta kehityksestä annetuilla oletuksilla voidaan siis laskea mahdollisia kasvihuonekaasujen ja aerosolien päästöskenaarioita. Näiden avulla arvioidaan ilmakehän kaasujen ja hiukkasten pitoisuudet sekä niiden vaikutukset maapallon säteilytasapainoon, ilmastoon ja edelleen merenpinnan korkeu-

## Mikä FINSKEN on?

- **FINSKEN on tutkimusprojekti, joka kuuluu globaalimuutoksen tutkimusohjelmaan FIGARE.**
- **Projektin virallinen nimi on ”Yhdenmukaisten globaalimuutoskenaarioiden kehittäminen Suomelle”.**
- **FINSKEN -projekti alkoi lokakuussa 1999 ja päättyy syyskuussa 2002.**
- **Projektin rahoittajina ovat Suomen Akatemia, 67 % ja liikenne- ja viestintäministeriö 33 %.**

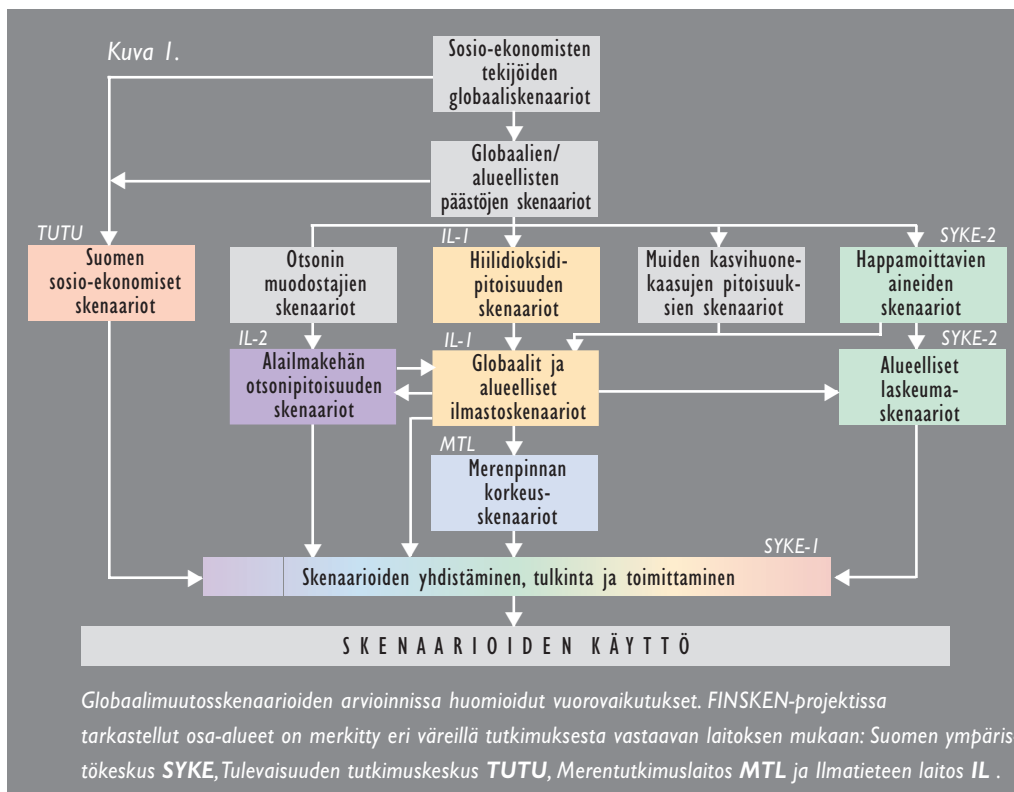
teen. Jokaiseen vaiheeseen sisältyy kuitenkin epävarmuutta ja skenaariot tulee kehittää niin, että kunkin laskentavaiheen epävarmuus on näkyvissä.

FINSKEN -projektin tavoitteena on kehittää uusimman tiedon mukaisia skenaarioita Suomen ympäristön muutoksista ja niihin liittyvistä tekijöistä vuoteen 2100 asti ja jopa pidemmälle. Projektissa tarkastellaan muutoksia sellaisissa ympäristössä kuvaavissa keskiarvoissa kuin vuotuisessa keskilämpötilassa tai merenpinnan korkeudessa. Lisäksi kiinnitetään huomiota poikkeuksellisten ilmiöiden – mm. lämpimät ja kylmät jaksot, kuivuudet, tulvat – esiintymistiheyden ja voimakkuuden mahdollisiin muutoksiin.

## Kehitetyt skenaariot ovat:

- **Sosio-ekonomiset ja teknologiset skenaariot**
  - väestö • taloudellinen kasvu
  - ihmisten hyvinvointi • päästöt
- **Ilmakehän koostumuksen skenaariot**
  - hiilidioksidi • otsoni
  - rikki- ja typpiyhdisteet
- **Happamoittavan laskeuman skenaariot**
- **Ilmastoskenaariot**
  - lämpötila • sadanta • ilmakehän liikkeet
- **Merenpinnan korkeuden skenaariot**

Esimerkkejä skenaarioista seuraavilla sivuilla.



## Miten FINSKEN -skenaariot eroavat muista globaali-muutoskenaarioista?

Yksi FINSKEN -projektin keskeisistä tavoitteista on, että kehitettävät skenaariot ovat keskenään yhteensopivia. Perinteisesti monia ympäristömuutoksia on tutkittu erikseen, vaikka ne liittyvät kiinteästi toisiinsa – esimerkiksi ilmastomuutos voi vaikuttaa happamaan laskeumaan. Yksi tapa sovittaa skenaariot toisiinsa on johtaa ne samoista sosio-ekonomisista lähtökohdista. Koska ympäristömuutokset ovat maailmanlaajuisia, skenaarioiden tulisi olla yhdenmukaisia kansainvälisesti hyväksytyjen ennusteiden kanssa. FINSKENissä nämä tavoitteet saavutetaan, kun käytetään hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin IPCC päästöskenaarioiden erityisraportissaan SRES äskettäin julkaisemia skenaarioita.

## Sosio-ekonomiset skenaariot



### Tutkimusryhmä

Markku Wilenius

Jari Kaivo-oja

Puhelin: (02) 3383 530

Faksi: (02) 2330 755

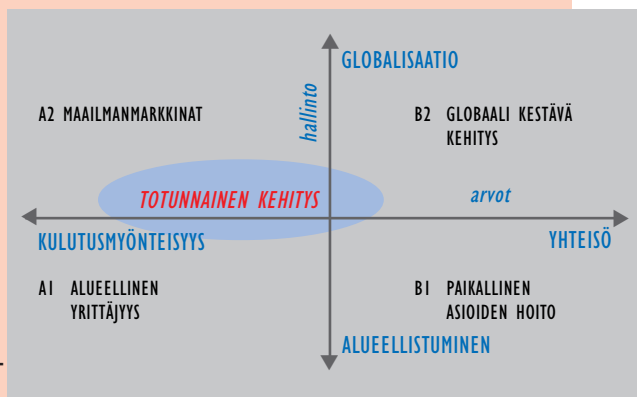
markku.wilenius@tukkk.fi

Globaaliskenaariot sosio-ekonomiselle ja teknologiselle kehitykselle kuvaavat erilaisia vaihtoehtoja tulevalle kehitykselle. Kuva 2.

Jotkut skenaariot kuvaavat lisääntyvää globalisaatiota ja toiset lisääntyvää alueellista ja paikallista päätöksentekoa. Joissakin skenaarioissa oletetaan kulutusmyönteisyyden lisääntyvän, kun taas toisissa korostetaan yhteisöllisyyden merkitystä.

Miten näitä skenaarioita on tulkittava kansallisella tasolla Suomessa? Ovatko ne yhdenmukaisia päätöksenteossa käytettyjen virallisten väestökehityksen ja ekonomisten skenaarioiden kanssa?

Suomen sosio-ekonomiset skenaariot kehitetään Tulevaisuuden tutkimuskeskuksessa Turussa (TUTU).



Kuva 2.

Neljä alueellista tulevaisuuden skenaariota.

Lähde: UK-DETR, 1999 mukaan.

## Hiilidioksidi ja ilmastoskenaariot

Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus nousi nopeasti viime vuosisadan aikana fossiilisten polttoaineiden käytön sekä maankäytön muutosten takia. Voidaanko nykyisen kehityssuunnan olettaa jatkuvan? Minkälaisia pitoisuuksia voidaan tulevaisuudessa odottaa? Joitakin aikaisempia arvioita on esitetty kuvassa 3.

Lämpötilan vuotuinen keskiarvo Suomessa on kohonnut hiukan viimeisen vuosisadan aikana. Kuva 4. Kiihtyvä lämpeneminen tulevaisuudessa ilmakehän hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kohotessa? Suomalaisessa ilmakehänmuutosten tutkimusohjelmassa SILMU kehitettiin joitakin projektioita 21. vuosisadalle, mutta pitävätkö ne vielä paikkansa? Kuinka muut säätekijät, kuten sademäärä ja pilvisuus, tulevat muuttumaan? Esiintyykö tulevaisuudessa nykyistä enemmän sään ääri-ilmiöitä? Kuva 4.

CO<sub>2</sub>-pitoisuuksia ja alueellisia ilmastomuutoskenaarioita tutkitaan Ilmatieteen laitoksella (IL-1).

### Tutkimusryhmä

Heikki Tuomenvirta

Kirsti Jylhä

Puhelin: (09) 19291

Faksi: (09) 1929 4129

heikki.tuomenvirta@fmi.fi



Kuva 3.

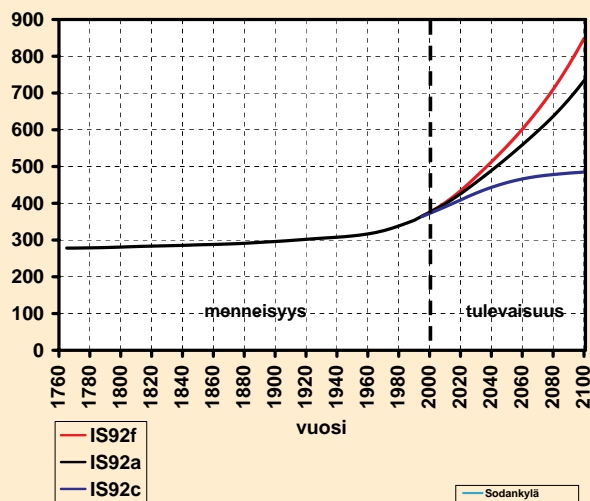
Maapallon ilmakehän hiilidioksidipitoisuus 1765 - 2100. Vuotta 1958 edeltävältä ajalta arvot on määritetty jääkairauksilla, arvot välillä 1958 - 1995 ovat suoraan ilmasta mitattuja ja pitoisuudet vuodesta 1995 eteenpäin on arvioitu MAGICC-mallilla IS92a, IS92c ja IS92f päästöskenaarioita käyttäen.

Lähde: Carter ym., 1996.

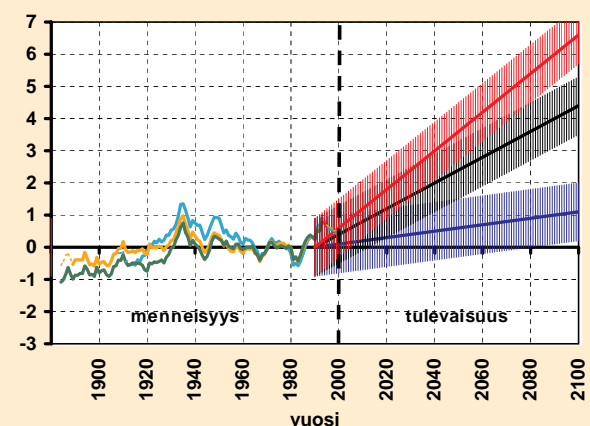
Kuva 4.

Lämpötilan vuosikeskiarvot Suomessa vuosina 1884 - 2100. Havainnot ovat 10 vuoden liukuvia keskiarvoja Sodankylässä (vuodesta 1908), Jyväskylässä ja Helsingissä (aineisto Ilmatieteen laitokselta). Tulevaisuuden skenaariot vuodesta 1990 eteenpäin kuvaavat koko Suomen vuotuista keskilämpötilaa (Carter ym., 1996). Varjostettu alue kuvaa vuosikymmenen keskilämpötilassa esiintynyttä vaihtelua ( $\pm 2SD$ ). Arvot on suhteutettu vuosien 1961 - 1990 keskilämpötilaan.

### CO<sub>2</sub> -pitoisuus (ppm)



### Vuotuinen keskilämpötilan poikkeama (C°)



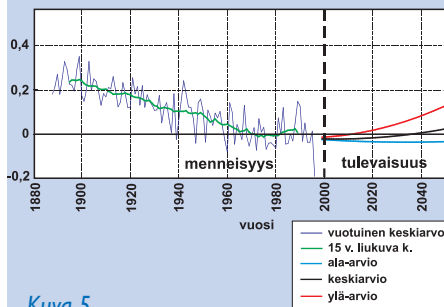
## Merenpinnan korkeuden skenaariot

Valtamerien pinta on noussut keskimäärin 10 - 15 cm viime vuosisadan aikana, mutta Suomessa maa on kohonnut tätä nopeammin ja meriveden pinta on laskenut maan suhteen. *Kuva 5.* Viime vuosikymmeninä tämä vedenpinnan suhteellinen aleminen on Etelä-Suomessa kuitenkin pysähtynyt ja muuallakin Suomessa hidastunut, koska Itämeren pinta on noussut nopeammin kuin aikaisemmin. Vastaavaa nousun kiihtymistä ei ole nähtävissä Atlantin rannikolla ja ilmiön oletetaan liittyvän Itämeren vesimäärään vaikuttavan tuuli-ilmaston muuttumiseen.

Aikaisempien ennusteiden mukaan valtamerien pinnan nousun kiihtyminen pysäyttäisi laskevan trendin Etelä-Suomen rannikoilla ja vedenpinta saattaisi jopa nousta. *Kuva 5.* Pitävätkö nämä ennusteet edelleen paikkansa? Miten ilmanpaineen tai myrskyjen intensiteetin muutokset tulevaisuudessa vaikuttavat rannikkoalueiden riskiin jäädä meren alle?

Merenpinnan korkeuden muutoksia tutkitaan Merentutkimuslaitoksella (MTL).

### Merenpinnan korkeus Hangossa (m)



*Kuva 5.*

Merenpinnan korkeus Hangossa, Etelä-Suomessa, 1888 - 2050, suhteutettuna vuosiin 1966 - 1980. Vuoteen 1997 asti arvot ovat vedenkorkeusmittausten vuosikeskiarvoja ja 15 vuoden liukuvia keskiarvoja. Ennusteet vuoteen 2050 olettavat maankohoamisen jatkuvan vakionopeudella ja samanaikaisesti valtameren pinnan nousevan IPCC:n (Warrick ja Oerlemans, 1990) business-as-usual päästöskenaariion mukaisesti - yläarvio, keskiarvio ja ala-arvio.

Lähde: Kahma, 1997.

### Tutkimusryhmä

Kimmo Kahma  
Jouko Launiainen  
Milla Johansson  
Puhelin: (09) 6139 41  
Faksi: (09) 6139 4494  
[kimmo.kahma@fimr.fi](mailto:kimmo.kahma@fimr.fi)



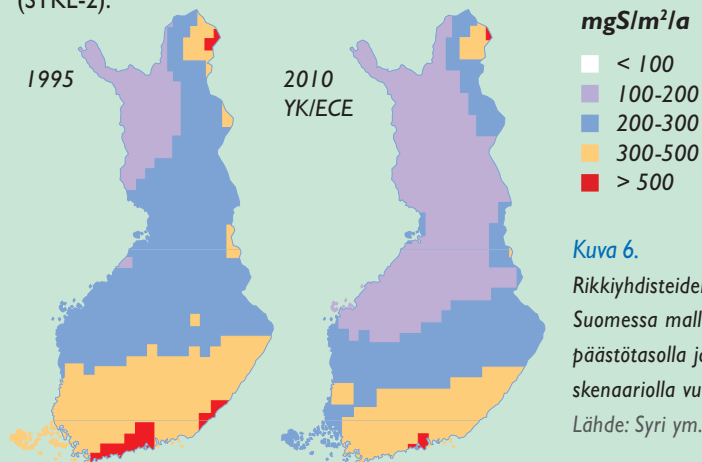
## Happamoittavien aineiden skenaariot



Rikki- ja typpiyhdisteiden päästöjen vähentämiseksi tehtyjen päätösten odotetaan vähentävän laskeumaa ja siten ekosysteemiä happamoittavaa kuormitusta Suomessa.

*Kuva 6.* Jatkuvatko nämä trendit kaikilla happamoittavilla yhdisteillä myös vaihtoehtoisilla päästöskenaarioilla? Kuinka paljon ilmastomuutoksen aiheuttamat mahdolliset ilmanvirtausten muutokset vaikuttavat yhdisteiden kulkeutumiseen?

Laskeumaskenaarioiden kehitystä tutkitaan Suomen ympäristökeskuksessa (SYKE-2).



mgS/m<sup>2</sup>/la

- < 100
- 100-200
- 200-300
- 300-500
- > 500

*Kuva 6.*

Rikkiyhdisteiden kokonaislaskeuma Suomessa mallinnettuna vuoden 1995 päästötasolla ja päästövähennys-skenaariolla vuodelle 2010.

Lähde: Syri ym., 1999; UNIECE, 1999.

## Alailmakehän otsonin pitoisuus- ja altistusskenaariot



Alailmakehän otsonipitoisuudet ovat kohonneet 1900-luvulla. *Kuva 7.* Otsonille altistumisen arvellaan vähentäneen kasvien tuottavuutta ja viljasatoja.

Miten alailmakehän otsonitaso arvioidaan muuttuvan eri päästöskenaarioiden myötä? Kuinka ilmastomuutos vaikuttaa otsonipitoisuuksiin ja kasvillisuuden herkkyyteen otsonialtistukselle?

Alailmakehän otsoni on Ilmatieteen laitoksen tutkimuskohteena (IL-2).

*Kuva 7.*

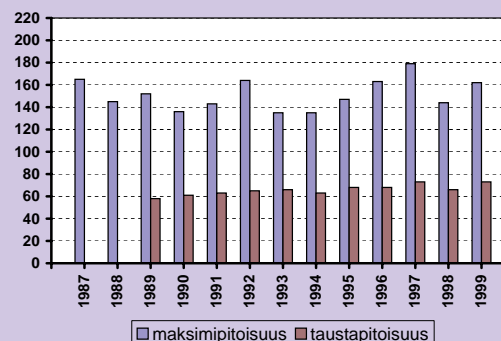
Otsonin vuotuiset maksimi- ja taustapitoisuudet Utössä, Suomessa vuosina 1987 - 1999. Taustapitoisuus on puhtaiden päivien (nitraatin kokonaispitoisuus alle 0,1 g(N)/m<sup>3</sup>) otsonipitoisuuksien vuosimediaan. Taustapitoisuudet puuttuvat vuosilta 1987 - 1988, koska nitraattiarvoja ei tuolta ajalta ole saatavilla.

Lähde: Laurila ja Hakola, 1999.

### Tutkimusryhmä

Tuomas Laurila  
Virpi Lindfors  
Juha-Pekka Tuovinen  
Mika Aurela  
Puhelin: (09) 19291  
Faksi: (09) 1929 5403  
[tuomas.laurila@fmi.fi](mailto:tuomas.laurila@fmi.fi)

### Otsonipitoisuudet Utössä (µg/m<sup>3</sup>)





## Skenaarioiden yhdistäminen

Valittujen päästöskenaarioiden vaikutuksia ympäristömuutokseen voidaan tutkia monin menetelmin. Näihin kuuluu yleensä matemaattisia malleja – jotkut hyvin yksinkertaisia, toiset monimutkaisia – mutta usein tarvitaan myös asiantuntijoiden arvioita. Näitä kaikkia tietolähteitä käytetään FINSKENissä. Lisäksi käytetään yhdennettyjä arviointimalleja, jotka kuvaavat erilaisten ympäristömuutosten välisiä vuorovaikutuksia ja takaisinkytkentöjä. Näiden avulla varmistetaan skenaarioiden yhteensopivuus.

Hankkeessa tehty skenaarioiden laadintamien kehitystyö ja tulokset raportoidaan kansainvälisissä julkaisuissa ja tieteellisissä aikakauslehdissä. Skenaario- ja tausta-aineisto löytyy myös FINSKEN-projektin Internet-sivuilta. Lisäksi järjestetään tilaisuuksia, joissa esitellään skenaarioita ja saadaan käyttäjiltä palautetta niiden kehittämiseen.

Suomen ympäristökeskus koordinoi FINSKEN-projektia (SYKE-I).

### Tutkimusryhmä

Timothy Carter • projektin vetäjä

Ilona Bärlund

Johanna Rissanen

[tim.carter@vyh.fi](mailto:tim.carter@vyh.fi)

Projektin hallinnointi

[johanna.rissanen@vyh.fi](mailto:johanna.rissanen@vyh.fi)

Puhelin: (09) 403000

Faksi: (09) 40300 390

Osoite

Suomen ympäristökeskus

Kesäkatu 6 • PL 140 • 00251 HELSINKI

FINSKEN -internet sivut löytyvät osoitteesta

<http://www.vyh.fi/tutkimusilmakehal/finsken>

## Kirjallisuusviitteet

Carter, T. R., M. Posch ja H. Tuomenvirta, 1996:

The SILMU scenarios: specifying Finland's future climate for use in impact assessment. *Geophysica*, 32, s. 235-260.

Kahma, K., 1997:

Matalan veden vuosi Suomen rannikolla. Merentutkimuslaitos vuosikertomus 1996, 10-11.

Laurila, T. ja H. Hakola, 1999:

Ozone trends and source analysis of VOCs at the Finnish background stations.

In: Proceedings of EUROTRAC Symposium '98, I [Borrell, P. M. ja P. Borrell (toim.)], WIT Press, Southampton, s. 260-263.

Syri, S., M. Johansson, J. Grönroos ja M. Ekqvist, 1999:

Assessing the effects of national and international energy scenarios and emission reduction strategies on acidification in Finland. *Environmental Modeling and Assessment*, 4 s. 103-113.

UK-DETR, 1999:

Socio-Economic Scenarios for Climate Impact Assessment. Report produced for the United Kingdom Department of Environment, Transport and the Regions, Lontoo, Iso-Britannia, 81 s.

UN/ECE (YK/Euroopan talouskomissio), 1999:

Protocol to the 1979 Convention on long-range transboundary air pollution to abate acidification, eutrophication and ground-level ozone. UN/ECE Document EB/AIR/1999/1.YK, New York, Geneva.

Warrick, R. ja J. Oerlemans, 1990:

Sea level rise. In: *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment* [Houghton, J. T., G. J. Jenkins ja J. J. Ephraums (toim.)]. Cambridge University Press, Cambridge, s. 257-281.

Julkaisija Suomen ympäristökeskus

Toimittaja Timothy Carter

Painopaikka Miktor

Paperi suomalainen Joutsen-merkkinen

Tilaukset Suomen ympäristökeskus

Kesäkatu 6

PL 140, 00251 HELSINKI

Puhelin: (09) 403000

Faksi: (09) 40300 390

Sähköposti [johanna.rissanen@vyh.fi](mailto:johanna.rissanen@vyh.fi)



441 194  
Painotuote