

Samuli Aho & Jari Kaivo-oja

INTIAN JA KIINAN HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN TULEVAISUUS 2020

Ympäristotaloudellisen Kuznets-
käyräteorian testaus ja ennusteisiin
tähtäävä aikasarja-analyysi

TULEVAISUUDEN TUTKIMUSKESKUS

Tutu eJulkaisu 8/2015



Turun yliopisto
University of Turku

Kirjoittajat:

Samuli Aho, tutkija

Turun yliopisto

samuliahho563(a)gmail.com

Tämä tutkimus liittyy Samuli Ahon opiskeluiden yhteydessä tekemään harjoitustyöhön Turun yliopistossa.

Jari Kaivo-oja, tutkimusjohtaja, dosentti, HTT, YTM

Tulevaisuuden tutkimuskeskus, Turun kauppakorkeakoulu, Turun yliopisto

jari.kaivo-oja(a)utu.fi

Jari Kaivo-oja on työskennellyt Kiinan tiedeakatemian (CASS) tutkimusryhmän kanssa yhteistyössä Suomen Akatemian rahoittamassa CHEC-hankkeessa (2010–2014) ja erikoistunut kestäväen kehityksen ja globaali-talouden tutkimukseen.

Kirjoittajat kiittävät erikoistutkija Tadhg O'Mahonya abstraktin kielentarkastuksesta.

Copyright © 2015 Aho, Kaivo-oja & Tulevaisuuden tutkimuskeskus & Turun yliopisto

ISBN 978-952-249-399-6

ISSN 1797-1322

Tulevaisuuden tutkimuskeskus

Turun kauppakorkeakoulu

20014 TURUN YLIOPISTO

Käyntiosoite: Rehtorinpellonkatu 3, 20500 TURKU

Korkeavuorenkatu 25 A 2, 00130 HELSINKI

Yliopistonkatu 58 D, 33100 TAMPERE

Puh. (02) 333 9530

utu.fi/ffrc

tutu-info@utu.fi



SISÄLLYSLUETTELO

SUMMARY.....	4
1. JOHDANTO	5
2. YMPÄRISTÖTALOUDELLINEN KUZNETS-KÄYRÄTEORIA	7
3. TUTKIMUSAINEISTO JA AIKASARJA-ANALYYSI.....	9
Tutkimusaineisto	9
Mallin määrittely.....	11
Mallin estimointi- ja diagnosointivaihe.....	13
Ennusteiden tekeminen.....	14
Aikasarja-analyysin mahdolliset ongelmat.....	15
4. SAADUT TUTKIMUSTULOKSET KIINAN JA INTIAN OSALTA.....	16
Aikasarjamallit.....	16
Saadut ennusteet tulevasta hiilidioksidipäästöjen kehityksestä.....	17
5. JOHTOPÄÄTÖKSET	22
LÄHTEET	23

SUMMARY

The goals of this study were twofold; to analyse the historical development of both China and India's carbon dioxide emissions from 1981–2010, and secondly to make future projections until the year 2020. The theoretical starting point was empirical analysis of the statistical relationship between CO₂ emissions and gross domestic product (GDP) per capita to determine the existence of an Environmental Kuznets Curve (EKC). The key scientific finding was that in both the Chinese and Indian economies the EKC hypothesis does not hold for CO₂, with both countries on the left hand side of an inverted U-curve.

According to application of the EKC theory, in the early stages of economic growth CO₂ would first increase rapidly due to less efficient economic production and infrastructure. In the second stage, the impact of economic growth on the environment stalls as the economy graduates from agrarian to an industrialised economy and finally towards one that is service-based. In the third post-industrial stage, a service based economy develops and investments are made in research and development to further decrease environmental pressures. At the same time, older more pollutant intensive technology is exchanged for cleaner equivalents. As a result, pollution per capita declines even as GDP per capita continues to grow.

The statistical study was performed using a conventional ARIMA time series analysis employing World Bank data. Empirical investigation of the EKC hypothesis revealed that in both China and India the existence of an EKC is not supported in the case of CO₂ emissions. In addition, we can predict that CO₂ will continue to increase as GDP grows in the future. According to the ten year forecast to 2020, the growth in CO₂ emissions appears to be a rather alarming political and economic issue for China. In comparison, Indian CO₂ emissions per capita do not grow so much. Our ARIMA model based prediction is that in 2020, Chinese CO₂ emissions will be 12.57 tons per capita, with India at 2.54 tons per capita. Chinese CO₂ emissions per capita are therefore expected to be about 5 times higher than those of India.

We conclude that in both the cases of China and India, market mechanisms alone will not be sufficient to deliver a reduction in CO₂ emissions. In these two pivotal developing countries within global mitigation efforts, legislation and policy, support systems and incentive mechanisms will be needed to guide these economies to a more sustainable development path.

1. JOHDANTO

Maapallon lämpeneminen on erittäin suuri huolenaine nykypäivänä. Tähän ilmiöön on osaltaan syynä kasvihuonekaasupäästöjen kasvu ilmakehässä. Niiden pitoisuudet ovatkin kasvaneet noin 40 % 1800-luvun puolivälin tilanteeseen verrattuna (IEA 2013) ja ne kasvavat edelleen useissa kehitysmaissa. Maapallon kasvihuonepäästöihin vaikuttaa osaltaan ilmaston muutos, koko ekosysteemi ja sosiaaloudellinen järjestelmä. Kasvihuonekaasuista merkittävin on kuitenkin hiilidioksidipäästöt, 76,7 % (näistä noin 56,6 % tulee fossiilisista polttoaineista, 17,3 % metsänhävityksestä ja 2,8 % muista lähteistä) (Robalino-Lopez ym. 2015). Hiilidioksidipäästöihin vaikuttavat useat tekijät kuten taloudellinen kehitys, väestönkasvu, teknologian muutos, institutionaaliset rakenteet, liikenteen kuljetusmallit, kulutuskeskeinen elämäntyyli ja kansainvälinen kauppa (Alcántara ja Padilla 2005; IPCC 2013). Vaikka kasvihuonepäästöt saataisiin kuriin, niin *The Basis on Natural Science* -paneeli on ennakoanut, että maapallon keskilämpölämpötila nousee 2–3 astetta, jolla taas on maapallon bruttokansantuotteelle 5–10 % ja kehitysmaiden bruttokansantuotteille 10 % negatiivinen vaikutus (Lin ja Jiang 2009).

Käynnissä olevan huolestuttavan kehityksen pysäyttämiseksi ja kehityksen kääntämiseksi parempaan suuntaan on ehdotettu ympäristöä säästävää teknologian käyttöönottoa, energiatehokkuuden tehostamista, energian säästämistä, alueiden uudelleen metsittämistä ja vesistöjen puhdistamista (Bolük ja Mert (2014). Yli 100 valtiota on määrittänyt tavoitteekseen päästöjen vähentämisen uusiutuvan energian avulla. Uusiutuvan energian kehittämiseen on panostettu kaikkialla maailmassa markkinaperusteisesti (esim. päästölupien avulla) ja sääntelyn voimin. Näinä markkinoiden säätelykeinoina eri maiden hallitukset ovat käyttäneet vihreitä sertifikaatteja, tariffimaksuja, bonuksia, investointikannustimia, verovähennyksiä sekä maksuhuojennuksia (Bolük ja Mert 2014).

Munasinghen (1995) havainnon mukaan jos nykyinen kehitys ja suotuista ympäristöpolitiikka jatkuu, niin käänteisestä U-käyrästä voi tulla matalampi, jolloin saavutamme saastumisen käännekohtan aikaisemmin kuin olemme olettaneet. Tämän suuntainen käänös parempaan edellyttää onnistumista ympäristöpolitiikassa.

Talouden kasvun ja energian kulutuksen yhteyttä sekä talouden kasvun ja ympäristön saastuttamisen välistä yhteyttä on tutkittu enenevässä määrin viimeaikoina vaihtelevin tuloksin. Tämä tutkimus jakautuu tyypiltään kolmeen eri muotoon (Zhang ja Cheng 2009).

Ensimmäinen tutkimussuuntaus keskittyy ympäristön saasteisiin ja talouden kasvuun väliseen yhteyteen Kuznets-käyrän avulla. Kyseessä on käänteisen U-käyrän muotoinen yhteys ympäristön saastumisen ja vaurauden kasvun välillä eli toisin sanoen ympäristön saastuminen ja tulot kasvavat per henkilö talouden kasvun alkuvaiheessa ja yhteiskunnan saavutettuaan tietyn tulotason saastuminen alkaa

lopulta volyymiltaan laskea tulojen jatkaessa kasvuaan. Tätä ovat tutkineet mm. Luzzati ja Orsini 2009, Stern 2004, Dinda 2004, Al-Mulali ym. 2015, Halicioglu 2009 sekä Acaravci ja Ozturk 2010.

Toinen tutkimussuunta liittyy energian kulutukseen ja tuotokseen. Tässä tutkimussuuntauksessa tutkitaan energian kulutuksen ja taloudellisen kasvun välistä kausaalista suhdetta eli tällöin selvitetään kumpi tutkittava tekijä aiheuttaa kumman. Tätä asiaa ovat tutkineet mm. Ozturk (2010), Apergis ja Payne (2009a), Payne (2010) ja Lau ym. (2011).

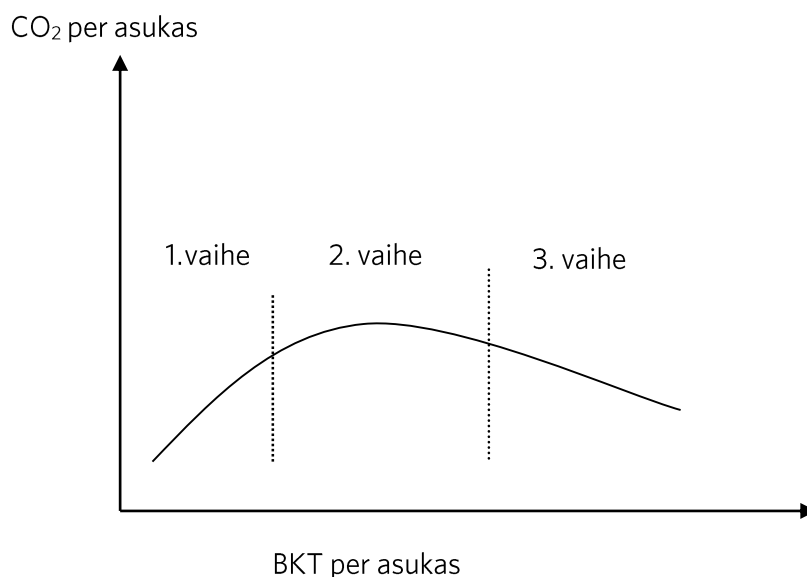
Kolmas tutkimussuuntaus yhdistää kaksi edellä mainittua tutkimussuuntausta ja tutkii dynaamista yhteyttä ympäristön saastumisen, talouden kasvun ja energian kulutuksen välillä. Tätä tutkimussuuntausta ovat edustaneet tutkimuksissaan mm. Zhang ja Cheng (2009), Halicioglu (2009), Apergis ja Payne (2009b, 2010), Richmond ja Kaufman (2006), Soytaş ym. (2007), Pao ja Tsai (2011), Ozturk ja Uddin (2012), Shahbaz ym. (2014), Ozturk ja Acaravci (2010), Acaravci ja Ozturk (2010).

Tämä empiirinen tutkimus sijoittuu edellä mainitussa talouden kasvun ja ympäristön välisessä tutkimuksessa ensimmäiseen kategoriaan, ja tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään pitääkö ympäristötaloudellinen Kutzets-käyräteoria paikkansa aikasarja-analyysin avulla Kiinan ja Intian osalta ja jos kyseinen teoria ei pidä niin selvitetään, millainen kyseinen yhteys todellisuudessa on. Lisäksi tässä tutkimuksessa tehdään kyseisten maiden osalta ennusteita saadun aikasarja-analyysimallin avulla tulevaisuuteen.

Tutkimus etenee seuraavasti, kappaleessa kaksi esitellään hiilidioksidipäästöjen ja talouden kasvun välinen teoria. Kappaleessa kolme kuvataan käytetty aineisto ja tutkimusmenetelmäksi valittu aika-sarja-analyysi sekä käsitellään menetelmän etuja ja ongelmia. Kappaleessa neljä esitellään analyysin tulokset ja saadut ennusteet. Kappaleessa viisi tehdään tutkimuksesta johtopäätökset.

2. YMPÄRISTÖTALOUDELLINEN KUZNETS-KÄYRÄTEORIA

Usein oletetaan, että hiilidioksidipäästöjen ja talouden välisen yhteyden on oletettu olevan ainoastaan positiivinen eli talouden kasvaessa myös hiilidioksidipäästöt kasvavat (Robalino-López ym. 2015). Tästä vallitsevasta teoriasta poikkeavan käsityksen esitti 1990-luvulla Shafik ja Bandyopadhyay (1992), Panayotoy (1993) sekä Grossman ja Krueger (1995), joiden mukaan ns. Kuznets-käyrä kuvaa talouden kehitysvaiheen ja päästöjen (tässä tutkimuksessa hiilidioksidipäästöjen) välistä yhteyttä neliömuotoisella eli käänteisellä U-käyrällä. U-käyräteorian mukaan bruttokansantuotteen asukasta kohden kasvaessa, kasvavat myös ympäristöön kohdentuvat paineet ja saastuminen (hiilidioksidipäästöt per asukas), kunnes saavutetaan ympäristön saastumisen maksimikäänneaste. Tämän jälkeen hiilidioksidipäästöt alkavatkin laskea bruttokansantuotteen jatkaessa kasvamistaan. Taloudellisen kasvun ja hiilidioksidipäästöjen välinen yhteys esitetään tässä teoriassa pääasiassa energian käytön, uusiutuvien energialähteiden ja tuotantosektorin kautta. (Robalino-López ym. 2015). Hiilidioksidipäästöjen ja bruttokansantuotteen välinen yhteys jakautuu siis kolmeen kehitysvaiheeseen (ks. Kuva 1):



Kuva 1. Hiilidioksidipäästöjen ja bruttokansantuotteen välinen yhteys ympäristötaloudellisen Kuznets-käyräteorian mukaan.

1. vaihe: Esiteollisessa eli yhteiskunnan talouden kehityksen alkuvaiheessa hiilidioksidipäästöjen kokoluokka kasvaa, talous on pääomaintensiivistä ja sen kasvussa *skaalavaikutus* on vallitseva, tähän vaikutukseen on syynä teollisuuden alkeellisuus, tuottamattomuus ja saastuttavuus. (ks. Robalino-López

ym. 2015). Tässä kehitysvaiheessa oleville yhteiskunnille voivat olla ominaista myös heikko omistajan-
suoja ja huono yhteiskunnallinen lakijärjestelmä, heikko yhteiskunnallinen järjestys sekä diktatuurimai-
nen hallintomuoto (Apergis ja Ozturk 2015).

2. vaihe: Teollisessa vaiheessa talouden vaikutus ympäristöön vähenee ja lopulta pysähtyy *rakenteelli-*
sen ja kompositiovaikutuksen johdosta. Tällöin talouden rakenteissa tapahtuu muutoksia eli siirtymistä
maatalousvaltaisesta taloudesta tuotanto- ja palveluperusteiseen talouteen (Robalino-López ym.
2015).

3. vaihe: Jälkiteollisessa talouskehityksen vaiheessa valtio panostaa erityisesti tutkimukseen ja kehit-
tämiseen. Samaan aikaan vanhanaikainen ja ympäristöä likaava teknologia vaihdetaan yrityksissä ja
valtion infrastruktuureissa puhtaampaan vastaavaan teknologiaan. Näiden toimien seurauksena ymp-
äristön saastuminen vähenee bruttokansantuotteen edelleen jatkaessa kasvuaan (Robalino-López
ym. 2015). Talouden kasvun aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä vähentävät myös paremmin toimivat yh-
teiskunnalliset instituutiot kuten esimerkiksi vallitseva laki ja järjestys ja siihen pohjautuva yhteiskun-
nallinen luottamus. Menegakin (2013) mukaan kansantalouksissa, joilla on merkittäviä uusiutuvia
energiavaroja käytössä, ovat tehokkaimpia energiatalouden maita Euroopassa. Poliittisella ympäris-
töllä ja institutionaalisilla mekanismeilla on siis keskeinen rooli talouden kyvyssä omaksua aikaisempaa
ympäristöystävällisempi toimintatapa. Sillä on myös havaittu olevan merkitystä, edustaako hallinto
vain harvoja yhteiskunnassa (yhteiskunnan eliittiä) vai koko väestöä. Omistusoikeuksien selvillä mää-
rittelyillä on havaittu myös olevan selvä yhteys ympäristöystävällisempään talouden kasvuun (ks. Aper-
gis ja Ozturk 2015).

Kuznets-käyrän teoriassa on siis kyse siitä, aiheuttaako taloudellinen kasvu ympäristölle lisää saastu-
mista vai vähentääkö talouden kasvu sitä lopulta (Luzzati ja Orsini 2009) eli toisin sanoen kykeneekö
kansantalous lopulta itse hoitamaan aiheuttamansa ympäristöongelman ilman sen lisäsääteilyä tai mui-
den puuttumista kansantalouden toimintaan.

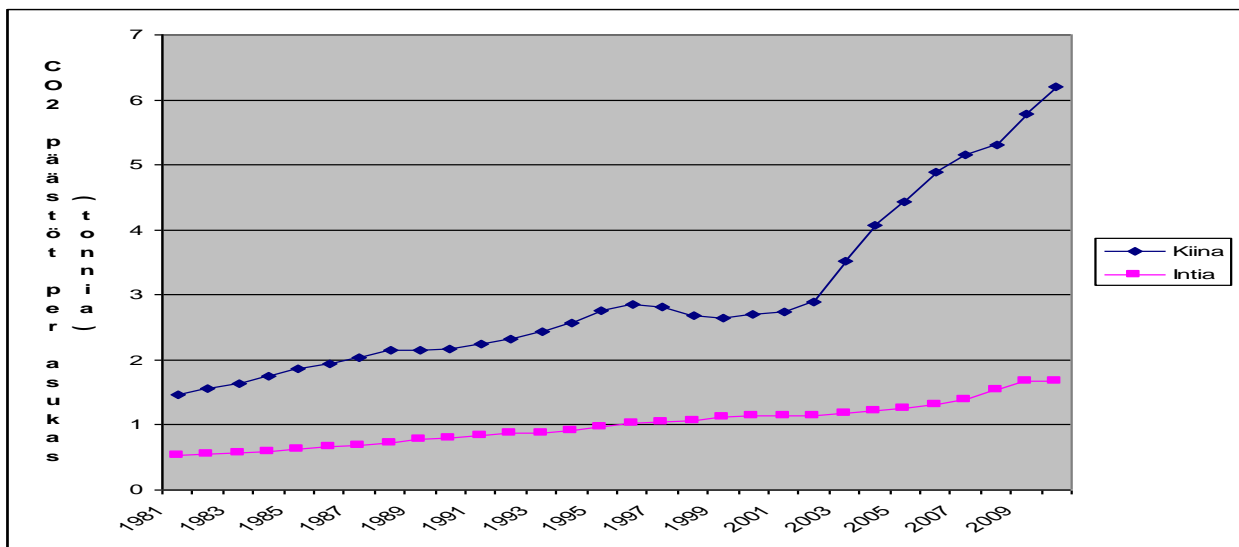
Tutkimuksissa on havaittu Kuznets-käyrällä olevan myös muunlaisia mahdollisia muotoja kuin kään-
teinen U-muoto kuten normaali U-muoto (Chimeli ja Braden 2005; Ozcan 2013), kuutio eli N-muoto
(Friedl ja Getzner 2002; Onafowora ja Owoye 2014) tai S-muoto (Friedl ja Getzner 2002). Toisaalta
osa tutkimuksista ei ole löytänyt yleistä tieteellistä vahvistusta ympäristötaloudelliselle Kuznets -käy-
räteorialle (ks. Shafik 1994; Cole ym. 1997; de Bruyn ym. 1998; Roca ym. 2001; Coondoo ja Dinda
2008).

3. TUTKIMUSAINEISTO JA AIKASARJA-ANALYYSI

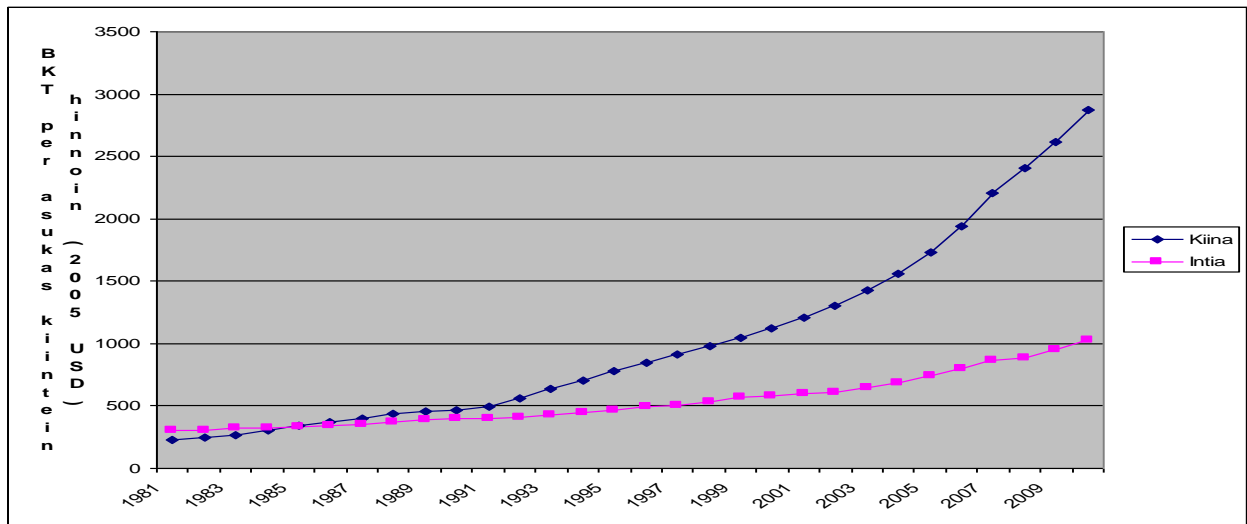
Seuraavaksi esitellään käytetty tutkimusaineisto ja tutkimusmenetelmä. Tässä osiossa keskitytään käsittelemään tutkimusaineiston ominaisuuksia sekä tutkimusmenetelmän toteuttamisen vaiheita, etuja ja mahdollisia menetelmällisiä ongelmia.

Tutkimusaineisto

Tutkimusaineisto on peräisin Maailmanpankin (Worldbank 2015) datakannasta. Kuznets- käyrähypoteesin testaukseen valittiin maiksi globaalitaloudessa merkitystään kasvattaneet Kiina ja Intia, koska niillä on erittäin suuri vaikutus jo kokonsa puolesta maailman tuleviin hiilidioksidipäästöihin. Tutkimusaineistoksi valittiin siten Kiinan ja Intian hiilidioksidipäästöt per asukas (tonnia) vuosina 1981–2010 ja kyseisten maiden vastalta ajanjaksolta olevat BKT per asukas luvut kiintein hinnoin (2005 USD) (Kuvat 2 ja 3).



Kuva 2. Kiinan ja Intian hiilidioksidipäästöt per asukas (tonnia) vuosina 1981–2010.



Kuva 3. Kiinan ja Intian bkt per asukas kiintein hinnoin (2005 USD) vuosina 1981–2010.

Kiinan ja Intian hiilidioksidipäästöt per asukas (tonnia) näyttävät kummankin maan osalta kasvavan lähes tasaisesti, tosin pientä vähennystä tapahtui Kiinan osalta vuosien 1997–2001 välisenä aikana, jonka jälkeen huolestuttava kasvukehitys vahvistui Kiinassa vuodesta 2003 lähtien. BKT per asukas kasvoi tasaisesti kummankin maan osalta, tosin selvästi voimakkaampaa kasvu oli Kiinan kohdalla.

Tutkimusaineiston perusteella ei vaikuta olevan mielekästä tutkia monimutkaisempia yhteyksiä kuin suoraa lineaarista yhteyttä tai neliömuotoyhteyttä hiilidioksidipäästöjen ja BKT:n väliltä Kiinan ja Intian kansantalouksien osalta.

Taulukoissa 1 on esitettyä vastaavat muuttujat samalta ajanjaksolta Kiinan ja Intian osalta tunnusluvuihin kuvattuna (ks. Taulukko 1 ja Taulukko 2).

Taulukko 1. Kiinan ja Intian hiilidioksidipäästöt per asukas (tonnia) vuosina 1981–2010 tunnuslukujen valossa.

	Keskiarvo	Mediaani	Minimi	Maksimi
Kiina	2,99	2,66	1,46	6,19
Intia	1,00	1,00	0,52	1,67

Taulukko 2. Kiinan ja Intian bkt per asukas kiintein hinnoin (2005 USD) vuosina 1981–2010 tunnuslukujen valossa.

	Keskiarvo	Mediaani	Minimi	Maksimi
Kiina	1028,96	811,77	229,05	2870,05
Intia	536,17	482,69	302,36	1031,56

Aikasarja-analyysi valittiin tutkimusmenetelmäksi, koska se sopii nimensä mukaisesti aikasarjojen es-timointiin ja ennustamiseen, joissa on vain yksi aikasarjamuuttuja tai mallinnukseen. Menetelmä sopii myös ennusteiden tekemiseen tilanteissa, jossa on yksi selitettävä muuttuja ja yksi tai useampi selittä-jämuuttuja. Aikasarja-analyysi sopiikin siksi Kuznets-ympäristotalousteorian tutkimiseen erinomai-sesti. Aikasarja-analyysiä tutkitaan Boxin ja Jenkinsin (1970) ARIMA-mallien avulla. ARIMA-aikasarja-analyysi koostuu yleensä seuraavista eri vaiheista (ks. Taulukko 3).

Taulukko 3. ARIMA-mallin määrittämisen vaiheet.

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. <u>Mallin määrittelyvaihe.</u> Tällöin tutkitaan aikasarjojen kuvaajia ja niiden tilastollisia ominaisuuksia ajassa ja lopulta malli määritellään.2. <u>Mallin estimointi- ja diagnosointivaiheessa</u> estimoidaan aikasarjamallin parametrit ja malli diagnosoidaan.3. <u>Ennustevaiheessa</u> nimensä mukaisesti tehdään selitettävälle vasteelle ennusteet ja mahdollisesti vertaillaan niitä todellisiin arvoihin. |
|--|

Tässä tutkimuksessa on kuitenkin kaksi eri selittäjämuuttujaa (BKT per asukas ja BKT per asukas neliö-muoto) ja yksi selitettävä muuttuja (CO₂ päästöt per asukas (tonnia)), tilanne vastaa tällöin dynaa-mista regressioanalyysiä. Tällöin mallinnus muuttuu edellä mainituista vaiheista poiketen siten, että selittäjämuuttujille määritellään aluksi yksitellen oma malli ja estimointi. Lopuksi muodostetaan lopul-linen malli, jossa on mukana sekä selittäjämuuttujat (eli niiden siirtofunktio mallit) ja selitettävä muut-tuja. Mallin selitettävän muuttujan ennusteet estimoidaan mallin selittäjämuuttujien ennustearvojen perusteella.

Mallin määrittely

Aikasarja-analyysin kuten muunkin tilastollisen analyysin aluksi yleensä tarkastellaan tutkittavaa muuttujaa silmämääräisesti kuten siitä saatavia tunnuslukuja ja havainnollistavia kuvioita, yksikkö-juu-ritestin, otosautokorrelaatio-, käänteisen otosautokorrelaatio- sekä otos osittaisautokorrelaatiofunk-tiokuvien avulla. Tilastollisen aikasarja-analyysin reunaehtona on, että tutkittavat aikasarjat ovat stati-onaarisia ja tätä voidaan testata yksikköjuuritestin ja otosautokorrelaatiofunktio kuvion avulla. Stati-onaarisen aikasarjan keskiarvo ja varianssi ovat vakioita ajassa ja kovarianssi kahden periodin välillä riippuu ainoastaan havaintojen etäisyydestä tai viiveestä eikä kovarianssin laskemisajankohdasta. Täl-löin testissä ei löydy yksikköjuurta, joka vastaavasti löytyy epästationaarista aikasarjasta.

Jos kuvista tai tunnusluvuista selvästi ilmenee, että muuttujan aikasarja on epästationaarinen varians-sin suhteen, niin tähän ongelmaan voi auttaa se, että aikasarjasta otetaan logaritimuunnos ja käyte-tään sitä jatkoanalyysissä. Tutkimuksen lopussa kyseisen muunnosmuuttujan estimointiarvoista tulee

kuitenkin ottaa vastamuunnos ja palauttaa tulokset alkuperäiseen yksikkömuotoon eli logaritmuunnoksen tapauksessa tähän tulemaan päästään eksponenttimuunnoksella. Tavallisen aikasarjan epästationaarisuus ilmenee yleensä otosautokorrelaatiofunktioista laskevana korrelaatioarvoina havaintojen peräkkäisillä viivearvoilla ja tällöin muuttujan aikasarjassa on havaittavissa trendiä yli ajan tai siinä on jotain muuta epästationaarista muotoa. Tällöin muuttujasta yleensä otetaan tavallinen differenssimuunnos (kahden peräkkäisen aikasarjahavainnon erotus ja/tai kausivaihtelutapauksessa kahden säännöllisen ajanjakson havainnon välinen erotus). Näitä differenssimuunnoksia otetaan muuttujasta niin paljon kunnes muuttuja muuttuu stationaariseksi ja sen yksikköjuuriominaisuus poistuu kokonaan. Esimerkiksi jos muuttujasta otetaan kaksi tavallisista differenssiä jotta yksikköjuuriominaisuus saadaan siitä pois, niin sanotaan että se on integroitunut asteella kaksi. Yleisemmin voidaan todeta, että jos joudutaan differoimaan muuttuja d kertaa yksikköjuuriominaisuuden poistamiseksi, niin kyseinen muuttuja on integroitunut astetta d . Vastaavasti muuttujasta otettaessa kausidifferenssi D kertaa, voimme todeta, että muuttuja on kausi-integroitunut asteella D .

Muuttujan identifiointivaiheessa (muuttujan mahdollisen differentointi tai logaritmuunnosoperaation jälkeen) havaitaan mahdollisesti, että muuttujan vaihtelua ei voida selittää pelkästään valkoisella kohinalla eli satunnaisvaihtelulla, niin tällöin siihen sovitetaan ARIMA-mallin osia kuten autokorrelaatiotermejä ($AR(p)$) ja/tai liukuvakeskiarvotermejä ($MA(q)$) sekä kausivaihtelun ollessa kyseessä vastaavia kausivaihtelutermejä ($AR(P)$ ja/tai $MA(Q)$), jotka ovat vastaavasti astetta p , q , P ja Q . MA - ja AR -mallit tunnistaa otosautokorrelaatiosta ja osittaisautokorrelaatiofunktion kuvioista seuraavan muistisäännön perusteella (kts. Taulukko 4).

Taulukko 4. MA- ja AR-mallin tunnistusmenetelmät autokorrelaatio- ja osittaisauto-korrelaatiokuvioista.

	Otosautokorrelaatiokuvio	Otos osittaisautokorrelaatiokuvio
MA(q)	Korrelaatiokuvio loppuu q -viiveen jälkeen	Osittaisautokorrelaatiokuvio sammuu eksponentiaalisella tai sinifunktion tavalla
AR(p)	Korrelaatiokuvio sammuu eksponentiaalisella tai sini-funktion tavalla	Osittaisautokorrelaatiokuvio loppuu p -viiveen jälkeen

Tällöin ARIMA-malli muuttujalle voidaan kirjoittaa muodossa ARIMA (p,d,q) $(P,D,Q)_s$, jossa s on kausivaihtelun pituus. ARIMA malli voidaan kirjoittaa yhden Z-muuttujan tapauksessa tällöin muodossa:

$$(1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p)(1 - \Phi_1 B^s - \dots - \Phi_p B^{ps})(1 - B)^d (1 - B^s)^D Z_t = C + (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q)(1 - \theta_1 B^s - \dots - \theta_q B^{qs}) a_t, \quad (1)$$

jossa yhtälön vasemmalla puolella ovat AR(p) termi ja vastaava kausivaihtelutermi AR(Q) sekä näiden differenssit d ja D. Yhtälön (1) oikealla puolella on vakiotermi C ja MA(q) sekä sen kausivaihtelutermi MA(Q) sekä satunnaistermi a_t , joka on riippumattomasti ja identtisesti normaalijakautunut jakaumalla $N(0, \sigma_a^2)$ eli valkoista kohinaa.

Mallin estimointi- ja diagnosointivaihe

Aikasarjamallin estimointivaiheessa saatu aikasarjamalli estimoidaan. Siinä MA- ja AR-parametreille estimoidaan arvot ja niiden tilastollista merkitsevyyttä tarkastellaan niiden arvoille saatujen t-arvojen ja vapausasteiden perusteella, joiden perusteella niille määritellään p-arvot eli testattavan hypoteesin todennäköisyys tapahtua. P-arvon ollessa vähemmän kuin 0,10, on kyseessä marginaalinen tilastollinen merkitsevyys ja jos $p < 0,05$, on kyseessä tilastollinen merkitsevyys. Tyypillisesti autokorrelaatio-termi on tilastollisesti merkitsevä, jos sen absoluuttinen arvo on kaksi kertaa suurempi kuin sen keski-virhe. Jos mallissa on tilastollisesti merkityksettömiä osia, niin ne tulee suurimmasta lähtien poistaa mallista yksitellen ja malli estimoida uudelleen malliin jäävien osien osalta, kunnes malliin jää vain marginaalisesti tai tilastollisesti merkitseviä osia.

Lopuksi selitettävä muuttuja estimoidaan yhdessä selittäjämuuttujien kanssa. Tällöin tilastollinen malli on muotoa:

$$W_t = \mu + \sum_i \frac{\omega_i(B)}{\delta_i(B)} B^{k_i} X_{it} + \frac{\theta(B)}{\phi(B)} a_t, \quad (2)$$

missä

X_{it} on i. selittävä aikasarjamuuttuja tai differenssi muuttuja siitä ajanhetkellä t

k_i on puhdas aikaviive i. selittävän aikasarjamuuttujan vaikutukselle

$\omega_i(B)$ on osoittajan polynominen siirtofunktio i. selittäjä aikasarjamuuttujalle ja
 $\delta_i(B)$ on nimittäjän polynominen siirtofunktio i. selittäjän aikasarjamuuttujalle.

Jos kyseisessä mallissa selittävät muuttujat ovat ristiin korreloituneita, niin suora aikasarjamallinnus selittävien muuttujien ja selitettävän muuttujan välille voi johtaa harhaanjohtaviin tuloksiin. Tähän yhtenä menetelmällisenä ratkaisuna on, että selittäjämuuttujien mallit ensin määritetään ja estimoidaan, ennen kuin ne voidaan asettaa samaan aikasarjamalliin mallin selitettävän muuttujan kanssa. Tämä tilastollisen tutkimuksen vaihe on myös keskeinen tehdessä ennusteita selittäväälle muuttujalle selittäjän arvojen perusteella. Se on myös keskeinen tässä tutkimuksessa. Toisena tapana hoitaa autokorrelaatio-ongelma on ottaa muuttujista ensin muunnos (esim. laskemalla havaintojen ja niiden keskiarvon väliset erotukset) ja laskea mahdolliset neliö- ja kuutiomuotoiset muuttujat tämän muuttujan perusteella.

Estimoitu malli tulee diagnosoida eli selvittää mm. onko mallin virhetermi ns. valkoista kohinaa. Mallin MA-parametrien tulee myös täyttää ns. käännettävyysehto eli yksittäisten mallin MA-estimaattien arvoihin lisätään kyseisen termin kahdella kerrottu keskivirhe ja saadun luvun tulee olla itseisarvoltaan ykköistä pienempi. Käännettävyysehdon mukaan myös mallin MA-estimaattien summan tulee olla ykköistä pienempi ja sama sääntö koskee myös AR-estimaatteja. Mallin tulee myös olla mielekäs tarkasteltavan teorian kannalta ja teorian kannalta kaikista mahdollisista malleista mielekkäin malli aina valitaan. On hyvä tarkastella myös sitä, vaikuttaako malliin mahdolliset poikkeavat havainnot.

Ennusteiden tekeminen

Lopulliseen malliin päädyttyä voidaan mallin pohjalta tehdä myös ennusteita. Ennusteita voidaan tehdä joko pelkästään yhden muuttujan mallilla tai yhden selittäjän ja yhden tai useamman selittäjämuuttujan aikasarjamallilla. Jälkimmäisessä tapauksessa vasteen ennusteet tehdään selittäjämuuttujien tulevaisuuden estimoitujen ennusteiden perusteella. Käyttämämme tilastollinen SAS-ohjelma laskee mallin pohjalta ennusteet, niiden keskivirheen ja 95 % luottamusvälit. Ennusteiden luottamusväleillä on ominaisuutena se, että niiden väli kasvaa sitä mukaa kuin siirrytään ennustuksessa kauemmas tulevaisuuden arvoihin ja tällä kuvataan ennusteiden luotettavuuden asteittaista heikkenemistä. Mallin ennustekykyä voidaan testata ennustamalla olemassa olevaa aikasarjaa vastaavaa ajanjaksoa ja vertaamalla ennusteita todellisiin arvoihin. Mallin ennusteiden päättymisarvo riippuu siitä, mistä kohtaa aikasarjaa ennustaminen aloitetaan ja esimerkiksi ennustamisen alkaminen yhden ajanjakson takaa voi johtaa suuriinkin ennuste-eroihin kuin jos ennustaminen alkaisi tätä ennustetta yhtä ajanjaksoa myöhemmin. Ennusteiden ajallista tulevaisuushorisontin pituutta rajoittaa sääntö, jonka mukaan ennuste

voi olla korkeintaan $1/3$ olemassa olevan havaintoaineiston pituudesta. Noudatamme tässä tutkimuksessa tätä perussääntöä.

Aikasarja-analyysin mahdolliset ongelmat

Aikasarjan tutkimustiedon keräämisessä ongelmiksi voi muodostua tarvittavan analyysin muodostamiseen tarvittavan aineiston pituus. Aikasarjan ollessa liian lyhyt, sen keskeisiä ominaisuuksia voi jäädä pimentoon eikä se tällöin kuvaa tutkittavaa ilmiötä kunnolla. Aineiston ollessa taas katkeileva eli jos siitä puuttuu runsaasti havaintoja aineiston välistä, olemassa olevien trendien havaitseminen vaikeutuu.

Aikasarjan ennusteita ei ole järkevää tehdä liian pitkälle ajanjaksolle, koska ennusteiden luotettavuus katoaa tällöin. Tilastollista aineistoa on suositeltavaa olla ainakin kaksi kertaa enemmän kuin tehtävää ennustetta. Kerätyn aineiston pituus vaikuttaa myös oleellisesti siihen, miten ekstrapoloidut ennustearvot määräytyvät. Aikasarjan ollessa liian lyhyt, ennusteet eivät esimerkiksi huomioi pitkän ajan kehityssuuntaa. Aineiston vertailtavuus ja vastaavuus voivat myös muodostua ongelmiksi. Aineiston kunkin muuttujan kaikki havainnot tulee olla laskettu samalla tavalla. Näiden ehtojen jäädessä toteuttamatta analyysien tuottamat tulokset ovat epäluotettavia.

Jos aineiston analyysissä ei käytetä aineiston tasoittavia menetelmiä, niin poikkeavat havainnot voivat estää olemassa olevien trendien löytämisen ja identifioinnin. Aineiston kuvaamisessa pyritään löytämään aineiston säännönmukaisia kehityskulkuja. Ongelmiksi tällöin voi muodostua, että aineistoa kuvaavasta kuvasta voi löytää erilaisia kehityskulkuja riippuen mistä kohtaa sitä tarkastelee ja niiden perusteella voimme tehdä aineistosta erilaisia vaihtoehtoisia päätelmiä. Ne taas vaikuttavat suoraan aineistosta tehtäviin ennusteiden kehitykseen. Pidempi tilastoaineisto ei kuitenkaan osaltaan takaa tarkempia ennusteita, koska uusimmat havainnot voivat aina merkitä vanhan trendin loppumista ja uuden alkamista. Tämä on ennustetoiminnan ikuisuusongelma.

4. SAADUT TUTKIMUSTULOKSET KIINAN JA INTIAN OSALTA

Kiinan ja Intian hiilidioksidipäästöjen ja BKT per asukas luvuista tehtiin ensin aikasarjamallinnus. Aikasarjamallien avulla lopulta suoritettiin ennusteet hiilidioksidipäästöjen kehitykselle.

Aikasarjamallit

Analyysi suoritettiin SAS-ohjelman proc ARIMA -proseduurilla (kts. liitteet sivuilta 23–57), jolla voidaan tutkia aikasarjoja, joissa on selittäviä muuttujia ja selitettävä vaste. Selittäjämuuttujat määriteltiin ja estimoitiin ennen kuin niitä sovitettiin vastemuuttujan malliin. Kiinan selittäjämuuttujat differoitiin kerran ja sovitettiin AR(1) mallilla vakiotermin kanssa. Lopullisessa mallissa selitettävä differoitiin myös kerran ja mallista puuttui vakio-termi. Siirtofunktio BKT per asukas selittäjämuuttujan ja sen neliömuodon osalta oli muotoa ARIMA(1,1,0). Lopulliseksi malliksi muodostui Kiinan osalta ARIMA(0,1,1) malli, jossa vain selittäjän perusmuoto oli tilastollisesti merkitsevä. Tämä malli voidaan kirjoittaa muodossa

$$Y_t = 0,00015X_t + (1 + 0,68897\theta)a_t \quad (3)$$

(p < 0,0001) (p < 0,0001)

Mallin mukaan BKT per asukas on positiivisessa lineaarisessa yhteydessä hiilidioksidipäästöjen per asukas kehitykseen. BKT per asukas muuttujan kasvaessa yhden yksikön, hiilidioksidipäästöt kasvavat 0,00015 tonnia. Toteutuneen mallin perusteella voidaan hylätä Kuznets-käyrähypoteesi Kiinan kansantalouden osalta.

Intian osalta analyysi suoritettiin siten, että selittäjämuuttujat differoitiin kerran ja BKT per asukas selittäjämuuttujan siirtofunktio sai tulokseksi ARIMA(1,1,0) mallin ja BKT per asukas selittäjämuuttujan neliömuodon siirtofunktio vastaavasti sai tulokseksi ARIMA(1,1,0) mallin. Lopulliseksi malliksi muodostui

Intian hiilidioksidipäästöjen ja BKT per asukas välisen yhteyden osalta ARIMA(0,1,1) -malli, jossa vain selittäjän perusmuoto oli tilastollisesti merkitsevä. Saatua mallia voidaan kirjoittaa muodossa:

$$Y_t = 0,000066X_t + (1 + 0,60617\theta)a_t \quad (4)$$

(p < 0,0001) (p = 0,0008)

Mallin mukaan BKT per asukas on positiivisessa lineaarisessa yhteydessä hiilidioksidipäästöjen per asukas kehitykseen. BKT per asukas muuttujan kasvaessa yhden yksikön hiilidioksidipäästöt kasvavat 0,000066 tonnia. Toteutuneen mallin perusteella voidaan hylätä Kuznets-käyrähypoteesi myös Intian kansantalouden osalta.

Kiinan ja Intian aineistoilla saadut aikasarjamallit ovat yksinkertaisia ja mielekkäitä, ja tukevat alustavaa kuvailevaa tilastollista tarkastelua muuttujista, joka ei tue ympäristötaloudellisen Kuznets-U -käyrän mukaista teoriaa keskeisten muuttujien välisestä yhteydestä. Analyysin malleissa ei ole havaittavissa yksikköjuurta ja mallin jäännösosa on valkoista kohinaa. Mallien estimaatit täyttävät käännettävyyseh-dot. Saadut mallit ovat jatkotarkastelun kannalta siis relevantteja.

Saadut ennusteet tulevasta hiilidioksidipäästöjen kehityksestä

Kiinan ja Intian aineistoilla saaduilla aikasarjamalleilla tehtiin ennusteet vuosista 2009, 2010 ja 2011 lähtien. SAS-ohjelma laski ennusteet, niiden keskivirheet ja 95 %:n luottamusvälit. Ennusteita ei tehty 10 vuotta pidemmäksi ajaksi, koska aineistoa oli käytettävissä 30 vuotta ja ennusteet voivat olla maksimissaan 1/3 aineiston pituudesta. Alla on esitettyä Kiinan osalta ennusteet vuosiin 2018, 2019 ja 2020 saakka (ks. Taulukot 5, 6 ja 7).

Taulukko 5. Kiinan hiilidioksidipäästöjen per asukas ennustettu kehitys vuosina 2009–2018.

Vuosi	Ennuste	Keskivirhe	95 % luottamusvälin alaraja	95 % luottamusvälin yläraja
2009	5.6320	0.1181	5.4005	5.8634
2010	6.0529	0.2320	5.5982	6.5076
2011	6.5039	0.3067	5.9027	7.1051
2012	6.9849	0.3678	6.2640	7.7058
2013	7.4959	0.4223	6.6682	8.3236
2014	8.0370	0.4739	7.1082	8.9657
2015	8.6080	0.5252	7.5787	9.6374
2016	9.2091	0.5784	8.0754	10.3428
2017	9.8403	0.6356	8.5944	11.0861
2018	10.5014	0.6987	9.1320	11.8709

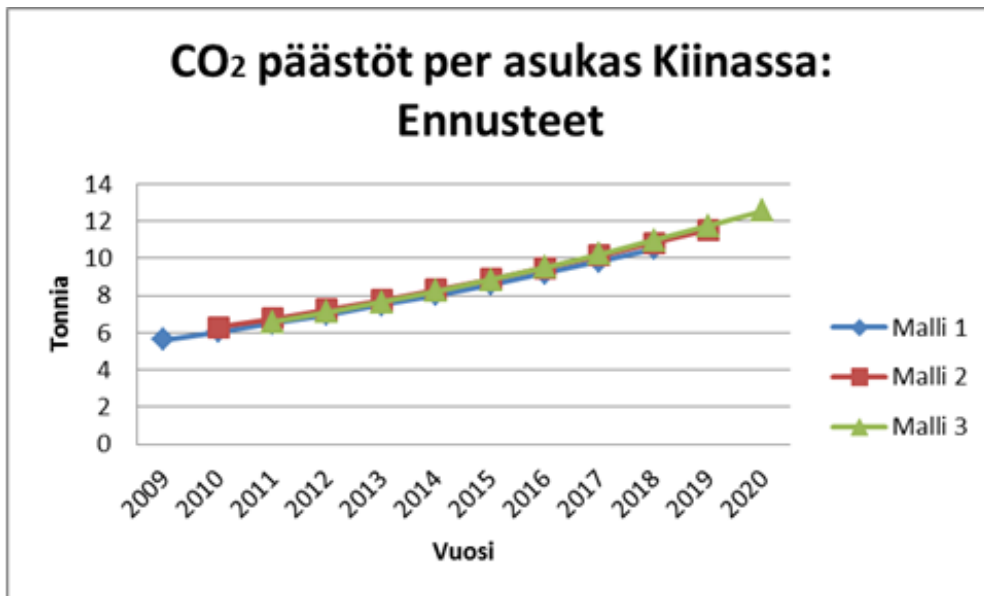
Taulukko 6. Kiinan hiilidioksidipäästöjen per asukas ennustettu kehitys vuosina 2010–2019.

Vuosi	Ennuste	Keskivirhe	95 % luottamusvälin alaraja	95 % luottamusvälin yläraja
2010	6.3015	0.1181	6.0700	6.5329
2011	6.7563	0.2320	6.3016	7.2110
2012	7.2424	0.3067	6.6412	7.8436
2013	7.7598	0.3678	7.0388	8.4807
2014	8.3085	0.4223	7.4808	9.1362
2015	8.8884	0.4739	7.9597	9.8172
2016	9.4997	0.5252	8.4704	10.5291
2017	10.1423	0.5784	9.0086	11.2760
2018	10.8162	0.6356	9.5704	12.0621
2019	11.5214	0.6987	10.1519	12.8909

Taulukko 7. Kiinan hiilidioksidipäästöjen per asukas ennustettu kehitys vuosina 2011–2020.

Vuosi	Ennuste	Keskivirhe	95 % luottamusvälin alaraja	95 % luottamusvälin yläraja
2011	6.5861	0.1181	6.3547	6.8176
2012	7.0950	0.2320	6.6403	7.5497
2013	7.6427	0.3067	7.0415	8.2439
2014	8.2294	0.3678	7.5084	8.9503
2015	8.8549	0.4223	8.0272	9.6826
2016	9.5193	0.4739	8.5905	10.4481
2017	10.2226	0.5252	9.1933	11.2519
2018	10.9648	0.5784	9.8311	12.0984
2019	11.7458	0.6356	10.5000	12.9917
2020	12.5658	0.6987	11.1963	13.9352

Yllä olevista Kiinan hiilidioksidipäästöjen kehityskulun ennusteista nähdään, että vuoteen 2018 mennessä (kyseinen vuosi on viimeinen yhteinen ennustevuosi kaikille kolmelle ennusteelle) ennusteet kasvoivat mitä myöhemmin ennusteet alkoivat: vuoden 2009 alkanut päättyi 10,5014 tonniin vuonna 2018 ja vastaavasti 2010 alkanut 10,8162 tonniin ja 2011 alkanut 10,9648 tonniin. Hiilidioksidipäästöjen ennusteet ovat siis vuoden 2010 todellista tasoa (6,1949 tonnia) noin 169,5–177,0 % suurempia vuonna 2018. Ennusteet eivät siis lupaa erityisen hyvää Kiinan ympäristölle ennen vuotta 2020. Kuvassa 2 on esitetty ennusteiden yhteenveto.



Kuva 2. CO₂-päästöt per asukas Kiinassa: Ennusteet vuosille 2009–2018 (Malli 1), 2010–2019 (Malli 2) ja 2011–2020 (Malli 3).

Seuraavassa on esitettyä vastaavat taulukot Intian osalta (kts. Taulukot 8, 9 ja 10).

Taulukko 8. Intian hiilidioksidipäästöjen per asukas ennustettu kehitys vuosina 2009–2018.

Vuosi	Ennuste	Keskivirhe	95 % luottamusvälin alaraja	95 % luottamusvälin yläraja
2009	1.6571	0.0285	1.6012	1.7130
2010	1.7214	0.0540	1.6155	1.8273
2011	1.7885	0.0710	1.6494	1.9275
2012	1.8583	0.0847	1.6922	2.0243
2013	1.9308	0.0967	1.7412	2.1204
2014	2.0061	0.1077	1.7949	2.2173
2015	2.0841	0.1181	1.8526	2.3157
2016	2.1649	0.1282	1.9136	2.4163
2017	2.2485	0.1383	1.9774	2.5195
2018	2.3348	0.1485	2.0437	2.6258

Taulukko 9. Intian hiilidioksidipäästöjen per asukas ennustettu kehitys vuosina 2010–2019.

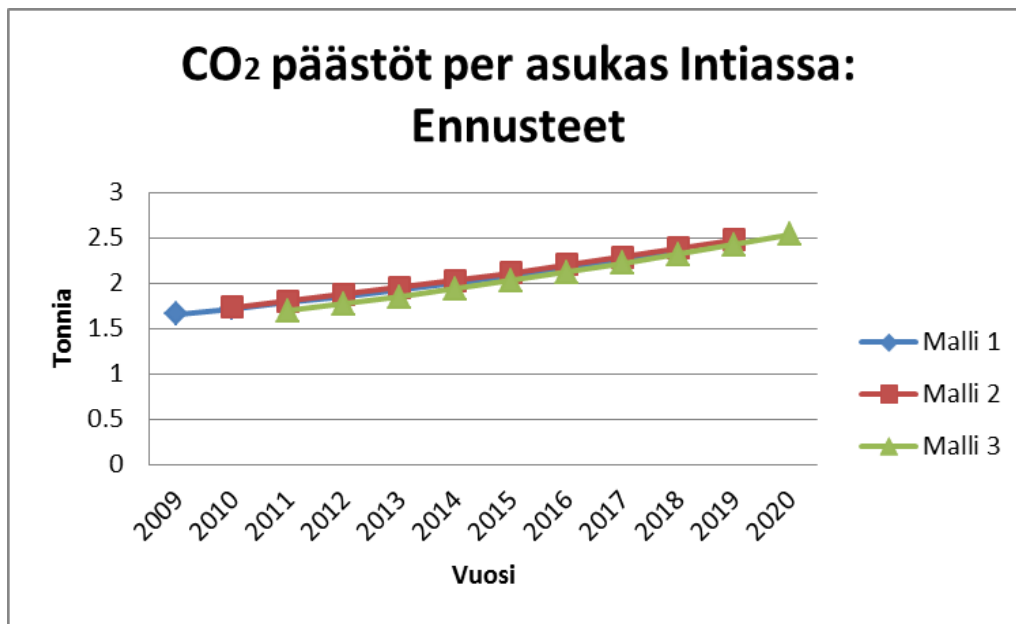
Vuosi	Ennuste	Keskivirhe	95 %:n luottamusvälin alaraja	95 %:n luottamusvälin yläraja
2010	1.7361	0.0285	1.6802	1.7920
2011	1.8057	0.0540	1.6998	1.9116
2012	1.8786	0.0710	1.7396	2.0177
2013	1.9549	0.0847	1.7888	2.1209
2014	2.0344	0.0967	1.8448	2.2240
2015	2.1173	0.1077	1.9061	2.3285
2016	2.2035	0.1181	1.9719	2.4350
2017	2.2930	0.1282	2.0416	2.5443
2018	2.3858	0.1383	2.1148	2.6569
2019	2.4820	0.1485	2.1909	2.7730

Taulukko 10. Intian hiilidioksidipäästöjen per asukas ennustettu kehitys vuosina 2011–2020.

Vuosi	Ennuste	Keskivirhe	95 % luottamusvälin alaraja	95 % luottamusvälin yläraja
2011	1.6952	0.0285	1.6393	1.7511
2012	1.7722	0.0540	1.6663	1.8781
2013	1.8534	0.0710	1.7144	1.9925
2014	1.9389	0.0847	1.7728	2.1049
2015	2.0285	0.0967	1.8389	2.2181
2016	2.1224	0.1077	1.9113	2.3336
2017	2.2206	0.1181	1.9890	2.4521
2018	2.3229	0.1282	2.0716	2.5743
2019	2.4295	0.1383	2.1585	2.7006
2020	2.5404	0.1485	2.2493	2.8314

Päinvastoin kuin Kiinalla, Intian hiilidioksidipäästöjen per asukas vuoden 2018 ennusteet olivat korkeimmillaan ennusteen alkaessa vuonna 2010, toiseksi korkeimman ennusteen tuotti 2009 alkanut ennuste ja alhaisimman vuonna 2011 alkanut ennuste. Vuonna 2009 alkaneet ennusteet päättyivät vuonna 2018 hiilidioksidipäästöjen osalta 2,3348 tonniin, vuonna 2010 alkaneet 2,3858 tonniin ja vuonna 2011 alkaneet 2,3229 tonniin per asukas. Intian päästöennusteet eivät olleet siis niin synkkiä kuin vastaavat Kiinan päästöennusteet. Intian hiilidioksidipäästöt olivat vuoden 2010 todellista lähtötasoa (1,6662 tonnia) 139,4–143,2 % korkeammat vuonna 2018.

Kuvassa 3. on esitetty ennusteiden yhteenveto.



Kuva 3. CO₂-päästöt per asukas Intiassa: Ennusteet vuosille 2009–2018 (Malli 1), 2010–2019 (Malli 2) ja 2011–2020 (Malli 3).

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia Kiinan ja Intian hiilidioksidipäästöjen kehitystä ajanjaksolla 1981–2010 ja tehdä ennusteita kymmenen vuotta eteenpäin. Tutkimuksen teoreettisena lähtökohtana oli Kuznets-käyräteoria, jolla kuvataan hiilidioksidipäästöjen ja BKT:n per asukas välistä yhteyttä.

Kuznets-käyräteorian mukaan yhteiskunnan talouden kehityksen alkuvaiheessa hiilidioksidipäästöjen kokoluokka kasvaa johtuen talouden tuotantorakenteen alkeellisuudesta, tuottamattomuudesta ja saastuttavuudesta. Toisessa vaiheessa talouden vaikutus ympäristöön vähenee ja lopulta pysähtyy kansantalouden siirtyessä maatalousvaltaisesta taloudesta moderniin tuotanto- ja palveluperusteiseen talouteen. Kolmannessa vaiheessa jälkiteollisessa vaiheessa valtio panostaa erityisesti tutkimukseen ja kehittämiseen. Samaan aikaan vanhanaikainen ja ympäristöä likaava teknologia vaihdetaan puhtaampaan vastaavaan. Näiden toimien seurauksena ympäristön saastuminen vähenee bruttokansantuotteen edelleen jatkaessa kasvuaan.

Tilastollinen tutkimus suoritettiin aikasarja-analyysillä, joka soveltuu selitettävän ja kahden selittäjän (BKT per asukas kiintein hinnoin (200 USD) ja kyseisen muuttujan neliömuoto) välisen yhteyden tutkimiseen ja ennusteiden tekemiseen. Tutkimuksesta ilmeni, että Kiinan ja Intian aineistoilla tehdyt mallinnukset eivät tue ympäristötaloudellista Kuznets-käyräteoriaa, vaan ne ennustavat hiilidioksidipäästöjen kasvavan BKT:n kasvaessa. Vastaavasti kymmenen vuoden ennusteet erityisesti Kiinan osalta vaikuttavat melko hälyttävältä, tosin Intiankin saasteiden kasvu ei lupaa kovin hyvää tulevaisuutta päästöjen kehityksen osalta. Markkinat eivät siis pysty näiden maiden osalta yksinään hoitamaan saastumisen vähentämistä. Sen vuoksi olisikin lainsäädännön ja muiden tuki- ja kannustintoimien avulla pyrittävä vaikuttavampaan suotuisampaan kehitykseen tulevaisuudessa.

LÄHTEET

- Acaravci, A. & Ozturk, I. (2010). On the relationship between energy consumption, CO₂ emissions and economic growth in Europe. *Energy*, 35(12), 5412–5420.
- Alcántara, V. & Padilla, E. (2005). Analysis of CO₂ and its explanatory factors in the different areas of the world. Technical Report. Universidad Autonoma de Barcelona, Department of Applied Economics, Spain.
- Al-Mulali, U., Weng-Wai, C., Sheau-Ting, L. & Mohammed, A. H. (2015). Investigating the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis by utilizing the ecological foot print as an indicator of environmental degradation. *Ecological Indicators*, 48, 315–323.
- Apergis, N. & Ozturk, I. (2015). Testing Environmental Kuznets Curve hypothesis in Asian countries, *Ecological Indicators*, 52 (2015) 16–22.
- Apergis, N. & Payne, J. E. (2009a). Energy consumption and economic growth in Central America: evidence from a panel cointegration and error correction model. *Energy Economics*, 31, 211–216.
- Apergis, N. & Payne, J. E. (2009b). CO₂ emissions, energy usage and output in Central America. *Energy Policy*, 37, 3282–3286.
- Apergis, N. & Payne, J. E. (2010). The emissions, energy consumption, and economic growth nexus: evidence from the commonwealth of independent states. *Energy Policy*, 38(1), 650–655.
- Bolük, G. & Mert, M. (2014). Fossil & renewable energy consumption, GHGs (greenhouse gases) and economic growth: Evidence from a panel of EU (European Union) countries, *Energy*, 74, 439–446.
- Box, G. & Jenkins, G. (1970). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Francisco: Holden-Day.
- de Bruyn, S. M., van den Bergh & Opschoor, J. B. (1998). Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of Environmental Kuznets Curves. *Ecological Economics*, 25, 161–175.
- Chimeli, A. B. & Braden, J. B. (2005). Total factor productivity and the environmental Kuznets curve. *Journal of Environmental and Economic Management*, 49, 366–380.
- Cole, M. A., Rayner, A. J. & Bates, J. M. (1997). The environmental Kuznets curve: an empirical analysis. *Environment and Development Economics*; 2(4), 401–416.
- Coondoo, D. ja Dinda, S. (2008). The carbon dioxide emission and income: a temporal analysis of cross-country distributional patterns. *Ecological Economics*, 65, 375–385.
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: a survey. *Ecological Economics* 49, 431–455.

- Friedl, B. & Getzner, M. (2002). Environment and Growth in a Small Open Economy: An EKC Case-study for Austrian CO₂ Emissions. Discussion Paper, No: 2002/2. College of Business Administration, University of Klagenfurt.
- Friedl, B. & Getzner, M. (2003). Determinants of CO₂ emissions in a small open economy. *Ecological Economics*; 45, 133–148.
- Grossman, A. & Krueger, A. (1995). Economic environment and the economic growth. *Quarterly Journal of Economics* 110, 353–377.
- Halicioglu, F. (2009). An econometric study of CO₂ emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy* 37, 1156–1164.
- IEA (2013). CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights, 2013 ed. IEA, Paris.
- IPCC (2013). Intergovernmental Panel on Climate Change. Fifth assessment report (AR5). Technical Report. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change; 2013.
- Lau, E., Chye, X.-H. & Choong, C.-K. (2011). Energy-growth causality: Asian countries revisited. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 1(4), 140–149.
- Lin, B. & Jiang, Z. (2009). Environmental Kuznets curve: the prediction and the analysis of influencing factors of the CO₂ of China. *Management World*, 4, 27–36 (in Chinese).
- Luzzati, T. & Orsini, M. (2009). Investigating the energy-environmental Kuznets curve. *Energy* 34(3), 291–300.
- Menegaki, A. N. (2013). Growth and renewable energy in Europe: benchmarking with data envelopment analysis. *Renewable Energy* 60, 363–369.
- Munasinghe, M. (1995). Making economic growth more sustainable. *Ecological Economics*, 15, 121–124.
- Onafowora, O. A. & Owoye, O. (2014). Bounds testing approach to analysis of the environment Kuznets curve hypothesis. *Energy Economics*, 44, 47–62.
- Ozcan B. (2013). The nexus between carbon emissions, energy consumption and economic growth in Middle East countries: a panel data analysis. *Energy Policy*, 62, 1138–1147.
- Ozturk, I. (2010). A literature survey on energy-growth nexus. *Energy Policy*, 38(1), 340–349.
- Ozturk, I. & Acaravci, A. (2010). CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 14(9), 3220–3225.
- Ozturk, I. & Uddin, G. S. (2012). Causality among carbon emissions, energy consumption and growth in India. *Economic Research*, 25(3), 752–775.
- Panayotou T. (1993). Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development. Working paper WP 238. Technology and Environment Programme, International Labour Office, Geneva.

- Pao, H. T. & Tsai, C. M. (2011). CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries. *Energy Policy* 38, 7850–7860.
- Payne, J. E. (2010). Survey of the international evidence on the causal relationship between energy consumption and growth. *Journal of Economic Studies*, 37(1), 53–95.
- Richmond, A. K. & Kaufman, R. K. (2006). Is there a turning point in the relationship between income and energy use and/or carbon emissions? *Ecological Economics* 56, 176–189.
- Robalino-López, A., Mena-Nieto, A., García-Ramos, J.-E. & Golpe A. A. (2015). Studying the relationship between economic growth, CO₂ emissions, and the environmental Kuznets curve in Venezuela (1980–2025), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 602–614.
- Roca J., Padilla E., Farre M. & Galletto V. (2001). Economic growth and atmospheric pollution in Spain: discussing the environmental Kuznets curve hypothesis. *Ecological Economics*, 39, 85–99.
- Shafik, N. (1994). Economic development and environmental quality: and econometric analysis. *Oxford Economic Papers*, 46, 757–773.
- Shafik, N. & Bandyopadhyay, S. (1992). Economic Growth and Environmental Quality: Time series and Cross-country Evidence. Background Paper for the World Development Report 1992. World Bank, Washington D.C.
- Shahbaz, M., Sbia, R., Hamdi, H. & Ozturk, I. (2014) Economic growth, electricity consumption, urbanization and environmental degradation relationship in United Arab Emirates. *Ecological Indicators*, 45, 622–631.
- Soytas, U., Sari, R. & Ewing, B. T. (2007). Energy consumption, income and carbon emissions in the United States. *Ecological Economics* 62, 482–489.
- Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World Development* 32, 1419–1439.
- Zhang, X.-P. & Cheng, X.-M. (2009). Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China. *Ecological Economics* 68, 2706–2712.
- Worldbank (2015). Country Database. http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KN/countries?page=4&order=wbapi_data_value_1981%20wbapi_data_value&sort=asc&display=default (luettu 1.1.2015)

Aikaisempia Tutu e-julkaisuja

- 7/2015 Kuhmonen, Tuomas - Hyvönen, Katja - Ahokas, Ira - Kaskinen, Juha & Saarimaa, Riikka: Paikallinen ruoka ja kestävä kehitys. Kirjallisuuskatsaus.
- 6/2015 Heinonen, Sirkka - Karjalainen, Joni & Ruotsalainen, Juho: Towards the Third Industrial Revolution: Neo-Carbon Energy Futures Clinique I.
- 5/2015 Karhunmaa, Kamilla - Pitkänen, Outi & Tuominen Visa: Assessing the co-benefits of household energy technology carbon offset projects.
- 4/2015 Heinonen, Sirkka & Ruotsalainen, Juho: KUDOS - Median ja journalismin viriäviä tulevaisuuksia, MEDEIA-hankkeen loppuraportti.
- 3/2015 Taylor, Amos - Heinonen, Sirkka & Ruotsalainen, Juho: Highlighting Media & Journalism Futures 2030. Survey on Weak Signals and Emerging Issues.
- 2/2105 Hatakka, Aino & Vehmas, Jarmo (editors) Sustainable Futures in a Changing Climate. Proceedings of the Conference "Sustainable Futures in a Changing Climate", 11-12 June 2014, Helsinki, Finland.
- 1/2015 Luukkanen, Jyrki - Kuria, Peter - Käkönen, Mira - Karhunmaa, Kamilla - Karjalainen, Joni - Warah, Rasna - Msoka, Colman & Toroskainen, Kaisa: Development Futures in Kenya and Tanzania Beyond 2015.
- 17/2014 Kuhmonen, Tuomas: Maaseudun liiketoiminnan uudistuminen. Evolutionääriseen taloustieteen viitekehys.
- 16/2014 Heinonen, Sirkka & Ruotsalainen, Juho: Uusi journalismi? MEDEIA-hankkeen Tulevaisuus-klinikka II 23.10.2014.

Tutu e-julkaisuja 7/2015

Samuli Aho & Jari Kaivo-oja

INTIAN JA KIINAN HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN TULEVAISUUS 2020
Ympäristötaloudellisen Kuznets-käyräteorian testaus ja ennusteisiin
tähtäävä aikasarja-analyysi

ISBN 978-952-249-399-6

ISSN 1797-1322