



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Portfoliolähestymistapa CO₂ - kiilapelin analysoinnissa (valmiin työn esittely)

Tuomas Lahtinen

07.05.2012

Ohjaaja: Raimo Hämäläinen

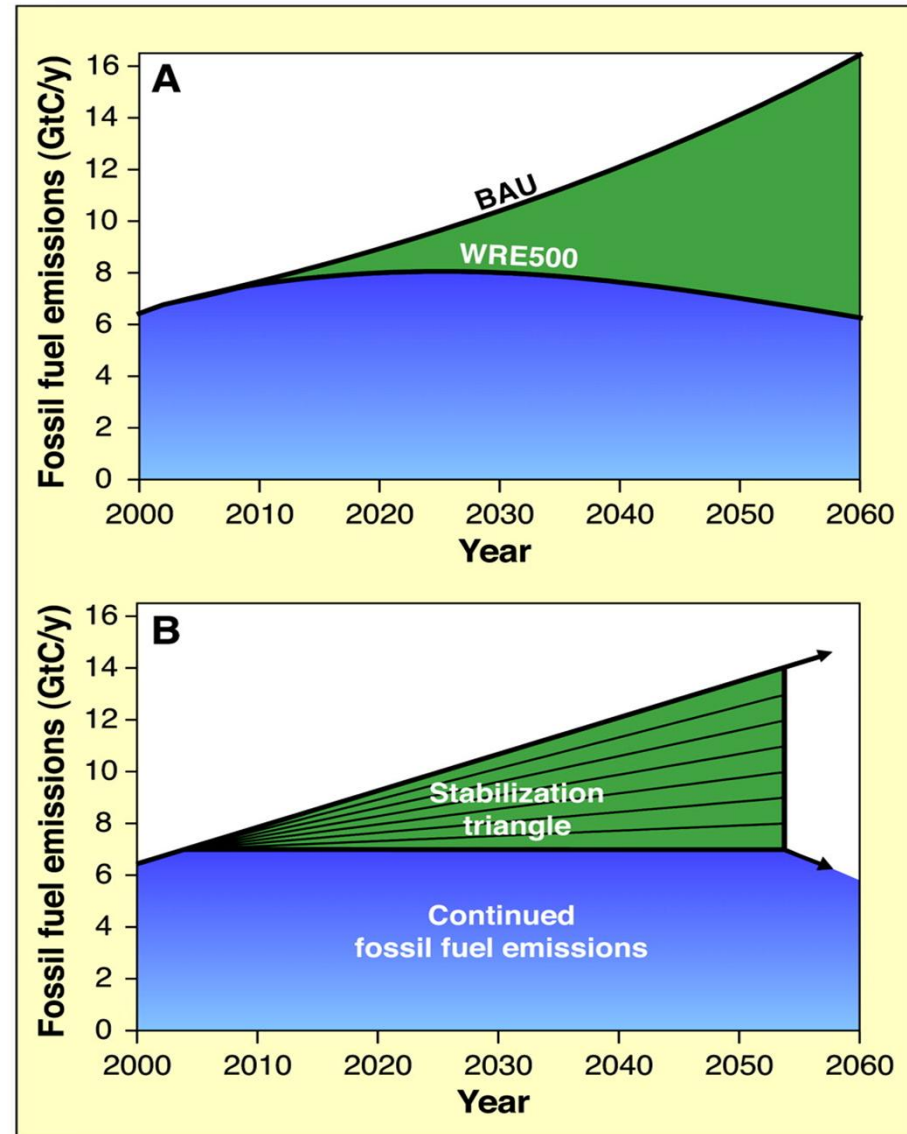
Valvoja: Raimo Hämäläinen

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

Kiilapeli

- Princetonin yliopisto, The Wedges Game
- Havainnollistaa hiilidioksidipäästöjen vähennys strategian muodostamista
- Suunnattu koululaisryhmille ja maallikoille








Kuva: CMI:n sivuilta



Portfolionäkökulma

- Mahdollisia toimenpiteitä ~20
- Kahdeksan toimenpiteen yhdistelmiä ~100 000
- Kullakin toimenpiteellä on ominaispiirteensä ja olennaista on toimenpiteiden vaikutukset kokonaisuutena
- Monitavoitteisuuden huomioiminen

Toimenpiteet

Strategy	Sector	Description	1 wedge could come from...	Cost	Challenges
1. Efficiency – Transport		Increase automobile fuel efficiency (2 billion cars projected in 2050)	... doubling the efficiency of all world's cars from 30 to 60 mpg	\$	Car size & power
2. Conservation - Transport		Reduce miles traveled by passenger and/or freight vehicles	... cutting miles traveled by all passenger vehicles in half	\$	Increased public transport, urban design
3. Efficiency - Buildings		Increase insulation, furnace and lighting efficiency	... using best available technology in all new and existing buildings	\$	House size, consumer demand for appliances
4. Efficiency – Electricity		Increase efficiency of power generation	... raising plant efficiency from 40% to 60%	\$	Increased plant costs
5. CCS Electricity		90% of CO ₂ from fossil fuel power plants captured, then stored underground (800 large coal plants or 1600 natural gas plants)	... injecting a volume of CO ₂ every year equal to the volume of oil extracted	\$\$	Possibility of CO ₂ leakage
6. CCS Hydrogen		Hydrogen fuel from fossil sources with CCS displaces hydrocarbon fuels	... producing hydrogen at 10 times the current rate	\$\$\$	New infrastructure needed, hydrogen safety issues
7. CCS Synfuels		Capture and store CO ₂ emitted during synfuels production from coal	... using CCS at 180 large synfuels plants	\$\$	Emissions still only break even with gasoline

8. Fuel Switching – Electricity		Replacing coal-burning electric plants with natural gas plants (1400 1 GW coal plants)	... using an amount of natural gas equal to that used for all purposes today	\$	Natural gas availability
9. Nuclear Electricity		Displace coal-burning electric plants with nuclear plants (Add double current capacity)	... ~3 times the effort France put into expanding nuclear power in the 1980's, sustained for 50 years	\$\$	Weapons proliferation, nuclear waste, local opposition
10. Wind Electricity		Wind displaces coal-based electricity (10 x current capacity)	... using area equal to ~3% of U.S. land area for wind farms	\$\$	Not In My Back Yard (NIMBY)
11. Solar Electricity		Solar PV displaces coal-based electricity (100 x current capacity)	.. using the equivalent of a 100 x 200 km PV array	\$\$\$	PV cell materials
12. Wind Hydrogen		Produce hydrogen with wind electricity	... powering half the world's cars predicted for 2050 with hydrogen	\$\$\$	NIMBY, Hydrogen infrastructure, safety
13. Biofuels		Biomass fuels from plantations replace petroleum fuels	... scaling up world ethanol production by a factor of 12	\$\$	Biodiversity, competing land use
14. Forest Storage		Carbon stored in new forests	... halting deforestation in 50 years	\$	Biodiversity, competing land use
15. Soil Storage		Farming techniques increase carbon retention or storage in soils	... practicing carbon management on all the world's agricultural soils	\$	Reversed if land is deep-plowed later

Kuva: CMI:n Wedge Game Teachers manual

Portfolion arvon mallintaminen

- Portfoliopäätösanalyysi *Robusti portfolion mallinnus* menetelmän mukaisesti
 - Mallia rakennettaessa tehtävät valinnat ovat *subjektiivisia*
 - Toimenpiteitä arvioidaan seuraavien kriteerien suhteen:
 - Hinta
 - Teknologiset haasteet
 - Maankäyttö
 - Vaikutus arkielämään
 - Poliittiset tekijät
-

Portfolion arvon mallintaminen

- Arviointeja kutsutaan *kriteerikohtaisiksi arvoiksi*
 - Esim. Ydinvoimalla huono arvo kriteerin ”poliittiset tekijät” suhteen
 - Energialaitosten tehostamisella ei vaikutuksia arkielämän suhteen
 - Arvioille annetaan epävarmuusvälit, joiden sisällä ne vaihtelevat
 - Normeerataan välille $[0,1]$
 - 2. Portfolion arvo jonkin kriteerin suhteen on siihen kuuluvien toimenpiteiden kriteerikohtaisten arvojen summa
 - Portfolion hinta on siihen kuuluvien toimenpiteiden hintojen summa
-

Portfolion arvon mallintaminen

3. Kriteerin merkittävyyttä kuvataan painokertoimella. Painokertoimille asetetaan rajoite-ehtoja:
 - Poliittiset tekijät > Vaikutus maankäyttöön > Vaikutus arkielämään > ... > minimipaino
 - Normeerataan välille [0,1]
4. Portfolion kokonaisarvo on painotettu summa sen arvoista eri kriteerien suhteen
 - Portfolioilla ei yhtä arvoa, sillä painot ja kriteerikohtaiset arvot eivät ole tarkkoja

Portfolion arvon mallintaminen

5. Portfolion valinnalle asetetaan lineaarisia rajoite-ehtoja:
- Kahdeksan toimenpidettä
 - Sektorikohtaiset valinnat rajattuja
 - Jotkut toimenpiteet voidaan valita kahdesti
 - Yhteisvaikutuksia

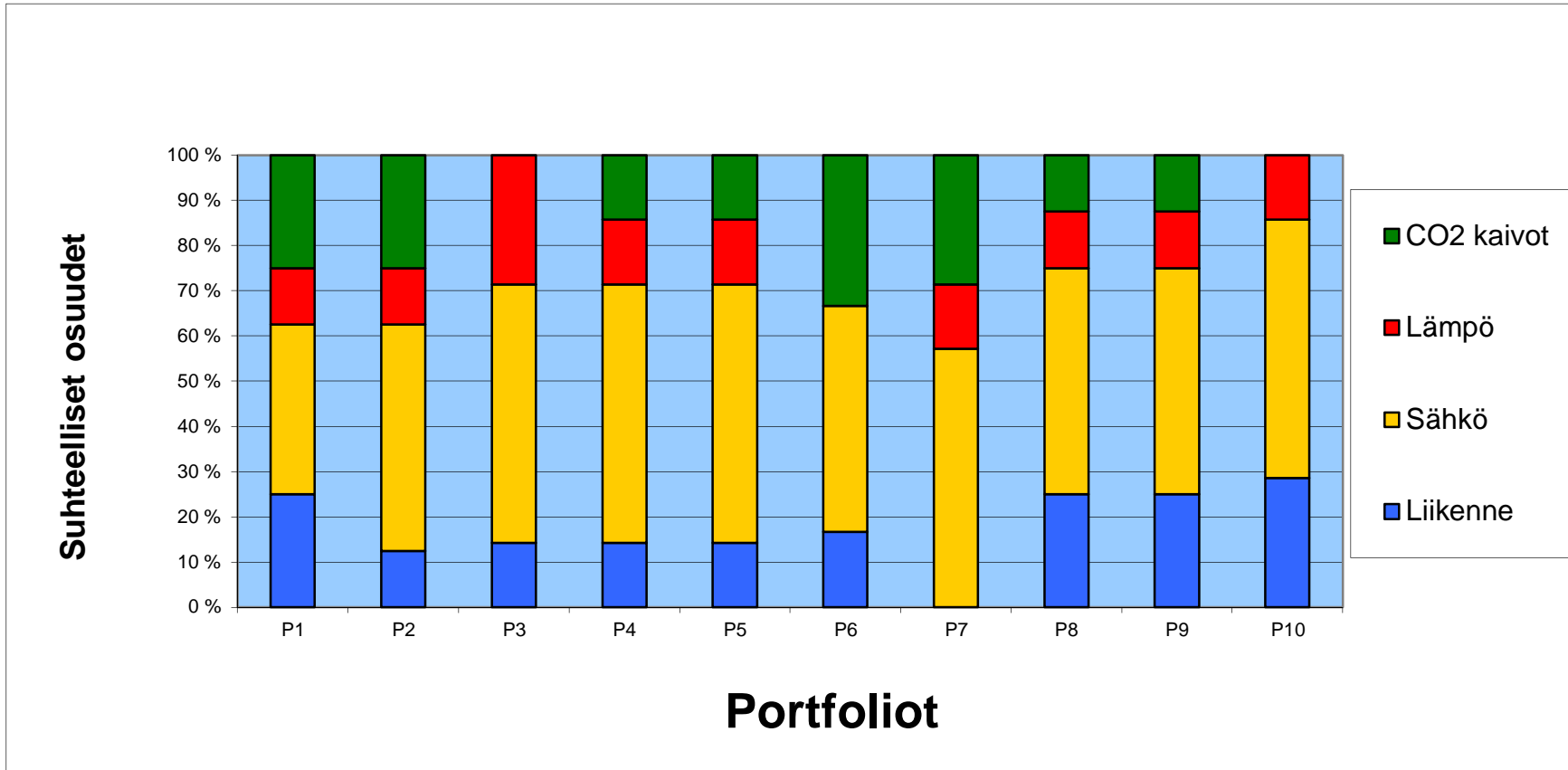
Robusti portfolion mallinnus

- Käypä portfolio on dominoitu, jos toinen käypä portfolio tuottaa sitä paremman kokonaistavoitteen arvon kaikilla mahdollisilla painojen ja kriteerikohtaisten arvojen yhdistelmillä
- RPM-Decisions -ohjelmalla lasketaan ei-dominoitujen portfolioiden joukko
- Toimenpiteelle voidaan laskea *ydinluku*, joka kertoo kuinka suureen osaan ei-dominoituista portfolioista se kuuluu

Tuloksia: Ei-dominoidut portfoliot

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Ydinluku
Energiatuotannon tehostaminen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1
Polttoaineen vaihto	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1
Polttoaineen vaihto 2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1
Kuljetuksen tehostaminen	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	0.9
Rakennusten energiatehokkuus	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	0.9
CCS Sähkö	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0.9
Metsiin varastointi	x	x	-	x	-	x	x	x	-	-	0.6
Maaperään varastointi	x	x	-	-	x	x	x	-	x	-	0.6
CCS Sähkö 2	-	-	x	x	x	x	x	-	-	x	0.6
Matkustuskilometrien puolittaminen	x	-	-	-	-	-	-	x	x	x	0.4
CCS Synfuelit	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	0.1

Tuloksia: Toimenpiteiden sektorikohtainen jakautuminen



Tärkeimpiä viitteitä

S. Pacala, R. Socolow, 2004: Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 years with Current Technologies. Science 13 August 2004: Vol. 305 no. 5686 pp. 968-972

J. Liesiö, P. Mild, A. Salo, 2007: Preference Programming for Robust Portfolio Modeling and Project selection. European Journal of Operational Research Vol. 181, pp. 1488-1505.

Salo, Keisler, Morton, 2011: Portfolio Decision Analysis: Improved Methods for Resource Allocation. International Series in Operations Research & Management Science, Vol. 162, ISBN 978-1-4419-9942-9

IPCC, 2007: IPCC Working Group III Report "Mitigation of Climate Change". (<http://www.ipcc.ch/>)

M. Marttunen, J. Mustajoki, O-M. Verta, R. P. Hämäläinen, 2008: Monitavoitearviointi vuorovaikutteisessa ympäristösuunnittelussa, menetelmä ja sen soveltamisesimerkkejä vesistöjen käytössä ja hoidossa. Suomen ympäristö, 11/2008.