UNIVERSITY of OULU

Kohti kestävän tuotannon ja kulutuksen mallintamista

Seminaari 29.3.2007

THULE INSTITUTE

IO-LCA malli pähkinänkuoressa ja alustavia tuloksia

Ilmo Mäenpää

UNIVERSITY of OULU

SISÄLTÖ

- Taloustilastot => IO-LCA malli pähkinänkuoressa
- Ympäristödata => ympäristövaikutukset
- Ympäristövaikutuslaskelmia
- Työt jatkossa

THULE INSTITUTE

UNIVERSITY of OULU

DATAPOHJA 1: Taloustilastot

- Kansantalouden tilinpidon laskentatason tarjonta- ja käyttötaulut => panos-tuotosmalli
  - 151 toimialaa (teollisuus: TOL 3-numerotaso), 860 tuotetta
- Teollisuustilaston hyödyke- ja energiakyselyt
  - Tuotevirrat myös fyysisissä massayksiköissä, energiavirrat lisäksi jouleina
- Maa- ja metsätalouden tilastot

THULE INSTITUTE

Talouden tuotevirtojen monetaariset tarjonta- ja käyttötaulut (M€)

Tarjontataulu

	Toimialat	Tuonti
Tuotteet	**Tuotokset toimialoittain perushintaan**	**Tuonti satamahintaan**

Käyttötaulu

	Toimialat	Loppukäyttö
Tuotteet	**Välituotekäyttö** Ostajanhintaan ⇨Perushintaan Tuonti yhdessä ⇨Erikseen	**Vienti** **Varastojen muutos** **Pääomanmuodostus** **Julkinen kulutus** **Yksityinen kulutus**

Arvonlisäys
- työtulot
- pääomatulot

Bruttokansantuote vuonna 2002

UNIVERSITY of OULU

Bruttokansantuote loppukäytön kautta	Meur				
1 Kulutusmenot	102 301	Kulutus			
Yksityiset kulutusmenot	72 019			Todellinen	
- kotitalouksien kulutusmenot	*69 054*			yksilöllinen	49 %
- voittoa tavoittelemattomien yhteisöjen kulutusm.	*2 965*		55 %	kulutus	
Julkiset kulutusmenot	30 282				
- yksilölliset kulutusmenot	*19 560*				
- kollektiiviset kulutusmenot	*10 722*				
2 Kiinteän pääoman bruttomuodostus	25 833	Investoinnit	14 %		
3 Varastojen muutos, arvoesineiden hankinta	532				
4 Tavaroiden ja palvelujen vienti	58 070	Vienti	31 %		
5 Tavaroiden ja palvelujen tuonti	42 762				
Bruttokansantuote markkinahintaan (1+2+3+4-5)	**143 974**				

Bruttokansantuote tuotoksen kautta	Meur
1 Tuotos perushintaan	261 231
2 Välituotekäyttö ostajahintaan	135 532
3 Arvonlisäys, brutto perushintaan (1-2)	**125 699**
4 Tuoteverot	19 329
5 Tuotetukipalkkiot	1 054
6 Bruttokansantuote markkinahintaan (3+4-5)	**143 974**

THULE INSTITUTE

Talouden tuotevirtojen monetaarinen panos-tuotostaulu (MIOT)

	Toimialat	Loppukäyttö
Toimialat	**Välituotekäyttö perushintaan** **⇒panoskerroin-matriisi**	**Vienti** **Varastojen muutos** **Pääomanmuodostus** **Julkinen kulutus** **Yksityinen kulutus**
	Tuonti	**Tuonti**
	Arvonlisäys • työtulot • pääomatulot	

Talouden ainevirtojen fyysiset tarjonta- ja käyttötaulut (Mkg)

Tarjontataulu

	Toimialat	Loppukäyttö	Tuonti
Tuotteet talouteen	Tuotokset toimialoittain ▪ pää- ja sivutuotteet ▪ hyötyjätteet	Yksityinen kulutus	Tuonti ja käyttö ulkomailla
Luontoon	Päästöt ilmaan Päästöt veteen Kiinteät loppujätteet		

Käyttötaulu

	Toimialat	Loppukäyttö
Tuotteet taloudesta	Välituotekäyttö Tuonti yhdessä ⇨Erikseen	Yksityinen kulutus Julkinen kulutus Pääomanmuodostus Varastojen muutos Vienti
Luonnosta	Biomassa Mineraalit Maa-ainekset Vesi Ilma (O2, N2)	

Talouden ainevirtojen fyysinen panos-tuotostaulu (PIOT)

	Toimialat	Loppukäyttö	Luontoon
Toimialat	Välituotekäyttö	Vienti Varastojen muutos Pääomanmuodostus Julkinen kulutus Yksityinen kulutus	Kiinteät jätteet Päästöt veteen Päästöt ilmaan
	Tuonti	Tuonti	
Luonnosta	Biomassa Mineraalit Maa-ainekset Vesi Ilma (O2, N2)		

Monetaarinen panos-tuotosmalli

q	=	Välituotekäyttö Aq	+	Loppu-käyttö f

q = toimialoittaisten tuotosten vektori
A = panoskerroinmatriisi
f = tuotteiden loppukäytön vektori

Panos-tuotosmallin peruskysymys: kuinka paljon eri toimialojen tuotantoa ja tuontia tarvitaan kokonaisuudessaan kunkin lopputuotteen tuottamiseen.

Mallin rakennemuoto: $q = Aq + f$,
jonka ratkaisu on: $q = (I - A)^{-1}f = Bf$,
missä $B = (I - A)^{-1}$ = Leontiefin käänteismatriisi.

Leontiefin käänteismatriisin sarake *j* kertoo, kuinka paljon toimialan *j* (milj. euron) tuotosyksikön tuottamiseen on tarvittu kaikkiaan eri toimialojen *i* = 1,…, n tuotantoa.

Olkoon A^M tuonnin panoskerroinmatriisi. Silloin matriisi A^MB ilmaisee, kuinka paljon eri tuontituotteita on käytetty kaikkiaan kunkin kotimaisen tuotosyksikön tuottamiseen.

IO-LCA malli ⇔ Ympäristölaajennettu IO-malli ⇔ Hybridi-IO-malli

q	=	Välituotekäyttö Aq	+	Loppu- käyttö f
		Ympäristövaikutusten kerroinmatriisi C		

Loppukäytön suorat ympäristövaikutukset

Ympäristövaikutusmatriisi: ympäristövaikutukset toimialoittain, erilaiset vaikutuslajit riveinä.

Kerroinmatriisi: ympäristövaikutukset toimialan tuotosyksikköä (milj. eur) kohti.

Peruskysymys: kuinka paljon loppukäytön tuotteisiin (lopputuotteisiin) sisältyy koko sen jalostusketjun aiheuttamia ympäristövaikutuksia

Vastaus: $E = C(I - A)^{-1}f = CBf$

Tuonnin ympäristövaikutukset ulkomailla:

1) Jos ei muuta tietoa, niin tuonnille oletetaan *kotimaiset kertoimet* eli tuontituotteet oletetaan tuotetun ulkomailla samoilla tuotantotekniikoilla ja päästöillä kuin vastaavien toimialojen tuotteet Suomessa.

2) Tärkeimmille tuontituotteille etsitään ”aidot” elinkaariset ympäristövaikutukset Suomen satamaan asti.

DATAPOHJA 2: Päästödata

- Kasvihuonekaasut: TK:n KHK-inventaario
  - Energiaperäiset päästöt kuitenkin toimialoittaisista polttoaineiden kulutusdatasta KHK-inventaariokertoimin
- Muut ilmapäästöt: SYKEn ilmapäästötietojärjestelmä IPTJ
  - VAHTIn päästötiedot (tarkistettuna)
  - Liikenteen ja työkoneiden päästöt VTT:n LIPASTOsta
  - Muut ”hajapäästöt”
- Vesipäästötiedot: VAHTIn vesipäästötiedot + SYKEn hajapäästöarviot

- VAHTIn päästötietojen toimialakohdistukseen VAHTI-laitosten TOL 2002 toimialaluokitus
- Ilmapäästöjä 28 lajia, vesipäästölajeja 20 lajia

Ilmapäästöjen suuret perustietosysteemit

- Tilastokeskus 2007. Greenhouse Gas Emissions in Finland 1990 – 2005. National Inventory Report to the European Union.

- SYKE 2006. Air Pollutant Emissions in Finland 1990-2004. Informative Inventory Report to the Secretariat of the UNECE Convention on Long-Range Trans-boundary Air Pollution.

THULE INSTITUTE

DATAPOHJA 3: Perusdatan käsittelysysteemi

- Tietokoneohjelmistot päästötietojen kokoamiseen perusdatasta ja kohdistamiseksi ENVIMAT toimialoille.

  Excel-työkirjat ⇔ R-kieli

- Laskennan toistettavuus ja päivitettävyys
  - Systeemi voidaan laskea nopeasti läpi, kun perusdatassa tehdään korjauksia.
  - Systeemi kehitetty vuoden 2002 datalla. Loppuvuoden aikana siirrytään vuoden 2005 dataan.

=>Ympäristötilastojen ja taloustilastojen integrointi

Päästöistä ympäristövaikutuksiin (LCA metodologia)

- Määritellään ympäristöongelmat eli vaikutusluokat, joihin eri päästöt vaikuttavat ja kullekin päästölle arvioidaan karakteristinen vaikutuskerroin (vaikutus/päästömassa) yhdessä tai useammassa vaikutusluokassa.

- Vaikutusluokat:
  1) Ilmaston lämpeneminen
  2) Happamoituminen
  3) Rehevöityminen
  4) Yläilmakehän otsonikato
  5) Alailmakehän otsonipitoisuuden kasvu
  6) Ekotoksisuus
  7) Humaanitoksisuus

$\Rightarrow$ 28+20 päästölajia muunnetaan vaikutuksiksi 7 ympäristöongelmaan

THULE INSTITUTE

Ilmapäästöjen ympäristövaikutukset

			Vaikutusluokat					
Päästölajit		**my**	Ilmaston lämpe-neminen	Happa-moitu-minen	Rehevöi-tyminen	Alailma-kehän otsoni	Eko-toksisuus	Humaani-toksisuus
CO2-fos	Hiilidioksidi, fossiilinen	t	1					
CH4	Metaani	t	21			0.33		
N2O	Typpioksiduuli	t	310					
F	F-kaasut (HFC, PFC, SF6)	t CO2 el	1					
SO2	Rikkidioksidi	t		0.463				96
NOx	Typen oksidit	t NO2		0.186	0.015	0.35		
NH3	Ammoniakki	t		0.535	0.040			100
NMVOC	NMVOC	t				0.27	0.0	637
CO	Hiilimonoksidi	t						
Pb	Lyijy	kg					15.7	467
Cd	Kadmium	kg					81.2	145041
Hg	Elohopea	kg					28 312.6	6008
As	Arseeni	kg					1 609.1	347700
Co	Koboltti	kg					108.7	17470
Cr	Kromi	kg					3 031.1	647
Cu	Kupari	kg					7.0	4295
Ni	Nikkeli	kg					116.0	35033
Zn	Sinkki	kg					12.0	104
V	Vanadiini	kg					665.2	6240
PAH	PAH-yhdisteet	g					0.0	572
DF	Dioksiinit ja furaanit	g					12.0	1933983
PM10	Pienhiukkaset<10	t						
PM2.5	Pienhiukkaset<2.5	t						
HF	Fluorivety	kg					0.003	2851
HCL	Suolahappo	t						500
H2S	Rikkivety	kg						0.2

Vesipäästöjen ympäristövaikutukset

UNIVERSITY of OULU

Päästölajit		my	Vaikutusluokat: Ilmaston lämpeneminen	Happamoituminen	Rehevöityminen	Alailmakehän otsoni	Ekotoksisuus	Humaanitoksisuus
	Kiintoaine	tn						
BOD7	Biologinen hapenkulutus	tn						
Ptot	Kokonaisfosfori	tn			0.918			
Ntot	Kokonaistyppi	tn			0.236			
Sb	Antimoni	kg					19.747	5141.477
As	Arseeni	kg					206.746	950.617
Hg	Elohopea	kg					1717.144	1425.959
Cd	Kadmium (II)	kg					1523.011	22.891
Co	Koboltti	kg					3407.832	96.702
Cr(III)	Kromi (III)	kg					6.914	2.052
Cr(VI)	Kromi(VI)	kg					27.656	3.420
Cu	Kupari (II)	kg					1157.307	1.339
Pb	Lyijy	kg					9.616	12.260
Ni	Nikkeli	kg					3237.610	331.080
Zn	Sinkki (II)	kg					91.712	0.584
Sn	Tina	kg					10.166	0.017
V	Vanadiini	kg					8965.691	3163.049
Fen	Fenoliset yhdisteet	kg					237.008	0.049
Tol	Tolueeni	kg					0.295	0.303
Vcl	Vinyylikloridi	kg					0.028	144.668

THULE INSTITUTE

Talouden ympäristövaikutusten jakautuminen toimialoittain

UNIVERSITY of OULU

	Aggregiudut toimialat	Vaikutusluokat: Ilmaston lämpeneminen	Happamoituminen	Rehevöityminen	Alailmakehän otsoni	Ekotoksisuus	Humaanitoksisuus	Tuotos 2002 Meur
1	Maa-, riista- & kalatalous	10.01	22.60	60.55	18.95	1.71	6.73	4 472
2	Metsätalous	0.53	1.02	2.55	1.44	0.00	0.03	3 188
3	Mineraalien kaivu	0.43	0.78	0.53	0.39	1.08	0.23	1 037
4	Elintarvikkeiden valmistus	0.64	0.54	0.51	0.42	0.84	0.43	8 820
5	Puutavaran valmistus	2.00	0.92	0.18	0.84	2.82	2.74	5 380
6	Massan, paperin yms. valm.	4.45	6.88	3.13	2.91	6.08	3.42	18 506
7	Kemian teollisuus	7.37	7.31	1.08	3.35	15.35	5.01	11 796
8	Metallien jalostus & met.tuot. \	7.16	5.63	0.83	1.19	47.79	15.97	10 718
9	Konepajateollisuus	0.32	0.32	0.05	2.30	0.27	0.21	14 495
10	Sähkötekninen teollisuus	0.07	0.02	0.02	0.11	0.00	0.01	20 493
11	Muu valmistus	2.75	1.01	0.31	0.90	4.65	1.49	5 507
12	Sähkö-, kaasu- & vesihuolto	35.22	28.17	2.81	8.26	11.86	7.23	5 096
13	Rakentaminen	1.68	3.48	0.87	3.06	0.09	0.11	17 457
14	Kauppa	2.26	1.40	0.41	1.82	0.18	1.00	23 703
15	Kuljetus ja tietoliikenne	6.53	9.77	2.73	9.46	0.07	2.49	21 920
16	Asuntojen omistus ja vuokraus	2.11	1.03	0.19	1.09	0.74	2.17	20 634
17	Muut palvelut	5.88	1.34	14.71	24.98	1.77	3.68	68 009
	Kotitaloudet	10.59	7.78	8.54	18.52	4.68	47.07	
	Yteensä	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**193 222**

THULE INSTITUTE

Tuotteiden loppukäyttö perushintaan v. 2002, Meur

UNIVERSITY of OULU

	Aggregoidut toimialat	Yksityiset kulutusm.	Julkiset kulutusm.	Pääoman muodostus	Varastojen muutokset	Vienti
1	Maa-, riista- & kalatalous	1 090	0	50	-82	477
2	Metsätalous	156	0	166	-23	37
3	Mineraalien kaivu	0	0	0	86	121
4	Elintarvikkeiden valmistus	3 729	0	0	-12	1 292
5	Puutavaran valmistus	17	0	0	-72	2 905
6	Massan, paperin yms. valm.	1 131	0	0	319	10 164
7	Kemian teollisuus	1 226	485	0	68	5 840
8	Perusmetallien & met.tuot. v.	70	0	179	30	4 804
9	Konepajateollisuus	1 962	0	3 725	5	9 242
10	Sähköteknisten tuotteiden v.	521	0	2 889	57	9 651
11	Muu valmistus	1 949	3	197	29	2 009
12	Sähkö-, kaasu- & vesihuolto	535	0	0	0	85
13	Rakentaminen	0	374	14 375	0	0
14	Kauppa	11 442	418	394	34	687
15	Kuljetus ja tietoliikenne	4 394	1 760	25	-2	3 749
16	Asuntojen omistus ja vuokraus	15 858	0	0	0	0
17	Muut palvelut	16 254	27 129	2 285	64	5 904
	Tuotteiden käyttö yhteensä	**60 334**	**30 169**	**24 284**	**502**	**56 967**

THULE INSTITUTE

Lopputuotteiden tuottamisen ympäristövaikutukset käytön mukaan

kotimaan kokonaisvaikutukset = 100

Loppukäytön erät	Ilmaston lämpe-neminen	Happa-moitu-minen	Rehe-vöity-minen	Alailma-kehän otsoni	Eko-toksisuus	Humaani-toksisuus
KOTIMAASSA						
Yksityiset kulutusmenot	42.4	41.8	54.8	52.7	18.7	60.9
Julkiset kulutusmenot	8.3	6.9	5.8	9.8	4.3	4.2
Kiinteän pääoman muodostus	9.1	8.8	5.9	8.3	9.2	4.8
Varastojen muutokset	-0.3	0.3	-2.8	0.2	0.7	0.3
Vienti	40.5	42.2	36.4	29.0	67.1	29.9
Yhteensä	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**
ULKOMAILLA						
Yksityiset kulutusmenot	13.6	13.0	22.3	10.3	14.2	6.4
Julkiset kulutusmenot	2.6	2.5	2.7	1.9	2.9	1.3
Kiinteän pääoman muodostus	6.9	6.0	5.0	4.6	13.5	5.2
Varastojen muutokset	0.4	0.5	0.0	0.2	1.1	0.3
Vienti	22.2	21.1	22.4	15.0	38.7	14.6
Yhteensä	**45.7**	**43.1**	**52.3**	**32.1**	**70.5**	**27.9**

THULE INSTITUTE

Lopputuotteiden käytön ilmastovaikutukset tuoteryhmittäin,
kotimainen kokonaisvaikutus = 100, tuonnilla ”kotimaiset kertoimet”

UNIVERSITY of OULU

Ilmaston lämpeneminen	Ympäristövaikutukset kotimaassa						Tuonnin vaikutukset ulkomailla					
Aggregoidut tuoteryhmät	Yksityiset kulutus-menot	Julkiset kulutus-menot	Pää-oman muod.	Varas-tojen mtokset	Vienti	**Yhteensä**	Yksityiset kulutus-menot	Julkiset kulutus-menot	Pää-oman muod.	Varas-tojen mtokset	Vienti	**Yhteensä**
1 Maa-, riista- & kalatalous	1.9	0.0	0.1	-0.7	2.1	**3.4**	0.5	0.0	0.0	-0.1	0.5	**0.9**
2 Metsätalous	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	**0.1**	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**0.0**
3 Mineraalien kaivu	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	**0.2**	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	**0.2**
4 Elintarvikkeiden valmistus	4.4	0.0	0.0	0.0	2.0	**6.5**	3.1	0.0	0.0	0.0	0.8	**4.0**
5 Puutavaran valmistus	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	**2.3**	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	**0.5**
6 Massan, paperin yms. valm.	0.4	0.1	0.1	0.3	11.7	**12.5**	0.3	0.0	0.0	0.2	3.6	**4.1**
7 Kemian teollisuus	0.7	0.1	0.1	0.1	6.3	**7.1**	1.1	0.3	0.0	0.1	4.3	**5.9**
8 Perusmetallien & met.tuot. v.	0.0	0.0	0.1	0.1	6.8	**7.1**	0.1	0.0	0.1	0.1	3.5	**3.8**
9 Konepajateollisuus	0.1	0.0	0.5	0.0	2.2	**2.7**	1.4	0.0	2.0	0.0	3.7	**7.1**
10 Sähkötekninen teollisuus.	0.1	0.0	0.4	0.0	1.8	**2.2**	0.3	0.1	1.2	0.0	3.2	**4.8**
11 Muu valmistus	0.2	0.0	0.1	0.0	1.2	**1.5**	1.3	0.0	0.1	0.0	1.0	**2.5**
12 Sähkö-, kaasu- & vesihuolto	4.3	0.0	0.1	0.0	0.8	**5.2**	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	**0.4**
13 Rakentaminen	0.1	0.3	6.8	0.0	0.0	**7.2**	0.0	0.1	2.9	0.0	0.0	**3.0**
14 Kauppa	4.1	0.2	0.2	0.0	0.3	**4.8**	1.4	0.1	0.1	0.0	0.1	**1.6**
15 Kuljetus ja tietoliikenne	1.6	0.7	0.0	0.0	1.8	**4.1**	0.7	0.1	0.0	0.0	0.5	**1.4**
16 Asuntojen omistus ja vuokrau	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	**8.3**	1.1	0.0	0.1	0.0	0.0	**1.2**
17 Muut palvelut	5.6	6.9	0.5	0.0	1.2	**14.3**	1.8	1.9	0.2	0.0	0.4	**4.3**
Kotitalouksien suorat	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	**10.6**	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**0.0**
Yhteensä	**42.4**	**8.3**	**9.1**	**-0.3**	**40.5**	**100.0**	**13.6**	**2.6**	**6.9**	**0.4**	**22.2**	**45.7**

THULE INSTITUTE

Kestävän kulutuksen näkökulma 1: Kotitalouksien kulutusmenojen luokitus käyttötarkoituksen mukaan (COICOP)

UNIVERSITY of OULU

COICOP, 2-numerotaso		Meur
C01	**ELINTARVIKKEET JA ALKOHOLITTOMAT JUOMAT**	**8 702**
C02	**ALKOHOLIJUOMAT JA TUPAKKA**	**4 039**
C03	**VAATETUS JA JALKINEET**	**3 211**
C04	**ASUMINEN, VESI, SÄHKÖ, KAASU JA MUUT POLTTOAINEET**	**17 452**
C05	**SISUSTUS, KOTITALOUSVÄLINEISTÖ JA TAVANOMAINEN KODINHOITO**	**3 382**
C06	**TERVEYS**	**2 791**
C07	**KULJETUS**	**8 456**
C071	Kulkuvälineiden hankinnat	2 929
C072	Yksityisten kulkuvälineiden käyttö	3 952
C073	Kuljetuspalvelut	1 575
C08	**TIETOLIIKENNE**	**2 295**
C09	**VIRKISTYS JA KULTTUURI**	**7 659**
C10	**KOULUTUS**	**314**
C11	**RAVINTOLAT JA HOTELLIT**	**4 298**
C12	**SEKALAISET TAVARAT JA PALVELUT**	**6 733**

THULE INSTITUTE

Kestävän kulutuksen näkökulma 2: Tanskalainen tarvelähtöinen kulutuksen jaottelu

Danish consumption divided according to product functions (need groups)

- Housing (16%)
- Food (15%), including catering and food preparation
- Leisure (15%)
- Social care (11%)
- Education (8%)
- Health care (8%)
- Security (8%), covering mainly insurances and public security
- Communication (5%)
- Clothing (4%)
- Hygiene (3%), including refuse collection

THULE INSTITUTE

Muut indikaattorit

- Materiaalivirrat (luonnonvarojen kokonaiskulutus)
- Maankäyttö (biodiversiteetti)
- Energiankulutus (primäärienergia)
- Loppujätteet (kaatopaikoille)

- Kotimainen arvonlisäys
- Kotimainen työllisyys

THULE INSTITUTE

Jatkotöitä

- Suomalaisten kuljetusyritysten polttoainekulutus ja päästöt ulkomailla (lento- ja laivaliikenne)
- Sähkön ja lämmöntuotannon päästöjen tarkempi kohdistaminen toimialoille (CHP tuotanto!)
- Pääomakannan kulumisen korvausinvestointien ympäristövaikutusten kohdistaminen toimialoille
- Liikenteen ympäristövaikutusten laajentaminen infrastruktuurin kuluttamiseen
- Panos-tuotosmallin tulosten vertailu ja testaus LCA:n tuloksiin tärkeillä sektoreilla

THULE INSTITUTE