IV. Interpretace životního cyklu

- výstupem LCA je řada hodnot, které je nutno vyhodnotit
- to obnáší roztřídění a srozumitelnou interpretaci v krocích:

1) **identifikace významných zjištění**
2) **hodnocení LCA studií**
3) **formulace závěrů a doporučení**

- během inventarizační fáze a fáze hodnocení env. dopadů byly učiněny předpoklady a odhady, které je nutné vyhodnotit

- i když je interpretace poslední fází, často ovlivňuje i předchozí fáze LCA studie, kdy na základě významných zjištěních můžeme činit změny v předchozích krocích

1) Identifikace významných zjištění

- utřídit výsledky tak, abychom mohli jasně říci, např.:
- *„nejvýraznější ED má kávovar během fáze používání“*
- *„největší podíl na emisích ionizujících látek má výroba“*
- *„nejvíce ropy se spotřebuje při výrobě konvice“* atd.

- takovéto informace nazýváme **významnými zjištěními**
- tato zjištění jsou základem pro kontrolu **kompletnosti**, **citlivosti** a **konzistence** studie LCA

- významná zjištění lze zjistit po uspořádání dat do **strukturalizačních tabulek**, kde jsou data uspořádána dle velikosti ED
- jak se liší inventarizační tabulky?

Strukturalizační tabulky

- různé možnosti zobrazení souhrnu dat, např. dle velikosti ED na úrovni **midpointů**, př. LCA kávovaru

Network | Tree | Impact assessment | Inventory | Process contribution | Setup | Checks (274,0) | Product overview

Characterization | Normalization

Skip categories: Never

Standard / Group | Exclude long-term

Sel	Impact category	Unit	Total	Assembly model Sima	Electricity, low voltage,	Household waste/NL S	Use of a coffee filter	Use of packaging
☑	Climate change	kg CO2 eq	223	6,12	202	2,03	12,7	0,752
☑	Ionising radiation	kg U235 eq	202	1,29	195	-0,101	5,82	0,219
☑	Fossil depletion	kg oil eq	65,1	3,22	57,6	-0,127	4,16	0,261
☑	Agricultural land occupation	m2a	35,7	0,29	3,42	-0,0253	32,2	-0,11
☑	Human toxicity	kg 1,4-DB eq	22,5	2,55	16,1	0,306	3,44	0,126
☑	Metal depletion	kg Fe eq	13,8	3,47	9,89	-0,151	0,525	0,0261
☑	Water depletion	m3	2,24	0,0325	1,88	-0,00396	0,323	0,0121
☑	Urban land occupation	m2a	1,52	0,0824	0,84	-0,000722	0,592	0,00527
☑	Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1,1	0,0473	0,988	-0,00354	0,0622	0,00249
☑	Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	0,538	0,0287	0,449	-0,0012	0,0589	0,00287
☑	Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,429	0,041	0,302	0,0407	0,0428	0,00244
☑	Particulate matter formation	kg PM10 eq	0,339	0,0174	0,296	-0,0021	0,0266	0,000967
☑	Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,293	0,0179	0,182	0,0423	0,0477	0,00301
☑	Marine eutrophication	kg N eq	0,17	0,00818	0,138	-4,8E-5	0,0232	0,00115
☑	Natural land transformation	m2	0,0342	0,00096	0,0263	-0,00015	0,00688	0,000207
☑	Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,0246	0,000769	0,0178	-5,74E-5	0,00598	8,39E-5
☑	Freshwater eutrophication	kg P eq	0,00156	0,000103	0,00114	-2,17E-5	0,000317	1,8E-5
☑	Ozone depletion	kg CFC-11 eq	1,14E-5	1,15E-6	9,13E-6	-2,61E-8	1,05E-6	8,89E-8

Strukturalizační tabulky

- různé možnosti zobrazení souhrnu dat, např. dle velikosti ED na úrovni **endpointů**, př. LCA kávovaru

Network | Tree | Impact assessment | Inventory | Process contribution | Setup | Checks (285,0) | Product overview

Characterization | Damage Assessment | Normalization | Weighting | Single score

Skip categories: Never

Standard / Group — Exclude long-term / Per impact category

Sel	Impact category	Unit	Total	Assembly model Sima	Electricity, low voltage,	Household waste/NL S	Use of a coffee filter	Use of packaging
☑	Fossil depletion	$	1,05E3	51,8	925	-2,03	66,9	4,19
☑	Metal depletion	$	0,983	0,248	0,706	-0,0108	0,0375	0,00187
☑	Climate change Human Health	DALY	0,000313	8,57E-6	0,000283	2,84E-6	1,77E-5	1,05E-6
☑	Particulate matter formation	DALY	8,82E-5	4,53E-6	7,71E-5	-5,45E-7	6,91E-6	2,52E-7
☑	Human toxicity	DALY	1,58E-5	1,79E-6	1,13E-5	2,14E-7	2,41E-6	8,79E-8
☑	Ionising radiation	DALY	3,31E-6	2,11E-8	3,19E-6	-1,65E-9	9,55E-8	3,59E-9
☑	Climate change Ecosystems	species.yr	1,77E-6	4,85E-8	1,6E-6	1,61E-8	1E-7	5,97E-9
☑	Agricultural land occupation	species.yr	4,01E-7	3,25E-9	3,83E-8	-2,83E-10	3,61E-7	-1E-9
☑	Natural land transformation	species.yr	4,75E-8	1,35E-9	3,52E-8	-2,29E-10	1,09E-8	2,66E-10
☑	Urban land occupation	species.yr	2,93E-8	1,59E-9	1,62E-8	-1,39E-11	1,14E-8	1,02E-10
☑	Ozone depletion	DALY	2,8E-8	2,02E-9	2,31E-8	-6,95E-11	2,75E-9	2,2E-10
☑	Photochemical oxidant formation	DALY	2,1E-8	1,12E-9	1,75E-8	-4,69E-11	2,3E-9	1,12E-10
☑	Terrestrial acidification	species.yr	6,36E-9	2,74E-10	5,73E-9	-2,05E-11	3,61E-10	1,44E-11
☑	Terrestrial ecotoxicity	species.yr	3,13E-9	9,77E-11	2,27E-9	-7,29E-12	7,59E-10	1,07E-11
☑	Freshwater ecotoxicity	species.yr	7,63E-11	4,66E-12	4,75E-11	1,1E-11	1,24E-11	7,83E-13
☑	Freshwater eutrophication	species.yr	6,85E-11	4,55E-12	5,01E-11	-9,55E-13	1,4E-11	7,96E-13
☑	Marine ecotoxicity	species.yr	3,43E-13	3,28E-14	2,42E-13	3,26E-14	3,43E-14	1,95E-15

Zjištění závažnosti ED

- nutno nejprve data normalizovat, abychom je mohli srovnat mezi jednotlivými kategoriemi ED

Network | Tree | Impact assessment | Inventory | Process contribution | Setup | Checks (285,0) | Product overview

Characterization | Damage Assessment | Normalization | Weighting | Single score

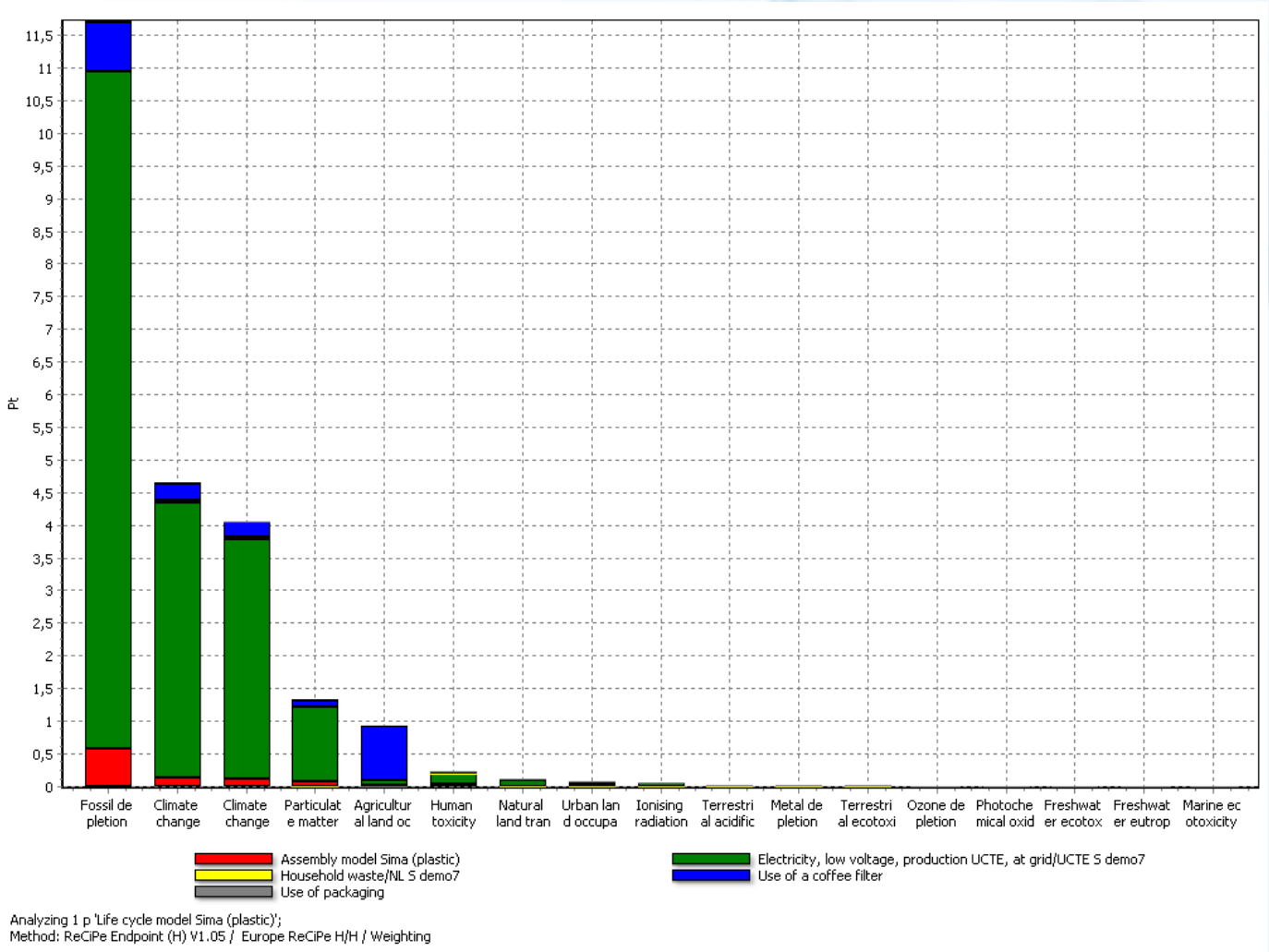
Skip categories: Never — Show normalization indicators

Standard / Group — Exclude long-te / Per impact cate

Sel	Impact category	Unit	Total	Assembly model Sima	Electricity, low voltage,	Household waste/NL S	Use of a coffee filter	Use of packaging
☑	Fossil depletion		0,039	0,00193	0,0345	-7,58E-5	0,0025	0,000156
☑	Climate change Human Health		0,0155	0,000425	0,014	0,000141	0,00088	5,23E-5
☑	Climate change Ecosystems		0,0101	0,000278	0,00917	9,2E-5	0,000575	3,42E-5
☑	Particulate matter formation		0,00438	0,000224	0,00382	-2,7E-5	0,000343	1,25E-5
☑	Agricultural land occupation		0,0023	1,86E-5	0,00022	-1,62E-6	0,00207	-5,73E-6
☑	Human toxicity		0,000781	8,85E-5	0,000558	1,06E-5	0,000119	4,36E-6
☑	Natural land transformation		0,000272	7,73E-6	0,000201	-1,31E-6	6,26E-5	1,53E-6
☑	Urban land occupation		0,000168	9,1E-6	9,29E-5	-7,98E-8	6,54E-5	5,82E-7
☑	Ionising radiation		0,000164	1,05E-6	0,000158	-8,19E-8	4,74E-6	1,78E-7
☑	Metal depletion		3,67E-5	9,25E-6	2,63E-5	-4,04E-7	1,4E-6	6,96E-8
☑	Terrestrial acidification		3,64E-5	1,57E-6	3,28E-5	-1,18E-7	2,07E-6	8,26E-8
☑	Terrestrial ecotoxicity		1,79E-5	5,6E-7	1,3E-5	-4,18E-8	4,34E-6	6,12E-8
☑	Ozone depletion		1,39E-6	1E-7	1,15E-6	-3,45E-9	1,36E-7	1,09E-8
☑	Photochemical oxidant formation		1,04E-6	5,55E-8	8,68E-7	-2,33E-9	1,14E-7	5,56E-9
☑	Freshwater ecotoxicity		4,37E-7	2,67E-8	2,72E-7	6,31E-8	7,11E-8	4,49E-9
☑	Freshwater eutrophication		3,92E-7	2,61E-8	2,87E-7	-5,47E-9	8,02E-8	4,56E-9
☑	Marine ecotoxicity		1,97E-9	1,88E-10	1,38E-9	1,87E-10	1,96E-10	1,12E-11

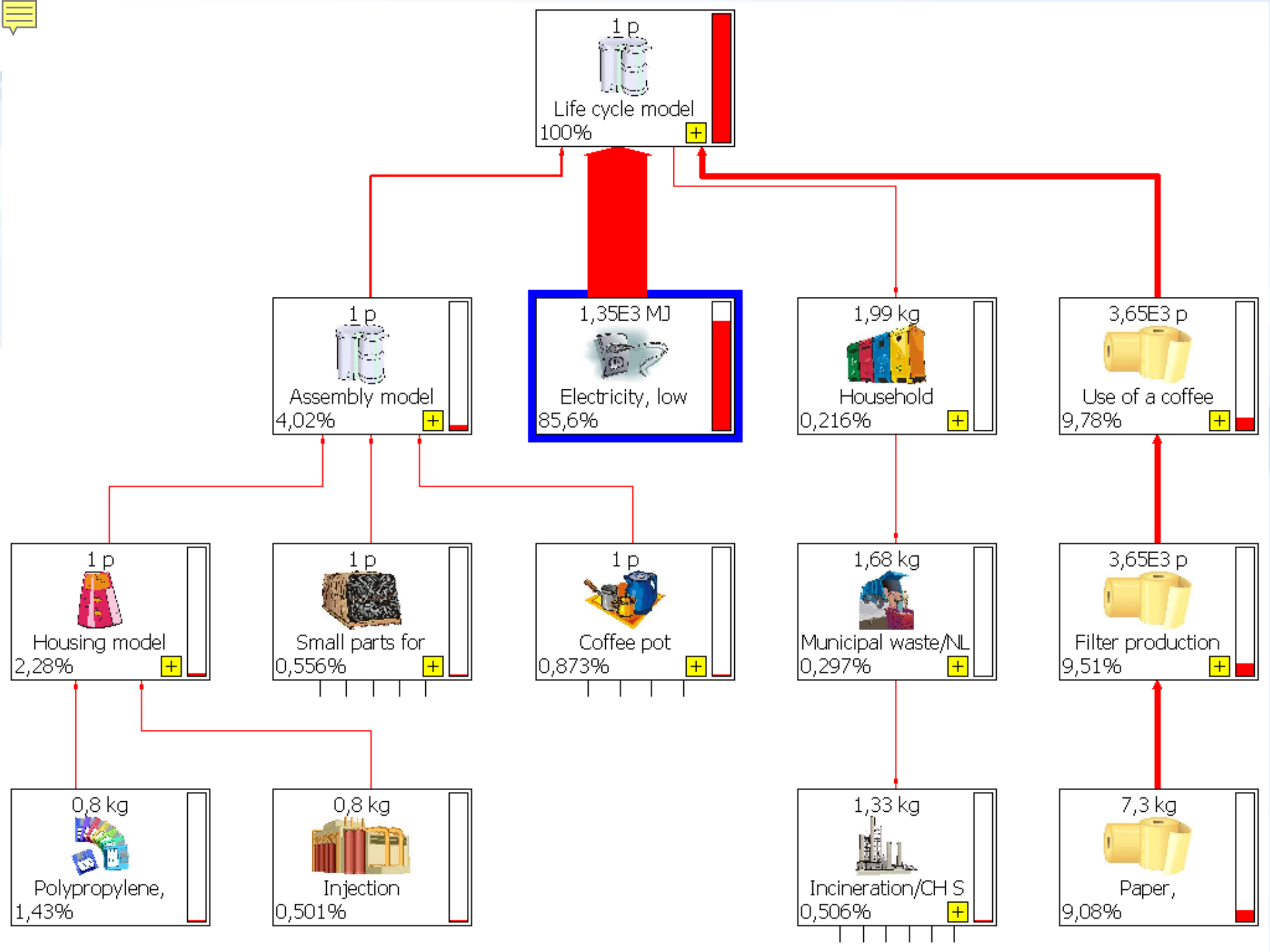
Zjištění závažnosti ED

- nutno nejprve data normalizovat, abychom je mohli srovnat mezi jednotlivými kategoriemi ED



Zjištění závažnosti ED

- nejvýraznější ED tedy v celém ŽC přípravy kávy (používání kávovaru) je **spotřeba fosilních paliv na výrobu elektřiny**
- v jaké fázi ŽC?


1 p
Life cycle model
100%
1 p
Assembly model
4,02%
1,35E3 MJ
Electricity, low
85,6%
1,99 kg
Household
0,216%
3,65E3 p
Use of a coffee
9,78%
1 p
Housing model
2,28%
1 p
Small parts for
0,556%
1 p
Coffee pot
0,873%
1,68 kg
Municipal waste/NL
0,297%
3,65E3 p
Filter production
9,51%
0,8 kg
Polypropylene,
1,43%
0,8 kg
Injection
0,501%
1,33 kg
Incineration/CH S
0,506%
7,3 kg
Paper,
9,08%

2) Hodnocení LCA studií

- cílem hodnocení je otestovat robustnost LCA studie a ověřit platnost významných zjištění
- zvyšuje důvěryhodnost studie
- nutné z důvodu ověření, zda přijaté předpoklady a nejistoty či variabilita dat nejsou příliš významné

Typ testu	Účel testu
Kontrola úplnosti	Zajistit úplnost potřebných dat v inventarizaci Zajistit úplnost hodnocení dopadů (LCIA) – pokrývá všechny výstupy z inventarizace?
Kontrola konzistence	Testování vhodnosti modelu životního cyklu produktu a volby použitých metodik ve vztahu k cíli a rozsahu studie
Analýza nejistot	Zjistit, jak silně jsou výstupy studie zatížené nejistotami vstupních dat
Analýza citlivosti	Identifikovat a testovat vliv důležitých dat
Analýza obměny	Testování vlivu alternativních scénářů a modelů životního cyklu
Hodnocení kvality dat	Testování nedostatků vstupních dat, jejich správnosti a vhodnosti pro danou studii

Kontrola úplnosti

- ověření dostupnosti a úplnosti všech informací
- pokud není něco v pořádku, je nutné to doplnit případně okomentovat, proč to není nutné
- kontrola úplnosti se provádí pomocí **seznamů úplnosti,** př.:

Proces	Produkt A	Jsou data úplná?	Požadovaná akce	Produkt B	Jsou data úplná?	Požadovaná akce
Produkce surovin	x	Ano	Není	x	Ano	Není
Produkce materiálů	x	Ano	Není	x	Ano	Není
Energie na výrobu	x	Ano	Není	x	Ne	Přepočítat
Doprava	x	?	Zkontrolovat inventarizaci	x	Ano	Není
Výroba produktu	x	Ne	Zkontrolovat inventarizaci	x	Ano	
Balení	x	Ano	Není	–	Ne	Porovnat s A
Fáze užívání	x	?	Porovnat s B	x	Ano	Není
Konec životnosti	x	?	Porovnat s B	x	?	Porovnat s A

Označení: x = dostupná data jsou vhodná pro studii; – = nejsou dostupná vhodná data; ? = další kontrola dat nutná.

Kontrola konzistence (soudržnosti)

- ověření souladu předpokladů – nutné obzvlášť při srovnávání dvou produktů
- některé konzistence mohou být přijatelné, některé však ne

Příklad seznamu soudržnosti:

Oblast soudržnosti	Produktový systém A		Produktový systém B		Porovnání A vs. B	Požadovaná akce
Zdroj dat	Literatura	OK	Primární	OK	Konzistentní	Žádná
Vhodnost údajů	Dobrá	OK	Špatná	Cíle a rozsahu nebylo dosaženo	Nekonzistentní	Revidovat B
Stáří údajů	2 roky	OK	3 roky	OK	Konzistentní	Žádná
Technologický rozsah	Nejmodernější	OK	Pilotní provoz	OK	Nekonzistentní	Odpovídá definici cílů – Žádná
Časový rozsah	Nedávné	OK	Aktuální	OK	Konzistentní	Žádná
Geografický rozsah	Evropa	OK	USA	OK	Konzistentní	Žádná

Kontrola konzistence (soudržnosti)

Oblasti konzistence a možné nesoudržnosti

Oblast konzistence	Příklad nesoudržnosti
Zdroj dat	Produktový systém A: Data pocházejí z literatury Produktový systém B: Data pocházejí z experimentu
Kvalita dat	Produktový systém A: LCI provedena na základě detailního diagramu procesů Produktový systém B: LCI provedena na základě povrchně popsaného procesu typu „černá skříňka“
Stáří dat	Produktový systém A: Inventarizace je provedena na základě dat z 80. let Produktový systém B: Inventarizace je provedena na základě recentních dat
Technologický rozsah	Produktový systém A: Data pro laboratorní model Produktový systém B: Data pro výrobní linku v provozu
Časový rozsah	Produktový systém A: Data pro v současnosti vyvinutou technologii Produktový systém B: Data pro kombinaci starých a nových technologií
Geografický rozsah	Produktový systém A: Data pro technologie vyrobené dle současných evropských standardů Produktový systém B: Data pro technologie splňující U.S. environmentální standardy
Hranice systému, předpoklady, modely	Produktový systém A: Byl použit charakterizační faktor GWP_{100}, kg CO_2-eq/kg Produktový systém B: Byl použit charakterizační faktor GWP_{500}, kg CO_2-eq/kg

Analýza nejistot

- testuje vliv nepřesnosti (rozptylu) dat na výsledky studie

Zdroje nejistot v LCA studiích

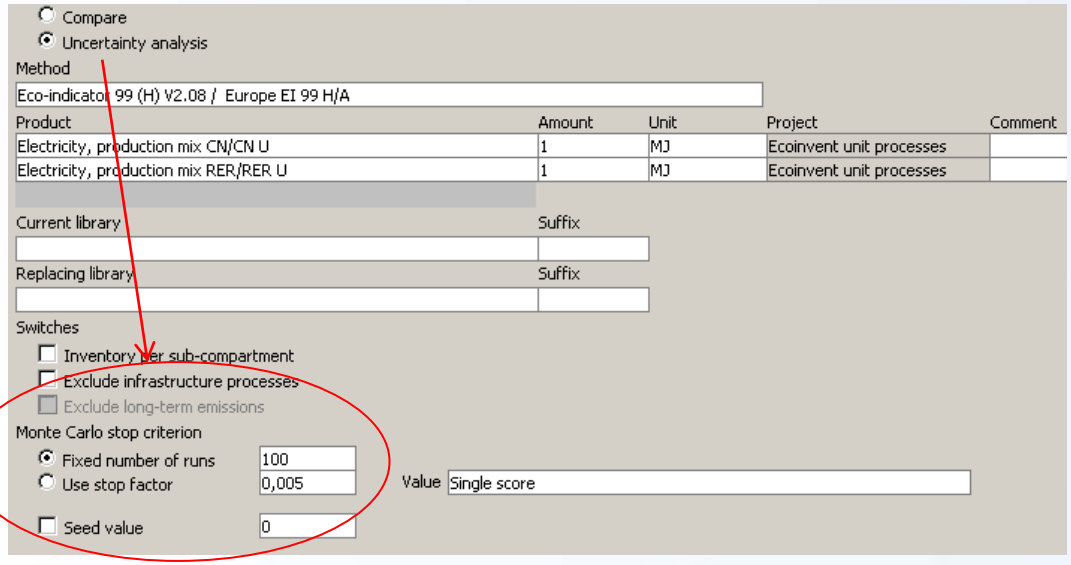
- nepřesnosti v měřeních a odhadech
- v procesu, který byl vybrán jako reprezentativní (používáme-li např. průměrné hodnoty pro dopravu kamiony, místo konkrétních hodnot, které se však těžko získávají)
- nejistoty v chování spotřebitelů – užívání a likvidace prod.
- nejistoty v budoucích odpadových scénářích
- nejistoty v hodnocení env. dopadů, atd.

Řešení

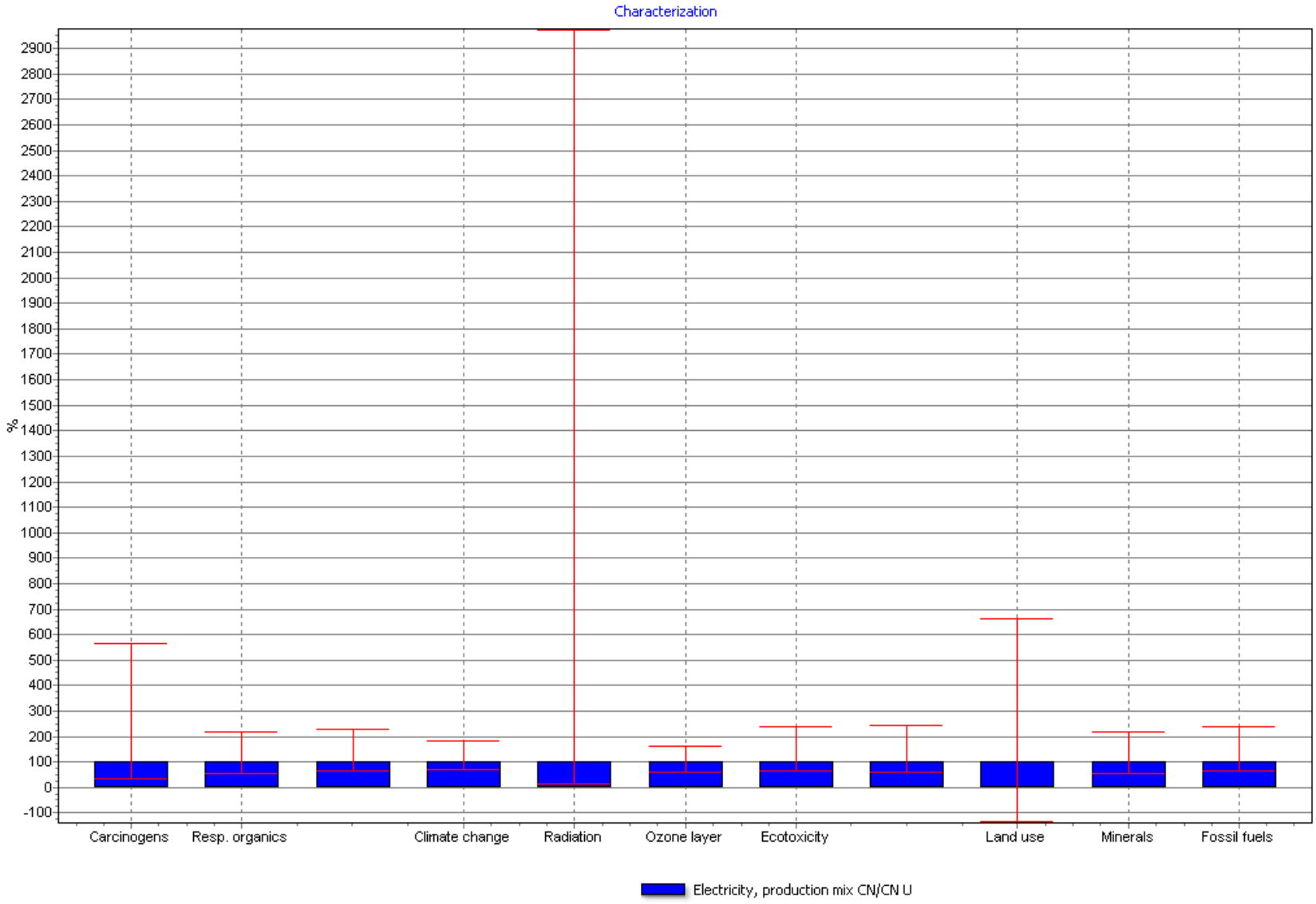
- **určit rozsah nejistot a provést analýzu Monte Carlo**

Monte Carlo analýza

- nejprve určíme typ rozložení dat a SD každého vstupního parametru
- náhodně vybereme skupinu hodnot dle daného rozložení
- přepočítáme LCA studii pro každý parametr
- spočítané výsl. vyneseme do grafu četnosti a porovnáme
- **příklad** - zjištění, která kat. ED má největší rozptyl hodnot
    - srovnání ED výroby elektřiny v Číně a Evropě
    - provedeme analýzu nejistot, Monte Carlo



MC analýza nejistot ED výroby elektřiny v Číně

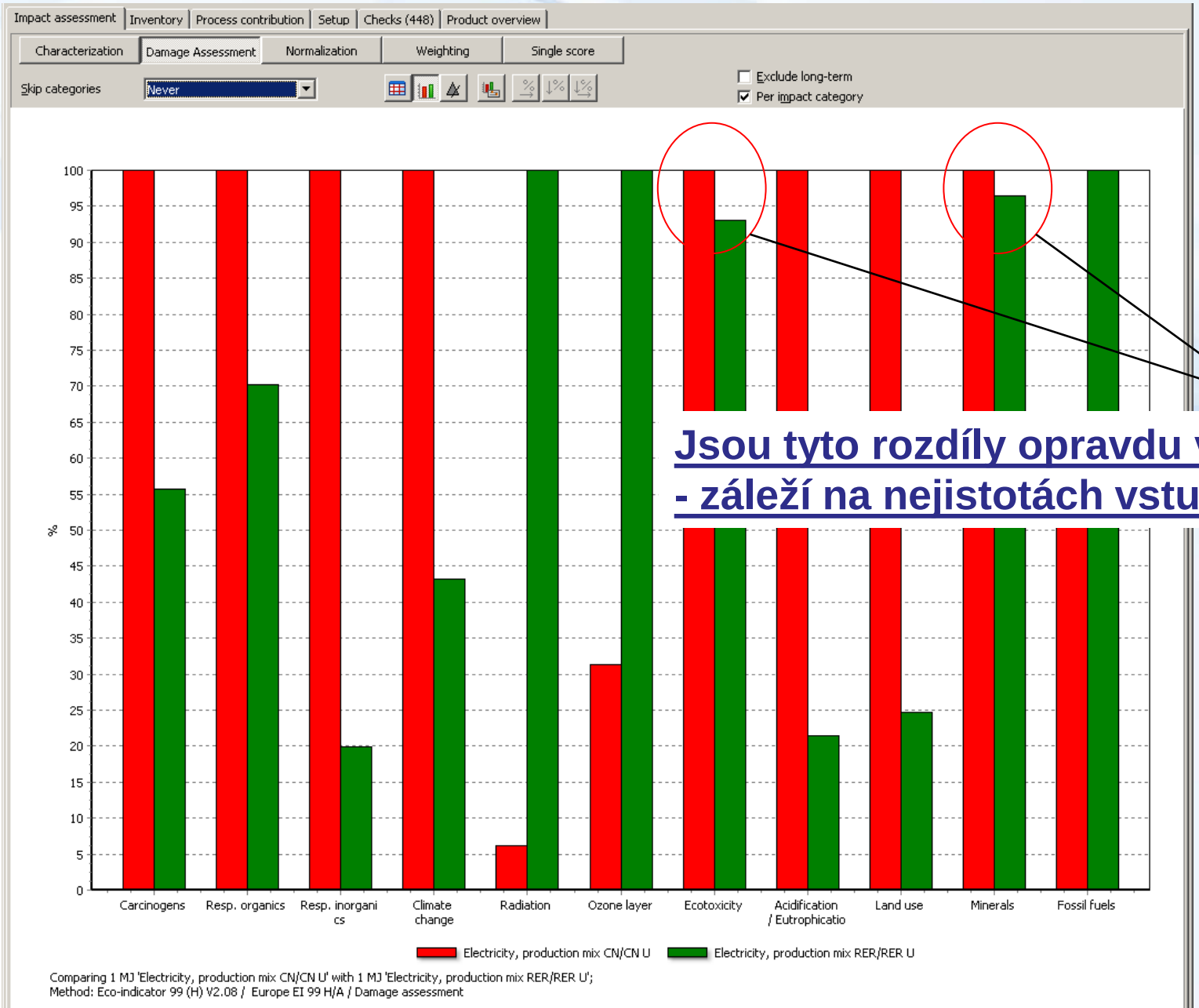


Uncertainty analysis of 1 MJ 'Electricity, production mix CN/CN U',

Method: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/A, confidence interval: 95 %

Srovnání ED výroby elektřiny v Číně (červená) a Evropě (zelená)

Srovnání ED výroby elektřiny v Číně (červená) a Evropě (zelená)



Jsou tyto rozdíly opravdu významné?
- záleží na nejistotách vstupních dat

Vstupní data mají zadanou průměrnou hodnotu + typ rozložení + SD

Documentation | Input/output | Parameters | System description

Products

Known outputs to technosphere. Products and co-products

Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Category	Comment
Electricity, production mix CN/CN U	1	kWh	Energy	100 %	Electricity count...\Production	CHINA

Known outputs to technosphere. Avoided products

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD	Min	Max	Comment

Inputs

Known inputs from nature (resources)

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD	Min	Max	Comment

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD	Min	Max	Comment
Electricity, hard coal, at power plant/CN U	0,786	kWh	Lognormal	1,07			(2,1,1,1,1,2); national and in statistics
Electricity, nuclear, at power plant pressure water reactor/CN U	0,0213	kWh	Lognormal	1,07			(2,1,1,1,1,2); national and in statistics
Electricity, hydropower, at reservoir power plant, non alpine regions/RER U	0,159	kWh	Lognormal	2,52			(5,5,5,5,5,2); national and in statistics
Electricity, oil, at power plant/CZ U	0,0287	kWh	Lognormal	1,25			(3,3,2,1,3,2); national and in statistics
Electricity, natural gas, at power plant/CENTREL U	0,00321	kWh	Lognormal	1,25			(3,3,2,1,3,2); national and in statistics
Electricity, at cogen ORC 1400kWth, wood, allocation exergy/CH U	0,000998	kWh	Lognormal	2,02			(3,3,2,1,5,2); national and in statistics
Electricity, at wind power plant 600kW/CH U	0,000613	kWh	Lognormal	1,24			(3,3,1,1,3,2); national and in statistics

Known inputs from technosphere (electricity/heat)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD	Min	Max	Comment

Outputs

Emissions to air

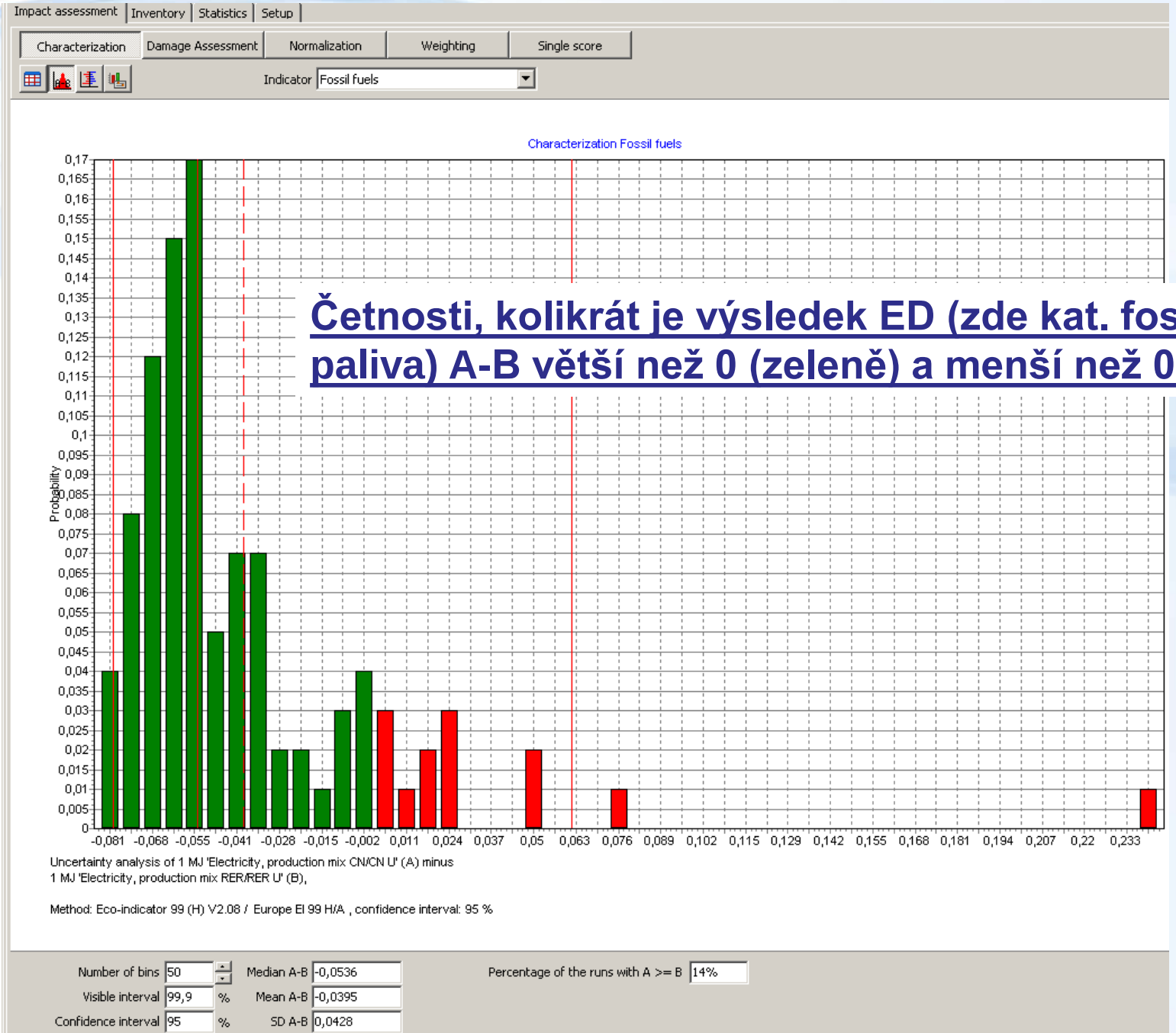
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD	Min	Max	Comment

Emissions to water

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD	Min	Max	Comment

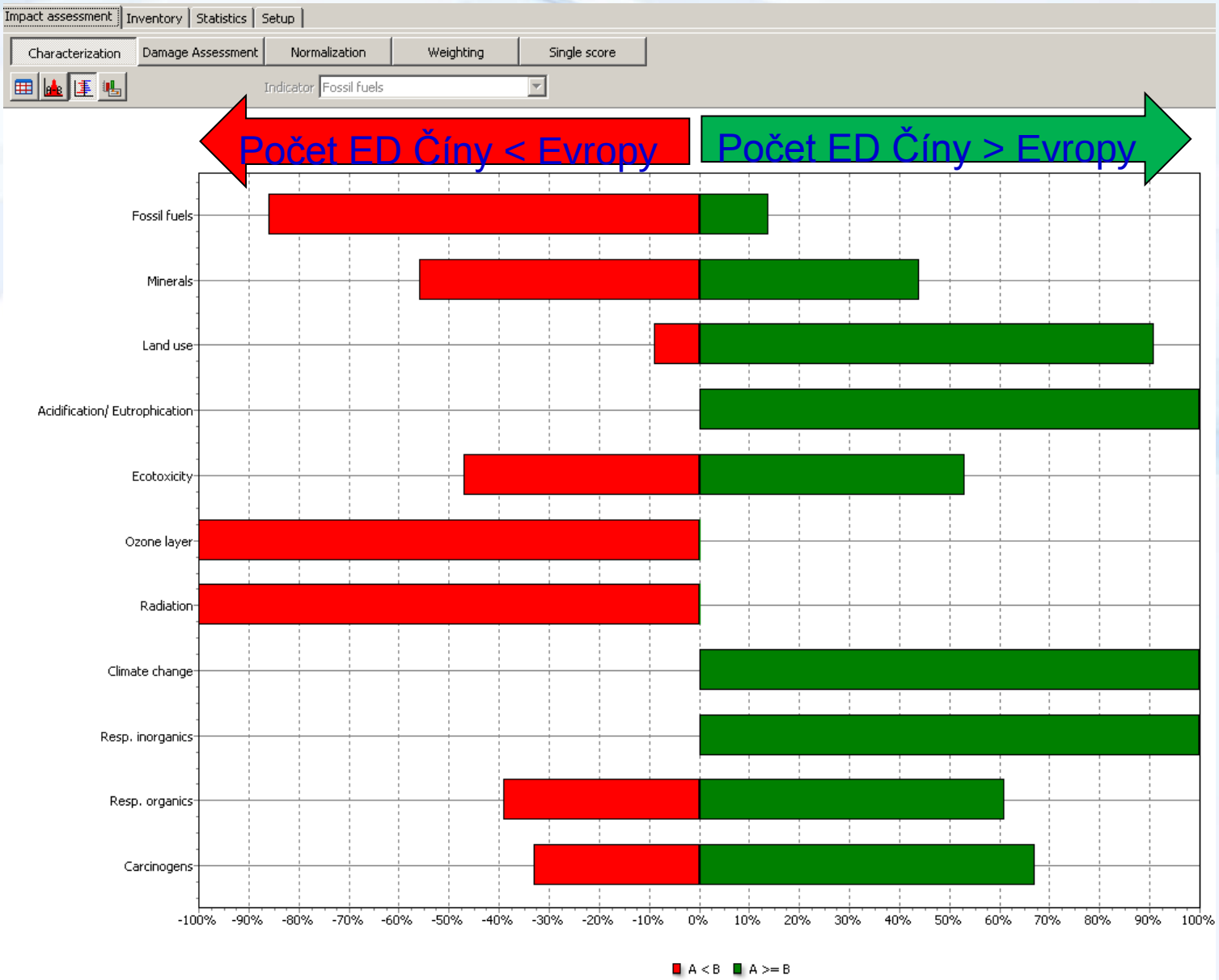
Emissions to soil

Výsledek MC analýzy ED výroby elektřiny v Číně a Evropě



Četnosti, kolikrát je výsledek ED (zde kat. fosilní paliva) A-B větší než 0 (zeleně) a menší než 0 (červeně)

Výsledek MC analýzy pro všechny kat. dop.



Uncertainty analysis of 1 MJ 'Electricity, production mix CN/CN U' (A) minus
1 MJ 'Electricity, production mix RER/RER U' (B),

Method: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/A , confidence interval: 95 %

Monte Carlo analýza - shrnutí

- pokud je A>B ve více než 95 %, pak lze téměř s jistotou tvrdit, že je ED produktu A významně větší než prod. B
- např. jen 70 % jistota, že je A>B je již dosti malá

- díky MC analýze teprve poznáme, zda jsou rozdíly mezi ED produktů opravdu skutečné a významné
- MC analýza zjednodušuje LCA – díky ní lze říci, zda jsou naše nejistoty veliké, a je nutné data upřesnit, nebo to je OK
  - data použitá ze skríningové studie mohou tedy stačit k tomu, abychom dostali významné výsledky

Analýza citlivosti

- testování, jak významně bude ovlivněn výsledk (ED):
  - **změnou vstupních dat**
  - **odchylkami v předpokladech**
  - **použití jiných metodik LCIA**
  - **zvolením jiných alokačních pravidel**

- testování, zda malá změna vstupních dat nevyvolá velkou změnu ve významných zjištěních (ED)
- pokud se ukáže, že je LCA citlivá na malou změnu určitého vstupního faktoru, pak je nutná opatrnost při inerpretaci výsledku
- pro porovnání dvou výsledků před/po změně vstupních dat je vhodné použít metodu Monte Carlo

3. Formulace závěrů studie LCA

- uvedení všech významných zjištění a
- uvedení všech souhrnů analýz použitých při hodnocení stud.

př.: POROVNÁNÍ ED NÁPOJOVÝCH OBALŮ V ČR METODOU LCA

4.4 Závěry

Inventarizační analýza nápojových obalů a posuzování dopadů bylo provedeno jako podklad pro posouzení potenciálních dopadů životních cyklů nápojových obalů na životní prostředí. Z porovnání výsledků životních cyklů nápojových obalů vyplývá:

- potenciální environmentální dopady životních cyklů nápojových obalů jsou u obalů ze stejných materiálů v nepřímé závislosti k jejich objemu,
- vratné skleněné obaly jsou z environmentálního hlediska příznivější než nevratné skleněné obaly, přičemž se zde v případě vratných obalů zároveň projevuje efekt vyššího objemu obalu,
- životní cyklus hliníkových plechovek spotřebovává nejvíce energie, má vysokou spotřebu neobnovitelných surovin (ropa, bauxit) a je nejvyšším producentem nebezpečného odpadu,
- nejvyšší spotřeba vody je spojena s životním cyklem nevratných skelněných obalů,
- největší množství pevného odpadu je vyprodukováno v rámci žitního cyklu kompozitních obalů,
- nevratné skleněné obaly mají nejvyšší potenciální dopad na globální oteplování a acidifikaci
- PET obaly malé mají nejvyšší potenciální dopad na poškození stratosférického ozonu,
- nejnižší potenciální dopad v posuzovaných kategoriích dopadu patří kompozitním obalům, relativně nízký potenciální dopad v posuzovaných kategoriích dopadu mají rovněž vratné skleněné obaly.

3. Formulace doporučení studie LCA

- doporučení formulovaná příjemcům studie vychází z definice cílů a jsou založena na zjištěných závěrech

př.: POROVNÁNÍ ED NÁPOJOVÝCH OBALŮ V ČR METODOU LCA

DOPORUČENÍ

Na základě výsledků studie LCA nápojových obalů, zpracovaných v rámci projektu SP/II/2f1/16/07 doporučují zpracovatelé studie legislativně podporovat:

- kompozitní obaly,
- vratné skleněné obaly a
- větší objemy obalů