



CEET

ENERGY
RESEARCH
CENTRE

LCA analýza – Využití v optimalizaci energetických procesů

David Kupka

**Energetika
a životní prostředí 2025
Ostravice, hotel Sepetná**



Co je to LCA?

LCA (life cycle assessment) je analytická **metoda posuzování životního cyklu** produktů a služeb.

Cílem LCA je porozumět **materiálovým a energetickým tokům** souvisejících s produktem/službou a identifikovat **environmentální problémy**.

Pomáha vizualizovat **hodnotový řetězec produktu** – získávání surovin, doprava, výrobní proces, užívání a nakládání s odpady.

V energetických systémech LCA podporuje **optimalizaci procesů** porovnáváním paliv, technologií a zlepšení účinnosti, a to s ohledem nejen na fázi užívání, ale na celý životní cyklus.



Proč používat LCA pro optimalizaci energetických procesů?

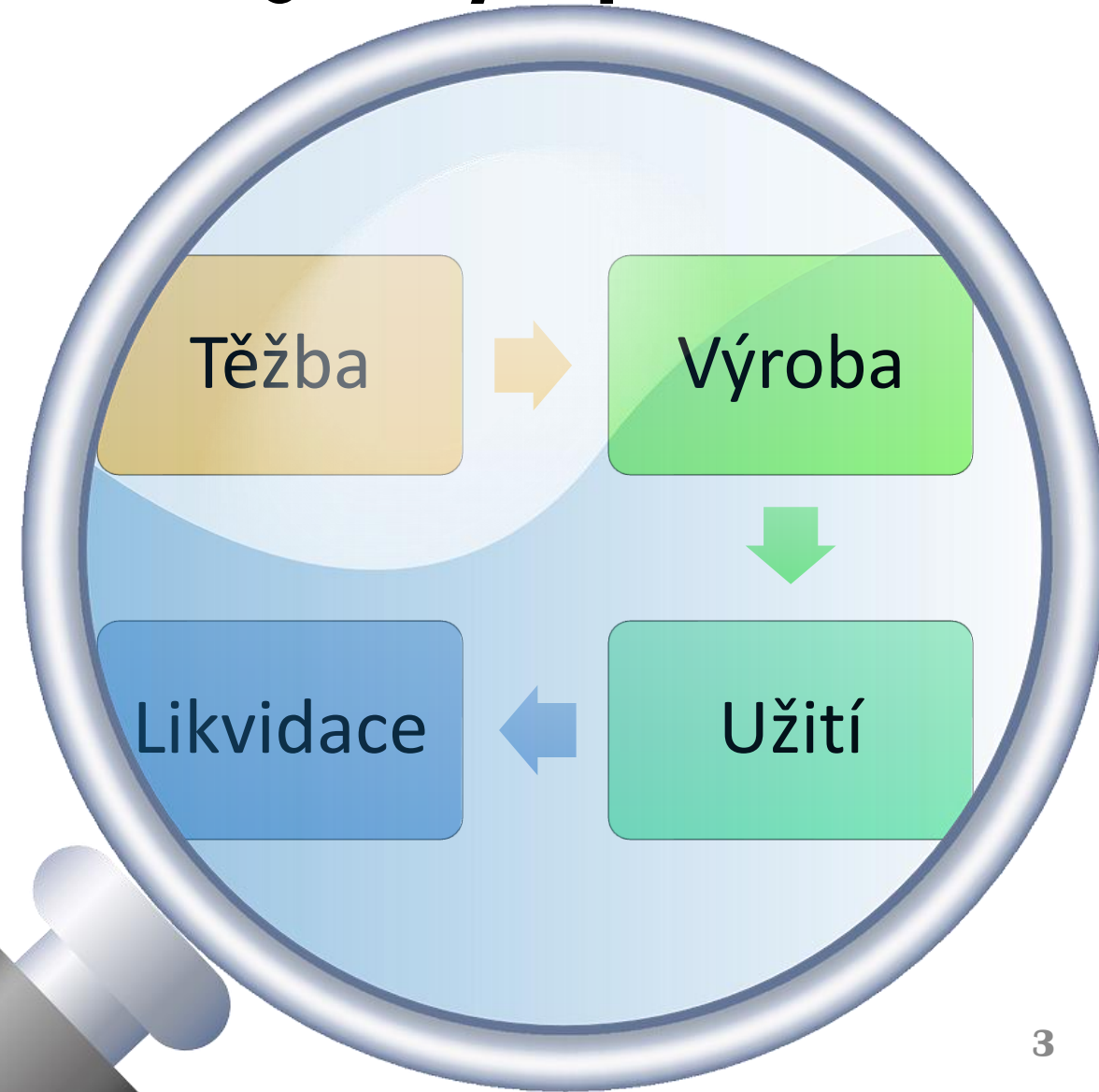
Komplexní pohled – bere v úvahu i vstupní a výstupní fáze celého životního cyklu.

Identifikuje hotspoty – zdůrazňuje dominantní fáze životního cyklu

Odhaluje kompromisy – klima vs. kvalita ovzduší, fosilní vs. obnovitelné zdroje

Podporuje rozhodování – volba optimální energetické cesty

Zajišťuje transparentnost – zabraňuje přesouvání zátěže mezi fázemi



Materiálová a energetická spotřeba



Více než 60 chem. prvků
(16 vzácné/kritické kovy)
CF = 50–100 kg CO₂eq
jen cca 20 % je recyklováno



1700 l vody/100 g
CF = 1,7–2,5 kg CO₂eq /100 g

Cement, ocel, sklo
CF = 500–1000 kg CO₂eq/m²
40 % světové spotřeby energií



65+ komponent z 12+
různých materiálů
CF = 13 kg CO₂eq
složitý dodavatelský řetězec



Ocel, hliník, měď
lithium, kobalt, nikl
<5 % lithia je recyklováno

Envrionmentální dopady



Změna klimatu



Znečištění ovzduší



Narušení ozonové
vrstvy



Znečištění vod



Ztráta biodiversity



Degradace půd



Nadměrné využívání
přírodních zdrojů



Chemická
kontaminace a
toxické látky

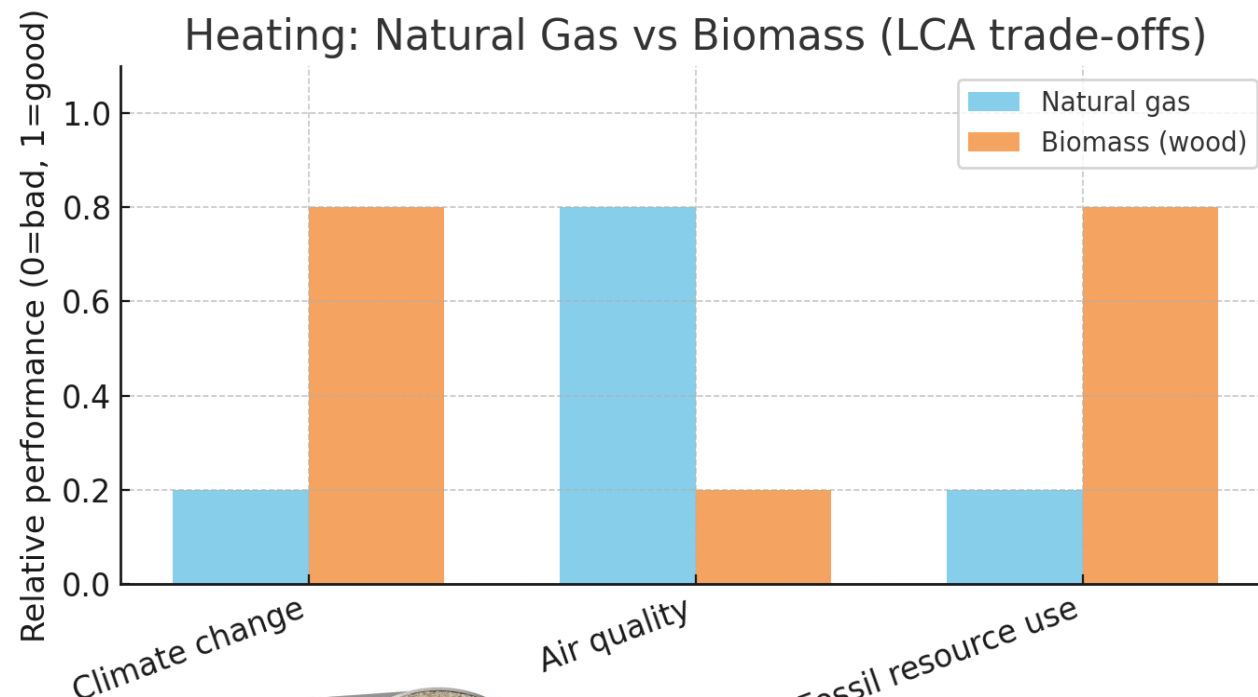
Vytápění fosilním palivem vs. biomasou

Cíl: Výrobit 1 MWh užitečného tepla

Porovnávané možnosti

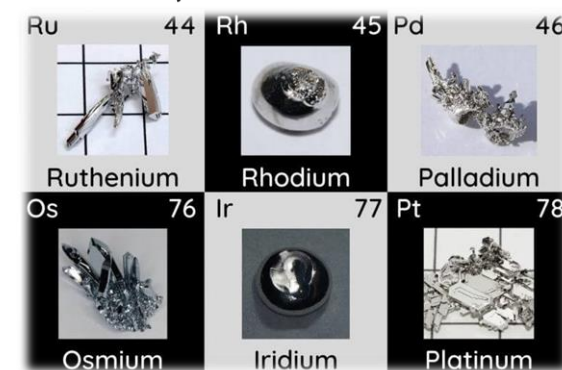
Kotel na ZP–
fosilní CO₂ emise,
méně lokálních
polutantů

**Kamna na dřevo
(suché)** – biogenní
CO₂, vyšší emise
PM/OGC, dopady
těžby a dopravy



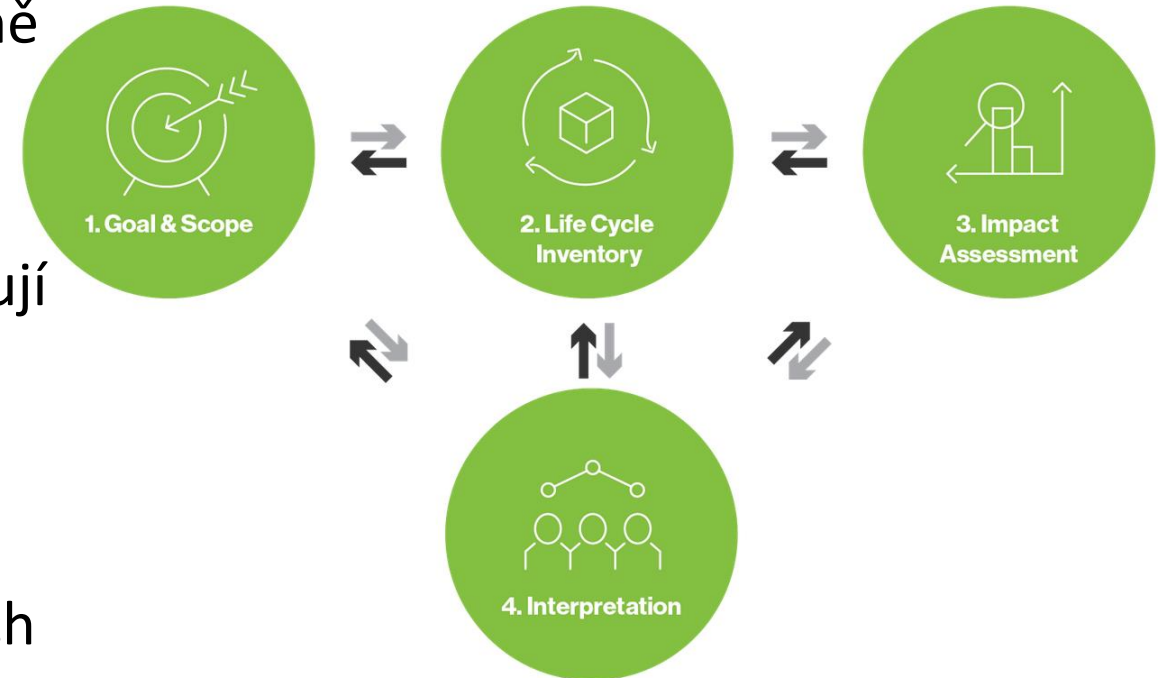
LCA odhaluje
kompromisy:
Biomasa snižuje
dopady na klima,
ale lokálně
zvyšuje ZL v
ovzduší

Optimalizace:
zdokonalení
technologie
(např. použití
katalyzátoru)



Etapy LCA: identifikace hotspotů pro zlepšení

- **Cíl a rozsah** – účel studie LCA musí být jasně definován (funkce, předpoklady, omezení atd.).
- **Inventarizace životního cyklu** – shromažďují se a kvantifikují data o vstupech (zdroje, energie) a výstupech (odpad, emise).
- **Posouzení dopadů životního cyklu** – posouzení rozsahu a významu potenciálních dopadů na ŽP.
- **Interpretace** – závěry a doporučení na základě výsledků.



LCA je **iterativní metoda** – výsledky mohou pomoci zpřesnit inventarizaci a aktualizovat předpoklady pro další výpočty.

Fáze životního cyklu a LCA varianty

Cradle to grave (od kolébky do hrobu –
kompletní LCA, od těžby zdrojů přes fázi
užívání a likvidaci

Cradle to cradle (od kolébky do kolébky) –
recyklace místo skládkování/spalování

Cradle to gate (od kolébky k bráně) –
částečné posouzení, od těžby zdrojů až po
bránu továrny

Gate to gate (od brány k bráně) – pohled
pouze na jeden proces s přidanou hodnotou

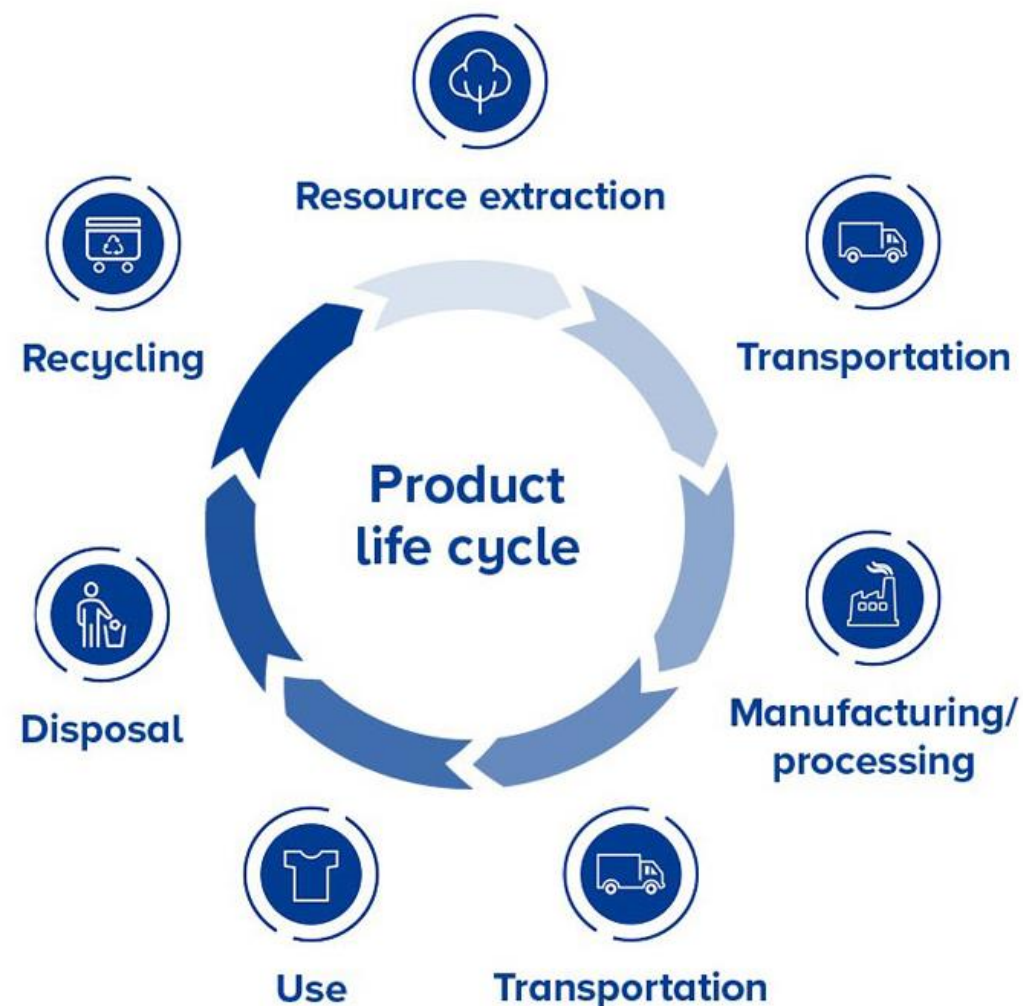
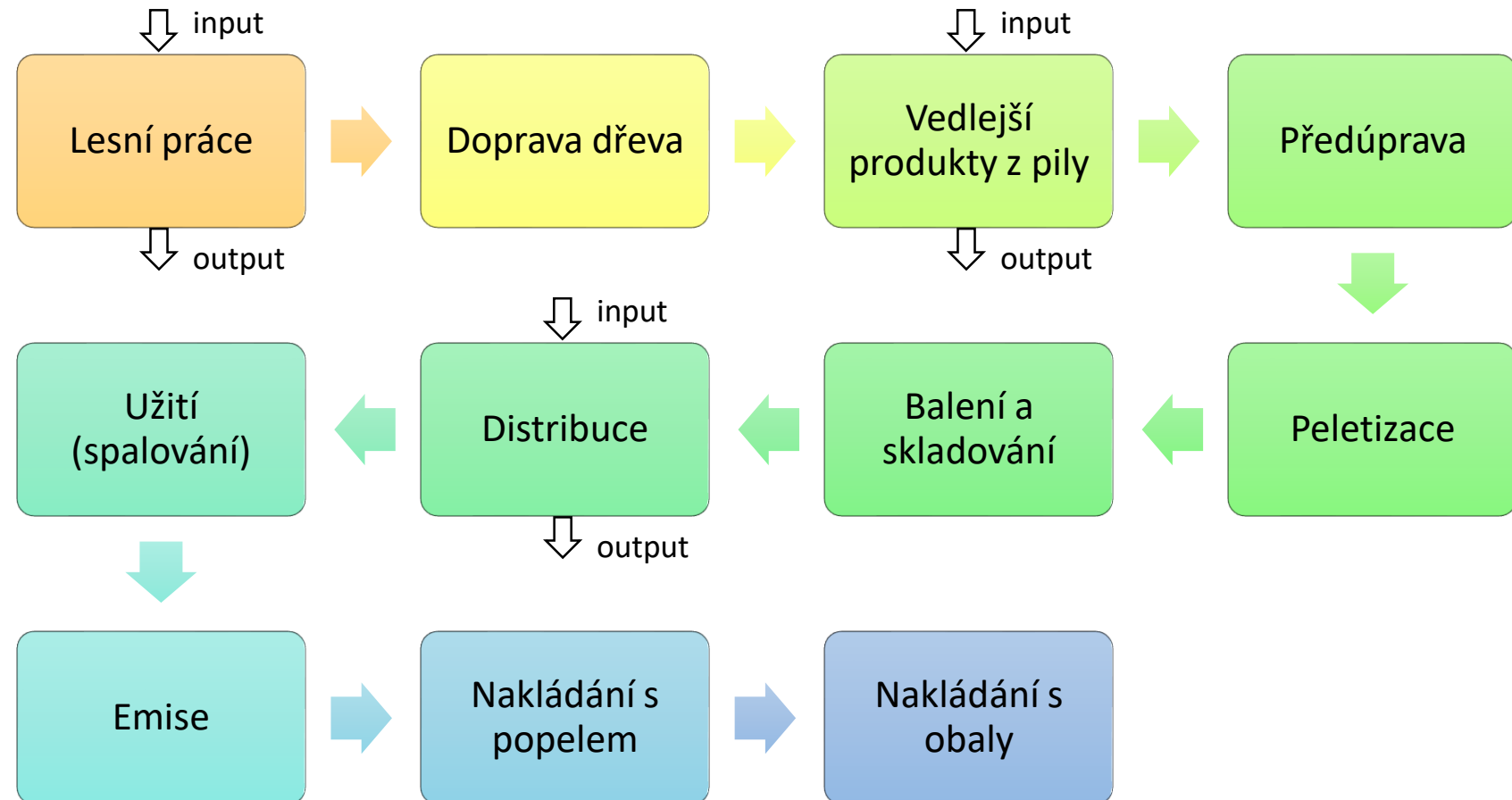
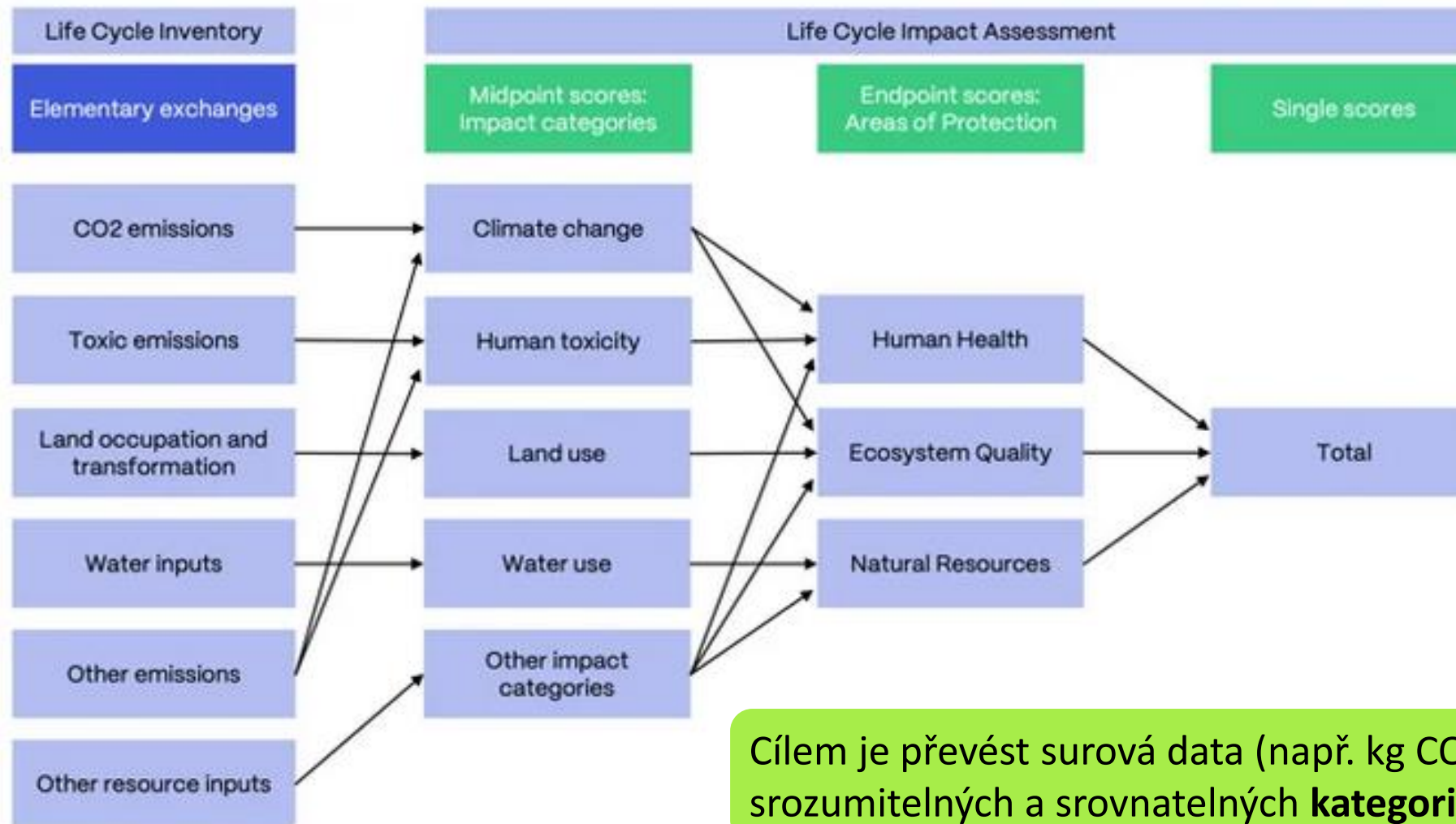


Schéma životního cyklu dřevěných pelet



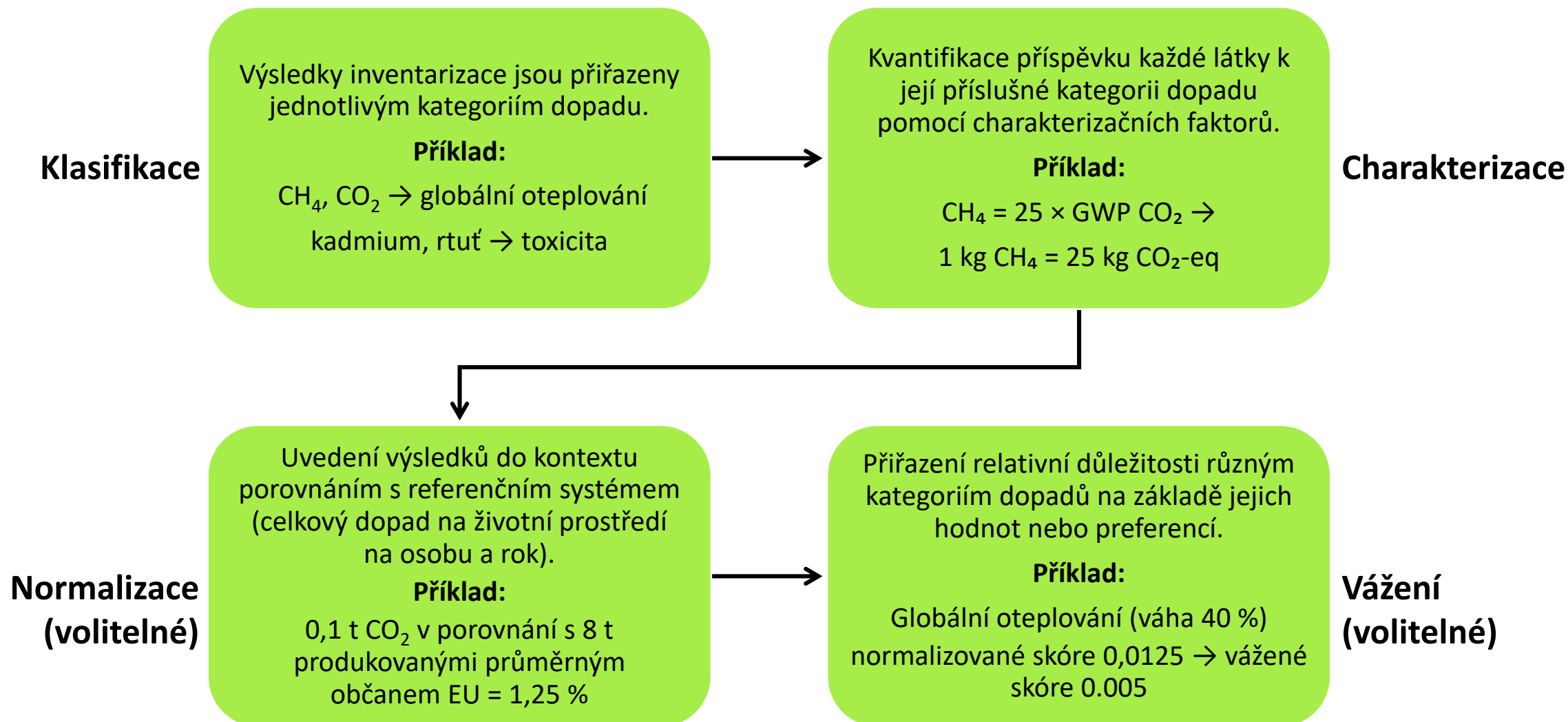
Posuzování dopadů (LCIA)



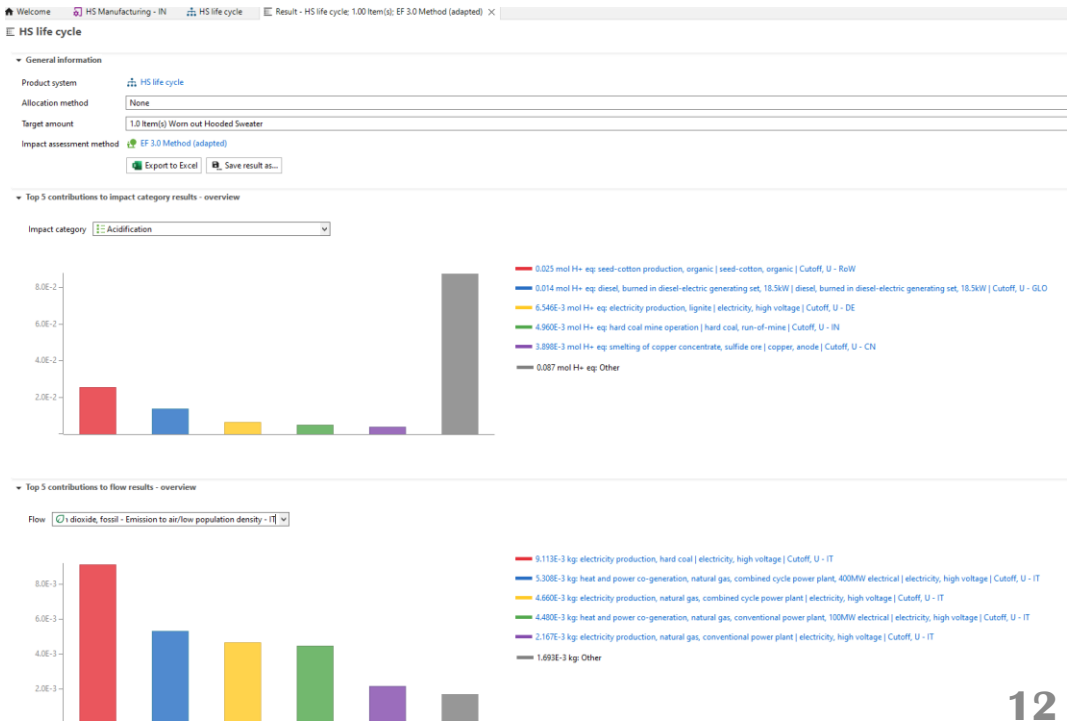
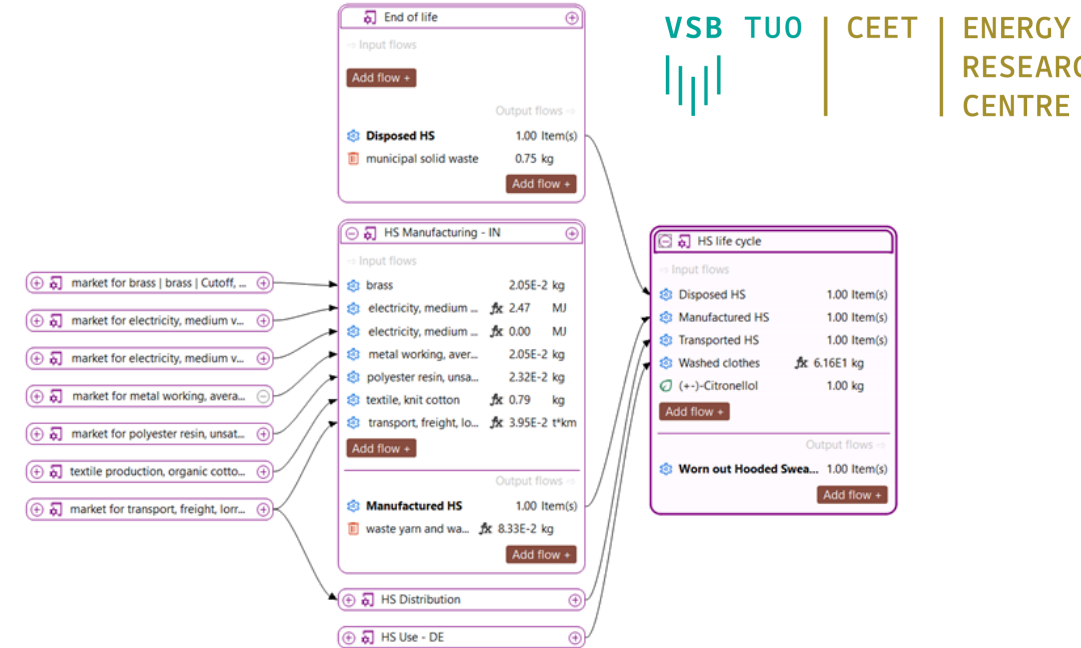
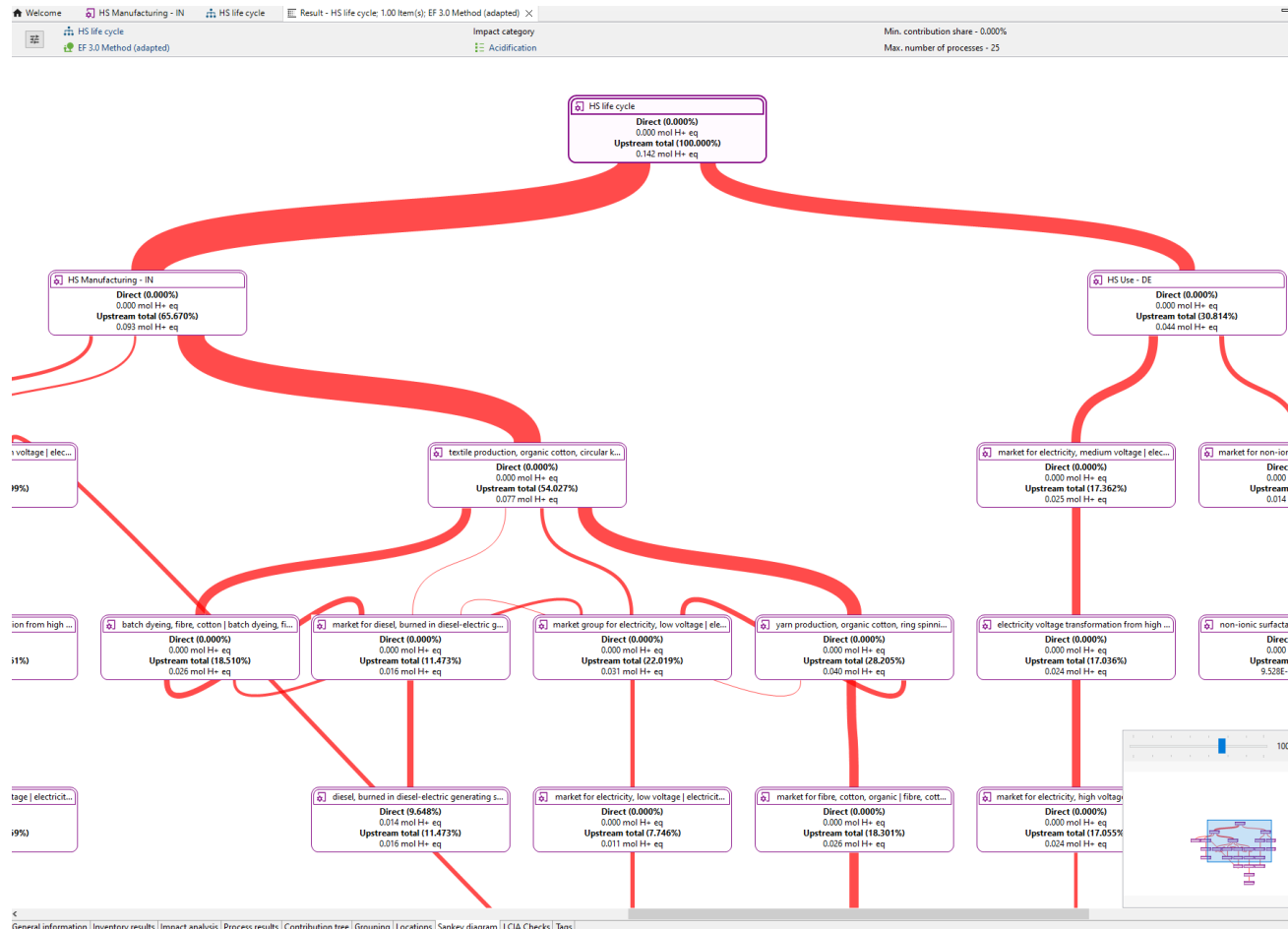
V praxi **softwarové nástroje** automatizují většinu kroků LCIA na základě zvolené metody.

Cílem je převést surová data (např. kg CO₂, SO₂, NO_x atd.) do srozumitelných a srovnatelných **kategorií dopadu**.

Posuzování dopadů (LCIA)

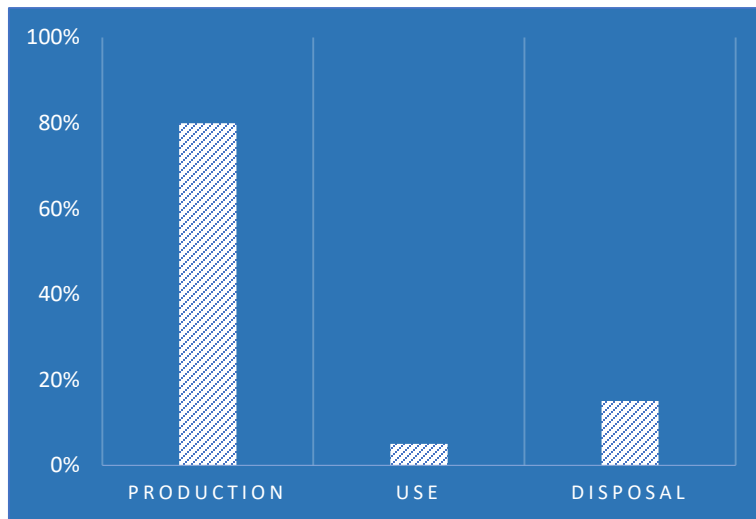


OpenLCA software



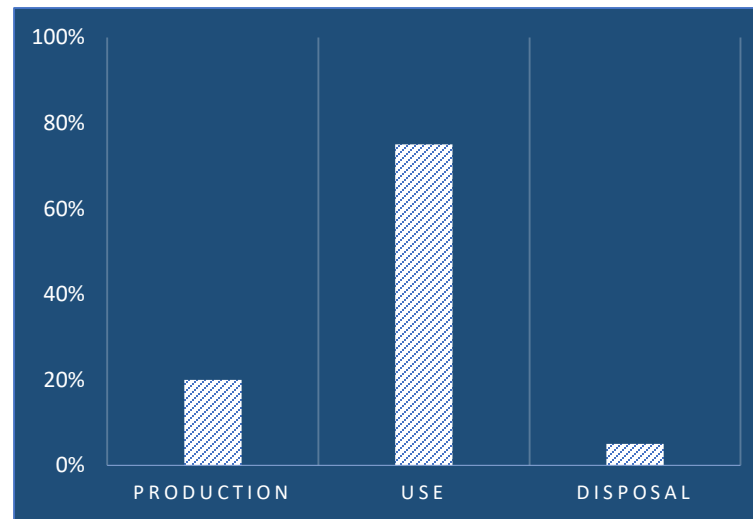
Interpretace

Dominantní ekologická zátěž



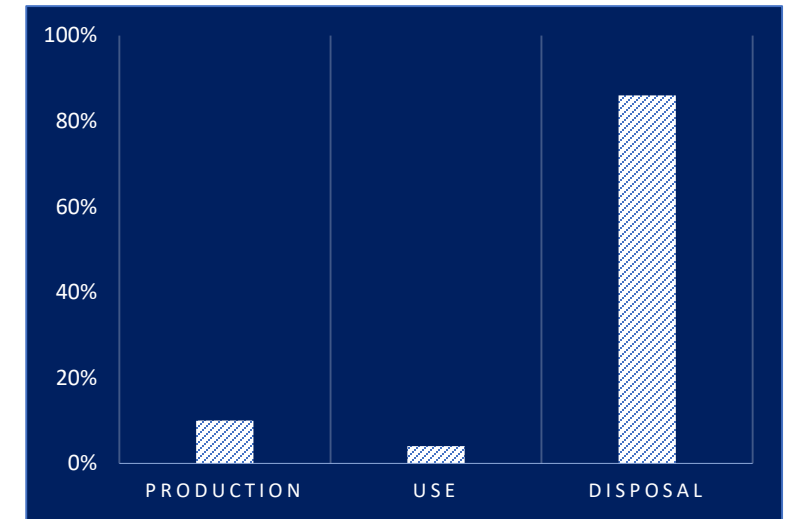
Příklady:

kniha, ocel, nábytek aj.



Příklady:

automobil, myčka, budova aj.



Příklady:

baterie, domácí chemie, kompozitní materiály, plastové sáčky aj.

Případová studie: optimalizace pohonu

Hlavní komponenty

- Hliníkový rám
- Pneumatiky
- Brzdy
- řídítka
- Sedlo
- Pohon

Elektrokolo

- Bezkartáčový motor (24 V, 250 W)
- Lithiová baterie (160 Wh) s BMS
- Řídicí jednotka



Vodíkové kolo

- Palivové články PEM (250 W)
- Dobíjecí Ni-MH baterie (25 V, 9 Ah)
- 2 DC/DC měniče
- Elektromotor (150 W)
- Zásobník vodíku
- Řídicí jednotka

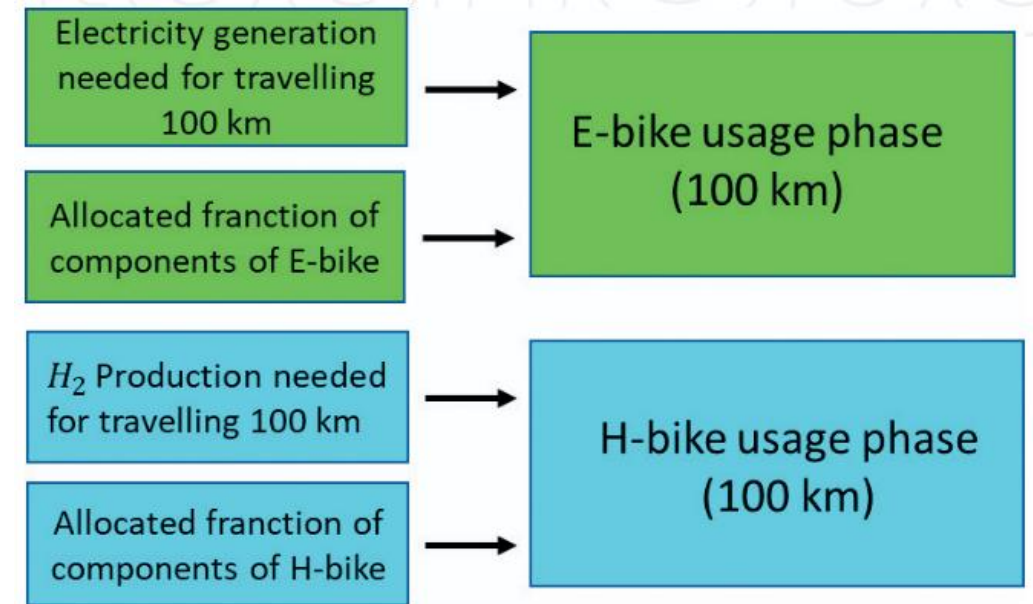


elektrokolo Philips-Gazelle 1937



LCA elektrokolo vs. vodíkové kolo

- **Cíl a rozsah** – vytvořit environmentální profil elektrokola a vodíkového kola a porovnat jejich dopad na ZP během fáze výroby a používání.
- **Inventarizace životního cyklu** – energie, materiály, rozměry/hmotnosti, emise atd.
- **Hodnocení dopadu životního cyklu** – metoda Impact 2002+, 14 kategorií dopadů.
- **Interpretace** – závěry a doporučení na základě výsledků.



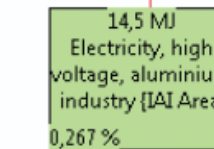
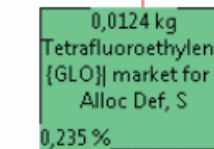
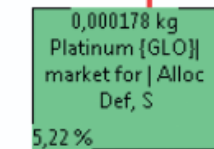
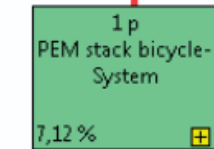
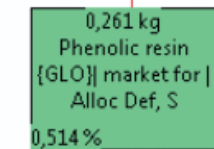
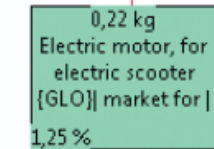
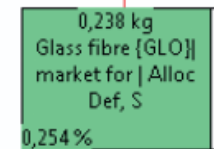
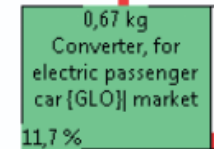
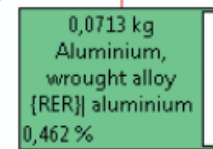
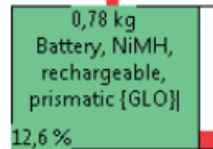
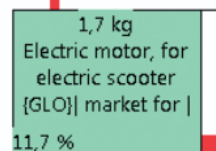
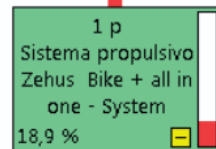
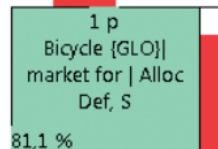
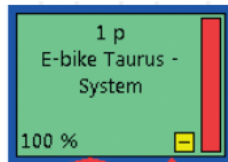
Kritické komponenty:

E-kolo – lithiová baterie (životnost 24 000 km)

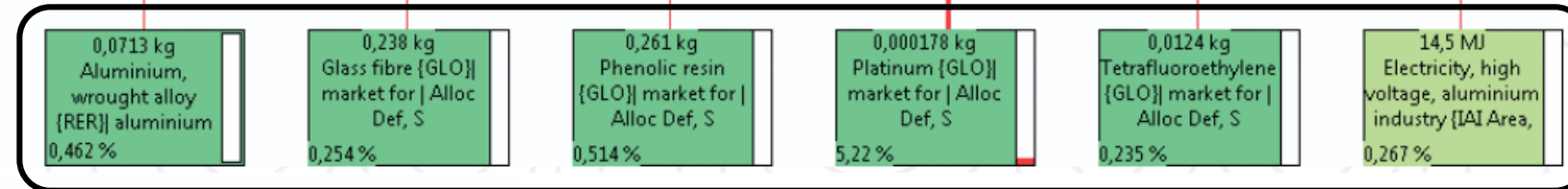
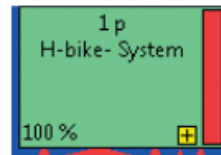
H-kolo – palivový článěk (životnost 120 000 km)

LCA – inventarizace

Fáze výroby elektrokola

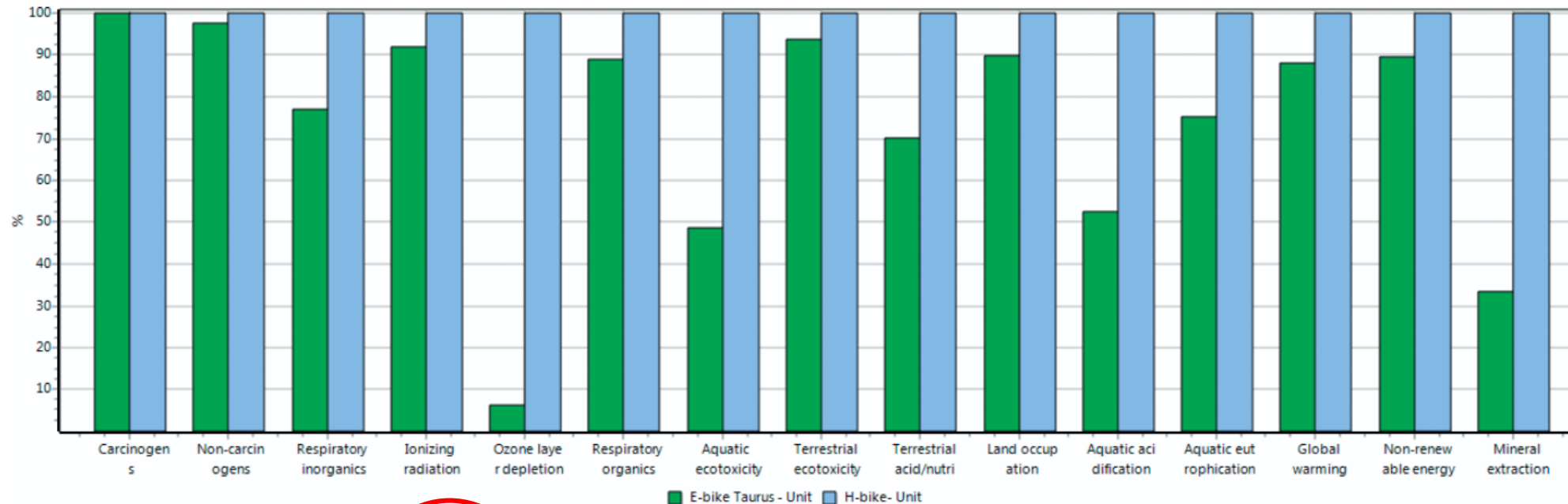


Fáze výroby vodíkového kola

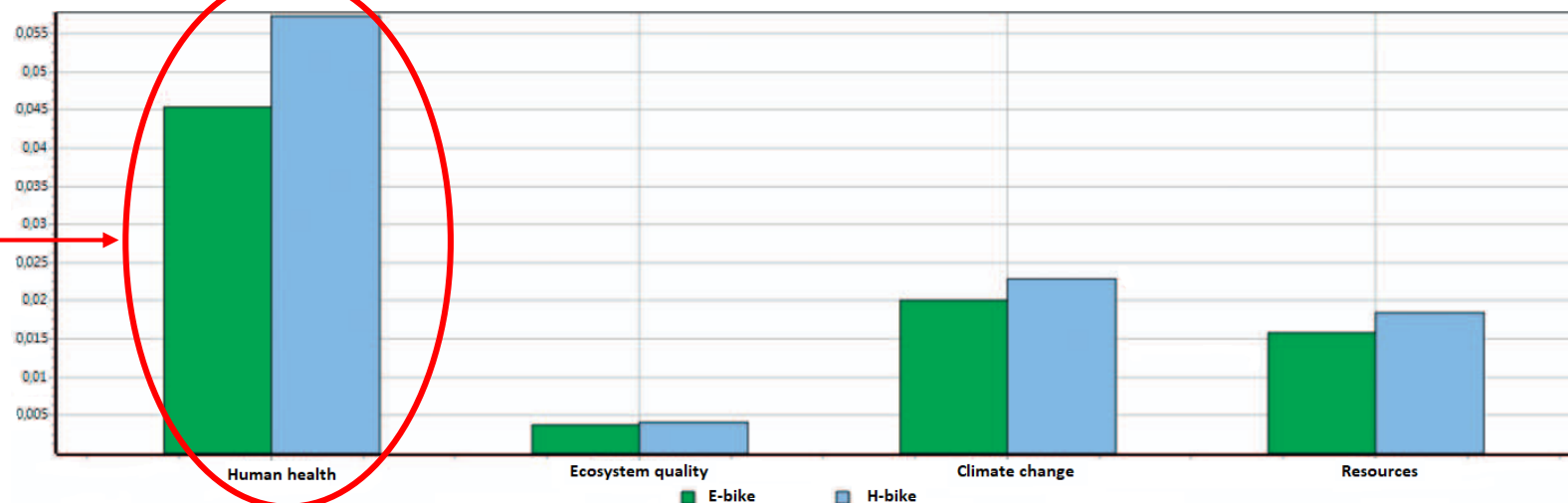


Systém pohonu vodíkového kola je složitější a vyžaduje vzácné prvky jako je platina (= energeticky a emisně náročná těžba).

LCA – Posouzení dopadů (výroba)



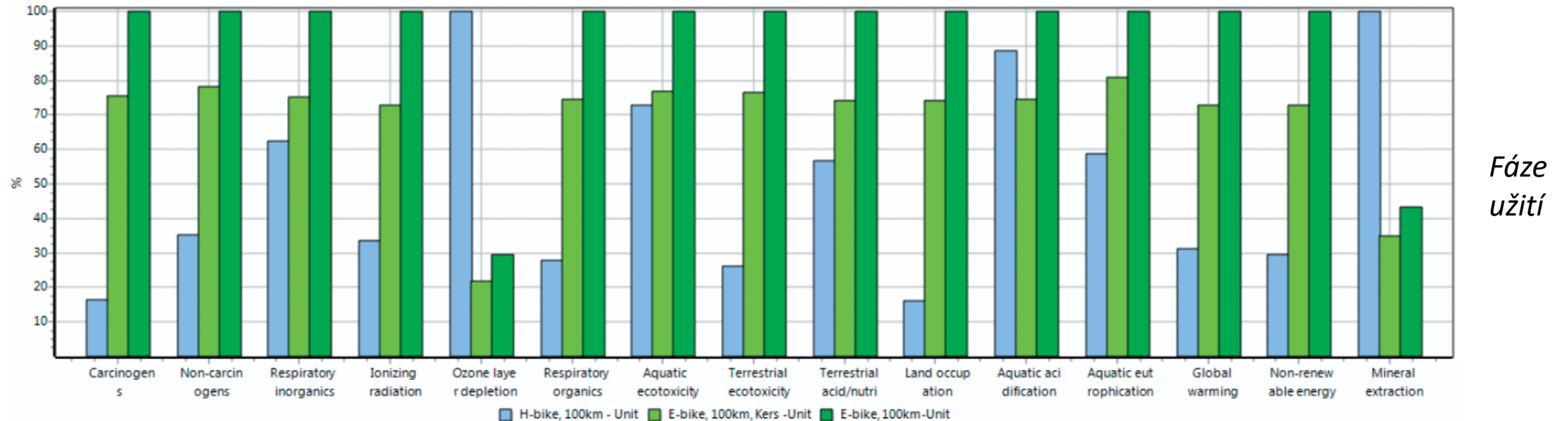
Fáze výroby, midpoint indikátory dopadů, relativní výsledky



Elektronická řídicí jednotka (>50 %).

Fáze výroby, endpoint indikátory dopadů, normalizované výsledky

LCA – posouzení dopadů (užití)



Spotřeba energie

- **Vodíkové kolo:** Vodík se vyrábí s využitím energie z fotovoltaické čerpací stanice. Na ujetí 100 km je potřeba přibližně 75 g vodíku.
- **Elektrokolo:** Lithiová baterie se dobíjí elektřinou buď z celostátní sítě (italský energetický mix), nebo z obnovitelného mixu (v alternativním scénáři). Elektrokolo spotřebuje na jedno nabití 0,36 kWh, což odpovídá přibližně 1,2 kWh na ujetí 100 km.

LCA – interpretace

Fáze výroby

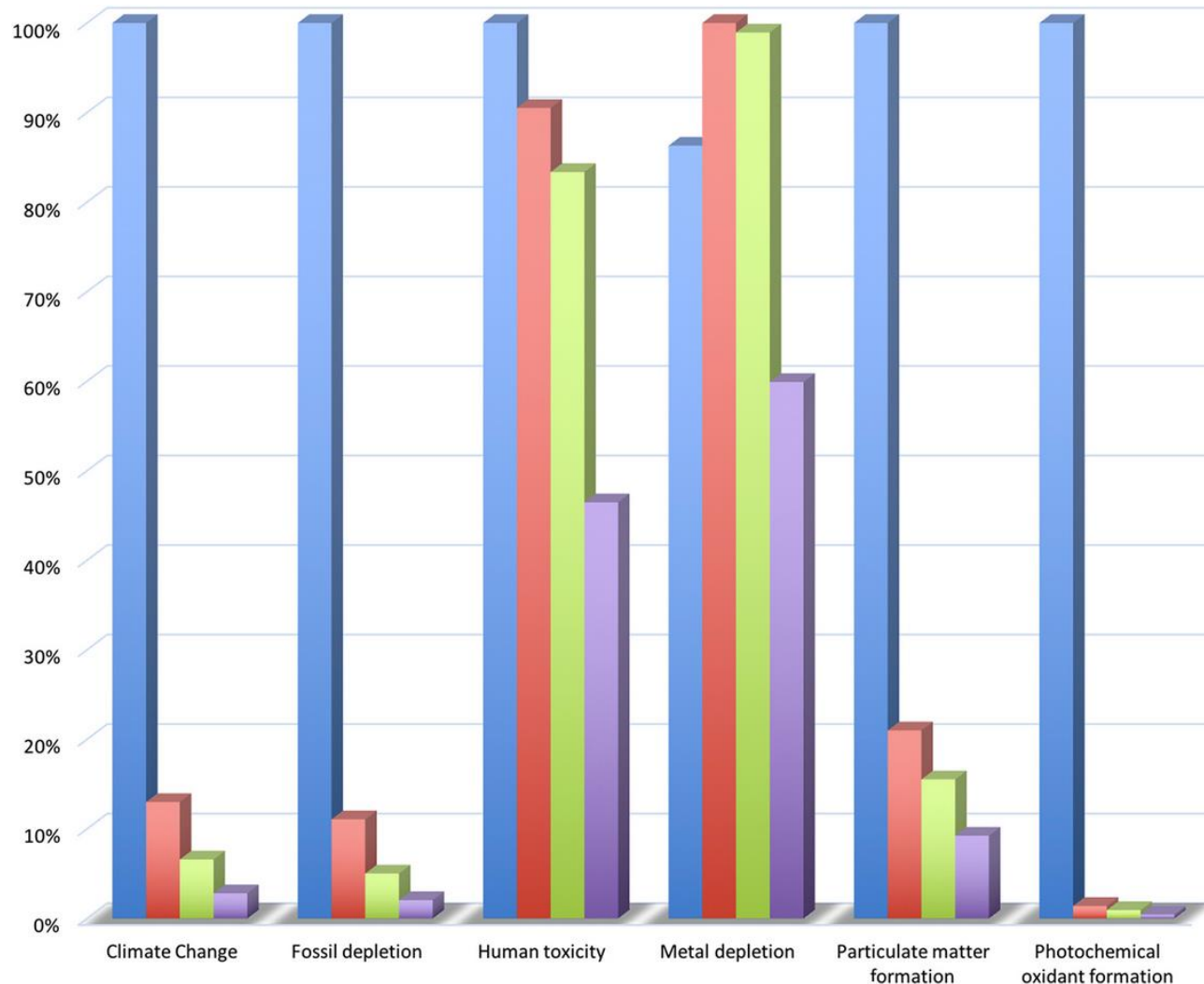
- Výroba **elektrokola** má ve všech kategoriích **menší dopad** ve srovnání s vodíkovým kolem (kvůli jeho složitosti).
- Největší dopady jsou spojeny s **rámem kola**, především kvůli zpracování velkého množství hliníku.
- Dopady systému pohonu elektrokola: **61 % elektromotor** (měď pro rotor, neobnovitelné zdroje energie během výroby), 17 % řídicí elektronika a 17 % lithiová baterie.
- Vysoké dopady výroby vodíkového kola jsou spojeny s akumulací **Ni-MH baterií**, zpracováním **platiny použité v palivových článcích** a složitou řídicí jednotkou (monitorující více parametrů než systém elektrokola).

Fáze užití

- **Vodíkové kolo vykazuje nižší dopady** ve všech indikátorech, s výjimkou poškozování ozonové vrstvy a těžby nerostných surovin.
- Spotřeba energie je hlavním zdrojem znečištění životního prostředí.
- Výsledky jsou silně závislé na zdroji elektřiny.

Jak výrazně se výsledky mění v závislosti na zdroji energie?

Citlivostní analýza – cesta k optimalizaci



- Pro srovnání je použita technologie se spalovacím motorem – motorový skútr.
- Je zřejmé, že **skútr má nejvyšší ekologickou stopu**, a to především kvůli přímým emisím během fáze užití.
- Použití elektřiny z FVE pro dobíjení baterií elektrokol vede ke zmírnění dopadů na ŽP.
- Vodíkové kolo však stále vykazuje nejnižší dopady ve všech kategoriích, což je jednoznačně přičítáno vyšší účinnosti a delší životnosti palivového článku PEM.

Shrnutí

LCA je

nástroj hrající
významnou roli
v pochopení
celého životního
cyklu
produktů/služeb

Uživatelé

státní správa,
akademické
institute a
soukromý sektor

Motivace

snižit dopady
produktů na ŽP
během jejich
životního cyklu

Cíle

rozhodování,
komunikace,
marketing a
strategické
plánování

Standardy

Normy ISO
14040-14043
pokrývají
všechny prvky
LCA

Děkuji za Vaši pozornost

Ing. David Kupka, Ph.D.

david.kupka@vsb.cz

www.vsb.cz
ceet.vsb.cz/vec/en