



**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ  
КАТЕДРА ЗА МЕХАНИЗАЦИЈУ  
МОДУЛИ: ТКЛ и ДУМ**

# **ДИЗАЈН И ЕКОЛОГИЈА (ЕКОДИЗАЈН)**

**-Одрживи развој производа-**

**Предавање 8 – Методе и алати LCA**

**Предметни наставник: Проф. Др Ненад Зрнић**

# ЕВАЛУАЦИЈА УТИЦАЈА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ

*Како се може измерити утицај на животну средину ?*

Не може само једна изолована вредност да буде довољна да се процени утицај на животну средину, већ је **комбинација различитих параметара** неопходна (нпр. потрошња енергије, материјала и необновљивих ресурса).

**Када су у питању токсичне супстанце, мале количине имају врло велики утицај!**

# ОСНОВЕ ПРОЦЕНЕ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА ПРОИЗВОДА (LCA)

За дизајнирање бољих производа потребне су адекватне и ефикасне алатке. У ширем смислу, **алати за еколошку процену мере утицај производа** на један, или комбинацију наведених фактора (увек укључујући екологију):

- ✓ друштво,
- ✓ економија,
- ✓ екологија.

Постоје различите методе, приступи и алатке за израчунавање еколошких утицаја, почевши од **водиља** и **препорука**, преко **чек-листа** до **индикатора** и **комплетних LCA студија**.

**LCA студије** обухватају методологије, симулације процеса и опширне базе података за материјале и процесе.

Истраживање спроведено 2006. године показало је да се **LCA** метода примењује углавном за:

- ✓ подршку пословним стратегијама – 18%,
- ✓ развој и истраживање – 18%,
- ✓ процес дизајнирања производа – 15%,
- ✓ образовање – 13%,
- ✓ декларације и обележавање производа – 11%,
- ✓ остало – 25%.

Исто истраживање је показало да су софтверски алати који се најчешће примењују за **LCA** студије:

- ✓ **GaBi software**, развијен од стране "**PE International**" (Штутгарт - Немачка) – 63%,
- ✓ **SimaPro**, развијен од стране "**PRé Cosultants**" (Холандија) – 31%; ова компанија је поред **SimaPro** софтверског пакета развила и **Eco-indicator 99** метод за **LCIA**, који је опште прихваћен у ЕУ,
- ✓ остали алати – 6%.

Међу осталим алатима и методама за **LCA** и **LCIA** се налазе:

- **EDIP PC-Tool**,
- **Eco-indicator**,
- **CMLCA**,
- **UMBERTO**,
- **LCAiT**,
- **TEAM**,
- **BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability)**,
- **Boustead Model**,
- **Ecoinvent Database**,
- **Eco-Quantum**
- **Environmental Impact Indicator**,
- **EPS 2000 (Environmental Priority Strategies in product design)**,
- **LCAPIX**,
- **MIET (Missing Inventory Estimation Tool)**,
- **AUDIT**,
- **Design for Manufacture and Assembly – DFMA**,
- **International Dismantling Information System – IDIS**,
- **Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy: MIPS**,
- **LCA hotlist**,
- **A Guide for EcoDesign Tools...**

Међу најчешће коришћеним **LCIA** методама, а које ће бити обрађене у даљем тексту, су:

1. **Eco-indicator 99** [Goedkoop, 2001],
2. **EDIP - Environmental Design of Industrial Products** [Wenzel, 1997],

и методе које узимају у обзир и **захтеве потрошача** и "преводе" их на технички језик:

- **QFD (Quality Function Deployment)**,
- **EQFD (Environmental Quality Function Deployment).**

# УПРОШЋЕНЕ LCA МЕТОДЕ

Пошто је LCA студија гломазна (много података), дуготрајна и скупа, развијене су многе упрошћене методе за LCA анализу.

За упрошћену процену производа могу се издвојити два приступа:

1. квалитативно описивање производа,
2. квантитативно описивање производа.

Међу упрошћене LCA методе спадају:

- Квалитативна процена производа (Опис),
- MET Матрица (Material, Energy, Toxicity Matrix),
- Еколошки отисак (Ecological footprinting),
- Еколошки ранац (Ecological Rucksack),
- MIPS (Material Input Per Service или Material Intensity Per Unit of Service ) – улаз материјала по операцији,
- Ček liste (Check listing),
- Екодизајн мрежа (Ecodesign Web),
- Еко-ефикасност (Eco-efficiency),
- ECO-it Tool,
- Екотоксичност (Ecotoxicity),
- **Садржана (заробљена) енергија или енергија залиха (Embodied energy),**  
објашњено једноставном дефиницијом: *"количина енергије која се акумулирала у производу током процеса производње и у свим осталим фазама животног циклуса, искључујући фазу употребе",*
- **Пун обрачун/обрачун трошкова по активностима (Full cost accounting/Activity based costing),**
- **Зелени показатељи/индекс извештаји (извештаји показатеља) (Green Indices/Index reports),**
- **Баланс маса система (Mass balance system),**
- **Анализа тока материјала (Materials flow analysis)...**



У оквиру овог курса за потребе лабораторијских вежби, посебно ће бити обрађене следеће, међусобно комплементарне, упрошћене методе **LCA**:

- ❖ **ECODESIGN ASSISTANT**  
(<http://www.ecodesign.at/assist/assistant?lang=en>),
- ❖ **ECODESIGN PILOT** (**Product Investigation, Learning and Optimization Tool**)  
(<http://www.ecodesign.at/pilot/ONLINE/ENGLISH/>),

**PILOT** и **ASSISTANT** не дају квантитативан излаз, већ само релативно поређење утицаја на животну средину појединачних фаза животног циклуса производа.

# **ЕКО-ИНДИКАТОР 99**

## **(ECO-INDICATOR 99)**

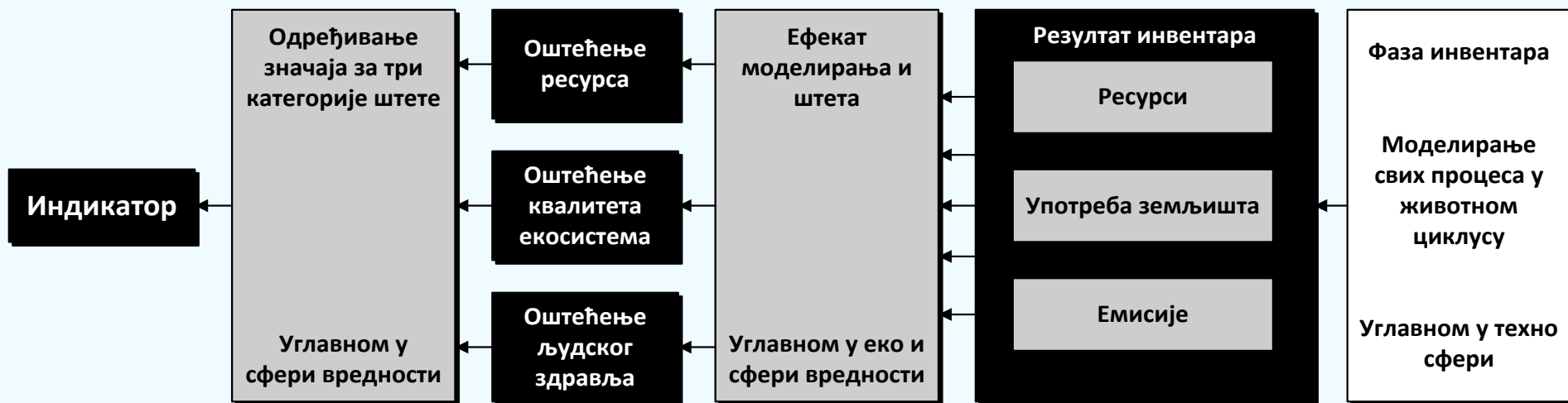
**Eco-indicator 99** је метода процене утицаја производа на животну средину у току његовог животног циклуса, **оријентисана на штету**. **Eco-indicator 99** разматра три категорије штете:

- 1. људско здравље,**
- 2. квалитет екосистема,**
- 3. ресурсе.**

У **LCA** студији постоје три сфере научног сазнања и резонувања:

1. **техно сфера**, у којој се одиграва описивање животног циклуса (доводи до инвентара резултата),
2. **еко сфера**, у којој се моделирају штете по животну средину (повезивање инвентара резултата са три категорије штете),
3. **сфера вредности**, где се моделира озбиљност штете (пондерисање три категорије штете у један индикатор).

# Генерисање јединственог индикатора уз помоћ различитих сфера



Према [Goedkoop et al., 2001], **животна средина** је дефинисана као:

*"Услови за функционисање човека и природе су низ биолошких, физичких и хемијских параметара, који су под утицајем човека. Ови услови укључују људско здравље, квалитет екосистема и довољну залиху ресурса."*

# 1. ЉУДСКО ЗДРАВЉЕ

- ✓ Ова категорија штете подразумева да *здравље било које особе*, садашње генерације или будућих генерација, може бити оштећено **скраћивањем животног века**, изненадном **смрћу**, или слабљењем (ограничавањем) телесних функција, тзв. **инвалидитетом**.
- ✓ Оштећења људског здравља се изражавају у "годинама живота са **инвалидитетом**" (**DALY** – Disability Aadjusted Life Years).
- ✓ Језгро јединице оштећења људског здравља, **DALY**, је **скала значаја**, која садржи листу различитих **оштећења у опсегу од 0-1** (0 - савршено здрав, 1 - смрт).

# Утицаји на људско здравље код Еко-индикатора 99

Модели за ову категорију штете су развијени на основу следећих утицаја (категорија утицаја):

- ✓ **ефекат проређења озонског омотача** (изазива оштећење очију и канцер),
- ✓ **климатске промене** (изазивају заразе и респираторна обољења),
- ✓ **јонизујућа радијација** (изазива канцер),
- ✓ **токсичне материје у ваздуху, води и храни** (изазивају респираторна обољења и канцер).

# Моделирање оштећења људског здравља код Еко-индикатора 99

Модели оштећења људског здравља се формирају у четири корака анализа:

1. **"бледе" анализе**, које повезују емисије са привременим променама у концентрацији,
2. **анализе изложености**, које повезују привремену концентрацију са дозама,
3. **анализе утицаја (ефеката)**, које повезују дозе са бројем утицаја на здравље,
4. **анализа штете**, која повезује утицаје на здравље са **DALY**, коришћењем процене:  
"година живота са инвалидитетом" (**YLD** – Years of Life Disabled) и  
"изгубљених година живота" (**YLL** – Years of Life Lost).

## 2. КВАЛИТЕТ ЕКОСИСТЕМА

Оштећење квалитета екосистема је изражено као **проценат изумрлих врста**, које су нестале у датом региону, услед проузрокованог оптерећења животне средине.

Као индикатор за квалитет екосистема користи се **биодиверзитет**, а не индивидуални организми. У овом случају у обзир се узимају следећи утицаји:

1. **екотоксичност** – проценат свих врста у региону које су под токсичним стресом,
2. **закисељавање животне средине и еутрофикација** – третирају се као једна категорија утицаја,
3. **употреба и трансформација земљишта**, где се у обзир узима локална штета на заузетом земљишту, као и глобална штета на екосистем.



## 2.1 ЕКОТОКСИЧНОСТ - ТОКСИЧНИ СТРЕС

За **екотоксичност** се користи метод који утврђује "део потенцијално угрожених" (РАФ – Potentially Affected Eraction) врста у односу на концентрацију токсичних супстанци.

РАФ се одређује на основу података о токсичности за организме у води и на земљи, и изражава проценат врста које су изложене концентрацији изнад "**концентрације без примећеног утицаја**" (NOEC – No Observed Effect Concentration). Што је концентрација већа, већи је и број врста под утицајем.

Велике вредности **РАФ** не морају резултирати приметном штетом, што указује на то да **РАФ треба схватити као токсични стрес, а не као меру за моделирање нестанка врста.**

## 2.2 ЗАКИСЕЉАВАЊЕ И ЕУТРОФИКАЦИЈА

Анализом утицаја закишељавања и еутрофикације на биљке, може се израчунати "вероватноћа појаве" (POO – Probability Of Occurrence) дате биљке у датом региону. На основу POO може се израчунати "део потенцијалних нестајања" (PDF – Potentially Disappeared Fraction):

$$PDF = 1 - POO$$

## 2.3 УПОТРЕБА И ТРАНСФОРМАЦИЈА ЗЕМЉИШТА

За моделирање ове категорије штете, користе се два модела:

1. **локални утицаји** од употребе или преобраћања земљишта, који се односе на промену броја посматраних врста на том земљишту,
2. **регионални утицаји** од употребе или преобраћања земљишта, који се односе на промену природних пространа ван тог земљишта.

Јединица за квалитет екосистема је: **PDF x површина x година.**

**Штета** (односно време рестаурације за окупирано земљиште) расте са порастом површине и времена окупације земљишта.

### 3. РЕСУРСИ

Разматрају се само извори руда и фосилних горива.

Главни показатељ квалитета ресурса је **концентрација ресурса**.

Ако је енергија потребна за вађење руде повезана са концентрацијом руде, следи да што се више руде извади, више ће енергије бити потребно за рударење у будућности.

У овом случају **штета** је дефинисана као:

*"количина енергије, тзв. вишак енергије, потребан за екстраковање 1 kg руде у будућности".*

Јединица за штету код природних ресурса је **вишак енергије у [MJ/kg] ископаног материјала**.

Штете од **проређења озонског омотача, радиоактивних супстанци и смањење ресурса** се појављују на глобалном нивоу.

# НОРМАЛИЗАЦИЈА И ПОНДЕРИСАЊЕ КОД ЕКО-ИНДИКАТОРА '99

Три категорије штете имају три јединице. Да би се добиле бездимензионе вредности, примењује се **нормализација**.

Приликом **одређивања значаја (пондерисања)**: људско здравље и квалитет екосистема су оцењени као једнако важни, док је оштећење природних ресурса оцењено као упола важно. Избор фактора за одређивање значаја зависи од става и личности људи, због чега постоје **три различите Еко-индикатор 99 методологије**.

| Прототип          | Временска перспектива                               | Стил управљања | Став према ризику      |
|-------------------|-----------------------------------------------------|----------------|------------------------|
| H – Hierarchist   | Равнотежа између кратког и дугог временског периода | Контрола       | Прихвата ризик         |
| I – Individualist | Кратко време                                        | Прилагодљив    | Тражи ризик            |
| E – Egalitarian   | Веома дуго време                                    | Превентиван    | Има аверзију ка ризику |

# ЕКО-ИНДИКАТОР ВРЕДНОСТ

После одређивања значаја нормализованих вредности категорија штете, те вредности се здружују у једну **Еко-индикатор вредност**, чија је јединица **тачка** – "point" (Pt), или чешће **милитачка** – "milipoint" (mPt). Апсолутна вредност ових тачака није битна. Главна сврха им је да се упореде релативне разлике између производа.

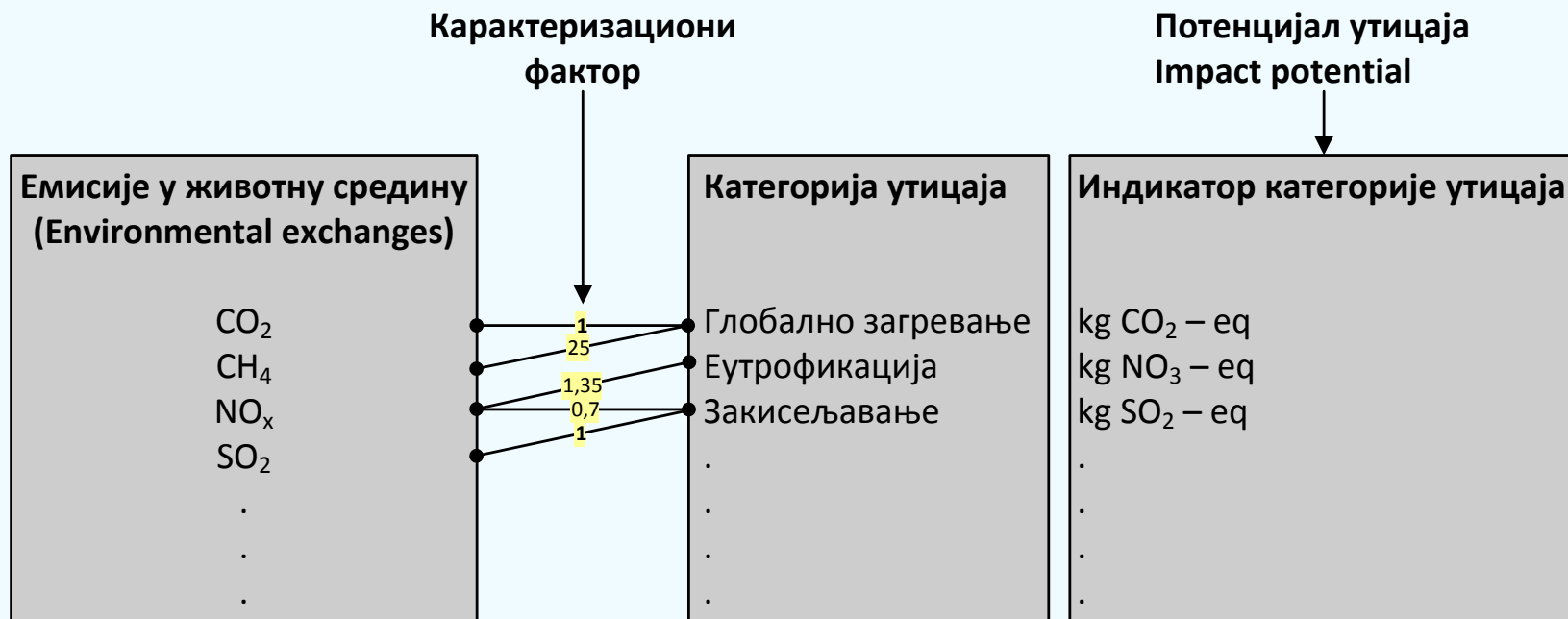
$$1 \text{ Pt} = 1 / 1000 \text{ EL/особа/година}$$

**Једна тачка (Pt) износи хиљадити део годишњег оптерећења животне средине од једног просечног Европљанина.**

# EDIP МЕТОДА

**EDIP** (Environmental Design of Industrial Products) – **Еколошки Дизајн Индустијских Производа** је методологија развијена у периоду 1991-1996. године у Данској.

Код **EDIP** методе је примењен приступ "средње тачке" (mid-point или **problem-oriented approach**).



**EDIP** метода разматра следеће **категорије утицаја**:

1. глобално загревање,
2. проређење озонског омотача,
3. закисељавање животне средине,
4. еутрофикација,
5. фотохемијски смог или фотохемијско стварање оксидације,
6. абиотско смањивање ресурса.

**"Попуњавање" земљишта отпадом** није могуће моделирати. Да би покрили утицаје од овог вида загађења уводимо **четири различите врсте отпада** и то:

1. неризичан отпад (гломазан),
2. ризичан отпад (опасан),
3. инертан отпад (шљака и пепео) и
4. нуклеарни отпад.

Да би се могао упоредити допринос различитих категорија утицаја, изводи се **нормализација**.

- ✓ Глобалне категорије утицаја - глобална "платформа" оптерећења се користи као референца за нормализацију.
- ✓ За регионалне и локалне категорије утицаја се користи данска "платформа" оптерећења.
- ✓ Јединице за категорије утицаја у **EDIP** методи, дате су раније
- ✓ За глобалне као и за локалне категорије утицаја, **година 1990.** је узета као **референца. Основне скале су изражене по становнику разматране области**, у односу на свет или Данску, ради нормализовања уобичајених скала. **Оптерећење од просечне особе је узето за референцу за нормализацију (N)** оптерећења од проучаваног система производа. Однос доприноса система производа у поређењу са просечним доприносом особе у 1990. години, је коришћен да скалира допринос производа различитим категоријама утицаја.



- ✓ Коначно одређивање значаја је урађено **приступом "из даљине ка циљу"**. Циљ је смањење доприноса друштва различитим категоријама утицаја од 1990. до 2000. Јединица за измерене вредности је **"еквивалент циљане особе"** и изражава прихватљив утицај особе у 2000. години према суми политичких циљева.
- ✓ Скорашња побољшања **EDIP** методе уводе "платформе" оптерећења других европских земаља као и нормализационе референце за европске земље и европски просек који дозвољава да се производ изрази у јединици **"европски лични еквивалент"**. Истрага редукционих циљева у различитим европским земљама дозвољава развијање просечног европског **"еквивалента циљане особе"** за одређивање значаја.
- ✓ Нормализација и скупљање података за одређивање значаја се ради и у Кини и доводе до **"еквивалента Кинеза"**.

**EDIP** метода је у складу са интернационалним концензусом о карактеризацији утицаја.

**Сарадња три стране: индустрије, универзитета и власти,** током развијања методе обезбедила је оптимум у практичној употреби као и научну дубину.

У случају практичне употребе, индустрија је развила осећај за значење различитих категорија утицаја, какав утицај и последице свака од њих има, како да интерпретира вредности и како те вредности да скупџ у видљива и разумљива оптерећења животне средине.

Операције нормализације и одређивања значаја су више научне него у методи индикатора, где **одређивање значаја зависи од субјективног става људи према категорији штете.**

# QFD И EQFD МЕТОДА

Методе које узимају у обзир и захтеве потрошача (деоничара) и "преводе" их на технички језик:

1. **QFD (Quality Function Deployment)** – **развој функције квалитета** – представља важан метод за интегрисање захтева и потреба потрошача у процес развоја производа. **QFD** тражи захтеве потрошача који се преводе у техничке параметре за дизајнирање.
2. **EQFD (Environmental Quality Function Deployment)** – метод помаже да се препознају најважнији еколошки параметри међу многобројним захтевима потрошача и потребама деоничара, респективно.

**QFD** и **EQFD** методе за вредновање користе **асиметричну скалу 0-1-3-9**. Ова асиметрична скала помаже да се јасно оцене важни захтеви.

# РАЗВОЈ ФУНКЦИЈЕ КВАЛИТЕТА

## QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT - QFD

Основно питање је:

*Како узети у обзир захтеве "стејкхолдера" (деоничара, интересних група) у процесу побољшања и процесу дизајнирања производа ?*

Метод је осмислио *Yoji Aka* у Јапану 1966. године. Пробој је остварен 1972. са "**Mitsubishi Heavy Industries**". Метода је 1987. први пут имплементирана у Европи.



## ПРИМЕР: QFD матрица за notebook рачунаре

|                  | Weights | EC1   | EC2  | EC3   | EC4   | EC5   | EC6 | EC7  | EC8   | EC9   | EC10  |
|------------------|---------|-------|------|-------|-------|-------|-----|------|-------|-------|-------|
| CR1              | 6.9     | 9     | 3    | 1     | 3     | 3     | 1   | 3    | 9     | 3     | 3     |
| CR2              | 5.5     |       |      |       | 1     | 1     | 3   |      | 3     | 9     |       |
| CR3              | 5.8     | 3     | 1    | 1     |       | 9     | 1   | 3    | 3     | 3     | 3     |
| CR4              | 4.9     | 3     | 9    | 9     | 1     | 1     | 1   | 3    | 3     | 3     | 9     |
| CR5              | 5.3     | 1     |      |       | 3     | 9     | 9   |      | 1     | 9     | 9     |
| CR6              | 7.2     | 3     |      | 1     | 3     | 9     | 9   |      | 9     | 9     | 3     |
| CR7              | 6.5     | 3     |      | 1     | 9     | 9     |     | 3    | 9     | 9     | 1     |
| CR8              | 5.8     | 9     | 1    | 9     | 3     | 9     | 3   | 3    | 9     | 9     | 9     |
| CR9              | 5.7     |       | 3    | 1     | 1     |       |     |      | 3     | 3     | 1     |
| Importance of EC |         | 192.8 | 93.5 | 128.4 | 150.2 | 306.5 | 164 | 89.7 | 308.6 | 342.6 | 215.9 |

- ✓ EC – Engineering Characteristics
- ✓ CR – Customer Requirements

## **Захтеви потрошача**

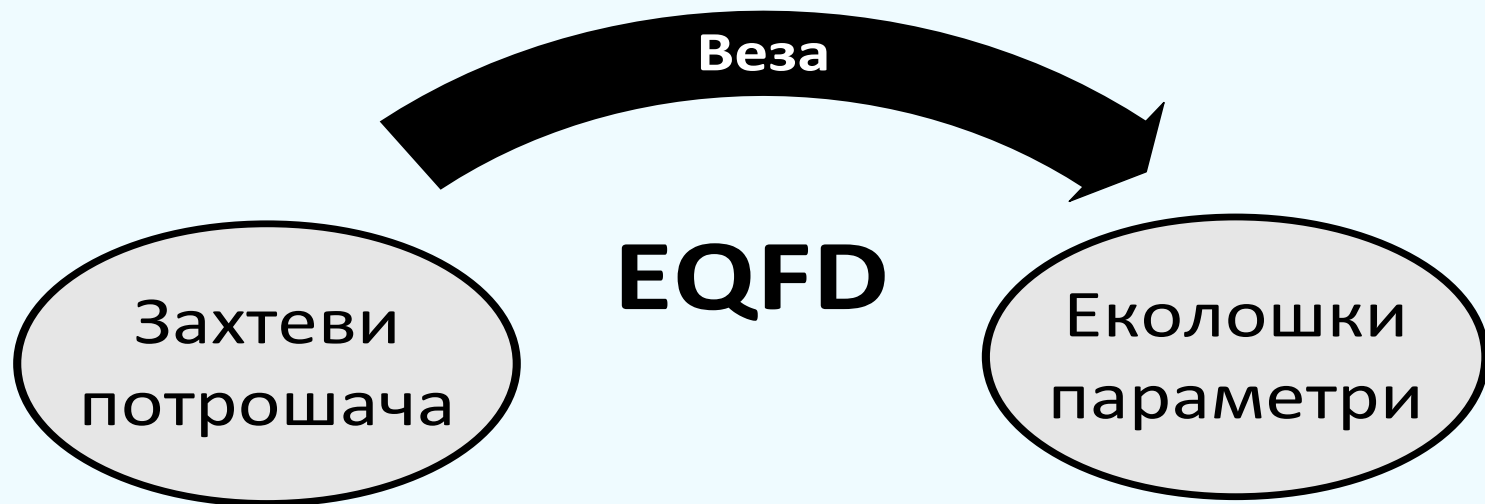
| <b>Voice of customer</b> | <b>Customer Requirements</b>      |
|--------------------------|-----------------------------------|
| <b>CR1</b>               | <b>Price or cost</b>              |
| <b>CR2</b>               | <b>Operating quality</b>          |
| <b>CR3</b>               | <b>Size or weight</b>             |
| <b>CR4</b>               | <b>No toxic material released</b> |
| <b>CR5</b>               | <b>Easily disassembly</b>         |
| <b>CR6</b>               | <b>Easily maintenance</b>         |
| <b>CR7</b>               | <b>Energy saving</b>              |
| <b>CR8</b>               | <b>Recyclable</b>                 |
| <b>CR9</b>               | <b>Speed</b>                      |

# Техничке карактеристике

|                                                |                | Voice of Engineering | Engineering Characteristics |
|------------------------------------------------|----------------|----------------------|-----------------------------|
| Life cycle assessment-based green supply chain | Raw Material   | EC1                  | Material reduction          |
|                                                |                | EC2                  | No dangerous material       |
|                                                | Manufacturing  | EC3                  | Pollution control           |
|                                                |                | EC4                  | Low energy exhausting       |
|                                                | Disassembly    | EC5                  | Modularization              |
|                                                |                | EC6                  | Tools usage                 |
|                                                | Transportation | EC7                  | Package reduction           |
|                                                | Usage          | EC8                  | Energy saving               |
|                                                |                | EC9                  | Maintenance                 |
|                                                | Disposal       | EC10                 | Reuse or recycle            |

# РАЗВОЈ ЕКО ФУНКЦИЈЕ КВАЛИТЕТА ENVIRONMENTAL QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT - EQFD

Ова метода идентификује важне **еколошке параметре** међу различитим захтевима потрошача и "стејкхолдера".





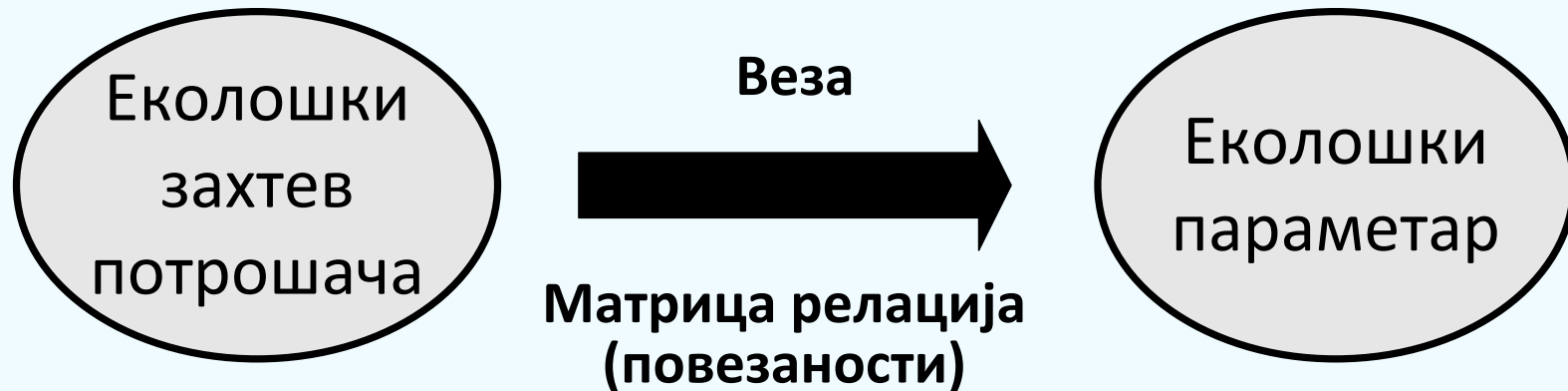
|                                 |
|---------------------------------|
| Безбедан за животну средину     |
| Без опасних супстанци           |
| Лаган                           |
| Издржљив                        |
| Мање транспорта                 |
| Штедња енергије                 |
| Једноставан за употребу         |
| Једноставан за одржавање        |
| Једноставан за поправк          |
| Једноставан за рециклирање      |
| Једноставан за растављање       |
| Једноставан за поновну употребу |

Релације се исказују оцењивањем фактора повезаности:

3 – слаба релација,  
6 – средња релација,  
9 – јака релација.

Важност захтева "стејкхолдера" за одређени производ се оцењује на скали 0-10, где је :

0 – неважно,  
10 – врло важно.



| Environmental parameters               |                          | Stakeholder weighting factor |        |                |              |          |               |                |                       |                       |                  |           |                |           |                    |                 |                      |           |             |              |                     |                      |                     |                       |
|----------------------------------------|--------------------------|------------------------------|--------|----------------|--------------|----------|---------------|----------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------|----------------|-----------|--------------------|-----------------|----------------------|-----------|-------------|--------------|---------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| Environmental stakeholder requirements | Direction of improvement | Units                        | weight | volume         | supply parts | lifetime | functionality | materials used | problematic materials | production technology | production waste | packaging | transportation | usability | energy consumption | generated waste | noise and vibrations | emissions | maintenance | reparability | fastener and joints | time for disassembly | rate of reusability | rate of recyclability |
|                                        |                          |                              | ↓      | ↓              | ↑            | ↑        | ↑             | ↓              | ↓                     | ↓                     | ↓                | ↓         | ↓              | ↑         | ↓                  | ↓               | ↓                    | ↓         | ↓           | ↑            | ↓                   | ↓                    | ↑                   | ↑                     |
|                                        |                          |                              | kg     | m <sup>3</sup> | h            | h        |               |                | kWh                   | kg                    | kg               | km        |                | kWh       | kg                 | dB              |                      |           |             |              | h                   | %                    | %                   | %                     |
| environmentally safe                   | 0                        |                              |        |                |              |          |               |                | 9                     |                       |                  |           |                |           | 9                  |                 | 9                    |           |             |              |                     |                      |                     |                       |
| free of hazardous substances           | 10                       |                              |        | 6              |              |          |               | 9              |                       |                       | 9                |           |                |           |                    |                 |                      |           |             |              |                     |                      |                     | 9                     |
| lightweight                            | 3                        | 9                            |        |                |              |          |               | 9              |                       |                       | 6                |           | 6              |           |                    |                 |                      |           |             |              |                     |                      |                     | 6                     |
| durable                                | 7                        | 6                            |        | 6              | 9            |          |               |                |                       |                       |                  |           | 6              |           |                    |                 |                      |           | 6           | 6            |                     |                      |                     |                       |
| less transportation                    | 3                        |                              | 6      | 6              |              |          |               |                |                       |                       | 6                | 9         |                |           |                    |                 |                      |           |             |              |                     |                      |                     |                       |
| energy saving                          | 10                       |                              |        |                |              | 6        |               |                |                       |                       |                  |           |                |           | 9                  |                 |                      |           |             |              |                     |                      |                     |                       |
| easy to use                            | 5                        | 6                            | 6      |                |              | 6        |               |                |                       |                       |                  |           |                | 9         |                    |                 | 9                    |           |             |              |                     |                      |                     |                       |
| easy to maintain                       | 3                        |                              |        |                |              |          |               |                |                       |                       |                  |           |                |           |                    |                 |                      |           | 9           |              |                     |                      |                     |                       |
| easy to repair                         | 7                        |                              |        | 6              | 6            |          |               |                |                       |                       |                  |           |                |           |                    |                 |                      |           |             | 9            |                     | 6                    | 6                   |                       |
| easy to recycle                        | 10                       |                              |        |                |              |          |               | 9              |                       |                       | 9                |           |                |           |                    |                 |                      |           |             |              |                     |                      |                     | 9                     |
| easy to disassemble                    | 10                       |                              |        | 6              |              |          |               |                |                       |                       |                  |           |                |           |                    |                 |                      |           |             |              | 9                   | 9                    |                     |                       |
| easy to reuse                          | 7                        |                              |        | 9              | 6            |          |               |                |                       |                       |                  |           |                |           |                    |                 |                      |           |             |              |                     | 9                    |                     |                       |
| Importance (relative %)                |                          | 4                            | 2      | 10             | 6            | 4        | 9             | 6              | 0                     | 4                     | 5                | 1         | 4              | 4         | 0                  | 2               | 0                    | 3         | 4           | 6            | 8                   | 4                    | 8                   | 8                     |

# УПРОШЋЕНИХ МЕТОДА ПРОЦЕНЕ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА ПРОИЗВОДА

## КВАЛИТАТИВНА ПРОЦЕНА ПРОИЗВОДА (ОПИС)

Квалитативни подаци изражени као скала рејтинга, нпр. 1 представља "најбоље" а 5 представља "најгоре", или изрази релативног оцењивања као што су "бољи од" или "гори од".

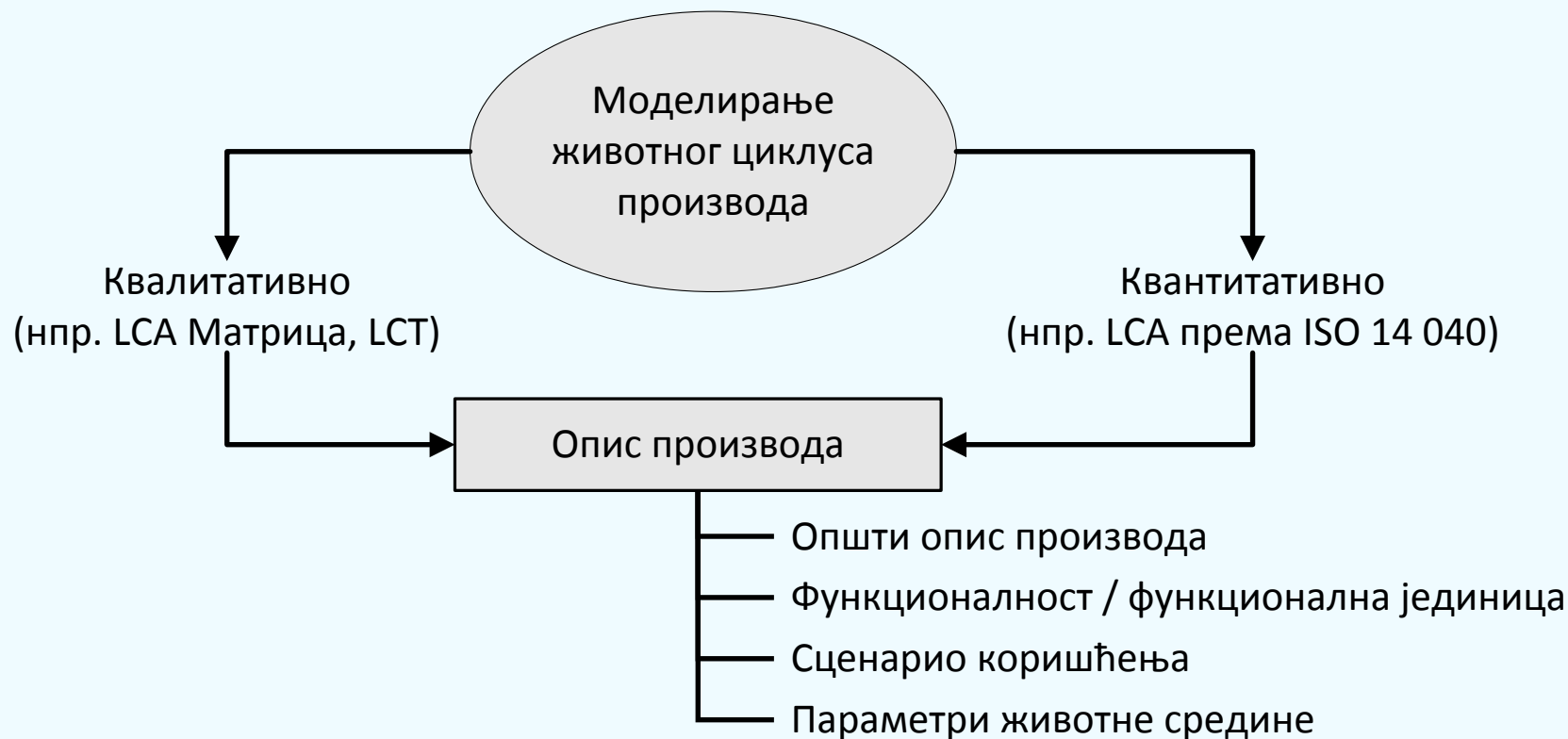
Квалитативни подаци се могу користити и нпр. за LCA матрицу.

Квалитативни опис производа даје први општи преглед тог производа.

Квалитативни опис може такође да садржи и текстуални опис производа, као што се може наћи у деловима Декларације о еколошкостности производа (EPD – Environmental Product Declaration).

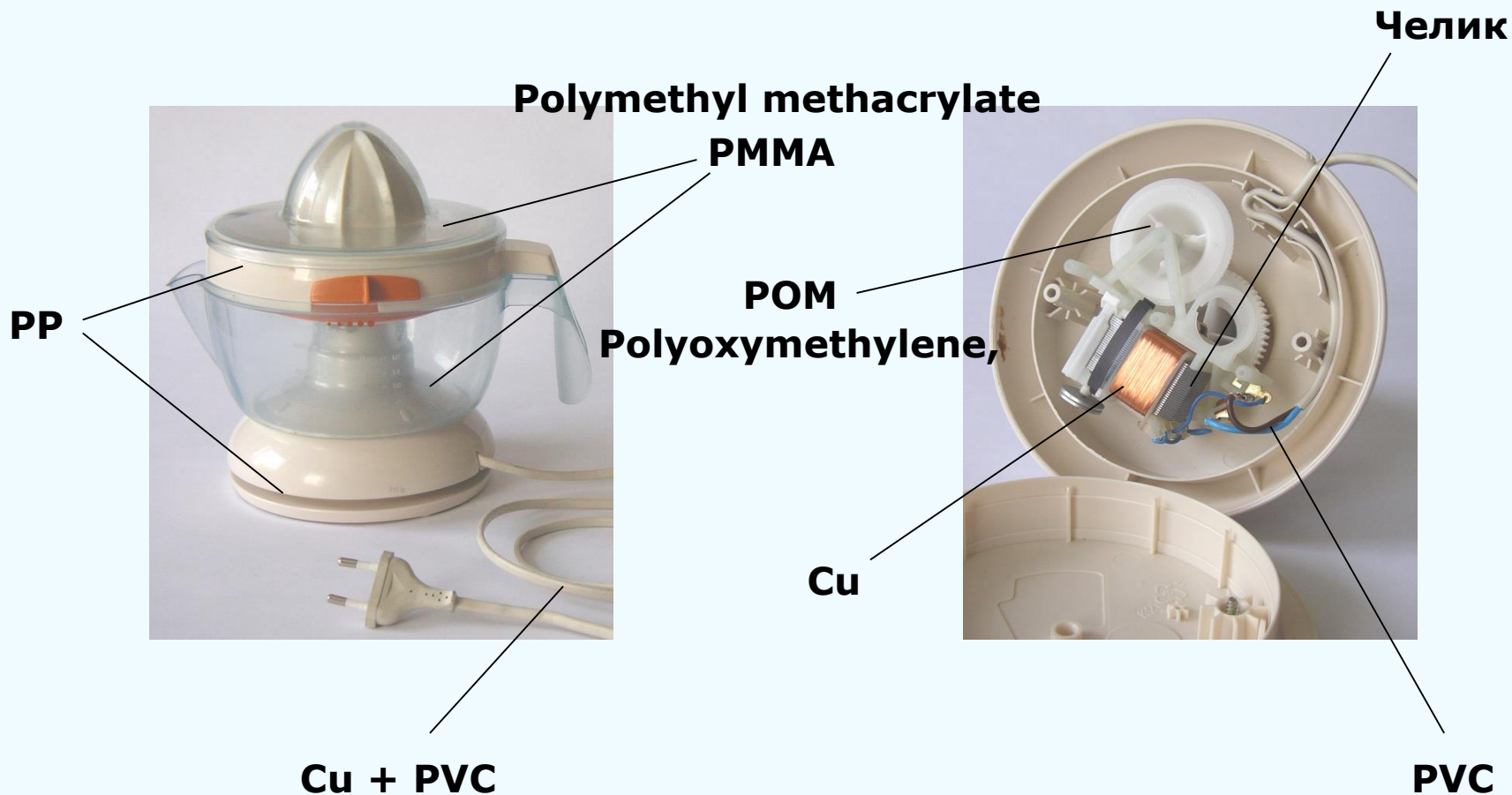
Ово се може постићи коришћењем општих података као што су:

- ✓ име производа,
- ✓ имена компонената,
- ✓ делови и компоненте које морају бити наручени од другог произвођача,
- ✓ сценарио употребе,
- ✓ функционалност,
- ✓ функционална јединица...



| Фаза животног циклуса       | Еколошки параметар                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Употреба сирових материјала | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Употребљени материјали</li> <li>• Проблематични материјали</li> <li>• ...</li> </ul>                                                                                                         |
| Дизајн и производња         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Производне технологије</li> <li>• Производни отпад</li> <li>• ...</li> </ul>                                                                                                                 |
| Дистрибуција и паковање     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Паковање</li> <li>• Транспорт</li> <li>• ...</li> </ul>                                                                                                                                      |
| Употреба производа          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Употребљивост</li> <li>• Потрошња енергије</li> <li>• Накупљање отпада</li> <li>• Бука и вибрације</li> <li>• Емисије</li> <li>• Одржавање</li> <li>• Поправљивост</li> <li>• ...</li> </ul> |
| Крај животног циклуса       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Причвршћивачи и спојеви</li> <li>• Време за растављање</li> <li>• Стопа поновне употребе</li> <li>• Стопа могућности рециклирања</li> <li>• ...</li> </ul>                                   |

# ПРИМЕР КВАЛИТАТИВНЕ ПРОЦЕНЕ ПРОИЗВОДА: Опис соковника



# ОПШТЕ ИНФОРМАЦИЈЕ О СОКОВНИКУ

| Опште информације (квалитативне и квантитативне) |                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Назив производа                                  | Соковник                                                                                                                                                         |
| Маса производа                                   | 705 g                                                                                                                                                            |
| Маса производа са паковањем                      | 1 055 g                                                                                                                                                          |
| Димензије                                        | Висина: 192 mm<br>Највећи пречник: 82 mm                                                                                                                         |
| Запремински капацитет                            | 600 ml – 1 250 ml (у зависности од модела)                                                                                                                       |
| Компоненте                                       | Мотор: 85 g<br>Поклопац за притискање: 135 g<br>Поклопац: 170 g<br>Посуда за сок: 190 g<br>Кабл: 65 g<br>Паковање: 345 g                                         |
| Спољашњи делови                                  | Кабл, мотор                                                                                                                                                      |
| Сценарио употребе                                | Једном дневно, 50 недеља у години у току 5 година                                                                                                                |
| Радни век                                        | 5 година                                                                                                                                                         |
| Функционалност                                   | Исцеђени сок пада директно у посуду кроз сито. Соковник је укључен посредством контакта, услед притискања воћа о конус, и ради докле год контактна сила постоји. |

Соковник има способност да екстракује 45% садржаја сока од поморандже; **55% се баца!** Идеални соковник би екстраковао 100% садржаја сока.

**Различите величине конуса** за различите врсте воћа гарантују оптимизовану екстракцију сока.



Ø 40



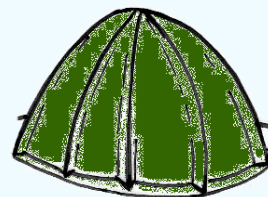
Ø 50



Ø 60



Ø 70





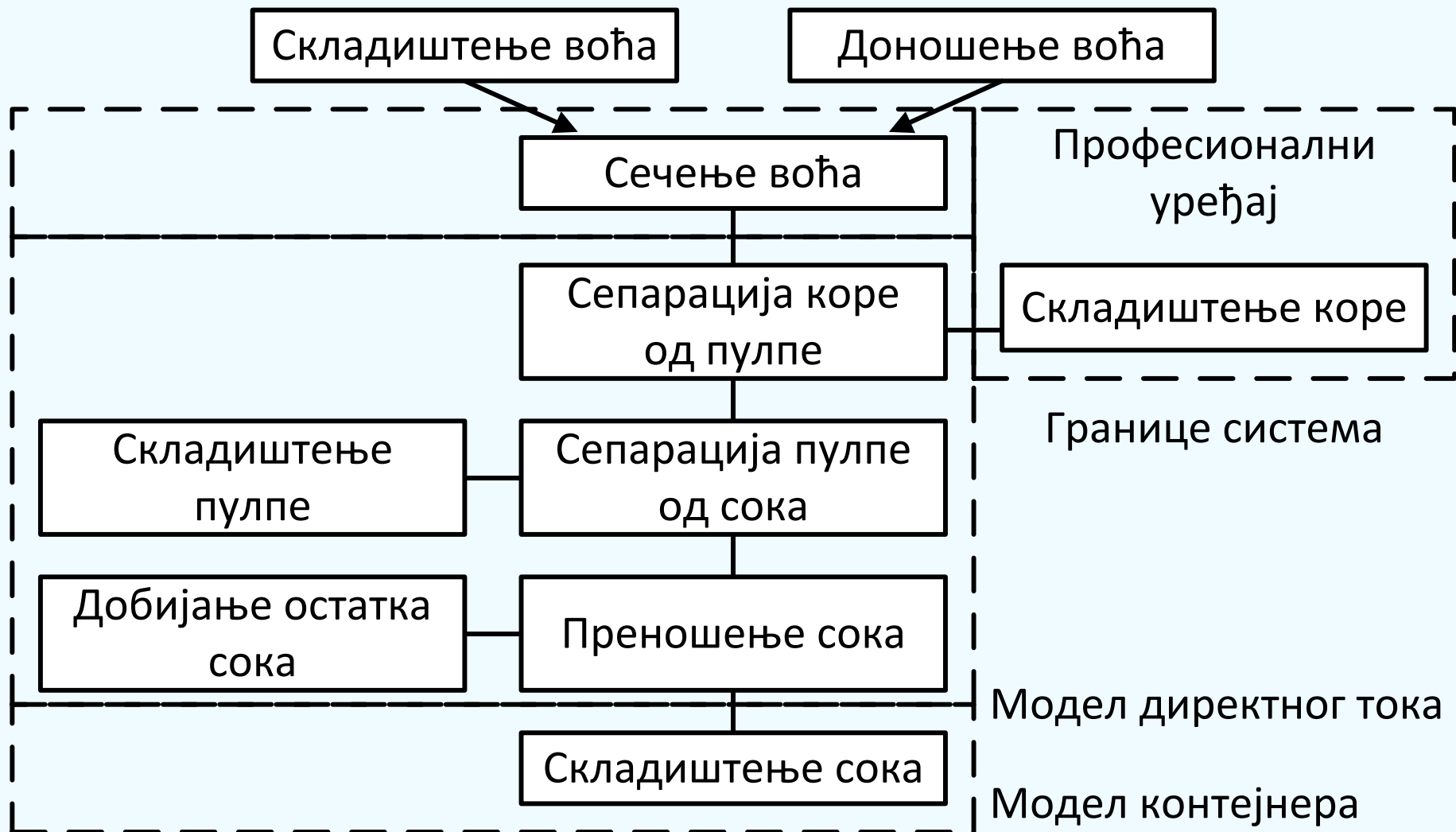
# ЕКОЛОШКИ ПАРАМЕТРИ СОКОВНИКА

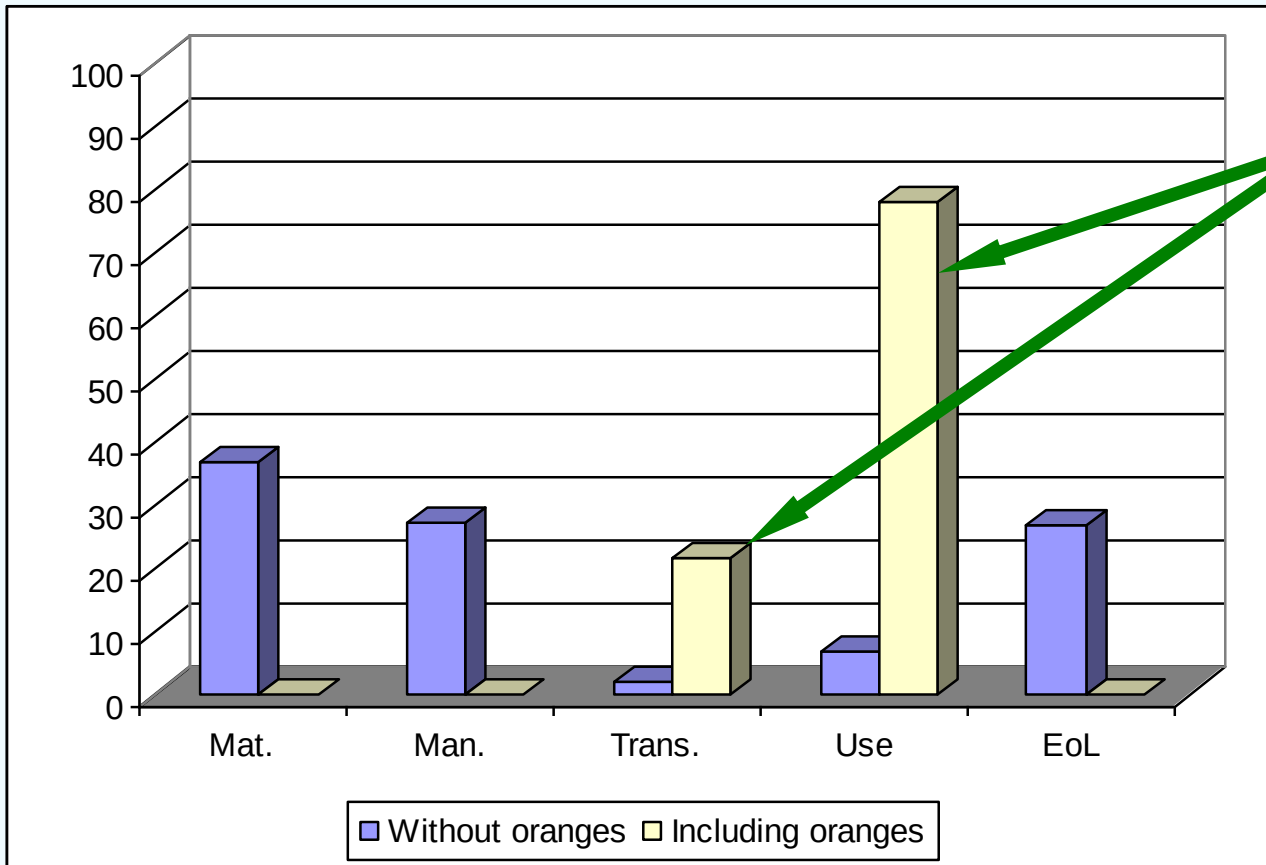
| Еколошки параметар                 | Објашњење (квалитативно)                                                    |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| <b>Употреба сирових материјала</b> |                                                                             |
| Коришћени материјали:              | <b>ABS, SAN, PP, PS</b><br>Мотор садржи металне делове<br>Кабл садржи бакар |
| <b>Дизајн и производња</b>         |                                                                             |
| Производне технологије:            | Углавном убризгавањем у калупе                                              |
| Производни отпад:                  | Паковања екстерних делова, отпад од ливења                                  |
| <b>Дистрибуција и паковање</b>     |                                                                             |
| Паковање:                          | Картонске кутије                                                            |
| Транспорт:                         | Камион                                                                      |
| <b>Употреба производа</b>          |                                                                             |
| Употребљивост:                     | Цеђење сока, сакупљање сока, чишћење                                        |
| Потрошња енергије:                 | 15 W                                                                        |
| Произведени отпад:                 | Воћна пулпа (биолошки отпад)                                                |
| Бука и вибрације:                  | Зупчаници се не подмазују, па могу да изазову велику буку током коришћења   |
| Одржавање:                         | Прање после употребе, потребан детерџент                                    |
| Поправљивост:                      | Уређај се у потпуности мења у случају штете                                 |
| <b>Крај животног циклуса</b>       |                                                                             |
| Причвршћивачи и спојеви:           | Конектори                                                                   |
| Време расклапања:                  | Могуће је расклапање за мање од 2 минута, мотор остаје цео                  |
| Стопа поновне употребе:            | Мотор се, након инспекције, може поново користити                           |
| Стопа могућности рециклаже:        | Приближно 40%                                                               |

# ПОСТАВЉАЊЕ ГРАНИЦА СИСТЕМА НА ПРИМЕРУ СОКОВНИКА

Ако се узму поморанџе у обзир имамо:

- ✓ порекло: Бразил и/или Шпанија,
  - ✓ транспорт: 10 000 km бродом, 2 000 km камионом,
  - ✓ иригација (наводњавање): 1 000 litar/kg.
- 
- ✓ Просечна тежина поморанџе: 150 g
  - ✓ Просечан садржај сока у свакој поморанџи: 105 g
  - ✓ За екстаркцију 750 ml сока у просеку је потребно 11 поморанџи (ово је емпиријски податак).





# МЕТ-МАТРИЦА

## Евалуација утицаја на животну средину

**МЕТ-матрица** је једноставан и лако применљив метод квалитативне евалуације производа.

**МЕТ** је скраћеница за "**М**атеријал–**Е**нергија–**Т**оксичност" (**М**aterial–**Е**nergy–**Т**oxicity)

Она даје први утисак о томе како утицај на животну средину, у различитим фазама животног циклуса производа, може бити процењено и које фазе су битне, а које нису толико значајне.

|            | Сирови<br>материјали | Дизајн и<br>производња | Дистрибуција<br>и паковање | Употреба | Крај животног<br>циклуса |
|------------|----------------------|------------------------|----------------------------|----------|--------------------------|
| Материјал  |                      |                        |                            |          |                          |
| Енергија   |                      |                        |                            |          |                          |
| Токсичност |                      |                        |                            |          |                          |

# МОДИФИКОВАНА МЕТ-МАТРИЦА

## Евалуација утицаја на животну средину

|                      | Сирови материјали | Дизајн и производња | Дистрибуција и паковање | Употреба | Крај животног циклуса |
|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|----------|-----------------------|
| CO <sub>2</sub> - eq |                   |                     |                         |          |                       |
| SO <sub>2</sub> - eq |                   |                     |                         |          |                       |
| ...                  |                   |                     |                         |          |                       |

Поред квалитативне, МЕТ-матрица омогућава и квантитативну евалуацију производа.

**МЕТ-матрица** предстаља једноставан начин евалуације утицаја на животну средину, и посебно је погодна за одређивање (проналажење) **критичних** или **"жарних" тачака (hot spots)**.

Помоћу ње је могуће остварити и квалитативну и квантитативну дескрипцију. **МЕТ-матрица** даје прве сугестије за "жарне" тачке.

|            | Сирови материјали                                             | Дизајн и производња                                    | Дистрибуција и паковање | Употреба              | Крај животног циклуса                                   |
|------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------|
| Материјал  | Метали (C <sub>u</sub> , челик)<br>Пластика (PP, PVC, ABS...) | Бризгаљке, мотор, каблови, мазива, течности за хлађење | Амбалажа                | Воће, вода, детерџент | Алати за растављање, обнављање и рециклирање материјала |
| Енергија   | Прерада и гранулација                                         | Ливење под притиском (убризгавање у калупе)            | Гориво (дизел)          | Електрична енергија   | Поврат енергије                                         |
| Токсичност | Штетне емисије током екстракције                              | Штетне емисије                                         | Штетне емисије          | Детерџенти            | PVC, електро делови                                     |

Да би се добиле ефикасне стратегије унапређења производа:

- ✓ треба знати која фаза животног циклуса највише доприноси утицају на животну средину,
- ✓ чиме је узрокован утицај у свакој фази животног циклуса,
- ✓ зашто настају утицаји,
- ✓ шта су кључни параметри утицаја на животну средину.

**Захтевају се квантификовани подаци за процену утицаја !**



# ПРИМЕР: Соковник

Енергетске вредности за материјале од којих је направљен соковник:

| Материјал                          | [MJ/kg] | Маса [kg] | Резултат [MJ] |
|------------------------------------|---------|-----------|---------------|
| Полипропилен (PP)                  | 78      | 0,120     | 9,36          |
| Челик                              | 32      | 0,085     | 2,72          |
| Бакар (Cu)                         | 65      | 0,065     | 4,23          |
| Полиметил метакрилат (PMMA)        | 95      | 0,250     | 23,75         |
| Поли окси метилен или ацетал (POM) | 105     | 0,050     | 5,25          |
| Поливинил хлорид (PVC)             | 70      | 0,030     | 2,1           |
| Полиетилен (PE)                    | 80      | ~ 0,035   | 2,8           |
| Полистирен (PS)                    | 96      | ~ 0,035   | 3,36          |
| Акрилонитрил бутадиен стирен (ABS) | 100     | ~ 0,035   | 3,5           |
| Укупно                             |         | 0,705     | <b>57,07</b>  |

Енергетске вредности за фазу производње:

| Производња                | [MJ/kg] | Маса<br>[kg] | Резултат<br>[MJ/komad] |
|---------------------------|---------|--------------|------------------------|
| Убризгавање под притиском | 78      | 0,555        | 43,29                  |
| Формирање метала          | 32      | 0,15         | 4,8                    |
| Укупно                    |         | 0,705        | <b>48,09</b>           |

Енергетске вредности за транспорт соковника:

| Транспорт соковника | Растојање [km] | [MJ/tona·km] | Резултат [MJ/komad] |
|---------------------|----------------|--------------|---------------------|
| Камион              | 3 000          | 1,5          | <b>4,5</b>          |

Енергетске вредности за фазу употребе:

| Употреба          | [kWh] по употреби    | [kWh] у току радног века |
|-------------------|----------------------|--------------------------|
| Потрошња енергије | $8,06 \cdot 10^{-4}$ | <b>4,23</b>              |
|                   | [MJ/kWh] у просеку   | [MJ] у току радног века  |
| Потрошња енергије | 10                   | <b>42,3</b>              |

## Енергетске вредности за фазу краја животног циклуса за пластичне делове соковника:

| Крај животног циклуса        | Маса [kg] | [MJ/kg] | Резултат [MJ] |
|------------------------------|-----------|---------|---------------|
| Рециклажа/претапање пластике | 0,555     | -20     | <b>-11,1</b>  |

|      | PMMA | PP | POM | PVC | ABS | PE | PS |
|------|------|----|-----|-----|-----|----|----|
| PMMA | 😊    |    |     |     |     |    |    |
| PP   | 😞    | 😊  |     |     |     |    |    |
| POM  | 😊    | 😊  | 😊   |     |     |    |    |
| PVC  | 😞    | 😊  | 😊   | 😊   |     |    |    |
| ABS  | 😊    | 😞  | 😊   | 😊   | 😊   |    |    |
| PE   | 😞    | 😞  | 😞   | 😞   | 😞   | 😊  |    |
| PS   | 😞    | 😞  | 😊   | 😞   | 😞   | 😞  | 😊  |

Компатибилност пластика од којих је израђен соковник

Производња и транспорт поморанџи:

| Производња                          | [MJ/m³]        | [m³]         | Резултат [MJ]    |
|-------------------------------------|----------------|--------------|------------------|
| Поморанџе<br>(третман сланом водом) | 13,0           | 1            | <b>13,0</b>      |
| Поморанџе<br>(наводњавање пумпом)   | 1,8            | 1            | <b>1,8</b>       |
| Транспорт                           | Растојање [km] | [MJ/tona·km] | Резултат [MJ/kg] |
| Бродом из Бразила                   | 10 000         | 0,11         | <b>1,1</b>       |
| Камионом из Шпаније                 | 3 000          | 1,5          | <b>4,5</b>       |
| Камионом до потрошача               | 2 000          | 1,5          | <b>3,0</b>       |

Подаци за измешане поморанџе:

|             | Маса/комад | Шпанија<br>75% | Бразил<br>25% | Транспорт<br>камионом | Укупно          |
|-------------|------------|----------------|---------------|-----------------------|-----------------|
| Маса        | 0,150 g    | 1,2375 kg      | 0,4125 kg     |                       | 1,650 kg        |
| Транспорт   |            | 5,57 MJ        | 0,45 MJ       | 4,95 MJ               | 10,97 MJ        |
| Наводњавање |            |                |               |                       | 24,42 MJ        |
| Укупно MJ   |            |                |               |                       | <b>35,39 MJ</b> |

## Укупна потребна енергија за поморанце и соковник заједно:

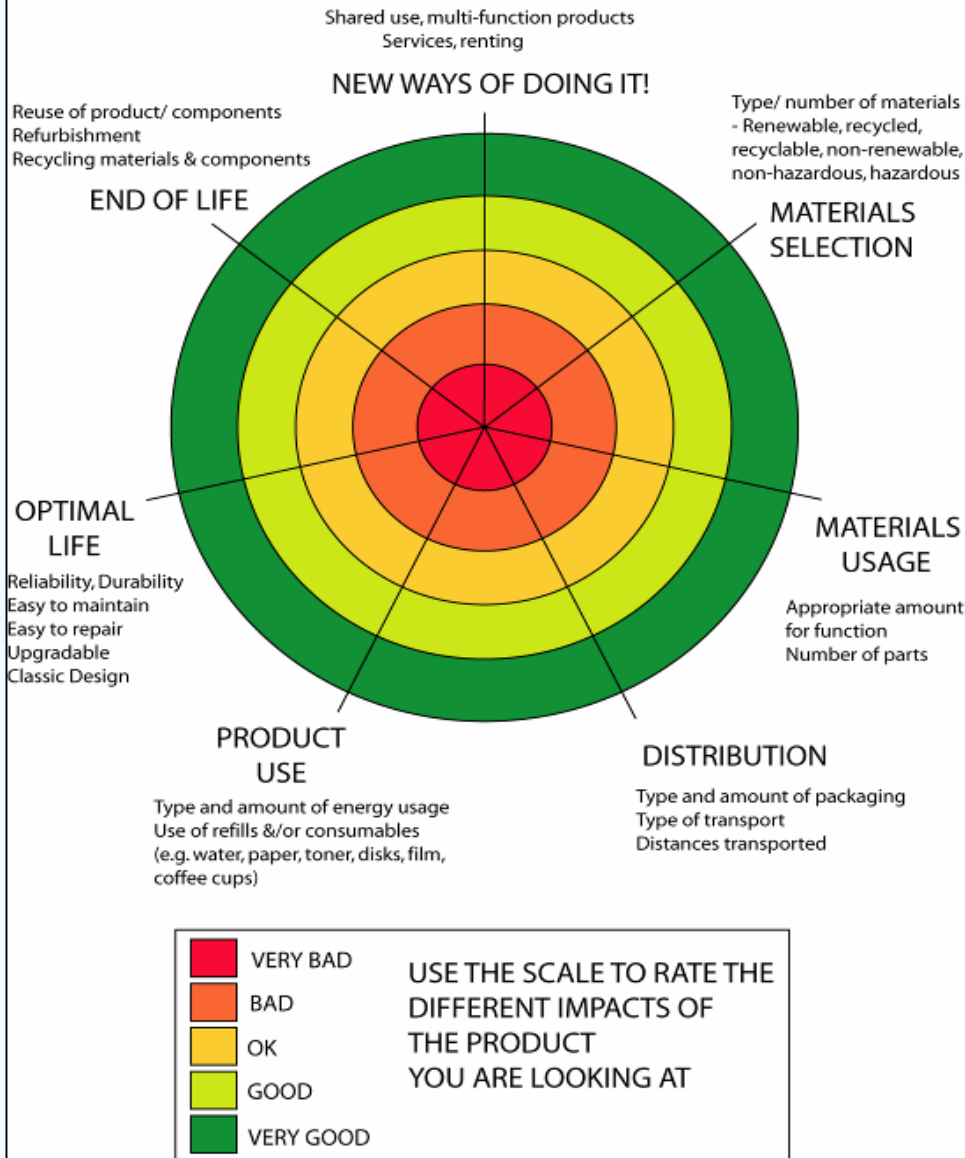
|           |      | Сировине | Производња                                   | Транспорт                                     | Употреба | EoL   | Укупно        |
|-----------|------|----------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------|-------|---------------|
| Соковник  | [MJ] | 57,07    | 48,09                                        | 4,5                                           | 42,3     | -11,1 | 141           |
| Поморанце | [MJ] | -        | $1750 \cdot 0,55 \cdot 24,42 =$<br>23 504,25 | $1750 \cdot 0,55 \cdot 10,97 =$<br>10 558,625 | -        | -     | 34 063        |
| Укупно    | [MJ] |          |                                              |                                               |          |       | <b>34 204</b> |

### Сценарио употребе:

Соковник се користи једном дневно, 50 недеља/год. у току 5 година, што даје  $1 \cdot 7 \cdot 50 \cdot 5 = 1\,750$  пута у току радног века, ово је претпостављено! 55% су губици услед неефикасности уређаја, за иригацију се троши 24,42 MJ, а за транспорт се троши 10,97 MJ, видети Табеле.

**Закључак:** Отпад од поморанци највише доприноси утицају соковника на животну средину!

# ECODESIGN WEB



The Ecodesign Web (Loughborough University, 2005)

# Ecodesign Web Екодизајн мрежа

## Карактеристике:

Нешто као визуелна чек листа која омогућава брзу оцену дизајна

## “ЗА” :

- Пружа прилику за комплетно поновно разматрање производа / услуге, нпр. изнајмљивања
- Једноставна за употребу
- Брза оцена производа
- Добро средство комуникације

## “ПРОТИВ”:

- Немогућност квантификације
- Различити корисници могу вратити различите мреже за исти производ, јер се тачке на мрежи процењују

# ЕКОЛОШКИ ОТИСАК (ECOLOGICAL FOOTPRINT)

На основу прорачуна који кажу да је у просеку 1,8 gha (глобалних хектара) биолошки продуктивног земљишта по особи, али се у просеку користи 2,2 gha по особи.

Поједине земље некад имају много већи **еколошки отисак** него што је капацитет Земље.

Ови подаци се могу изградити за **одређене области**, и теоријски за **производе и системе производа** (али ређе).

## ЗА 😊

- Мера употребе земљишта је јединица коју већина људи може да схвати
- Може документовати употребу природе од стране компаније
- Подаци су лако доступни

## ПРОТИВ ☹

- Не приказује поједине утицаје на животну средину, нпр. глобално загревање, тровање људи
- Превише поједностављује ситуацију ?
- Ретко се користи за појединачне производе

# ЕКОЛОШКИ РАНАЦ (ECOLOGICAL RUCKSACK)

**Еколошки ранац** се релативно лако израчунава, и готово да се сам објашњава: сваки производ у себи носи одређени **"еколошки терет"**, који носи у теоријском **"ранцу"**.

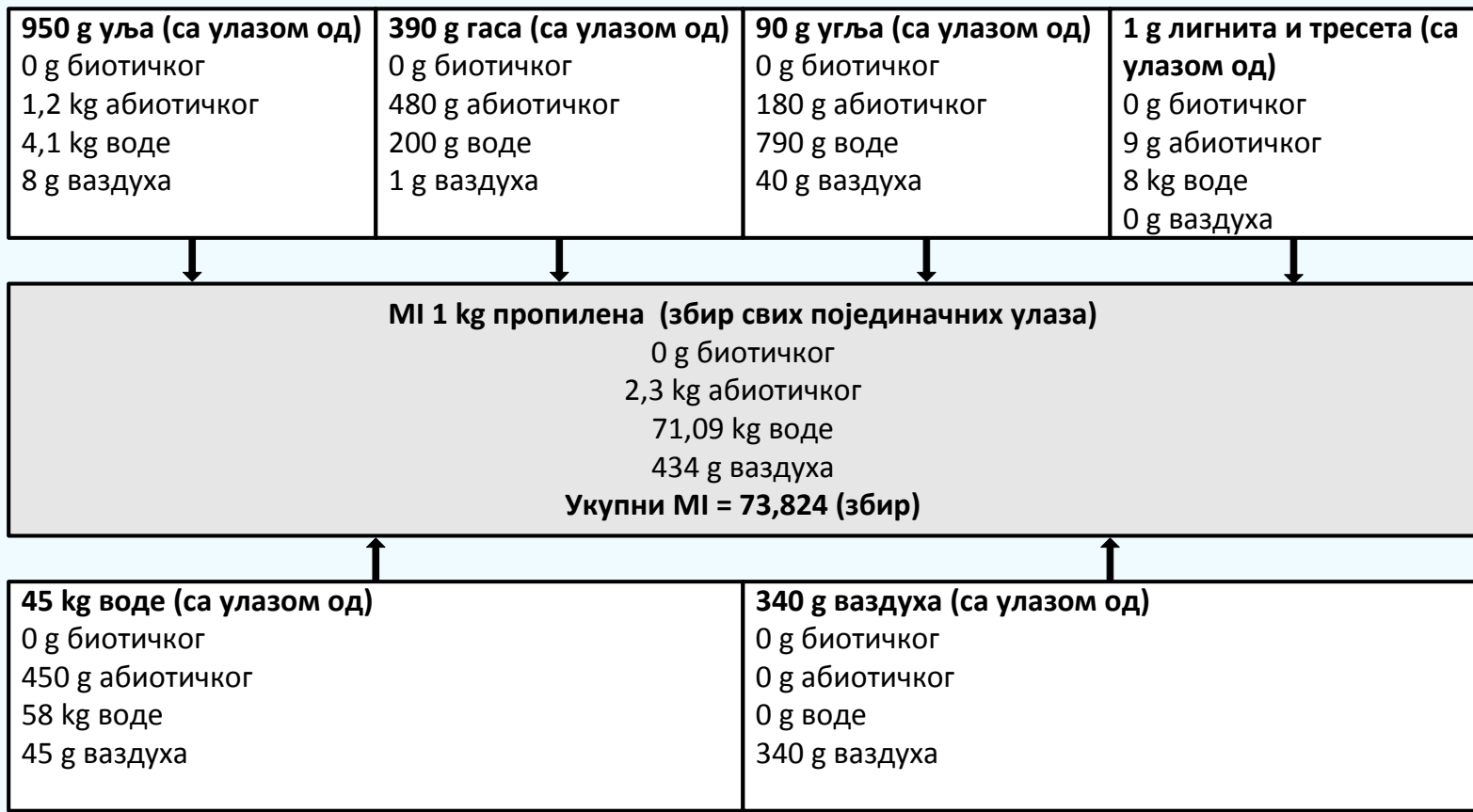
**Дефиниција Еколошког ранца је:**

*"Укупна количина (у kg) природног материјала која је измештена из свог природног стања у циљу добијања готовог производа (минус тежина самог производа)".*

Измештени материјали су подељени у четири категорије:

1. абиотички,
2. биотички,
3. вода,
4. ваздух.





У односу на концепт интензитета материјала: коначни резултат се назива **MI** (Material Intensity).

Еколошки ранац омогућава једноставно поређење производа.

## УЛАЗ МАТЕРИЈАЛА ПО ЈЕДИНИЦИ КОРИСТИ ОД ПРОИЗВОДА MIPS – MATERIAL INTENSITY PER UNIT OF SERVICE

Веома повезано са **Еколошким ранцем**, али се прорачунава за **јединицу користи (услуге)** коју производ може обезбедити у току свог радног века.

Нпр. **Еколошки ранац** може бити израчунат за све компоненте аутомобила (the MI result), али да би се израчунао MIPS, MI резултат треба поделити са **укупним бројем очекиваних пређених километара или стварним радним веком**.

Може се видети **релација са функционалним јединицама у LCA**, али алат није тако свеобухватан.

# РЕЗИМЕ

1. Навести неке од *LCA* метода, упрошћених метода и алата ?
2. Шта је Еко-индикатор *99* и које категорије штете и свере научног сазнања разматра ?
3. Које категорије утицаја у односу на људско здравље разматра Еко-индикатор *99* и који се кораци примењују код анализа ?
4. Објаснити *PAF*, *NOEC*, *POO*, *PDF* и "Токсични стрес".
5. Нормализација, пондерисање и вредновање за Еко-индикатор *99* ?
6. Шта значи *EDIP* и који приступ примењује ова метода ?
7. Које категорије утицаја и које врсте отпада разматра *EDIP* ?
8. Објаснити "еквивалент циљане особе", јединице за нормализацију и нормализациону референцу код *EDIP* методе ?
9. *QFD* и *EQFD* метода ? Објаснити на примеру.
10. Квалитативна процена производа (опис) ? Пример ?
11. *МЕТ*-матрица и одређивање "жарних" тачака ?
12. Екодизајн мрежа и Еколошки отисак ?
13. Еколошки ранац и *MIPS* метода ?

# РЕЗИМЕ

## Кључне речи:

(**GaBi**, SimaPro, eco-indicator 99 (95), **CML 92 (2)**, **CMLCA**, **TRACY**, Dubo-Calc., **BEES**, **EPS 2000**, Ecopoints 97, Impact 2002+, **EPD** method, cumulative energy demand, **IPCC** greenhouse gas emissions, **ReCiPe**, **IVAM LCA Data**, **UMBERTO**, **LCA-iT**, **TEAM**, boustead model, ecoinvent database, eco-quantum, environmental impact indicator, **GEMIS**, **GREET**, **KCL-ECO**, **LCAPIX**, **MIET**, **REGIS**, **US LCI Data**, **AUDIT**, **DFMA**, **IDIS**, **LCA hotlist**, disability adjusted life years, **DALY**, years of life disabled, **YLD**, years of life lost, **YLL**, ecotoxicity, potentially affected fraction, **PAF**, no observed effect concentration, **NOEC**, probability of occurrence, **POO**, potentially disappeared fraction, **PDF**, environmental design of industrial products, point, milipoint, **EDIP**, person equivalent, target person equivalent, quality function deployment, **QFD**, environmental quality function deployment, **EQFD**, stakeholder, **MET** matrix, material, energy, toxicity, hot spots, product type, product investigation, learning and optimisation tool, **PILOT**, ecodesign assistant, ecodesign **PILOT**, improving strategies, **EEG PILOT**, ecodesign web, ecological footprint, ecological rucksack, material intensity, **MI**, material intensity per unit of service, **MIPS**, check listing, **ECO-it**, eco-efficiency, ecotoxicity, embodied energy, full cost accounting, activity based costing, green indices, index reports, mass balance system, materials flow analysis)