

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Милица Љ. Јосифовић

Квантификација утицаја на животну средину

мастер рад

Крагујевац, октобар 2020.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Инжењерство заштите животне средине

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Инжењерство заштите животне средине

Предмет: Анализа животног циклуса

Број индекса: 381/2018

Милица Љ. Јосифовић

Квантификација утицаја на животну средину

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Саша Јовановић, доцент

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У раду ће бити представљене најзначајније категорије (индикатори) утицаја на животну средину, издвојене кроз обиман преглед актуелне литературе, а које се повезују са одговарајућим еколошким последицама. Посебно ће бити анализиран појам „еколошког отиска“ као мере потрошње природних ресурса.

Препоручена литература:

[1] Lidija Čuček, Jiří Jaromír Klemes, Zdravko Kravanja; *A Review of Footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability*, 2012.

[2] Anila Cherian, Patric D, Nunn, Nick Petforf, Frances Harris et al.; *Global environmental issues-second edition*, Kingston University, UK, 2012.

Крагујевац, октобар 2020. године.

Ментор:

Др Саша Јовановић, доцент

ABSTRACT:

Overview of footprints as defined indicators that can be used to measure sustainability. An overview of the definitions and units of measurement associated with environmental, social, and economic footprints is important because the definitions of footprints vary and are often expressed unclearly. Composite footprints combining two or more individual footprints are also assessed. These combinations produce multi-objective optimisation problems. Several tools for footprint(s)' evaluation are presented, including some of the numerous carbon footprint calculators, available calculators for other footprints. A comprehensive overview is offered of footprint-based sustainability assessment.

Keywords: Life cycle assessment; Environmental, social and economic footprints; Footprint evaluation tools.

РЕЗИМЕ:

У раду је дат преглед отисака на животну средину, као дефинисаних показатеља који се могу користити за мерење одрживости. Преглед дефиниција и мерних јединица повезаних са еколошким, социјалним и економским отисцима је важан јер се дефиниције отисака на животну средину разликују и често су нејасне. Такође се оцењују сложени отисци на животну средину који комбинују два или више појединачних отисака. Ове комбинације доводе до више-циљне проблеме оптимизације. Представљено је неколико алата за процену отисака, укључујући неке од бројних калкулатора карбонских отисака, доступних калкулатора за остале отиске на животну средину. Понуђен је свеобухватан преглед процене одрживости заснован на отисцима.

Кључне речи: Анализа животног циклуса; Еколошки, социјални и економски отисак; Алат за процену отиска.

Садржај:

1. Увод.....	3
2. Оквир за животни циклус и оквир LCA.....	5
2.1 Директни, индиректни и укупни ефекти.....	8
2.2 Мерење одрживости животне средине.....	10
2.3 Индикатори потенцијалног утицаја на животну средину.....	10
2.4 Еко-ефикасност.....	12
2.5 Отисци животне средине	12
2.6 Еко и укупни добит, еко и укупни NPV, и остали комбиновани критеријуми за мерење непосредних, индиректних и укупних учинка.....	13
2.6.1 Еко трошкови (оптерећење животне средине)	14
2.6.2 Еко корист (неоптерећење животне средине).....	14
2.6.3 Еко-профит (= еко-бенефит - еко-трошак), Нето профит, Укупан профит, Еко NPV (Net present value), Укупна NPV (Net present value)	15
3. Индекси одрживости.....	17
3.1 Индикатори животне средине	17
3.2 Индекс релативне одрживости.....	18
3.3 Више-циљна оптимизација.....	19
3.4 Агрегатна мера одрживости животне средине	20
4. Кључни утицаји на животну средину.....	22
4.1 Емисија угљен-диоксида и осталих компоненти базираних на угљенику.....	27
4.2 Отисак на воду (WF - Water footprint)	31
4.3 Еколошки отисак (EF - Ecological footprint)	34
4.4 Отисак енергије (ENF - Energy footprint)	39
4.5 Отисак азота (NF - Nitrogen footprint).....	41
4.6 Отисак фосфора (PF - Phosphorus footprint).....	43
4.7 Отисак биодиверзитета (BF - Biodiversity footprint)	44
4.8 Отисак на земљиште (LF - Land footprint).....	45
4.9 Остали утицаји (отисци) на животну средину.....	45
4.9.1 Материјални отисак.....	46
4.9.2 Отисак емисије.....	46
4.9.3 Отисак људи	46
4.9.4 Отисак отпада.....	47
4.9.5 Енергетски отисак	47
4.9.6 Отисак ексергија.....	49

4.9.7	<i>Хемијски отисак.....</i>	49
4.9.8	<i>Отисак загађења.....</i>	49
4.9.9	<i>Радиоактивни отисак.....</i>	49
4.9.10	<i>Отисак хране.....</i>	50
4.9.11	<i>Прехрамбени отисак.....</i>	50
4.9.12	<i>Отисак времена.....</i>	50
5.	Регионални резултати националних рачунања отисака	52
5.1	Еколошки отисак везан за Србију.....	53
6.	Закључак.....	57
7.	Литература.....	58

Скраћенице:

BF	<i>Biodiversity footprint</i>	Отисак биодиверзитета
CF	<i>Carbon footprint</i>	Отисак угљеника
COD	<i>Chemical oxygen demand</i>	Хемијска потреба за кисеоником
CO₂	<i>Carbon dioxide</i>	Угљен диоксид
CFC	<i>Chlorofluorocarbon</i>	Хлорофлуороугљеници
CO	<i>Carbon monoxide</i>	Кобалт
CH₄	<i>Methane</i>	Метан
EF	<i>Ecological footprint</i>	Еколошки отисак
ENF	<i>Energy footprint</i>	Отисак енергије
EFA	<i>Ecological footprint analysis</i>	Анализа помоћу еколошког отиска
EF_I	<i>Net ecological footprint of trade</i>	Нето еколошки отисак трговине
EF_C	<i>Ecological footprint of consumption</i>	Еколошки отисак конзумације
GHG	<i>Green house gases</i>	Гасови „стаклене баште“
GWP	<i>Global warming potential</i>	Потенцијал глобалног загревања
H₂O	<i>Water</i>	Вода
HCL	<i>Hydrochloric acid</i>	Хлороводонична киселина
HCFC_s	<i>Hydrochlorofluorocarbons</i>	Хидрохлоро-флуоро-угљендикарбони
HFC_s	<i>Hydrofluorocarbons</i>	Хидро-флуоро угљоводоници
LCA	<i>Life cycle assessment</i>	Анализа животног циклуса
LCI	<i>Life cycle inventory</i>	Анализа инвентара животног циклуса
LCIA	<i>Life cycle impact assessment</i>	Оцењивање утицаја животног циклуса
LF	<i>Land footprint</i>	Отисак на земљиште

MOO	<i>Multi-objective optimization</i>	Више-циљна оптимизација
NF	<i>Nitrogen footprint</i>	Отисак азота
NPV	<i>Net present value</i>	Тренутна нето вредност
NO_x	<i>Nitrogen oxide</i>	Азотни оксиди
NO	<i>Nitric oxide</i>	Азот моноксид
N₂O	<i>Nitrous oxide</i>	Азот субоксид
NO₃⁻	<i>Nitrate</i>	Нитрат
NH₃	<i>Ammonia</i>	Амонијак
PF	<i>Phosphorus footprint</i>	Отисак фосфора
PCB_s	<i>Polychlorinated biphenyls</i>	Полихлор бифенили
PO₄³⁻	<i>Phosphate</i>	Фосфатни јон
RSI	<i>Relative sustainability index</i>	Индекс релативне одрживости
REI	<i>Relative environmental index</i>	Релативни индекс животне средине
RDS_i	<i>Relative direct sustainability index</i>	Индекс релативне директне одрживости
RTSI_i	<i>Relative total sustainability index</i>	Релативни индекс укупне одрживости
SOO	<i>Single-objective optimization</i>	Појединачне оптимизације
SO₂	<i>Sulfur dioxide</i>	Сумпор-диоксид
VOC_s	<i>Volatile organic compounds</i>	Испарљива органска једињења
WF	<i>Water footprint</i>	Отисак на воду

1. Увод

Еколошка и социјална питања, као што су глобално загревање, загађење воде, снабдевање храном, експоненцијални раст становништва, сигурност снабдевања енергијом и друга, баве се проблемима одрживости, и воде ка више одрживом развоју.

Последњих деценија развијено је много различитих метода и алата за мерење и праћење одрживости и одрживог развоја ради процене напретка система. Одрживост животне средине посебно се појавила као кључно питање између три стуба одрживости, социјалног („људи“), економског („просперитет“ или „профит“) и еколошког („планета“).

Утицаји на животну средину се обично дефинишу Проценом животног циклуса (LCA - *Life cycle assessment*). LCA је скуп алата и идеја за процену одрживости система (производи, процеси или услуге) током целог животног циклуса система (укључујући цео ланац снабдевања). LCA се обично повезује са компонентама животне средине [1].

Од 1962. године, када је Silent Spring написао „Carson“ а посебно од 1987. године када је објављен извештај из Брундтланда (Светска комисија за животну средину и одрживи развој (WCED - *World Commission on Environment and Sustainable Development*)), концепти и правци за квантификацију одрживости почели су се развијати. Концепт одрживости животне средине развио је Goodland 1995. године. Концепт настоји да побољша добробит људи заштитом извора сировина које се користе за људске потребе, осигуравајући да се количина људског отпада не премаши, како би се спречила штета за људе. Током последњих деценија одрживост животне средине постала је широко призната и прихваћена. Уведени су закони и уговори, попут Закона о чистом ваздуху, Кјото протокола (Оквирна конвенција Уједињених нација о климатским променама), и многи други закони широм света [1].

Одрживи развој и одрживост животне средине тумаче се на више различитих начина јер су тачно дефинисани и на тај начин омогућавају одређену слободу тумачења [8]. Током 1980-их појавиле су се различите дефиниције у погледу концепата одрживости. Дефиниција која се највише цитира је да представља „развој који задовољава потребе садашњости, без угрожавања способности будућих генерација да задовоље своје потребе.“ Дефиниција је објављена у извештају комисије Брундтланд „Наша заједничка будућност“ 1987. године (Светска комисија о животној средини и одрживом развоју (WCED - *World Commission on Environment and Sustainable Development*)). Поред тога, развијено је неколико различитих концепата и метода за процену одрживости одређених процеса, производа или активности. Ипак, актуелна мерења одрживости животне средине и одрживог развоја представљају отворено питање, а нови концепти и мере се развијају [1].

Да би се постигао одрживи развој, неопходно је контролисати и обезбедити следеће:

- Промене у индустријским процесима;
- Врсте и количине коришћених ресурса;
- Правилну обраду отпада;
- Контролу емисија;
- Контролу производа.

Главни циљеви заштите животне средине су:

- Смањење светске потрошње фосилних горива;
- Смањити и очистити све врсте загађења са будућим циљем нултог загађења;
- Нагласак на чистим, алтернативним изворима енергије са ниском емисијом угљеника;
- Одржива употреба воде, земљишта и других оскудних ресурса;
- Очување постојећих угрожених врста;
- Заштита биодиверзитета [1].

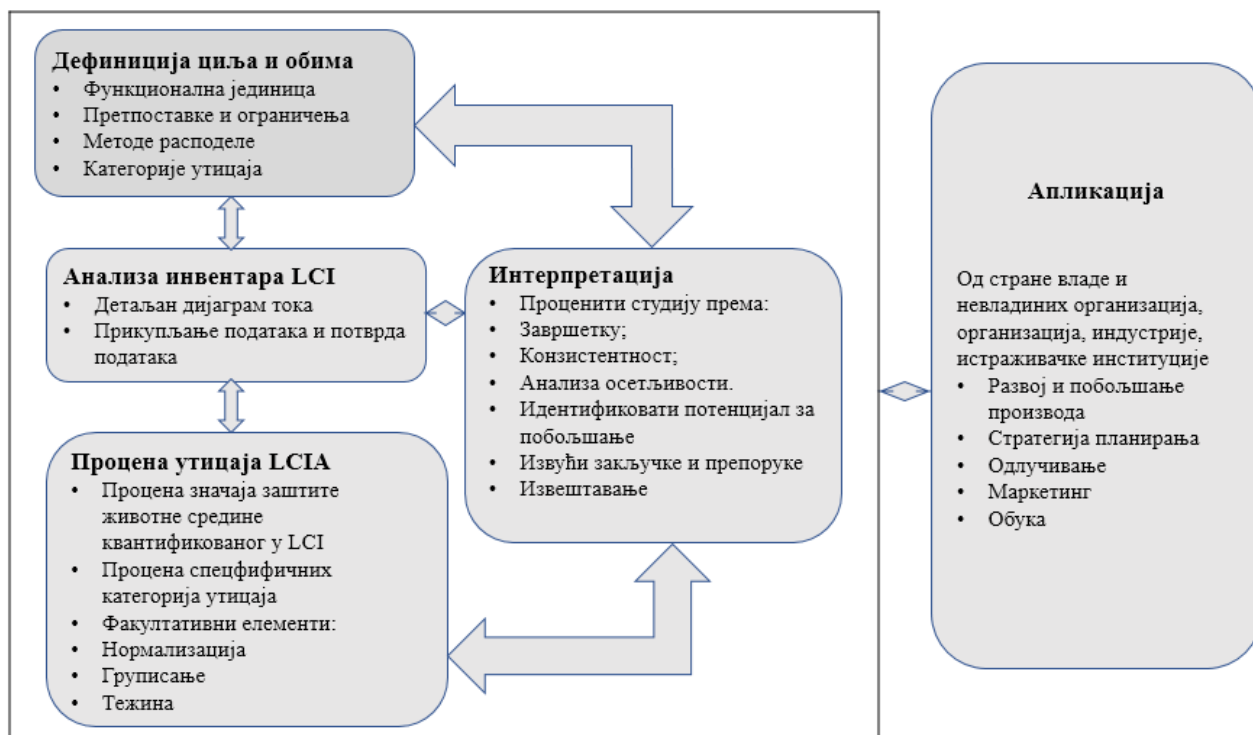
У овом поглављу први део укратко разматра следеће: приступ који се углавном користи у процени животне средине, попут разматрања животног циклуса и LCA оквира; концепти директних, индиректних и укупних утицаја на животну средину и мерења одрживости животне средине. У другом делу се посебна пажња посвећује кључним и другим отисцима животне средине, њиховом значају и прегледу. Дефинишу се као **Еколошки отисак** (*Ecological footprint*). Еколошки отисак представља меру целокупних људских захтева према екосистему Земље. Реч је о износу природних ресурса који се искористи сваке године. Прву академску публикацију о еколошком отиску објавио је William Rees, а под његовим менторством је Mathis Wackernagel развио концепт и поступак прорачуна 1994. године. Почетком 1996. године објавили су књигу под називом „Наш еколошки отисак: смањивање човековог утицаја на планету“ (*Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*).

Еколошки отисак представља алат који се заснива на прорачуну ресурса и утврђивању мере биолошки продуктивног тла и водене површине, које посматрана популација (појединац, град, земља, нација, регион или човечанство) у целини користи да би произвела све што јој је потребно и да би се апсорбовао отпад који се на тај начин генерише. Овај метод се може употребљавати за мерење и управљање употребљених ресурса од стране економије, или за истраживање одрживости животних стилова, роба и услуга, организација, индустријских сектора, градова, региона и нација [5].

2. Оквир за животни циклус и оквир LCA

Када се тежи ка (више) одрживим процесима, производима или активностима, од суштинског је значаја да се узме у обзир читав животни циклус. Према томе, индикатори заштите животне средине треба да буду и обично се дефинишу на основу методе Оцењивања животног циклуса (LCA - *Life cycle assessment*).

LCA (*Life cycle assessment*) је структуриран, свеобухватан међународно стандардизовани алат који укључује стандард управљања заштитом животне средине ISO 14040 (Међународна организација за стандардизацију (ISO)) и ISO 14044 (Међународна организација за стандардизацију (ISO)) за квантификацију емисија, потрошње ресурса и утицаја на животну средину и здравље, повезан је са процесима, производима или активностима [3].



Слика 1. Четири фазе и директне примене Процене животног циклуса.

LCA приступ се почео развијати крајем 1960-их и почетком 1970-их. LCA се обично назива „од колевке до гроба“ анализа или као отворена петља. Укључује цео животни циклус система од вађења и прераде ресурса преко производње, употребе и одржавања до рециклирања или одлагања, укључујући све кораке транспорта и дистрибуције [9]. Током година, уведена је перспектива „од колевке до колевке“, или затворена петља, која покушава да достигне 100% искоришћености свих врста отпада [3].

Свеобухватни опсег LCA је користан да се избегне пребацивање проблема, на пример, из једне фазе животног циклуса у другу, из једне регије у другу или из једног еколошког проблема у други. LCA може помоћи смањењу загађења животне средине и

коришћењу ресурса, а често побољшава профитабилност. LCA је адекватан инструмент за подршку у одлучивању о животној средини и стекао је шире прихватање током последњих година како у науци тако и у индустрији [10].

Принцип и оквир LCA (Life cycle assessment) подељени су у четири фазе: Дефинисање циља и обима, Анализа инвентара животног циклуса (LCI - *Life cycle inventory*), Оцењивање утицаја животног циклуса (LCIA - *Life cycle impact assessment*) и Интерпретација. Фазе и директне примене оквира LCA приказане су на слици 1.

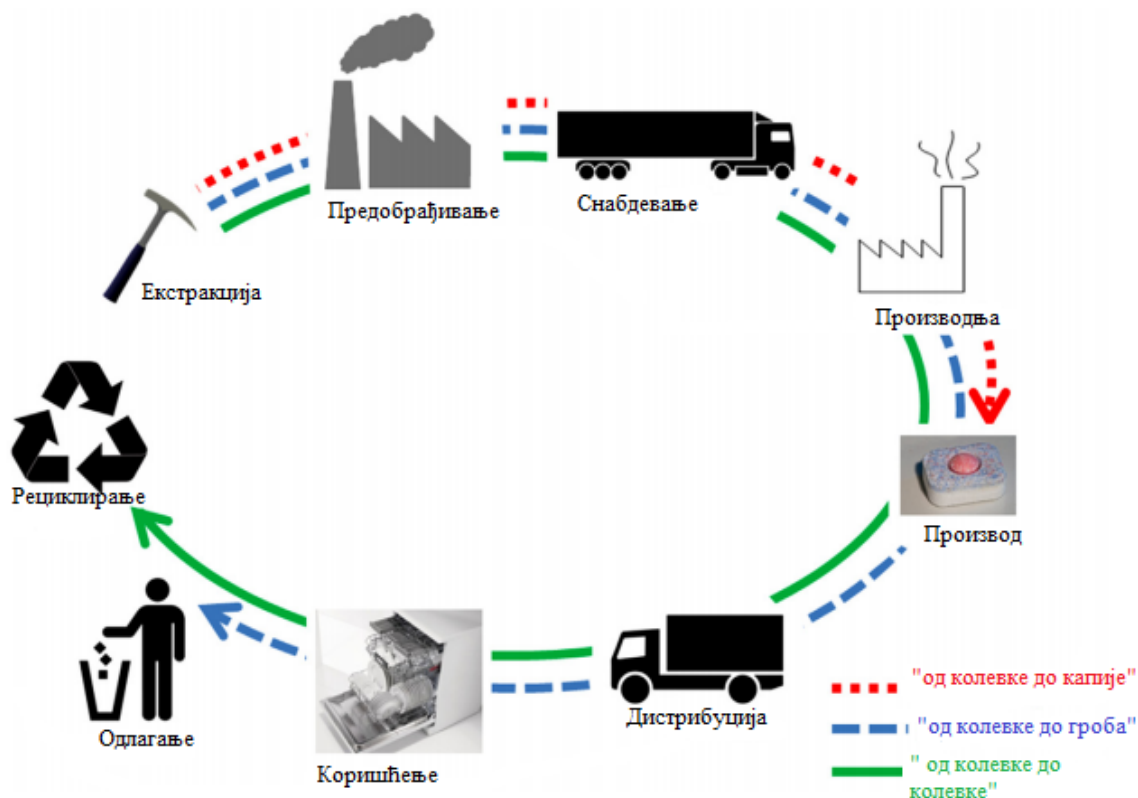
1. Прва фаза - *Дефинисање циља и обима*: Током прве фазе треба дефинисати циљеве анализе и границе система, као што су функционална јединица, претпоставке и ограничења, фазе животног циклуса, методе расподеле (када постоји неколико производа или функције система) и изабране категорије утицаја. Циљеви и обим могу се прилагодити током интеративног процеса анализе.
2. Друга фаза - *Анализа инвентара животног циклуса (LCI - Life cycle inventory)*: Друга фаза укључује прикупљање података који се односе на унос материјала и енергије и излаз, укључујући емисије у ваздух, тло и воду. Сви подаци треба да се односе на функционалну јединицу дефинисану током прве фазе.
3. Трећа фаза – *Оцењивање утицаја животног циклуса (LCIA - Life cycle impact assessment)*: Трећа фаза LCA има за циљ да процени значај тих утицаја на животну средину квантификованих у LCI. Релативни допринос сваког утицаја на животну средину треба доделити посебно одабраним категоријама утицаја (потенцијал глобалног загревања (GWP - *Global warming potential*), потенцијал закишељавања, CF - отисак угљеника (*Carbon footprint*), NF - отисак азота (*Nitrogen footprint*), коришћење земље итд.). Такође се могу спровести и остали елементи LCIA као што су нормализација (нпр. поређење резултата са популацијом или подручјем Европе), груписање (сортирање и рангирање категорија утицаја) и пондерисање. Пондерисање, међутим, доноси високи степен субјективности у LCA анализама.
4. Четврта фаза - *Интерпретација*: Ово је последња фаза LCA анализе. Требало би да систематично процени студију, узимајући у обзир анализу њеног завршетка, конзистентности и осетљивости. Интерпретација такође треба да идентификује подручја која имају потенцијал за побољшање у оквиру система и извуче закључке и препоруке [3].

Да би се избегло пребацивање проблема или ограничена процена одрживости, важно је одабрати шире границе. Овде су препоручене опције „од колевке до колевке“ и „од колевке до гроба“:

- „од колевке до колевке“: од експлоатације ресурса (колевке) до рециклирања или производња новог производа (колевка) (100% искоришћеност отпада);
- „од колевке до гроба“: од експлоатације ресурса (колевка) до одлагања (гробница);

- „од колевке до капије“: од експлоатације ресурса (колевка) до фабричке капије пре него што се пошаље потрошачима (капија). Искључује фазе употребе и одлагања;
- „од капије до капије“: укључује само један процес у целом производном ланцу (нпр. обрада унутар фабрике);

Ове одабране границе приказане су на слици 2 [3].



Слика 2. Границе LCA које се углавном користе

LCA методологија и процена одрживости, уопште, још увек имају одређена ограничења која је потребно превазићи [11].

Главно ограничење је висок степен несигурности који произлази из LCI, што даје резултате са великом варијабилношћу. Могућа последица одступања у подацима је да две независне студије које анализирају исте производе могу створити врло различите резултате. Резултати такође имају малу просторну и временску резолуцију, а LCA процењује само потенцијалне утицаје, не и стварне утицаје. Друго ограничење је недостатак систематске методе за генерисање и идентификацију одрживих решења [3].

Постоји заједнички метод који је универзално прихватљив. Веома је изазовно дефинисати индикаторе који нису превише широки или превише специфични. Извођење LCA анализа може бити скупо у вези са подацима и ресурсима, а може бити и дуготрајно [3]

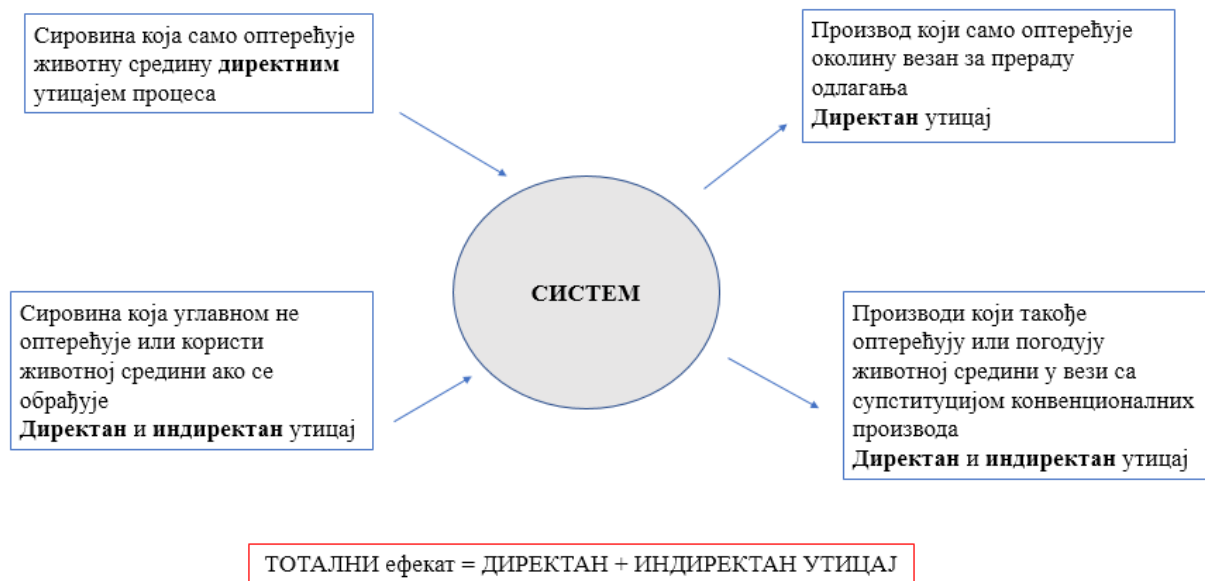
Табела 1. Предности и недостаци LCA приступа.

Предности	Недостаци
• Свеобухватни опсег анализе; • „Од колевке до гроба“ или чак „од колевке до колевке“; • Избегава пребацивање проблема; • Широко прихваћена; • Подржава доношење одлука; • Идентификација „врућих тачака“; • Идентификација одрживих опција; • Тржишна предност (одлуке о куповини); • Омогућује напредак ка одрживим начинима живота; • Флексибилан алат и може се комбиновати са другим алатима; • Може се искористити као индикатор успеха или побољшања у оквиру компаније; • Пружа јасну информацију и показује намеру да искаже еколошку истину; • LCA подржава систем управљања животном средином; • LCA може бити користан алат за маркетинг и промоцију циљева заштите животне средине и производа (еко-означавање); • Омогућава поређење различитих производа или процеса у случају истих услова производње или на бази истих критеријума; • Након сваке спроведене LCA анализе повећава се доступност и квалитет података.	• Квалитет и доступност података (несигурност); • Основне претпоставке и системске границе; • Потребан је модел поступка; • Квантификација и нормализација; • Ограничена укљученост економских и социјалних аспеката; • Различите методологије LCIA могу дати различите резултате; • Скупа метода (новац, време и ресурси); • Недостатак систематских метода за одржива решења (економска, еколошка и социјална); • Може бити субјективно; • Конвенционални LCA обично се заснивају на просечној технологији; • Побољшање неких критеријума може проузроковати погоршање других; • Нису доступни детаљни подаци; • LCA процењује само потенцијалне утицаје, а не стварне утицаје.

2.1 Директни, индиректни и укупни ефекти

Утицај сировина и употреба енергије, процеса, производа и услуга на животну средину обично се мери само њиховим оптерећујућим утицајима на животну средину. Међутим, шири поглед би такође требало да укључи и све могуће ефекте неоптерећења неке активности. Тада се активност може сматрати еколошки одрживом уколико неоптерећеност премаши њено оптерећење. То се може догодити, на пример, када се отпад трансформише у драгоцени зелени производ [12]. У таквом случају растерећење се догађа два пута, прво због тога што се отпад не одлаже, а друго због производа на бази фосилних горива који се допуњују зеленим производом. Концепт директних (оптерећења) и индиректних (неоптерећења) ефекта, који заједно чине укупне ефекте, описан је у наредним параграфима. Директни трагови заштите животне средине и било

која мерила одрживости конвенционално мере само штетне утицаје (оптерећења) на животну средину [3].



Слика 3. Приказивање директних, индиректних и укупних ефеката

Директни прорачуни утицаја на животну средину, нпр. еколошки утицаји, односе се на експлоатацију ресурса, производњу материјала, употребу, одржавање и рециклирање и/или одлагање, укључујући све кораке транспорта и дистрибуције. Међутим, када систем, поред својих директних - оптерећујућих утицаја на животну средину, показује значајан индиректни - неоптерећујући утицај на животну средину, узимајући у обзир само директне ефекте, могу настати погрешна решења. Индиректни утицаји представљају оптерећење животне средине заменом штетних производа бенигним производима као и употребом штетних производа, а решење за смањење оптерећења би подразумевало њихово одбацивање. Неколико примера укључује када се отпад користи уместо да се одбаци, када се уместо штетних користе еколошки бенигне сировине, производи и услуге или када се конвенционална енергија замени обновљивом енергијом. Индиректни ефекат је смањење еколошких утицаја [11]. Укупни еколошки утицаји су дефинисани као збир директних и индиректних еколошких отисака [12]. Разматрање укупних ефеката пружа могућност добијања реалнијих решења него у случајевима када се узимају у обзир само директни ефекти. Одговарајућа одржива синтеза треба да идентификује она решења која у великој мери не оптерећују животну средину, а не да само предлажу решења са најмање оптерећења. Концепт укупних ефеката је приказан на слици 3. Када је аспект одрживости побољшан, само у погледу директних ефеката, такав систем не функционише, нпр. нема производње, међутим када се узму у обзир укупни ефекти добија се више мерних података. Треба напоменути да се компромисна решења добијају када се разматрају само директни ефекти [3].

2.2 Мерење одрживости животне средине

Мерење одрживости животне средине захтева методе и алате који ће се користити за дефинисање утицаја људских активности на животну средину. Потребно је развити показатеље и мерне податке који се могу користити за мерење и квантификацију одрживости животне средине како би се створила основа за доношење одлука. Међу развијеним методологијама за мерење одрживости животне средине су:

- Показатељи потенцијалних утицаја на животну средину;
- Еко - ефикасност;
- Еколошки отисци;
- Индекси одрживости;
- Еко и укупна добит, еко и укупна нето садашња вредност и други комбиновани критеријуми [3].

2.3 Индикатори потенцијалног утицаја на животну средину

Показатељи потенцијалних утицаја на животну средину баве се потенцијалним утицајима, утицајима на људе и ресурсима из LCI (*Life cycle inventory*) [13]. Показатељи потенцијалних утицаја на животну средину подељени су у категорије усмерене на средњу и крајњу тачку или категорије утицаја усмерене на оштећења (слика 4). Обично се узимају у обзир следећи индикатори:

- **Потенцијал смањења озонског омотача** представља потенцијал за смањење заштитног слоја стратосферског озона. Супстанце које оштећују озонски омотач су фреони, хлорофлуороугљеници, тетрахлорид угљеник и метил хлороформ. Изражава се у еквивалентима CFC-11.
- **Потенцијал глобалног загревања** представља потенцијалну промену климе која се приписује повећаним концентрацијама CO₂, CH₄ и емисији гасова стаклене баште. То доводи до повећања суша, поплава, губитака поларних ледених капица, пораста нивоа мора, губитака влаге у земљи, шумских губитака, промене ветра и океанских образаца, као и промена у пољопривредној производњи. Изражава се у еквивалентима CO₂ обично за временски хоризонт у периоду од 100 година.
- **Потенцијал закишељавања** заснован је на потенцијалу загађивача (SO₂, NO_x, HCL, NH₃, CF) да формирају H⁺ јоне. Доводи до оштећења биљака, животиња и грађевина. Изражава се у еквивалентима SO₂.
- **Потенцијал еутрофикације воде** представља обogaћивање водених ресурса нутријентима (азотом и фосфором), што доводи до повећања раста водених биљака. Повећан раст водених биљака се може приписати хранљивим материјама које остају приликом прекомерног спирања нутријената у воду и тло. Обогаћивање хранљивим састојцима може узроковати смрт рибе, пад квалитета

воде, смањење биодиверзитета и непријатан мирис и укус воде. Изражава се у еквивалентима PO_4^{3-} .

- **Фотохемијски потенцијал за стварање озона** познат је и као приземни смог, фотохемијски или летњи смог. Формира се у тропосфери из хемикалија, укључујући NO_x , CO , CH_4 и друга испарљива органска једињења (VOC_s - *Volatile organic compounds*) у присуству високих температура и сунчеве светлости. Негативно утиче на здравље људи и животну средину и изражава се у еквивалентима C_2H_4 .
- **Екотоксичност** овај потенцијал се фокусира на емисију токсичних материја у ваздух, воду и тло. Укључује излагања и дејства токсичних супстанци и изражава се у еквивалентима 2,4-дихлорфеноксиацетил киселине.
- **Потенцијал токсичности за људе** представља ефекте токсичних супстанци који утичу на здравље људи. Омогућује релативно поређење већег броја хемикалија које могу допринети обољењима људи или другим негативним ефектима по људе. Изражава се као еквивалент 1,4-дихлоробензена.
- **Абиотички потенцијал** односи се на заштиту људског благостања, здравља људи и екосистема и представља исцрпљивање необновљивих ресурса (абиотички (неживи) - фосилна горива, метали, минерали). Заснива се на концентрацијским резервама и брзини деакумулације, а изражава се у еквивалентима антимона у kg.
- **Употреба земљишта.**
- **Употреба воде** [3].



Слика 4. Од LCI до категорија оштећења крајњих тачака

2.4 Еко-ефикасност

Еко-ефикасност је стратегија управљања која се заснива на концепту стварања роба и услуга уз коришћење мање ресурса и стварање мање отпада и загађења. Еко-ефикасност је мера одрживости која комбинује еколошке и економске перформансе. Еко-ефикасност се може посматрати или као показатељ учинка у животној средини или као пословна стратегија за одрживи развој [14].

Најчешћа еколошка ефикасност је дефинисана као:

- Однос између утицаја на животну средину и економских перформанси;
- Однос између економског учинка и утицаја на животну средину.

Еко-ефикасност се постиже кроз три циља:

- Повећање вредности производа или услуга;
- Оптимизација коришћења ресурса;
- Смањење утицаја на животну средину [14].

Развијена је широка разноликост терминологије која се односи на еколошку ефикасност, уз одређене разлике. Постоје четири основне варијанте еколошке ефикасности, а то су продуктивност заштите животне средине, интензитет производње, трошкови побољшања животне средине и еколошка исплативост. Еко - ефикасност нуди бројне практичне користи, као што су:

- Смањени трошкови кроз ефикасније коришћење енергије и материјала;
- Смањује могућност за настанак токсичних супстанци „дизајнирањем“;
- Повећани приход развојем иновативних производа и повећањем тржишног удела;
- Побољшани имиџ марке путем маркетинга;
- Повећана продуктивност запослених;
- Побољшане перформансе у животној средини повећањем обнављања и поновне употребе „отпадног“ материјала и смањењем токсичних емисија [15].

2.5 Отисци животне средине

Отисци животне средине су квантитативне мере које приказују присвајање природних ресурса од стране људи. Отисци се деле на еколошке, економске и социјалне отиске и комбиноване еколошке, социјалне и/или економске отиске. Концепт „отисак“ потиче од идеје о еколошком трагу - EF (*Ecological footprint*) коју је увео Rees 1992. године [16].

Сваки отисак означава одређене класе притиска повезаних са процесом, производом или активношћу из перспективе животног циклуса. Идентификовано је неколико

кључних отисака који су неопходни за одрживи развој. Кључни отисци су CF - отисак угљеника (*Carbon footprint*), WF - отисак на воде (*Water footprint*), ENF - отисак енергије (*Energy footprint*), NF - отисак азота (*Nitrogen footprint*), PF- отисак фосфора (*Phosphorus footprint*), BF - отисак биодиверзитета (*Biodiversity footprint*) и LF - отисак на земљиште (*Land footprint*), и они су представљени свеобухватно. Поред њих, недавно су уведени различити еколошки отисци, међутим за ове отиске недостаје апликација, стога се не могу дати свеобухватнији прегледи у раној фази њиховог развоја [3].

2.6 Еко и укупна добит, еко и укупни NPV, и остали комбиновани критеријуми за мерење непосредних, индиректних и укупних учинка

Коефицијенти еко - трошкова, еко - користи и еко - профита имају предност што се могу директно укључити у објективну функцију, заједно са задатим економским циљем [12]. Стога се избегава субјективно пондерисање између циљева одрживости. Предности еко - трошкова и коефицијента еколошке користи су следеће:

- Изражени су у новчаним вредностима;
- Нема потребе да се упоређују два производа, процеса или услуге (што је често циљ LCA);
- Израчунавања су заснована на тренутним нивоима цена у Европи;
- Могу се користити ажурирани коефицијенти еколошких трошкова.

Економски и еко профит се могу спојити, а пожељна решења су она са максималном укупном добити. Ови приступи омогућавају добијање бољих јединствених решења. Међутим, начин превенције оптерећења у животној средини је у одређеној мери и даље субјективан. Када се узму у обзир еколошке или економске и еколошке величине унутар једне вредности, ови критеријуми су:

- Еко - трошкови;
- Еко - користи или еколошки приходи;
- Еко - профит;
- Нето добит;
- Укупна добит;
- Нето NPV (*Net present value*);
- Еко NPV (*Net present value*);
- Укупни NPV (*Net present value*).

Сви ови критеријуми користе коефицијенте еколошких трошкова на основу LCA. За дефинисање ових критеријума користе се различити скупови, попут R_B , R_{UNB} , P_B и P_{UNB} како је дефинисано и коришћено у читавом моделу за сировине и производе (слика 3):

- R_B - скуп оних сировина које оптерећују животну средину само ако се обраде;
- R_{UNB} - скуп оних сировина које такође оптерећују животну средину када се користе;
- P_B - скуп оних производа који само оптерећују животну средину у вези са прерадом, одлагањем и транспортом;
- P_{UNB} - скуп оних производа који такође оптерећују животну средину или имају користи од ње [12].

2.6.1 Еко трошкови (оптерећење животне средине)

Еко - трошак (C^{Eco}) је индикатор заснован на LCA и описује терет на животну средину. То је збир граничних трошкова превенције током животног циклуса, збир еколошких трошкова исцрпљивања материјала, еколошких трошкова енергије и транспорта и еколошких трошкова емисија. Еко - трошкови су они трошкови које би требало направити да би се смањило загађење животне средине и исцрпљивање материјала до нивоа који је у складу са капацитетом Земље. То су виртуални трошкови и још нису интегрисани у тренутне цене (основа „шта ако“). Еко - трошкови обухватају она оптерећења која потичу од експлоатације сировина, предобраде, прераде и одлагања штетних производа или пречишћавања загађених производа, од дистрибуције производа до потрошача и превоза производа до места одлагања.

Еко - трошак је дефинисан као збир свих негативних утицаја оптерећења на животну средину, где се користе коефицијенти еко - трошкова (c_p^s и $c_p^{s,tr}$) [11]:

$$C^{Eco} = \sum$$

$$C^{Eco} = \sum_{p \in R_B \cup R_{UNB} \cup P_B \cup P_{UNB}} q_p^m * c_p^s + \sum_{p \in R_B \cup R_{UNB} \cup P_B \cup P_{UNB}} q_p^m * l_p * D_p * c_p^{s,tr} \quad (1)$$

Овај збир се користи за све сировине и производе, јер сви они доприносе оптерећењу. Други начин представља оптерећење због транспорта, при чему се стопа протока (q_p^m) множи са инверзијом фактора оптерећења l_p , са растојањем (D_p /km) и специфичним коефицијентом трошка за транспорт $c_p^{s,tr}$ / (kg (t * km), kg/(m³ * km) [11].

2.6.2 Еко корист (неоптерећење животне средине)

Еко корист или еко приход (R^{Eco}) дефинишу се као збир свих позитивних утицаја неоптерећења на животну средину. Позитивни утицаји су повезани са сировинама (нпр. коришћење отпада као што су индустријске отпадне воде, стајско ђубриво, муљ, итд.),

на тај начин се избегава њихов директан штетни утицај на животну средину. Позитивни утицаји су такође повезани са производима који погодују животној средини (нпр. ако су замена за штетне производе). Они се дефинишу коришћењем фактора супституције као однос између количине конвенционалног производа („тренутно коришћеног производа“) и количине производа [3].

Еко користи или еко приходи (R^{Eco}) представљају неоптерећење на животну средину и дефинишу се као збир свих позитивних утицаја оптерећења животне средине. Овде је коефицијент еколошке користи c_p^S :

$$R^{Eco} = \sum_{p \in R_{UNB}} q_p^m * c_p^S + \sum_{p \in P_{UNB}} q_p^m * f_p^{\frac{s}{P_{UNB}}} * c_p^S \quad (2)$$

2.6.3 Еко-профит (= еко-бенефит - еко-трошак), Нето профит, Укупан профит, Еко NPV (*Net present value*), Укупна NPV (*Net present value*)

Еко - профит (= еко-бенефит - еко-трошак)

Еко - профит (R^{Eco}) је дефинисан као разлика између неоптерећења и оптерећења на животну средину, који су изражени као еко - бенефит и еко - трошак:

$$P^{Eco} = R^{Eco} - C^{Eco} \quad (3)$$

Где је:

R^{Eco} – еко - профит

R^{Eco} – еко - бенефит

C^{Eco} - еко - трошак

Нето профит

Нето профит (P^N) се дефинише као економски профит (P^{Econ}) умањен за еко - трошкове (C^{Eco}) [12].

Укупан профит

Укупан профит (P^T) је збир економског профита (P^{Econ}) и еко - профита (R^{Eco}). За проблем синтезе, где се економски профит и еко - профит истовремено оптимизују, добијена решења су са максималном укупном добити (TP) [12].

Еко NPV (Net present value - тренутна нето вредност)

Еко NPV (*Net present value*) узима у обзир комплетну економичност пројекта током целог животног циклуса пројекта. Приходи унутар годишњег новчаног тока NPV-а представљени су неоптерећењем (еколошка корист) и резултатом оптерећења (еколошки трошкови) на животну средину [12].

Укупна NPV (Net present value - тренутна нето вредност)

Слично економском и еко профиту који се спаја са укупним профитом, економски NPV и еко NPV чине укупни NPV, а пожељна решења су она са максималним укупним NPV [12].

3. Индекси одрживости

Одрживост обично има еколошку, економску и социјалну димензију. Стога се индекс релативне одрживости (RSI - *Relative sustainability index*) састоји од економских, еколошких и социјалних показатеља [3].

3.1 Индикатори животне средине

Методe заштите животне средине треба да пружају уравнотежен поглед на животну средину, односно утицај улаза (производње ресурса) и излаза (производи, услуге, произведене активности, емисије, отпадне воде и отпад). Индикатори заштите животне средине обично су груписани у показатеље употребе ресурса (материјал, енергија, вода и земљиште) и индикаторе загађења (глобално загревање, загађивање атмосфере, фотохемијско формирање смога, ефекат људског здравља). Индикатори животне средине помоћу оптималног решења (основно решење) често дају референтну тачку за други ниво, која затим даје одрживо решење.

На пример, релативни индекс животне средине (REI - *Relative environmental index*) може се израчунати на следећи начин:

$$REI = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{EI_j}{EI_j^0} \quad j \in J$$

$$REI = \left[\sum_{k \in K} \frac{q_{m,k}}{q_{m,k}^0} + \sum_{e \in E} \frac{\phi_e}{\phi_e^0} + \sum_{w \in W} \frac{q_{m,w}}{q_{m,w}^0} + \sum_{c \in C, j \in J, (c,j) \in CJ} \frac{q_{m,c,o}}{q_{m,c,0}^0} PF_{j,c} \right]$$

употреба материјала употреба енергије употреба воде

(4)

Где је:

- j - индекс показатеља животне средине из скупа животне средине индикатори J
- k - индекс улазних токова сировине из скупа улазних токова K
- e - индекс потрошених или генерисаних извора енергије из скупа извора енергије E
- w - индекс водотока из скупа водотока W
- c - индекс супстанци који доприносе првом показатељу загађења из скупа материја C
- CJ - скуп парова супстанци које доприносе првом показатељу загађења и j th индикатору загађења
- o - индекс излазних токова из скупа излазних токова O
- N - број показатеља заштите животне средине
- EI_j - индикатор животне средине
- EI_j^0 - индикатор животне средине за основни случај
- $q_{m,k}$ - масени проток улазног тока (k -јединица масе/временска јединица)
- ϕ_e - количина топлотног или енергетског тока потрошње топлоте или извора енергије (e -енергетска јединица)

$Q_{m,w}$ - проток масе утрошеног или генерисаног протока воде (w -јединица масе/временска јединица)

$Q_{m,c,o}$ - масени проток супстанце (c) у излазном току (o -јединица масе/временска јединица)

$PF_{j,c}$ - фактор потенцијале супстанце (c) која доприноси показатељима животне средине $j, j \in J$ [3].

3.2 Индекс релативне одрживости

Индикатори заштите животне средине обично се изражавају као оптерећење по одређеној функционалној јединици. Када индикатори ($I_{j,f}$) проучаване алтернативе представљају утицаје „од колевке до гроба“ и упоређују се са показатељима из одабраног основног случаја (I_f^0), добијају се релативни индикатори, који се затим могу сврстати у RSI_i (*Relative sustainability index*) помоћу погодних тежинских фактора W_f , $\sum_f w_f, \forall f \in F$:

$$RSI_i = \sum_f w_f * \frac{I_{i,f}}{I_f^0}, f \in F, i \in I = \{1, \dots, N+1\} \quad (5)$$

где је, $f \in F$ показатељ одрживости (економски и/или еколошки и/или социјални). Ако се узму у обзир само директни утицаји на животну средину и друштво, тада се добија индекс релативне директне одрживости (RDS_i - *Relative direct sustainability index*). Ако се узму у обзир и индиректни ефекти, добија се релативни индекс укупне одрживости ($RTSI_i$ - *Relative total sustainability index*), који показује колико је бољи $RTSI_i$ од $RDSI_i$:

$$RDSI_i = \sum_{f=1}^N W_i * \frac{I_{i,f}^d}{I_f^{d,0}}, f \in F, i \in I = \{1, \dots, N+1\}$$

$$RTSI_i = \sum_{f=1}^N W_i * \frac{I_{i,f}^d + I_{i,f}^{ind}}{I_f^{d,0}} = \sum_{f=1}^N W_i * \frac{I_{i,f}^t}{I_f^{d,0}}, f \in F, i \in I = \{1, \dots, N+1\} \quad (6)$$

$I_{i,f}^d$ представља директни индикатор, $I_{i,f}^{ind}$ представља индиректни индикатор, и $I_{i,f}^t$ представља укупни индикатор. Резултат $RDSI_i$ обично се креће од 1 (најгора могућа вредност) до 0 (најбоља могућа вредност), а i је индекс изабраних тачака између 1 и 0. Међутим, $RTSI_i$ може бити у распону од -1, или од више негативних вредности (позитивних за животну средину), до 1. Што је коефицијент већи између укупних и директних ефеката (у случају алтернатива које значајно оптерећују животну средину) нижа је вредност $RTSI_i$, [12].

3.3 Више-циљна оптимизација

Више-циљна оптимизација (МОО - *Multi-objective optimization*), појам такође познат као Парето оптимизација и више - објектно програмирање, истовремено интегрише два или више циља или циљеве који су под одређеним ограничењима [17]. Обично се добијају компромисна решења (компромиси) која откривају могућности за постизање побољшања унутар система. Уопштено, не постоји јединствено решење када се сви циљеви оптимизирају истовремено, али се могу добити бројна Парето оптимална решења. Више - циљна оптимизација (МОО) је употреба специфичних метода за одређивање најбољих решења проблема зависно од датог ограничења. То је кључна методологија која се користи за одрживо пројектовање и синтезу система.

За решавање проблема МОО-ом развијено је неколико метода. Најједноставнија метода је трансформација проблема више - циљне оптимизације у проблем појединачне оптимизације (SOO - *Single-objective optimization*) применом важности различитих критеријума метода пондерисања (одређивања тежина) циљева.

Остале широко коришћене методе оптимизације су:

- *Метода ометања* у којој се решава низ ограничених проблема са једним циљем;
- *Метода програмирања циљева*, у којој се решење добија минимизирањем тежински просечног одступања циљних функција од циља који је поставио носилац одлуке и еволуцијских алгоритама који укључују случајне технике претраживања. Решење за такве проблеме је скуп „не - инфериорних“ или Парето - ових тачака [3].

Метода ϵ -ограничења се обично примењује и тако се добија сет неинфериорних Парето - ових оптималних решења. Економски ефикасна синтеза система на два нивоа, се врши на првом нивоу, да би се добило решење које се затим сматра основним случајем или референтним решењем за више објективну синтезу изведену на другом нивоу. Проблем синтезе у којем се низ N проблема (MP-E)_e изводи као максимизација или минимизирање једног циља (нпр. максимизација профита) подвргнут еколошкој метрици $e \in E$ има следећи облик:

$$O_1(x, y) = \max f(x, y) + \text{or} \min f(x, y)$$

$$\text{s.t. } h(x, y) = 0$$

$$g(x, y) \leq 0 \text{ (MP-E)}_e$$

$$O_e(x, y) \leq \epsilon_i, e \in E$$

$$(x^{LO} \leq x \leq x^{UP}) \in X \subset \mathbb{R}^n, y \in Y = \{0, 1\}^m$$

$$\epsilon_i = \epsilon_i - 1 - \Delta\epsilon$$

$$\Delta \varepsilon = 1/N, \varepsilon_i = 1/N * (i -), i \in I = \{ 1, \dots, N + 1 \}, i_0 = N + 1 \quad (7)$$

Где x означава вектор непрекидних променљивих (масени проток, температура итд.), y означава вектор бинарних променљивих (дискретне одлуке), и $f(x)$, $h(x,y)$, и $g(x,y)$ представљају (не) линеарне функције ограничења. Циљеви O_e се смањују узастопно одговарајућом величином корака док не буде изводљивог решења. Парето инфериорна решења се обично добијају на овај начин. Међутим, решења се могу добити и када циљеви имају синергистичке ефекте. Неједнакост ($O_e(x,y) \leq \varepsilon_i$) треба у таквом случају модификовати у ограничење једнакости [3].

3.4 Агрегатна мера одрживости животне средине

У многим случајевима, GWP (*Global warming potential*) или CF (*Carbon footprint*) се оцењују као критеријуми за одрживост животне средине. Уопште, могу постојати или синергије (не - компромиси) или компромиси унутар еколошких мерила. На пример, фотонапонска енергија показује синергије у CF, WF, NF и ENF. Производња биоплина, међутим, смањује CF, NF и ENF, али повећава WF [18].

Обично постоје компромиси у погледу утицаја на животну средину и откривају се могућности за постизање побољшања унутар система. Правилне одлуке зависе од регионалних карактеристика и климатских услова. Због тога треба извести свеобухватније анализе које узимају у обзир све аспекте природног окружења, здравља људи и ресурса [19].

Постоје агрегатне мере одрживости као што су еколошка ефикасност, еко - профит и укупна добит, еко - NPV и укупна NPV, и други комбиновани критеријуми. Њихова предност је што се јединствено (оптимално) одрживо решење може добити директно, што је посебно важно при решавању проблема великих размера када су модели велики и време рачунања значајно. Међутим, то није случај са показатељима потенцијалних утицаја на животну средину и еколошким отисцима. Када се примењују ове евалуације, свеобухватна листа циљева (показатељи потенцијалних утицаја или показатељи еколошких отисака) треба да се узме у обзир и процени. Да би се „створио пут“ ка одрживом развоју, потребно је добити пожељна оптимална решења. У ту сврху треба извршити више - циљну оптимизацију [3].

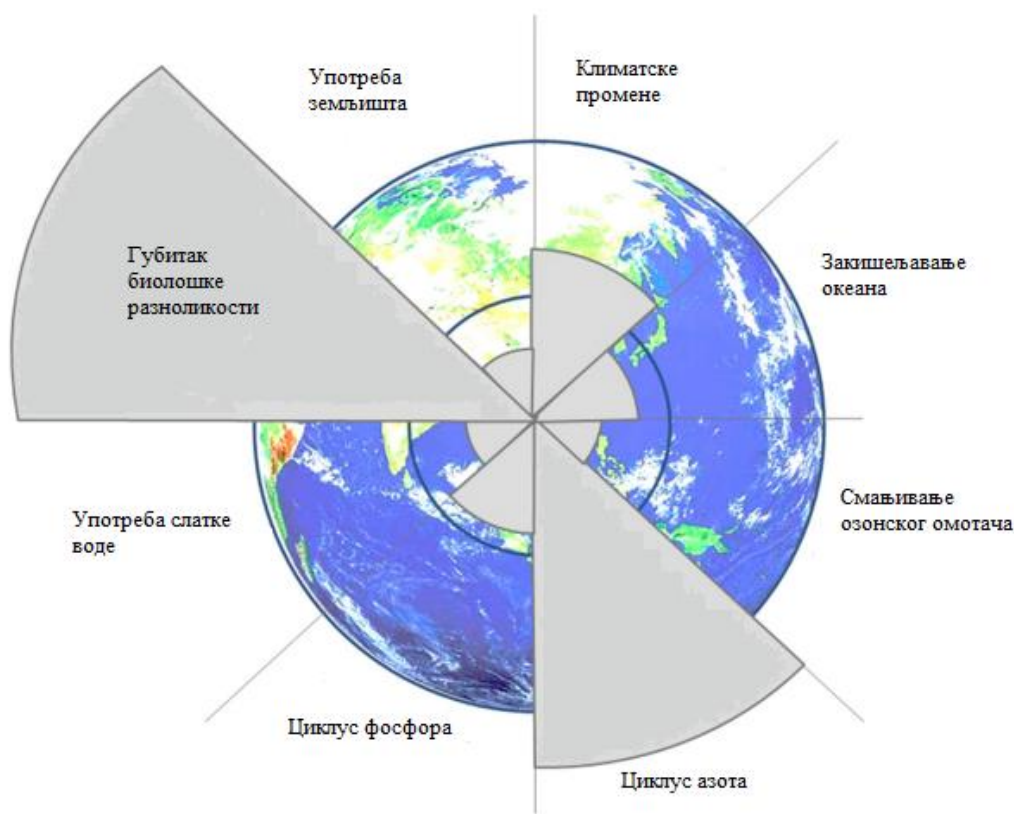
Ако се размотри неколико циљева (нпр. сви кључни отисци животне средине), онда постоје ограничења. У неким случајевима се троши више времена за добијање свих решења (целокупног простора решења). Визуализација и интерпретација решења су тешке и у многим случајевима, нејасне. Такође, могуће је приказати, највише, четвородимензионалне Парето пројекције. Неопходно је применити технику смањења димензије критеријума како би се олакшало разумевање решења када су многи проблеми укључени у проблеме МОО. У ту сврху развијени су различити приступи смањењу димензија и они су углавном категорисани у линеарне и нелинеарне методе.

Међу развијеним методама су метода за минимизирање грешке изостављања циљева анализа главних компоненти, факторска анализа, метода репрезентативних циљева која се примењује на непосредне и укупне циљеве и друге [3].

4. Кључни утицаји на животну средину

Преглед литературе показује да су главне категорије отисака до данас развијене CF, EF, WF и ENF, формирајући такозвану породицу еколошких отисака. Ниједан појединачни индикатор није успео да свеобухватно контролише утицај човека на животну средину, али индикатори се морају користити и тумачити заједно. EF, ENF, CF и WF сврставају се у најважније показатеље еколошких отисака у постојећој литератури. Уско су повезане са четири светске претње по становништво: глад (безбедност хране); угрожена енергетска безбедност; климатске промене и потенцијал загађења воде.

Поред ових еколошких отисака, NF, PF, BF и LF препознати су као главни отисци на животну средину, јер спадају у оне који су неопходни за здравствену сигурност, сигурност хране и воде, као и сигурност земљишта и врста. Важност ових еколошких утицаја може се видети и на слици 5, која приказује границе промена и циклуса [3].



Слика 5. Границе планете ¹

Границе су повезане са биофизичким подсистемима или процесима планете и дефинишу прихватљиве нивое кључне глобалне промене које су одредили људи [20]. Може се видети да су климатске промене (CF), стопа губитка биолошке разноликости (BF) и ометање азотног циклуса (NF) већ прешли границе. Поред тога, брзо се

¹ Слика 5. Границе система (измењено од Rockstrom (2009)) у односу на представљену слику, свакако је дошло до битнијих промена, јер је ово податак из 2009. године.

приближавају и друге границе попут употребе слатке воде (WF), коришћења земљишта (LF), закишељавања океана, оштећења озонског омотача и ометања глобалног циклуса фосфора (PF). Дефиниције, политике и начини за смањење кључних еколошких отисака на животну средину представљени су у табели 2.

Табела 2. Кључни отисци животне средине: дефиниције, политике и начини за смањење или превенцију еколошких отисака на животну средину.

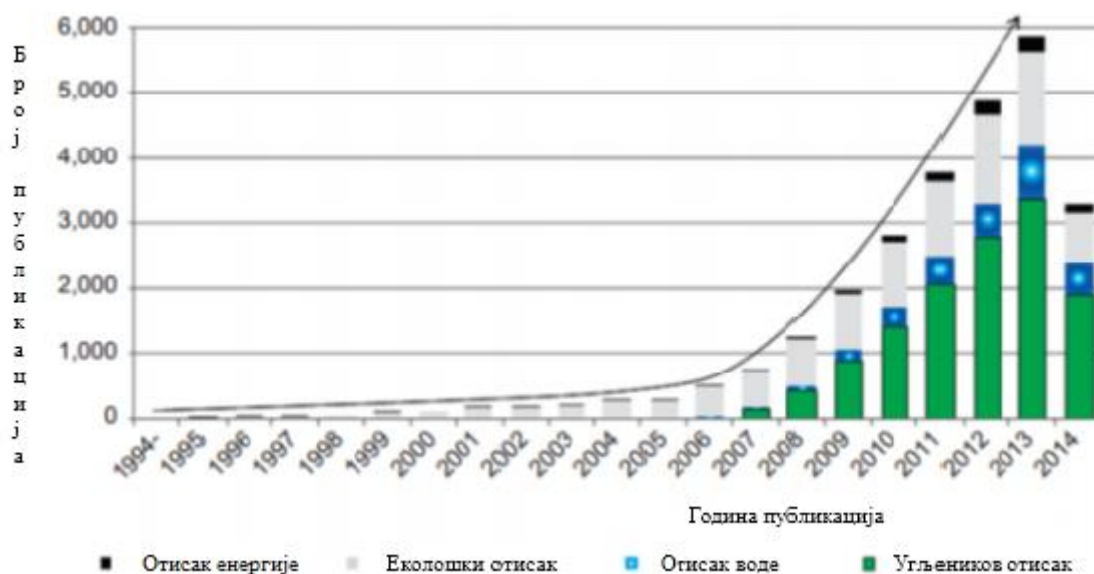
Еколошки отисак	Дефиниција	Политике	Начини за смањење
Отисак угљеника (CF)	CF означава количину CO ₂ и других гасова стаклене баште испуштених током целог животног циклуса процеса или производа. Изражено је у маси CO ₂ еквивалента.	Политике укључују циљеве за смањење емисије, повећану употребу обновљиве енергије и већу енергетску ефикасност. Главни тренутни међународни споразум о смањењу емисија гасова са ефектом стаклене баште је Кјото протокол.	Метода: -Технолошки развој; -Сакупљање и складиштење угљеника; -Компензација угљеника (компензација за емисије које су направљене на другом месту); -Смањена потрошња енергије; -Побољшана енергетска ефикасност; -Интегрисање отпада и обновљивих извора енергије током производње енергије; -Смањивање, поновно коришћење и рециклирање производа; -Конзумирање мање меса; -Смањење отпадака од хране;
Отисак на воде (WF)	Показатељ директне и индиректне употребе воде од стране потрошача или произвођача. Подељен је на плави (потрошња слатке воде), зелени (потрошња кишнице) и сиви WF (индикатор загађења).	Због све већих притисака на водене ресурсе, политике би требале помоћи да се осигурају водени ресурси за будуће генерације. Оквирна директива о водама ЕУ има за циљ да заштити сва водна тела спречавањем загађења на извору и постави циљни датум 2015. за постизање „доброг стања“ за све воде. Закон о чистој води је примарни закон у Сједињеним Државама који се бави заштитом квалитета површинских вода и контролом загађења воде. Такође, у другим земљама постоје закони о заштити вода, попут Закона о водама	-Одговорна и ефикасна употреба воде на свим нивоима; -Боља заштита и управљање водом; -Избегавати коришћење чисте воде(за наводњавање итд.) -Рециклажа воде што је више могуће (у индустријама); -Зелена вода за (садњу, употребу тоалетних потрештина итд.); -Смањите сиви WF;

		Народне Републике Кине, Аустралски закон о водама.	
Еколошки отисак (EF), биокапацитет и еколошки застој	EF је индикатор рачуноводства ресурса који мери колико је биопродуктивних копнених и водених површина на Земљи и колико је тог подручја намењено за људску употребу. EF је повезан са глобалним биокапацитетом. Биокапацитет је способност подручја да обезбеди ресурсе и апсорбује отпад. Недовољан или еколошки дефицит представља употребу обновљивих ресурса. То је разлика између биокапацитета и EF.	Веома ограничен утицај у погледу информација.	-Сакупљање и складиштење угљеника; -Компензација угљеника; -Смањена потрошња енергије и воде; -Побољшана енергетска ефикасност; -Искоришћавање обновљивих извора енергије; -Одговорна и ефикасна употреба или производња; -Смањивање, поновно коришћење и рециклирање производа; -Смањивање отпада; -Коришћење одрживог превоза.
Енергетски отисак (ENF)	ENF је тренутно површно дефинисан. Предлаже се да стоји за специфичну потрошњу енергије по функционалној јединици када се узме у обзир енергија заснована на фосилном гориву и обновљивим изворима.	Употреба енергије и обновљиви извори енергије главни су стубови политика одрживе енергије. Европска унија је до 2020. поставила обавезујуће циљеве да смањи емисије гасова стаклене баште за 20% у односу на ниво из 1990. године, повећавајући удео производње енергије из обновљивих извора на 20%, побољшање енергетске ефикасности и минимални циљ од 10% обновљиве енергије у сектор саобраћаја.	-Технолошки развој; -Смањена потрошња енергије, -Побољшана енергетска ефикасност; -Коришћење одрживог превоза; -Производња и потрошња обновљивих извора енергије.
Азотни отисак (NF)	NF је укупна количина реактивног азота испуштеног у животну средину као резултат потрошње ресурса ентитета, изражена у масеним јединицама реактивног азота.	Неколико директива односи се на реактивне емисије азота и фосфора у ваздух и водена тела да би се решило проблем сакупљања хранљивих материја у екосистемима. Главне директиве Европске уније о азоту и	-Смањење потрошње енергије; -Конзумирање мање меса, посебно говедине; -Смањење отпадака од хране; -Користити генетски инжењеринг да би створили симбиотске бактерије; -Традиционалне или

		фосфору у атмосфери су: директива 2001/81/ЕС, Национални планови за емисије; 2008/1/ЕС, интегрисано загађење, превенција и контрола (IPPC); и 2008/50/ЕС, Квалитет амбијенталног ваздуха. Главне директиве Европске уније које се односе на емисије хранљивих састојака у водним телима су: 2006/118/ЕС, Директива о подземним водама; 2008/56/ЕС, Оквирна директива о морској стратегији; 91/676/ЕЕС, Директива о нитратима; 91/271/ЕЕС, Директива за обраду комуналних отпадних вода; и 2000/60/ЕС, Оквирна директива о водама.	побољшане технике узгоја; -Прецизна пољопривреда заснована на анализи тла; -Стабилизација становништва; -Рециклажа органског отпада; -Коришћење одрживог превоза; -Побољшање пречишћавања отпадних вода;
Отисак фосфора (PF)	PF представља поремећај циклуса фосфора. Изражава се у масеним јединицама фосфора по функционалној јединици.	Погледајте смернице за смањење NF	-Смањење отпадака од хране; -Генетски инжењеринг; -Нови извори фосфора; -Стабилизација становништва; -Конзумирање мање меса и млечних производа; -Ефикаснији третман нутријентима (нпр. пољопривреда без покрића); -Уклањање фосфора из канализације и индустријског отпада; -Смањите, поново употребите и рециклирајте; -Побољшање третмана отпадних вода уклањањем загађивача, посебно тешких метала; -Коришћење пољопривредних остатака и животињски отпад, укључујући кости као ђубриво; -Смањење CF, NF, WF и PF
Отисак биолошке разноликости (BF)	BF је дефинисан као "збир свих притисака	Развијено је неколико закона који се односе	-Пажљиво планирање коришћења земљишта;

	који могу имати потенцијалне последице по биодиверзитет".	на биолошку разноликост и око 170 земаља сада има националне стратегије и акционе планове биодиверзитета. Међу њима су Стратегија очувања биодиверзитета ЕУ до 2020. године, Аустралијска стратегија очувања биодиверзитета 2010-2030. године, Канадски закон о ризику, Индијски закон о биолошкој разноликости.	-Смањите, поново користите и рециклирајте; -Одлучите се за обновљиву енергију и енергетску ефикасност; -Смањење употребе пестицида и ђубрива; -Заштита подручја (копнених и приобалних вода) ради очувања изворних станишта и биолошке разноликости; -Очување одређених врста; -Обнављање копнених, унутрашњих водених и морских екосистема и њихових услуга и очување биолошке разноликости; -Борба против инвазивних страних врста; -Осигурање одрживог коришћења риболовних ресурса;
Отисак на земљиште (LF)	LF, повезан је са потребом за земљиштем и дефинисан је као збир свих површина које су директно и индиректно потребне за задовољење потрошње.	Пољопривредне политике треба да подрже имплементацију одрживих пољопривредних пракси. Политике повезане са CF, ENF и BF такође утичу на LF. Политике о биогоривима могу имати значајно негативан утицај на LF.	-Смањити потрошњу меса и других животињских производа; -Одлучити се за обновљиву енергију која има низак LF и, стога, избегавајте употребу биогорива.

Породица показатеља отисака често се користи у научној литератури (слика 6). Такође, преостали показатељи који су препознати као кључни постају све популарнији. За те показатеље предвиђено је да ће они такође постати „врући трагови“ у наредних неколико година. На слици 6. приказан је број публикација које се баве „породицом отисака“ индикатора у научним претраживачима Science Direct и Scopus. Слика 6. показује повећано интересовање за кључну процену утицаја на животну средину за Science Direct и Scopus може се приметити током година до 2014. (јун 2014), из тог разлога је последњи стубић на дијаграму најмањи [3].

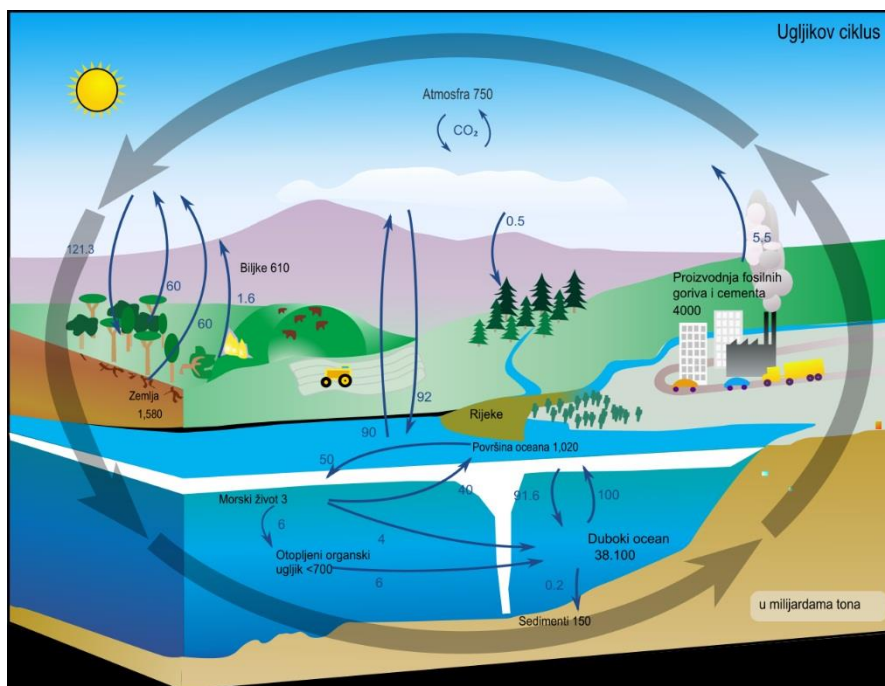


Слика 6. Научне публикације које се односе на евалуацију породице индикатора отпада у Science Direct и Scopus (до јуна 2014.)

4.1 Емисија угљен-диоксида и осталих компоненти базираних на угљенику

У последњих неколико година CF (*Carbon footprint*) је постао један од важнијих показатеља заштите животне средине, широко се користи у научној литератури. Неколико истраживачких студија анализирано је CF, његов утицај, минимизирање, ублажавање, па чак и конфискацију [3].

Отисак угљеника везан је за климатске промене које су изазване антропогеним утицајем. Велики утицај има на глобално загревање, које многи препознају као највећу претњу животной средини у двадесет првом веку. Деловање карбонског отиска је повезано са карбонским циклусом (слика 7), који подразумева процесе који се у природи спонтано одвијају, као и процесе људског деловања, при којима долази до стварања гасова који изазивају ефекат „стаклене баште“ (*green house gases - GHG*), чиме се доприноси глобалном загревању. Неопходно је идентификовати секторе људских активности који имају значајан капацитет за смањење производње GHG [2].



Слика 7. Циклус угљеника

Израз "глобално загревање" подразумева стално повећање просечне температуре Земљине атмосфере и океана. Многи истраживачи претпостављају да је она узрокована повећаном концентрацијом гасова стаклене баште у атмосфери, која је резултат (највероватније) људских активности попут крчења шума, других промена у коришћењу земљишта и сагоревања фосилних горива. Главни GHGs (*Green house gases*), чија концентрација расте, су CO_2 , CH_4 , H_2O , хидрохлоро-флуоро-угљендиоксиди (HCFCs), хидро-флуоро-угљоводоници (HFCs) и озон у доњој атмосфери. Угљен диоксид настаје антропогеним деловањем и најважнији је гас стаклене баште у атмосфери, који доприноси око 63,5% укупном глобалном загревању, не узимајући у обзир водену пару, која је непрекидно унутар климатске циркулације. Сагоревање фосилних горива ослобађа у атмосферу додатни (неослобођен природним процесима) CO_2 . Отприлике половина овог вишка CO_2 апсорбује земља и океани, а остатак се акумулира у атмосфери и појачава природни ефекат стаклене баште. Глобалне емисије сагоревањем фосилних горива, крчењем шума и пољопривредним активностима довеле су до испуштања више од 1.100Gt CO_2 у атмосферу од средине деветнаестог века [2].

Утврђено је да је глобална просечна температура атмосфере на површини већ порасла за 0,78°C током двадесетог века, а велики део овог загревања (0,61°C) се десио током последњих 30 година. Очекује се да ће се температуре повећати за додатних 1,1-6,4°C током наредних 100 година. Ово загревање изазвало би значајне промене у виду повећања нивоа мора (повећање од 0,18-0,59m), топљења глечера, падавина, доступности воде и вероватних ширења пустиња. Остале последице би укључивале више максималне температуре, промене пољопривредних приноса и појаву пораста заразних болести. Глобално загревање и климатске промене такође могу бити повезани

са погоршањем здравља људи, интензивнијим ураганима, активностима циклона, поплавама, сушом, пожарима и закишељавањем океана [2].

CF је, генерално, индикатор заснован на потрошњи. Обично представља количину емисије CO₂ и других гасова са ефектом стаклене баште током читавог животног циклуса процеса или производа. CF се квантификује помоћу показатеља као што је GWP (*Global warming potential*), који представља количине гасова стаклене баште који доприносе глобалном загревању и климатским променама. Разматра се одређени временски хоризонт, обично 100 година [21].

Дефиниција отиска угљеника везана за копнене екосистеме, представља копнену површину потребну за секвестрацију емисије CO₂ фосилних горива из атмосфере путем пошумљавања. Wiedmann и Minx предложили су да CF буде мерење директне (на лицу места, интерне) и индиректне (ван локације, екстерне) емисије CO₂ неке активности, или мерење емисије током животног циклуса производа, изражене у масеним јединицама. Wright предложио је да се при одређивању CF-а требају користити само два гаса на бази угљеника, CO₂ и CH₄, чије је прикупљање података релативно једноставно. То укључује активности појединца, становништва, владе, компанија, организација, процеса и индустријског сектора [3].

Предложени су и/или коришћени други различити појмови који се односе на емисије гасова стаклене баште, као што су климатски еколошки отисак, емисија CO₂, утицај гасова стаклене баште, емисија метана и еколошки отисак GWP-а (*Global warming potential*). CF се израчунава помоћу LCA или улазне - излазне анализе података. Може се израчунати помоћу различитих алата. Најједноставнији су CF калкулатори који су усмерени на смањење емисије и који су са појединачним активностима. Они су постали релативно уобичајени на Интернету и могу утицати на свест јавности о емисији угљеника од стране појединаца [22].

Табела 3. Листа изабраних CF калкулатора.

Сврха апликација	Јединица	Развијено	Интернет сајт
Израчунава CF за различите земље у зависности од мобилности и од могућности за живот са компензацијом угљеника.	t/y и €/y	Угљеников еколошки отисак Ltd	www.carbonfootprint.com
За Сједињене Америчке државе израчунавају CF који настаје од превоза, смештаја и куповине у радњама, да би дошло до смањења вредности CF-а на нулу.	T_{co2eq}/y	Универзитет у Калифорнији, Berkeley	coolclimate.berkeley.edu
За Сједињене Америчке државе израчунава CF на основу државног просека и упоређује га са Сједињеним Америчким државама и глобалним просеком CF-а по особи.	T_{co2eq}/y	Заштита природе	www.nature.org
За Сједињене Америчке државе израчунава CF домаћинства и упоређује га са просечним CF.	Ib_{co2}/y	US EPA	www.epa.gov

Међутим, ови калкулатори могу дати различите резултате, чак и за исте појединачне активности. Све у свему, ови калкулатори немају доследност и пружају недовољно информација о њиховим методама и проценама. Неколико CF калкулатора такође промовише методе за смањење емисија CO₂ путем компензације или улагања у технологију обновљивих извора енергије. CF калкулатори су првенствено намењени појединцима и домаћинствима, али се могу применити и за предузећа. Табела 3 садржи листу CF (*Carbon footprint*) калкулатора изабраних из више тренутно доступних CF калкулатора [3].

Глобално загревање и последични ефекти повећања концентрације гасова са ефектом „стаклене баште“, представљају изузетно велики изазов за друштвене и економске системе због својих разарајућих последица. Научници и економисти широко елаборирају и предлажу акције (нажалост најчешће на „кратке стазе“), којима би се редуковала емисија гасова са ефектом стаклене баште. Међутим, циљ који би трајније и у већој мери редуковао емисију гасова стаклене баште јесте „револуционарна транзиција“, ка новој „нискокарбонској економији“ која је већ у фокусу глобалних разматрања и која би требало да буде достигнута у наредних пар деценија. Индустијски системи развијених земаља су одговорни за генерисање око 30% укупног износа гасова са ефектом „стаклене баште“ на светском нивоу. Како би одговорили жељеном побољшању квалитета живота стално растуће популације, индустријски системи су повећали свој отисак неколико пута у последњих 50 година. Индустијски отисак већ сада прелази глобално доступан биокапацитет. Да бисмо наставили да живимо у оквиру расположивих ресурса и даље достижући прихватљив животни стандард, наши индустријски системи морају бити подвргнути радикалним променама [3].

4.2 Отисак на воду (WF - *Water footprint*)

Последњих деценија појавила се потреба за мерењем отиска на воду - WF (*Water footprint*) која се може приписати испитивању слатке воде и загађењу. На квалитет и количине ресурса површинске и подземне воде утиче раст становништва, миграције у градове, повећање потрошње ресурса и климатске промене. У периоду до 2025. године, процењује се да ће две трећине светског становништва бити изложено мањку односно недостатку воде, који се углавном може приписати загађивању воде. Многи га виде као водену кризу. Стога су евалуација и минимизирање WF приоритети за одрживост. Добра вест је да је смањење WF-а на одржив ниво могуће уз промену обрасца потрошње, чак и уз све већи број становника [3].

Отисак на воду су представили Hoekstra и Hung 2002. године. Отисак на воду привукао је значајну пажњу унутар научне заједнице, али знатно мање у односу на CF-а (слика 6). WF је показатељ директне и индиректне употребе воде од стране појединца, заједнице, предузећа или нације [23]. Сматра се показатељем потрошње, јер потрошњу воде приписује потрошачу, а не произвођачу. Она је уско повезана са концептом виртуалне воде и представља укупну количину директне и индиректне слатке воде која се користи, троши и/или загађује.

WF укључује:

- Плави WF: Показатељ потрошње слатке воде (површинске и подземне воде) за производњу робе и услуга од стране појединца или заједнице. То укључује воду која је испарила, воду уграђену у производе, воду која није враћена у исто сливно подручје и воду која се не враћа у истом периоду.

- Зелени WF: Потрошња кишнице која не истече или не пуни подземну воду, али се складишти унутар тла као влага тла. За усеје и дрво, то је сума производне евапотранспирације и уградње воде у убрране производе.
- Сиви WF: Показатељ загађења, дефинише се као количина слатке воде која је потребна за разблаживање загађивача до те мере да квалитет воде остаје изнад договорених стандарда квалитета воде [4].

WF је метода за квантификацију употребе воде за одређени производ, за било коју добро дефинисану групу потрошача (нпр. појединца, град, провинцију или државу) или произвођача (нпр. јавна организација, приватно предузеће или економски сектор). Такође може да обједини и виртуелну воду у увозу и извозу. WF се мери у односу на количину воде која се потроши (испаравана или уграђује у производ) и загађује по јединици времена или по функционалној јединици. Снага концепта WF је што пружа широку перспективу управљања водом у систему. WF интегрише потрошњу воде и загађење у комплетном ланцу снабдевања. Он мери потрошњу воде различитих врста, попут плавих, зелених и сивих вода. Такође повезује употребу воде са одређеним местима и временима и процењује хидролошку одрживост система. Слабости WF-а су у томе што он представља управо количину коришћене воде без процене повезаних утицаја на животну средину, слабост је и недостатак потребних података, процена сиве WF је субјективна и не постоје доступне студије несигурности иако неизвесност може бити значајна. Још је већи потенцијал за побољшање у погледу рачуноводствених стандарда, као и покривености података, рашчлањивања и квалитета. Постоји детаљан WF повезан са неким производима [3].

Табела 4. WF неких одабраних производа и примарних носача енергије.

Производ [23]	Виртуална вода (L)	Примарни енергетски преносилац (1 GJ ^B)	Виртуална вода (m ³)
1 чаша пива (250 mL)		Природни гас	0.11
1 шоља кафе (125 mL)	75	Угаљ	0.16
1 кришка хлеба (30g)	140	Сирова нафта	1.06
1 памучна мајица (252g)	40	Уранијум	0.09
1 јаје (140g)	2,000		≈ 0
1 хамбургер (150g)	135	Енергија ветра	0.30
1 кг пиринча	2,400	Соларна топлотна енергија	22.3
1 кг говедине (Water Footprint Network, 2014)	2,500	Хидроелектрана	10-250
	15,400	Енергија биомасе	

Табела 5. Листа изабраних WF калкулатора.

Сврха апликација	Јединица	Развијено	Интернет сајт
Калкулатор израчунава воду потребну за производњу добара и услуга које конзумирају људи	m ³ /y	Hoekstra, Chapagain, Mekonnen (Water Footprint Network, 2014)	www.waterfootprint.org
Израчунава воду потребну за производњу добара и услуга које конзумирају људи	L/d, gal/d	Kemira (2014)	www.waterfootprintkemira.com
За Сједињене Америчке државе појединачно израчунава WF. Рачунање се односи на воду која се користи у домаћинству, за производњу хране, транспорт и енергију	L/d, gal/d	National Geographic (2014a)	environment.nationalgeographic.com
За индивидуалне становнике САД-а и домаћинства, израчунава WF, упоређује га са просечним корисником и пружа савете за уштеду воде	L/d, gal/d	GRACE Communications Foundation (2014)	www.gracelinks.org

WF се такође може израчунати користећи различите алате, као што су WF калкулатори, графички алати, алати за математичко програмирање и анализа улаза и излаза. Најједноставнији су WF калкулатори, који су постали уобичајени алати за процену WF. Табела 5 садржи листу неколико изабраних WF калкулатора [3].

4.3 Еколошки отисак (EF - *Ecological footprint*)

У последњих 40 година, притисак човечанства на планету је постао знатно већи него што природа може да подржи. Била би нам потребна једна и по планета како би се створили ресурси неопходни за тренутну потрошњу. То значи да сечемо више дрвећа него што оно може да израсте, трошимо пијаћу воду брже него што залихе могу да се обнове, испушта се више угљен - диоксида него што природа може да складишти.

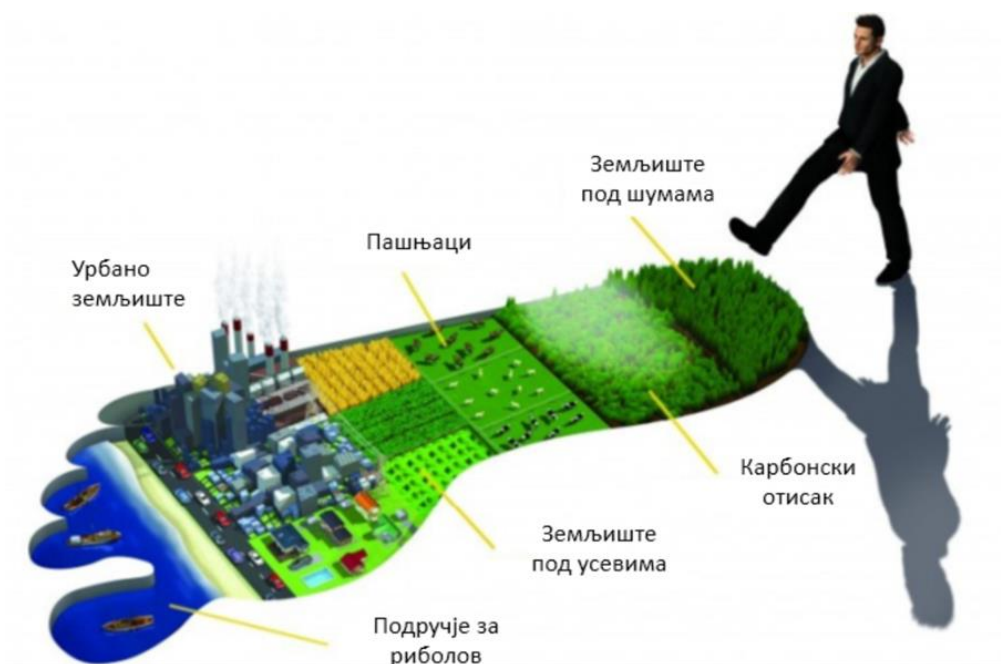
Последице су вишеструке, смањење залиха природних ресурса и гомилање отпада брже него што може бити апсорбован или рециклиран, као што је случај са растућом колчином угљен - диоксида у атмосфери.

Еколошки отисак (EF - *Ecological footprint*) представља збир свих „еколошких услуга“ које људи „захтевају“ од одређеног простора. Он подразумева биолошки продуктивне површине (или биокапацитет) потребне за усеве, пашњаке, насељена подручја, риболовна и шумска подручја. Овде се такође подразумева површина шуме која је потребна како би се апсорбовале емисије угљен - диоксида које океан није апсорбовао. И биокапацитет и еколошки отисак су изражени заједничком јединицом која се назива глобални хектар (gha) [27].

Биокапацитет је капацитет екосистема да производи корисне биолошке материјале и да апсорбује отпадне материјале генерисане коришћењем тренутно постојећих управљачких процедура и технологија екстракције. Попут еколошког отиска, биокапацитет се исказује у глобалним хектарима. Појам „корисни биолошки материјали“ није статичан и непроменљиво дефинисан, већ се перцепција „корисности“ мења током времена. Списак материјала се преиспитује и редифинише на годишњем нивоу, а нова листа се формира као списак биолошких материјала коришћених од стране људске популације током те године.

Биолошки продуктивно подручје (*Biologically productive area*), представљају тло и вода (морска, слатка и копнена), које подржавају значајну активност фотосинтезе и акумулацију биомасе која се може искористити од стране човека (слика 8). Продуктивни простор тренутно окупиран од стране људске инфраструктуре је такође укључен у овај прорачун, пошто је изграђено тј. урбанизовано земљиште није доступно за регенерацију ресурса. Еколошки отисак не сматра биолошки продуктивним подручјима отворене океане, криосферу, неплодне регије и остале нископродуктивне површине. Подручја која производе биомасу која се не користи од стране човека, такође се не узимају у обзир. Већ седамдесетих година двадесетог века је еколошки отисак човечанства премашио капацитет сопствене планете. Садашње стање ствари је

следеће: да би надокнадила оно што људска популација узима од ње током годину дана, планети Земљи је потребно годину и седам месеци [2].



Слика 8. Сви елементи биолошки продуктивног подручја које обухвата Еколошки отисак

Главни кривац за овај растући еколошки отисак у последњих педесет година су емисије угљен - диоксида настале услед употребе фосилних горива. Године 1961, емисије угљен - диоксида су представљале 36 % од нашег еколошког отиска, до 2010. тај удео је скочио на 53% [2].

Технолошки напредак, утицај пољопривреде и наводњавање су повећали просечан принос по хектару што је довело и до увећања биокапацитета од 9,9 до 12 милијарди глобалних хектара у периоду између 1961. и 2010. године. Међутим, током овог периода, људска популација је порасла са 3,1 милијарди становника на 7 милијарди, чиме се смањио биокапацитет по глави становника са 3,2 на 1,7 глобалних хектара. У међувремену еколошки отисак појединих земаља порастао је са 2,5 на 2,7 gha по глави становника. С обзиром на то да ће светска популација достићи 9,6 милијарди становника до 2050. године, и скоро 11 милијарди до 2100. године, биокапацитет за сваког становника Земље ће се још смањити, те ће бити прави изазов одржавати ниво биокапацитета с обзиром на смањење квалитета земљишта, несташицу пијаће воде и повећане трошкове енергије [27].

Пресек стања из 2003. године је показао да је биосфера Земље тада располагала са приближно 11,2 милијарде хектара биолошки продуктивне површине, што оквирно одговара четвртини укупне површине Земље. Од тога је око 2,4 милијарди водених површина, а преосталих 8,8 милијарди хектара је земљиште које је тада распоређено на начин приказан у табели 6 [2].

Табела 6. Расположено земљиште као биолошки продуктивна површина у 2003. години.

Земљиште под усевима	Пашњаци	Земљиште под шумама	Урбанизовано земљиште	Укупно земљиште
1,5 ha	3,4 ha	3,7 ha	0,2 ha	8,8 ha

На пример, 2003. године становништво планете Земље је процењено на 6,3 милијарде. Однос укупног биолошки продуктивног подручја и броја становника био је 1,8 глобалних хектара по особи. То је просечан износ биокапацитета по особи за целу планету у анализираној години.

Прорачуни показују да је укупни еколошки отисак људске популације у 2003. години (табела 7), премашио за око 25% укупни биокапацитет Земље. Од тада се стање само погоршава [2].

Табела 7. Глобални Еколошки отисак људске популације у 2003. години.

Земљиште под усевима	Пашњаци	Рибњаци	Шуме	Карбон	Урбанизовано земљиште	Укупно
3,04 ha	0,914 ha	0,936 ha	1,438 ha	7,263 ha	0,483 ha	14,1 ha

Широко подржана међународна еколошка организација *The Global Footprint Network*, која утврђује величину глобалног Еколошког отиска примарним коришћењем података Уједињених нација, проценила је да је већ 2007. године Планета користила укупне ресурсе 1,5 пута брже него што су се они обнављали. Прогнозе иду у правцу пораста коефицијената на вредност скоро две планете до 2030. и око 2,5 до средине овог века уколико се не предузму адекватне активности при чему би смањење емисије угљеника чак за 30% и даље значило да је човечанству потребан капацитет од 1,5 планете да задовољи своје потребе. Активности целе људске популације би морале да буду организовано усмерене ка смањивању овог индекса на ≤ 1 , те постаје очигледно да су неповољни сви сценарији у којима је коефицијент већи од 1 [28].

Еколошки отисак има „историјску“ димензију имајући у виду да квантификује утицај деловања у прошлости на садашњост. Такав однос према времену условљава да се многе активности и процеси који ће у будућности уништити део биосфере не узимају у обзир приликом утврђивања вредности еколошког отиска. То је на пример ослобађање материјала као што су плутонијум, РСВ₅ или диоксин, али и губитак биодиверзитета, салинација тла услед иригације земљишта под усевима, ерозија земљишта због обрађивања. Све ово ће се одразити на вредност будућег еколошког отиска. Овај метод

не укључује моделе за процену ризика који би омогућили да се процени како ће и у којој мери оно што се данас чини утицати на будући биокапацитет [2].

Еколошки отисак не узима у обзир ни коришћење свеже воде и њену расположивост, иако вода има изразито ограничен биолошки капацитет. Од 2006. постоји први сет стандарда за овај метод који дефинише детаље и поступке прорачуна. Процес стандардизације Еколошког отиска (*Footprint Standards Process*) и даље траје, што значи да се метод стално побољшава и усавршава.

Анализа помоћу еколошког отиска (EFA - *Ecological footprint analysis*) почиње анализом потрошње и стила живота, наставља се провером способности природе да обезбеди тај интензитет потрошње, затим се утврђује да ли је посматрани животни стил одржив и, на крају се даје одговор на питање: да ли је неопходна корекција потрошње/животног стила и, уколико јесте, - у којој мери и на који начин? Резултати анализе могу се користити као аргумент да је Еколошки отисак алат који може бити веома користан и у едуковању људи о значају бриге о капацитету и претераној потрошњи са циљем да свака особа пронађе сопствено алтернативно понашање. Шире посматрано, политика једне земље може добити значајне информације о сопственој нацији попут информације да ли та нација троши више или мање него што су расположиви ресурси на њеној територији. Анализа помоћу еколошког отиска се користи широм Планете као индикатор одрживости животне средине [2].

Еколошки отисак (EF - *Ecological footprint*) је 1992. године развио Rees. Он одговара на питање: „Колики је биолошки капацитет планете потребан за одређену људску активност или становништво?“ Просечни светски грађанин има EF од око 2,7 просечних глобалних хектара, али на Земљи постоји само 2,1 просечних хектара биопродуктивног земљишта и воде по становнику. Према Садику, многи еколози сматрају да је капацитет Земље максимално 4 милијарде становника [3].

Човечанство је већ премашило глобални биокапацитет за 50% током 2007. године, што значи да је човечанство користило приближно 1,5 Земље да би подржало његову потрошњу [24]. Ако се то настави, глобални екосистеми ће имати озбиљан ризик од деградације или урушавања. Из тих разлога, евалуација EF такође привлачи све веће интересовање унутар научне заједнице (слика 6). Постоје само ограничене мере, међутим, постоји неколико могућности за смањење EF-а [3].

EF се представља као главна светска калкулација захтева човечанства од природе и данас се широко користи као индикатор за мерење одрживости животне средине. EF је дефинисан као мерило људске потражње за земљиштем и водним површинама и упоређује људску потрошњу ресурса и апсорпцију отпада са Земљином еколошком способношћу да се регенерише. EF даје збирну процену више антропогених притисака [3].

То је композитни индикатор који се комбинује:

- Изграђена површина (изграђени земљишни отисак) - Подручје покривено људском инфраструктуром за становање, транспорт и индустријску производњу

(насеља, путеви, хидроелектране итд.). Према најбољим проценама отприлике $0,2 \cdot 10^9$ ха или 1,3% укупног земљишта је изграђено земљиште.

- Земљиште за апсорпцију угљеника (CF) - биолошки продуктивна површина потребна за апсорпцију CO_2 који није усвојен од стране океана. Израчунава се коришћењем потенцијала апсорпције угљеника у светским процесима. Отисак се првенствено може приписати сагоревању фосилних горива, међународној трговини и коришћењу земљишта.
- Риболовна подручја (отисак риболовног тла) - Подручје унутарашњих и морских вода неопходних за примарну производњу рибе, морских плодова и других морских производа. Отприлике $2,3 \cdot 10^9$ ха (6,4% укупне водене површине) риболовног тла.
- Подручје шума (отисак шумског земљишта) - површина шуме потребна за годишњу жетву дрвних производа, огревног дрвета и целулозе. Отприлике $3,9 \cdot 10^9$ ха (26,2% укупног земљишта) шума је доступно широм света.
- Пашњаци (отисак пашњака) - Површина пашњака који се користи за сточну храну која је потребна за узгој стоке за месо, кожу, производе од вуне, млеко и млечне производе. Садржи све пашњаке који се користе за прехрану животиња, укључујући обрађене пашњаке, као и дивље пашњаке и прерије. У свету постоји приближно $3,5 \cdot 10^9$ ха (23,5% укупног земљишта) травњака и пашњака.
- Усеви (отисак усева) - Површина потребна за узгој свих усева који су потребни за људску исхрану (храна и влакна) и узгој сточне хране, уљаних култура. У свету постоји око $1,5 \cdot 10^9$ ха (10,1% укупног земљишта) усева.

Главна снага ЕФ концепта је да је атрактиван и интуитиван, и да се његова методологија континуирано побољшава. Посебно је корисно у подизању свести о оптерећењу животне средине које намеће човечанство. ЕФ помаже у разумевању сложених односа између многих еколошких проблема излажући човечанство ситуацији „врхунац свега“. Међутим, треба напоменути да ЕФ мери само један главни аспект одрживости, наиме аспект животне средине. ЕФ искључује економске или социјалне показатеље [3].

ЕФ је, генерално, показатељ који се заснива на потрошњи и укључује сва биолошки продуктивна подручја широм света за задовољење потрошње на одређеним локалним нивоима, укључујући она која су уграђена у увоз и извоз. Биланс ЕФ-а за локалну потрошњу (нпр. у некој земљи), еколошки отисак конзумације - EF_C (*Ecological footprint of consumption*) израчунава се на следећи начин [24]:

$$\text{EF}_C = \text{EF}_P + \text{EF}_I - \text{EF}_E \quad (8)$$

Где је:

EF_P - еколошки отисак производње

EF_I - отисак утрошен у увозним робним токовима

EF_E - отисак утрошен у извозним робним токовима

EF сваке појединачне производње, нето еколошки отисак трговине - EF_i (*Net ecological footprint of trade*), локално произведене, увезене или извезене, дефинисана је као [24]:

$$EF_i = \frac{P_i}{Y_{w,i}} * EQF_i \quad (9)$$

Где је:

P_i - количина сваког првобитног произведеног производа, i количина ослобођеног CO_2
 $Y_{w,i}$ - годишњи просечни принос за производњу робе, i капацитет апсорпције угљеника
 EQF_i - фактор еквиваленције за производ који користи земљиште

Локални биокапацитет (BC), даје процену капацитета за производњу обновљивих ресурса и еколошких услуга [24]:

$$BC = \sum_i A_{N,i} * Y_{F,N,i} * EQF_i \quad (10)$$

Где је:

$A_{N,i}$ - биопродуктивна област која је доступна за производњу сваког производа, i на локалном нивоу

$Y_{w,i}$ - специфични фактор приноса за земљу која се бави производњом

EF и биокапацитет могу се применити на скали од појединачних производа до домаћинства, градова, региона и земаља или за човечанство у целини, међутим, он је најефикаснији на агрегатним нивоима. Процене EF-а на националном нивоу сматрају се најпотпунијим [3].

EF се обично мери у јединицама глобалног подручја, као количина биопродуктивног простора и у јединицама глобалне површине по особи. Сваки глобални хектар представља исти део укупне биопродуктивности Земље и дефинисан је као један хектар земље или воде нормализоване на светску просечну продуктивност из свих биолошки продуктивних земљишта и вода у одређеној години. Укупна биолошки продуктивна површина на Земљи износи око 12 милијарди хектара. Биолошки продуктивна подручја укључују орнице, шуме и риболовна подручја, али искључују пустиње, глечере или отворени океан. Такође има ограничену доступност података, несигурност података и географску специфичност.

EF се такође може израчунати помоћу различитих алата. Најједноставнији су EF калкулатори, који су постали уобичајени алати. Табела 8. садржи листу неколико изабраних EF калкулатора [3].

4.4 Отисак енергије (ENF - *Energy footprint*)

Раст становништва и раст прихода су покретачке снаге иза потражње за енергијом. Сходно томе, недовољно снабдевање енергијом, високе цене енергије и све већа потражња за енергијом су једна од важнијих питања данашњег друштва. Највероватније глобална потрошња енергије ће наставити да се повећава коришћењем фосилних горива. У 2012. години глобална потрошња примарне енергије износила је 522 EJ (12,47 Gtoe) и расла је за 1,8% годишње [3].

Табела 8. Листа изабраних ЕФ калкулатора.

Сврха апликација	Јединица	Развијено	Интернет сајт
За 17 земаља израчунава колико је копна потребно за одржавање животног стила човека, укључујући храну, склониште, мобилност, робу и услуге	N _{Planet Earths} и глобални хектари	Global Footprint Network	www.footprintnetwork.Org
Израчунава колико планета је потребно да би се подржао животни стил човека, укључујући храну, путовања, дом и особље	N _{Planet Earths}	World Wide Fund for Nature	footprint.wwf.org.uk
За различите земље, он израчунава ЕФ и даје предлоге за смањење отисака угљеника, хране, смештаја, робе и услуга	N _{Planet Earths} и глобални хектари	Center for Sustainable Economy	myfootprint.org

Нафта је и даље водеће светско гориво са 33,1% глобалне потрошње енергије, удео природног гаса у глобалној потрошњи примарне енергије је 23,9%, потрошња угља у свету 29,9%, а нуклеарна глобална потрошња енергије 4,5%. Удео обновљиве енергије у погледу глобалне потрошње енергије био је 8,6%, од чега се 6,7% односило на хидроелектрику. Треба напоменути да ови бројеви укључују само комерцијална горива која се користе [3].

Човечанство брзо исцрпљује фосилна горива и као последица тога, људи ће у будућности зависити од не - фосилних извора енергије. Времена глобалног врхунца у вези са производњом нафте мање су извесна, мада све је заступљеније мишљење да ће се максимална производња догодити између 2010. и 2020. године. Patzek и Croft

предвиђају да ће се глобални врхунац за експлоатацију угља са постојећих угљених поља догодити током 2011. године. Неке друге процене предвиђају да ће квалитетан угаљ бити присутан у периоду између 2010. и 2062. године. Природни гас је присутнији, с тим да се врхунац светске производње природног гаса предвиђа између 2025. и 2066. године. Енергетска криза биће битан изазов са којим ће се популација људи суочити у току двадесет првог века. Развој чистих и обновљивих извора енергије сврстава се у један од највећих изазова са којим се суочава човечанство у дугорочном смислу. Не постоји јединствена енергетска технологија или комбинација технологија која би могла на одржив начин одговорити на све изазове. Стога је ENF од значајне важности [3].

Уопште, понуђене су различите дефиниције ENF-а. Глобална мрежа отисака (Global Footprint Network) дефинисала га је као збир свих подручја која се користе за обезбеђивање непрехрамбене енергије. ENF је збир површина за апсорбовање угљеника, хидроенергетског земљишта, шумљеног земљишта за дрвно гориво и површина обрадивог земљишта за усеве. Друга дефиниција ENF-а је да представља површину потребну за одржавање потрошње енергије и мери се као површина шуме која би била потребна да би апсорбовала резултирајућу емисију CO₂, искључујући пропорцију коју апсорбују океани и подручје које заузимају хидроелектране, бране и акумулације за хидроенергију. Још једна дефиниција ENF-а је да одговара потражњи за необновљивим изворима енергије, попут кумулативне потражње за фосилном и нуклеарном енергијом у погледу примарне употребе необновљиве енергије, као што је садржај енергије у материјалу и необновљива енергија потрошена на њену екстракцију. Такође је дефинисана као специфична потрошња енергије по функционалној јединици узимајући у обзир фосилну енергију и обновљиве изворе енергије. Због разлика у квалитетима топлотне и електричне енергије, ENF се може поделити на отисак електричне енергије и топлотни отисак [18].

ENF се може мерити у локалним (површина одређеног биолошки продуктивног копна и мора одређеног региона, током одређене године) (Global Footprint Network) или глобалним (површина просечне биолошки продуктивне земље и мора, током одређене године) површинским јединицама или у јединицама енергије (већа или нижа вредност) грејања по функционалној јединици. ENF укључује под-отиске, као што су фосилни ENF, нуклеарни ENF, обновљиви ENF, отисак ветра, соларни отисак, топлотни отисак и други [3].

4.5 Отисак азота (NF - Nitrogen footprint)

Азот је неопходан за живот и представља ограничавајући елемент у производњи хране. То је најчешћи елемент у Земљиној атмосфери и основна компонента биолошких молекула, укључујући протеине и нуклеинске киселине као што су ДНК (деоксирибонуклеинска киселина) и РНА (рибонуклеинска киселина). Свил је проценио да је средином 1990-их година 40% светске популације зависило од усева

које је третирано нутријентима са реактивним азотом. У 2008. години, ажурирана процена је била да се 48% светске популације храни усевима загађеним азотом Haber – Bosch. Од 1970. године, светска популација се повећала за 78%, а производња реактивног азота N_r (све врсте N осим N_2), повећала се за 120%. Усевима су потребне велике количине N да би расле, али само N_r може лако да користи већина организама, укључујући усеве [3].

Међутим, светски азотни циклус је измењен због људских активности. Количина реактивног или биолошки доступног N_r у глобалном окружењу повећан је фактор за 12,5 (187 Mt N /у у 2005. години) од XIX века (15 Mt N /у у 1860. години) што је повезано са повећаном употребом ђубрива. Пољопривреда је одговорна за око 80% N_r произведеног у свету. N_r се поред третирања земљишта нутријентима, такође ствара спаљивањем фосилног горива и биомасе [3].

Примарни извори емисије азота су транспорт, пољопривреда, електране и индустрија. Антропогеним утицајем азот нестаје у ваздуху, води и земљишту и има деструктивно дејство на екосистеме и здравље људи. Отприлике 80% азота који се користи у производњи хране губи се пре потрошње, а остатак се губи након потрошње као људски отпад. У производњи биогорива сав употребљени азот губи се у животној средини. Таложење азота значајно мења глобални циклус азота, смањује биолошку разноликост, загађује и деградира воде, утиче на здравље људи (краткоћа даха, гушење, плава болест бебе и неке врсте канцера) и генерално утиче на глобално окружење. Доприноси еутрофикацији обалних река и залива (цветање цијанобактерија и алги, смртност рибе и формирање последишно мртве зоне), формирању смога, закишељавању тла, исцрпљивању озона у горњој атмосфери и утиче на појаву глобалног загревања. NF представља меру количине реактивног азота који се ослобађа у животну средину као резултат људских активности, изражен у укупним јединицама N_r . NF углавном укључује N_r односно емисије NO_x , H_2O , NO_3^- , NH_3 , и оне се могу брзо претворити из једног N_r облика у други. Атом N_r је део NH_3 у процесу Haber-Bosch и користи се за производњу ђубрива. N_r се затим делимично уграђује у усеве, а затим се делимично ослобађа као NH_3 , NO , N_2O , или NO_3^- . N_r врсте се могу брзо претворити из једног N_r облика у други. NF представља поремећај регионалног ка глобалном циклусу азота. Слабост NF -а је недостатак података, несигурност, и велика потражња за подацима. NF се може израчунати помоћу различитих алата. Познатији алати су NF калкулатори. Табела 9. садржи листу доступних NF калкулатора [3].

Табела 9. Листа NF калкулатора.

Сврха апликација	Јединица	Развијено	Интернет сајт
Апликација намењена за Сједињене Америчке државе, Уједињено Краљевство, Немачку, Холандију, одређује допринос појединца за емисију азота у животној средини приликом коришћења ресурса. Фокусира се на четири главне области потрошње: храну, становање, превоз, робу и услуге.	јединица масе / у	N-PRINT Team	n-print.org(N-Print Team, 2014)
За слив Chesapeake, израчунава просечни NF домаћинства и даје савете за смањење отиска азота.	Ib/y	Chesapeake Bay Foundation	www.cbf.org (Chesapeake Bay Foundation, 2014)

4.6 Отисак фосфора (PF - *Phosphorus footprint*)

Фосфор је минерал који се налази у стенама, накупља се као резултат геолошких процеса. Поред азота, фосфор је критичан елемент у безбедности хране. Данас се храна не би могла произвести без употребе прерађених минералних ђубрива. Према томе, човечанство је постало зависно од фосфатних стена.

Фосфор је ограничен ресурс, који би могао постати оскудан и који би могао достићи врхунац у наредним деценијама. Предвиђа се да ће се тренутне глобалне резерве можда потрошити током наредних деценија. Међутим, исцрпљивање минералних сировина тешко је предвидети због промена у трошковима производње, поузданости података, промена потражње и понуде и могућих будућих технологија експлоатације. Без обзира на то, отисак фосфора је вредан пажљивог разматрања јер пад расположивости фосфора може значајно смањити приносе у пољопривреди. То би у будућности могло бити још важније због све веће глобалне популације и биогорива.

PF се бави дисбалансом фосфора у усевиима. Излучивање фосфора доводи до еутрофикације површинских слатких и неких приобалних вода, што подстиче цветање цијанобактерија које изазивају смртност риба и стварају мртве зоне. Забележено је више од 400 мртвих зона широм света, које погађају подручје веће од 245.000 km² [3] .

4.7 Отисак биодиверзитета (BF - *Biodiversity footprint*)

Људи су трансформисали 40-50% копнене површине, мењајући прерије, шуме и мочварна подручја у пољопривредне и урбане системе. Уништавајући биолошку разноликост (биодиверзитет) алармантном брзином, узрокујући промене у глобалној дистрибуцији организама.

Главни покретачи губитка биолошке разноликости су:

- Модификација предела, губитак или промена станишта, фрагментација, инфраструктура и крчење шума, посебно тропских влажних шума које су богатије врстама;
- Ширење инвазивних не - нативних врста или гена који надмашују ендogene врсте као и ширење болести;
- Прекомерно гајење и прекомерна експлоатација одређених врста, посебно због риболова и лова;
- Загађење које утиче на здравље врста, посебно у воденим екосистемима, као што су прекомерни уноси хранљивих састојака (азот и фосфор) у воде, употреба пестицида у пољопривреди и одлагање смећа у море;
- Климатске промене и ефекат гасова стаклене баште.

Главни покретачи су људске активности, односно како расту светска популација и економија, тако се повећавају и притисци на биолошку разноликост [3].

Изумирање је најчешћи начин на који се биолошка разноликост губи или смањује. Према неким истраживањима, човечанство је већ проузроковало изумирање 5-20% врста у многим групама организама, а тренутне стопе изумирања процењују се 100 до 1000 пута брже од природне стопе изумирања. Неке процене су да је стопа изумирања до 140.000 врста годишње, а много већи број врста је угрожен [3].

BF је дефинисан као "збир свих притисака који могу имати потенцијалне последице по биодиверзитет". Повезана је са смањењем биодиверзитета, а самим тим и са стопом губитка биолошке разноликости. BF се такође мери као глобално подручје потребно за надокнаду средњег губитка обиља врста проузрокованог директном употребом земљишта и емисијама CO₂ током животног циклуса производа. Губитак биолошке разноликости прети добробити људи. Процењује се да се у медицини широм света користи између 50.000 и 70.000 хиљада биљних врста, а отприлике 1×10^8 t водених организама, укључујући рибе, мекушце и ракове, узима се из природе сваке године. Изумирања могу да поремете виталне еколошке процесе као што су опрашивање и растурање семена, што доводи до каскадних губитака, колапса екосистема и веће укупне стопе изумирања. Према Европској комисији, губитак биодиверзитета је најкритичнија претња по животну средину заједно са климатским променама. Pereira је изјавио да је „глобална промена биолошке разноликости једно од важних питања

заштите животне средине нашег времена.“ Такође, Aldesgate Group 2011. године је истакла да је „заштита биолошке разноликости и услуга екосистема, иако комплексна за тачно вредновање и квантитативност, пресудна за будуће благостање и економски развој“. ВФ је стога веома важан. Међутим, за разлику од представљених отисака, ВФ је сложен за процену и не може се лако израчунати за производе, компаније, активности. Глобални систем посматрања за праћење промена биолошке разноликости још увек не постоји. Покушај да се мери отисак биодиверзитета, попут коришћења површине земљишта људском активношћу, броја угрожених врста, стопе изумирања и популационог тренда врста, тренутно је немогуће, али могуће је идентификовати вруће тачке [3].

4.8 Отисак на земљиште (LF - *Land footprint*)

Раст становништва и економски приход идентификовани су као најважнији покретачи LF-а. Више од 75% земљишта (изузев Гренланда и Антарктика) људи већ користе. Употреба земљишта креће се од врло интензивног до врло обимног. Отприлике 1% земљишта користи се за инфраструктуру и урбане површине, отприлике 10-12% користи се као ораница, приближно 26% користи се као шумско земљиште, а између 23% и 36% користи се као пашњак. Од преосталог земљишта отприлике половина је непродуктивна или прекривена стенама, снегом или пустињама. Друга половина обухвата нетакнуте шуме (4,6% укупне површине), укључујући тропске прашуме и све остале шуме без знакова људске употребе [3].

LF обично процењује оне површине земљишта које су директно и индиректно потребне да би се задовољила потрошња за одређени производ/е или за укупну потрошњу. То је моћна метода илустрације зависности локалних подручја (региона или земаља) од страног земљишта, која је обједињена у увозу и извозу („виртуална земља“). Надаље, дефинисана је као количина биолошки продуктивног земљишта потребна за задовољавање потрошње. Тренутно не постоји усаглашена дефиниција LF. Важно је напоменути да се LF приступи разликују од израчунавања EF-а, јер се не примењује отежавање копнених површина различитим биопродуктивностима. Због ограничења података, LF студије су често усредсређене на пољопривредна и шумарска подручја [3].

4.9 Остали утицаји (отисци) на животну средину

Поред отисака који су препознати као кључни, уведено је још неколико отисака на животну средину. Ови отисци су укратко описани у овом одељку.

4.9.1 Материјални отисак

Отисак материјала је индикатор који се заснива на потрошњи ресурса. Отисак материјала не бележи стварно физичко кретање материјала унутар и међу државама, већ уместо тога укључује везу између почетка производног ланца (где се сировине експлоатишу из природног окружења) и његовог краја (где је производ или услуга и где се користи). Отвара нову перспективу за глобалне ланце снабдевања материјалима и за одговорност за утицаје експлоатације, прераде и потрошње ресурса. То илуструје експлоатација материјала у глобалном животном циклусу и крајњу потрошњу материјала унутар региона, унутар земље или изван граница земаља. Утицај материјала је новији термин за „*еколошке ранчеве*“. Друга дефиниција материјалног отиска је да је показатељ за мерење и оптимизацију потрошње ресурса производа и њихових састојака као и производних процеса дуж целог ланца [3].

4.9.2 Отисак емисије

Отисак емисије представља количине емисије производа или услуга које се испуштају у ваздух (нпр. SO₂, честице, CO, CO₂), воду (нпр. хемијска потреба за кисеоником (COD - *Chemical oxygen demand*), азот и фосфор) и тло (путем испуштања у тло). Отисци емисија израчунавају се по површини. Конверзија емисија се израчунава по принципу да антропогени масени токови не смеју да мењају квалитет локалних делова. За емисије у тло, вредност емисије се добија разлагањем биомасе у хумус (мерено производњом компоста из биомасе). За емисије у ваздух природна размена супстанци између шума и ваздуха по јединици површине узима се као основа за поређење природних и антропогених утицаја [3].

4.9.3 Отисак људи

Људски отисак мери количине енергије, ресурсе и производе које човек конзумира током свог живота и укључује, на пример, „количину хране“, количину горива, воде и масу отпада. Људски утицај укључује све што људи једу, користе, носе, купују и одбацују током свог живота. Људски отисак је такође мера трансформације, која укључује информације о људском приступу, насељавању, коришћењу земљишта и развоју енергетске инфраструктуре [3].

4.9.4 Отисак отпада

Отисак отпада је количина отпада која се ствара на изворима састојака и материјала, затим производњом, прерадом и транспортом. Такође представља утицаје на животну средину и привреду који настају од отпада који људи стварају [3].

4.9.5 Енергетски отисак

Енергетски отисак комбинује рачуницу ЕФ-а и анализу ванредних стања. Енергија се израчунава следећом једначином:

$$\text{Енергија (seJ)} = \text{ексергија (J)} * \text{трансформација (seJ/J)}$$

Концепти енергија, ексергија и трансформација су укратко представљени у табели 10. Биокапацитет се процењује као функција расположивих обновљивих извора. Подаци о потрошњи могу се претворити у нове токове и груписати у следеће категорије:

- обрадиво земљиште;
- шумарство;
- сточарство и
- извори енергије.

Сви енергетски токови (J) трансформишу се у соларну енергију (seJ/y). Енергетски токови се деле са глобалном густином настајања (seJ/gha) да би се добио просечан глобални продуктивни хектар - утицај (нпр. gha/capita) [3].

Табела 10. Енергија, ексергија и трансформација.

	Опис
Енергија	Способност енергије (напора) једне или друге врсте је да она користи трансформације директно и индиректно приликом прављења производа или стварања услуге. Мери разлике у квалитету између облика енергије. Обухвата различите облике енергије и ресурса, као што су природни ресурси, обновљиви и необновљиви токови енергије, економска добра, рад и информације, и описује количину једне врсте енергије потребне за стварање другог облика енергије или ресурса. Јединица енергије је <i>emjoule</i> (emJ) - расположива енергија једне врсте која се троши у трансформацијама. Обично се изражава јединицом соларних еквивалента, соларних цулова или соларних <i>emjoule</i> (seJ), свим директним и индиректним улазима соларне енергије који су коришћени у креирању услуге или производа. Остале јединице које се користе су <i>emjoule</i> угљеника, електрични <i>emjoule</i> и друге. Сва енергија и ресурси стављају у заједничку и објективну меру.
Ексергија-ефикасност	Ексергија је енергија која је на располагању да се користи за рад. Квантификује максимални теоријски рад који се може пружити довођењем извора енергије у равнотежу са околином. Ексергија се увек уништава када процес укључује температурну промену јер су процеси претворене енергије неповратни. Ово уништење је пропорционално ентропији система и његове околине. Уништена енергија се такође назива <i>анергија</i> .
Трансформација	Коефицијент трансформности или квалитета енергије је енергија (обично соларна енергија) потребна да се направи јединица расположиве енергије производа или услуге, изражена у (seJ)/J. Циљ је квантификовати квалитет енергије који је дефинисан као однос нове врсте рада (рад уложен у производ) и корисне енергије или енергије (вредност добијена од производа). Трансформитети се добијају анализом производног процеса или другим емпиријским средствима.

$$\text{Енергетски утицај (gha)} = \frac{\text{енергија (seJ)}}{\text{глобална густина енергије (seJ/gha)}}$$

Прорачуни енергетског отиска укључују и пустиње, глечере и отворене океане, који су искључени у ЕФ анализи. Међутим, постоји неколико недостатака као што су услуге заштите животне средине и негативни спољашњи утицаји који су искључени из анализа, а прорачуни трансформација су тешки и требало би их проценити [3] .

4.9.6 Отисак ексергија

Утицаји ексергије укључују следеће категорије потрошње ресурса:

- материјале;
- воду;
- енергију;
- храну и уз додатна истраживања која су у току, људски и монетарни капитал.

Употребом ексергије избегава се потреба за дефинисањем, нормализацијом и агрегацијом различитих категорија утицаја [3].

4.9.7 Хемијски отисак

Хемијски отисак је показатељ потенцијалног ризика који представља производ на основу његовог хемијског састава, људских и еколошки опасних својстава састојака и потенцијала изложености састојака током његовог животног циклуса. Његова анализа треба да укључује свеобухватну квантификацију хемикалија које се користе, конзумирају, производе или модификују током животног циклуса производа који су од интереса и ризика [3].

4.9.8 Отисак загађења

Отисак загађења заснован је на апсорпцији загађења. Он обухвата загађиваче настале људским активностима и разврстава их по различитим класама или врстама загађивача. Заснива се на улазно - излазној анализи за мерење коефицијената наелектрисања и количине загађивача у систему [3].

4.9.9 Радиоактивни отисак

Радиоактивни отисак се дефинише као укупно географско подручје загађено радиоактивним изотопима, укључујући количину и састав радиоизотопа распршених по земљишту, ваздуху и води, што је последица катастрофе нуклеарне електране, експлозије атомске бомбе или муниције са осиромашеним уранијумом [3].

4.9.10 Отисак хране

Отисак хране такође се назива материјални отисак производње хране. То укључује подручја која су потребна за узгој усева, риба и испаше животиња, као и за апсорпцију емисија угљеника из прераде и транспорта хране, изражава се у хектарима по глави становника. Просечан глобални отисак хране је 0,79 ha/становнику. Утицај хране код људи такође се дефинише као све емисије које су резултат производње, транспорта и складиштења хране која се испоручује како би се задовољиле њихове потребе за потрошњом. Посебна пажња се ставља на снабдевање храном и изражава се у tCO_{2eq} /глави становника. Поред тога, обухвата земљиште потребно за производњу хране и секвенцијално испуштање CO_2 из процеса производње хране [25].

Употреба енергије која се користи за неки производни процес, се може упоредити са садржајем енергије у процесу производње, на пример у случају хране [7].

4.9.11 Прехрамбени отисак

Прехрамбени отисак је концепт који повезује животну средину, здравствена и друштвена питања исхране и прехрамбене производе. Прехрамбена процена утицаја је квантитативно заснован приступ и процењује ниво утицаја на здравље и животну средину из угла животног циклуса. Може пружити еколошки прихватљивији и здравији избор прехрамбених производа. Методологија за процену нутритивног отиска састоји се од два корака припреме и три главна корака. Кораци припреме укључују процену релевантног здравља (садржај калорија и соли, садржај прехрамбених влакана и засићених састојака, густина храњивих материја, итд.), показатеље животне средине (материјал, CF, WF и LF, биодиверзитет, ерозија и кретање земље итд.), и референтне податке и нивое процене. Надаље, главни кораци укључују (и) процену здравствених и еколошких питања која се односе на прехрамбене производе; (ии) расподелу и процену изабраних показатеља током фаза животног циклуса и (иии) идентификацију и квантитативно поређење резултата. Сви индикатори су распоређени у распону вредности од 1 до 3 да би се приближно идентификовале вруће тачке. Здравствени и еколошки индикатори имају једнаку тежину, а укупна процена се састоји од једног броја (што је мање, то је боље). То је алат који омогућава детаљан преглед и релативно је лако упоредити различите утицаје прехрамбених производа [26].

4.9.12 Отисак времена

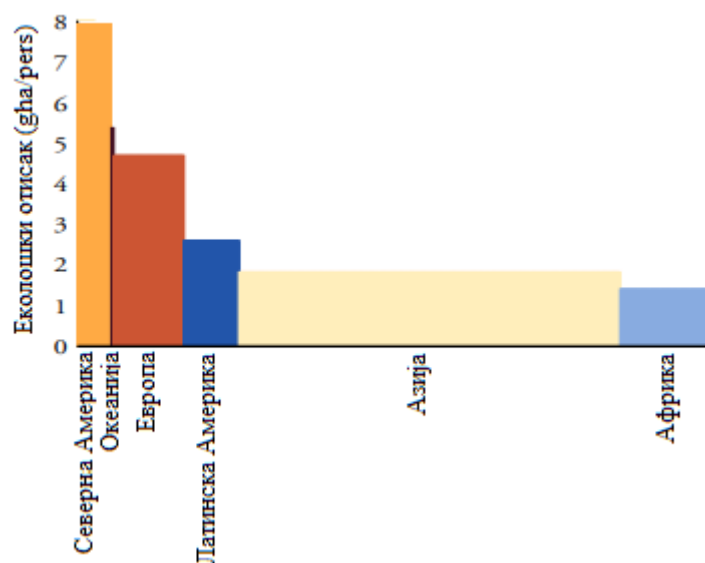
Вредносни судови по којима се модерна култура креће „напред“, не враћа се на почетак, негира прошлост а уважава садашњост и будућност, и да „индустријализована душтва на Земљи производе еколошке противуречности које у догледно време морају

водити сопственој пропасти“, наводе нас на размишљање о кључним разликама између природног и социјалног времена. Природа се у својим циклусима враћа на (временски) почетак, почиње испочетка и „има `довољно` времена да изабере `најбољу` алтернативу (...) Модерно друштво фаворизује простор и време у човековим активностима, а заборавља на време активности природе“. Очигледно, модеран човек све више живи одвојен од непосредне природе и природног времена. У погледу еколошких последица, сазнања о иреверзибилним ефектима човековог културног деловања у простору продукovala је суочавање са сазнањем да су предмодерна друштва исказивала већу сличност социјалног и еколошког метаболизма за разлику од пост/модерних друштава, да су била „стрпљива“, за разлику од „нестрпљиве“ индустријске цивилизације којој остаје „мање времена за најбоље развојне алтернативе, па је склонија прогресу у зацртаном смеру и његовој динамици“. Екологија времена, настала на трагу критике развоја модерног друштва и његових последица, подсећа „да је садашњост само континуум између прошлости и будућности; да велико и дугорочно доминирају над малим и краткорочним; да разумемо баланс између старог и новог у историји као међународни утицај цикличних и линеарних процеса“, „да је потребно усмерити краткорочну корист друштва и према другим аспектима користи, тј. према дугорочној перспективи односа друштва и природе“. Наравно, није реч о заустављању научних и техничких достигнућа, „али их човек мора контролисати у складу са расположивошћу капацитета природе и тако редефинисати временску перспективу напретка“, при чему је опште присутно сазнање да свако време има објективни (мерљив: сат, календар) и субјективни (индивидуално схватање трајања) аспект [2].

Због тога што уважава временску перспективу, „Отисак времена“ (*timeprint*) представља временски еквивалент идеји „еколошког отиска“. Све је гласнији став да се еколошки отисак мора посматрати у времену и то не само колики/какав је данас него колики/какав ће бити у будућности. Додавање временске перспективе еколошком отиску омогућиће утврђивање како данашњи начин живота утиче током времена на друштво и његово окружење. На тај начин се указује „на чињеницу да данашње знање и друштвена пракса воде претераној потрошњи садашњих и будућих природних потенцијала“, али и на потребу промене друштвене праксе модерног друштва и његових схватања напретка. Сазнања „отиска времена“ требало би да утичу на „одлуку“ друштва да смањи количину и, посебно, темпо коришћења природних ресурса [2].

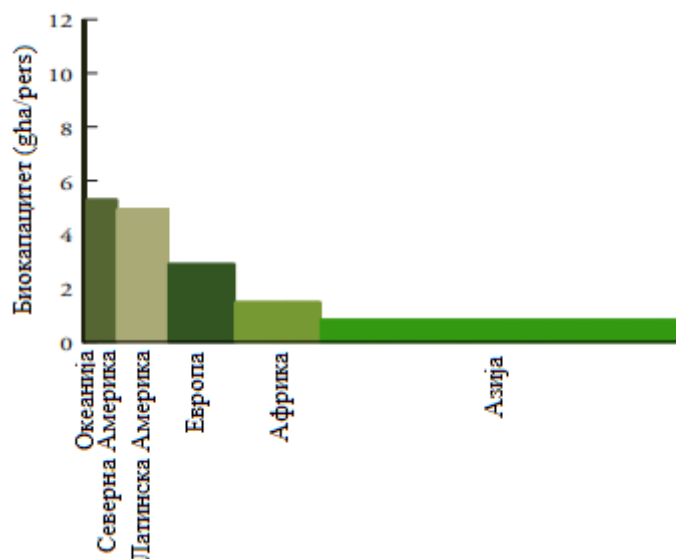
5. Регионални резултати националних рачунања отисака

Регије и земље се увелико разликују како у потражњи за биокапацитетом, тако и по биокапацитету који имају на располагању унутар својих граница. Многе земље користе више биокапацитета него што је доступно унутар њихових граница. Ово делом долази из увоза ресурса, али обично у већој мери коришћењем глобалне заједнице као депоније за емисију угљен-диоксида. За фосилна горива стварна површина која се користи за екстракцију, рафинирање и производњу електричне енергије је релативно мала у поређењу са биопродуктивном површином потребном за апсорпцију отпадних производа из сагоревања тих горива. Фигуративно речено да су сви на свету живели као просечни становник Сједињених Држава или Уједињених Арапских Емирата, биокапацитет више од 4,5 Земаља био би потребан да подржи стопе потрошње човечанства. Да уместо тога свет живи као просечни Јужнокорејски становник, било би потребно само 1,8 планета, а да је свет живео као просечан човек у Индији 2007. године, човечанство би користило мање од половине биокапацитета једне планете [31]. На слици 9 приказан је Еколошки отисак и становништво по регионима за шест региона света у 2007. години,



Слика 9. Еколошки отисак и становништво по регионима, 2007. година

на слици 10 исти је и регионални биокапацитет - региони су изражени у дефинисаним регионима Уједињених нација. Иако је Азија имала низак просек еколошког отиска по становнику у 2007. години, у њој је било смештено више од половине светског становништва, па је тако имао највећи укупни отисак свих региона. Укупни отисак региона био је готово двоструко већи од његовог биокапацитета у тој години. Супротно је било за Латинску Америку и карипску регију, чији је биокапацитет приближно двоструко већи од његовог еколошког отиска. Поред азијског региона, Северна Америка и европске регије такође су биле еколошки дужници, чији су укупни отисци прекорачили биокапацитет [6].



Слика 10. Биокапацитет и број становника по регионима, 2007. година

То значи да су се ови региони ослањали на биокапацитет других делова света, поред сопствених, за обезбеђивање ресурса и за асимилацију отпада [6].

5.1 Еколошки отисак везан за Србију

Прва истраживања глобалног капацитета носивости израженог као нето примарни продуктивитет (*net primary productivity*) показала су да човечанство "присваја" 40% нето производа фотосинтезе, чиме је постављено следеће важно питање будућности: Да ли је капацитет биосфере у перспективи одговарајући да издржи незаустављиво оптерећење које намеће људска производња и потрошња?

Разлози за забринутост постају јаснији ако дефинишемо капацитет носивости не као максималан број становника него као максимално "оптерећење" које ти становници могу наметнути животној средини. Људско оптерећење тако постаје функција не само броја становника него и потрошње по глави становника, јер ово друго се чак још брже повећава развојем трговине и технологије. Због свог опстанка и раста градови, индустријски региони и саме државе зависе од огромних земљишних пространа ван својих административних и државних граница и њихове еколошке производње. Државе тако присвајају еколошки потенцијал у виду енергије и сировина далеких региона путем трговине, тако да се еколошке локације држава више не подударају са њиховим географским локацијама. Питање капацитета носивости се сада поставља на следећи начин: Колико велика област плодне земље је потребна да се бесконачно издржава одређени број становника, било где на планети да се налази та област?

Годишњи токови прихода од природе који су потребни за „издржавање“ одређеног становништва у оквиру његове административне границе представљају „присвојену носивост“, јер за сваки ток сировина мора да постоји одговарајући извор површине

земље и припадајућег екосистема која је потребна. Сабирањем свих области екосистема које заузимају поједини артикли у годишњој потрошачкој корпи потрошних добара и услуга и множењем са бројем становника добија се „еколошки отисак“ датог становништва на тој површини земље. Еколошки отисак (*Ecological footprint*) представља уствари *еколошки дефицит*, одређујући ниво потрошње ресурса и стварања отпада од стране неке економије или становништва који превазилази одрживу природну производњу и моћ асимилације у просторном смислу. Тако добијамо разлику између еколошког отиска дате економије и становништва са једне стране и са друге стране географске области коју заузима [29].

Израчунавањем еколошког отиска дошло се до сазнања да човечанство просечно данас не живи унутар капацитета носивости планете Земље. Израчунавање еколошког отисака је 2008. године показало да је било потребно 2,7 глобалних хектара по становнику, што је 30% више од природног биолошког капацитета који износи 2,1 глобални хектар по становнику (gha/pers). Овакав еколошки дефицит на глобалном плану задовољава се из неодрживих екстра извора, а они се добијају на три начина:

- укључивањем у услуге светске трговине сировина и готових производа;
- узимањем из прошлости (нпр. фосилна горива), или
- позајмљивањем из будућности на принципима супротним концепту одрживог развоја (нпр. прекомерном експлоатацијом шума и рибљег фонда).

Вредност еколошког отиска (*Ecological footprint*) варира током година јер зависи од потрошње, ефикасности производње и међународне трговине и представља добар компаративни индикатор када се доводе у везу са другим индикатором одрживог развоја-биокапацитетом (*Biocapacity*). Биокапацитет неког подручја израчунава се множењем површине тог подручја са фактором приноса из датог екосистема и одговарајућим фактором еквиваленције и зависи од примене савремене пољопривредне праксе (употреба ђубрива и наводњавања), деградације екосистема и броја становника (слика 11) [29].



Слика 11. Потрошња ресурса (*Global Hectares per capita*) израђена преко еколошког отиска и биокапацитета за Србију

Презентовани подаци о величини еколошког отиска и биокапацитета јасно илуструју битно својство ова два индикатора одрживог развоја да презентују степен присвајања еколошког потенцијала у виду енергије и сировина далеких региона путем трговине. Како је постављено на дијаграму, еколошке локације Србије се не подударају са њиховим географским локацијама.

Еколошки отисак у Србији према подацима организације *Global Footprint Network* износи 2,33 gha/pers и нижи је од земаља у окружењу, при чему дефицит износи -0,95 глобалних хектара по становнику. Када се еколошки отисак и биокапацитет упореде на регионалном плану, добија се јасна слика о производњи, увозу и извозу појединих земаља и њиховом богатству екосистема. Највећи еколошки отисак (E_{fr}) у региону има Бугарска ($E_{fr} = 4,07$), следи Хрватска ($E_{fr} = 3,75$) и Босна ($E_{fr} = 2,75$). Редослед према припадајућем биокапацитету (B_{iosar}) је другачији: Хрватска ($B_{iosar} = 2,50$), Бугарска ($B_{iosar} = 2,13$) и Босна ($B_{iosar} = 1,60$). Србија супротно увреженом мишљењу има нижи биокапацитет ($B_{iosar} = 1,38$), односно сиромашније екосистеме од околних земаља (оранице, пашњаци, шуме, воде). Сада је важно нагласити на примеру Србије једно друго својство овог индикатора одрживог развоја, а то је да описује не само тренутно стање ствари него и да даје смернице за будућност. Еколошки отисак Србије од 2,33 gha/pers се назива и еколошка потрошња и садржи укупну потрошњу ресурса и наш притисак на домаћи и светски екосистем. Тај укупни отисак садржи еколошки отисак производње, еколошки отисак извоза и еколошки отисак увоза, при чему се еколошки отисак потрошње добија одузимањем збира еколошког отиска производње и еколошког отиска извоза. Довољно је јасно да ова дискусија отвара расправу која превазилази оквир овог прегледног рада, али наглашава значај промишљања у процесу доношења и спровођења стратегије развоја Србије [29].

Позната еколошка сентенца *размишљати глобално - деловати локално* има најбољу препоруку, јер човечанство данас користи еквивалент од 1,5 планете да би обезбедило ресурсе и апсорбовало отпад који настаје у процесу производње и потрошње. Ово значи

да је планети Земљи потребно годину и шест месеци да обнови оно што је произведено и потрошено за годину дана. Сценарији показују да ако се тренутни тренд раста становништва и потрошње настави до тридесетих година овог века, нама ће требати еквивалент од две планете Земље да нас „издржава“ [29].

6. Закључак

Са наглим порастом светске популације долази и до пораста потрошње природних ресурса. Смањивање необновљивих ресурса и квантификација тог утицаја на екосистем је заокупирала пажњу светске јавности последњих деценија. У свету који све више ограничава ресурсе потребни су тачни и ефикасни рачуноводствени системи за мапирање понуде и потражње за услугама екосистема. Нажалост, чини се да се човечанство удаљава од одрживости. За кретање ка одрживости потребно је редизајнирање производње, потрошње и управљања отпадом. Поуздане дефиниције и мерења су неопходна за постизање ових циљева. Неколико алата за мерење одрживости развијено је за процену (не) одрживости људи, нација, процеса, производа или активности. Ипак, дефиниција погодне метрике заштите животне средине и/или одрживости за подржавање објективних процена заштите животне средине и/или одрживости још увек је отворено питање у литератури.

Овај рад је представио методе за мерење одрживости животне средине као што су показатељи потенцијалног утицаја на животну средину, еколошка ефикасност, еко-профит и укупна добит, еко NPV и укупна NPV и други комбиновани критеријуми, индексе одрживости и отиске животне средине. Надаље, детаљно су представљени кључни еколошки отисци, као што су CF, WF, EF, ENF, NF, PF, BF и LF. Коначно, оцењени су и други еколошки утицаји који нису широко познати и коришћени и који нису препознати као кључни еколошки отисци.

Кључни отисци животне средине карактеришу све већи еколошки притисак на планету Земљу. Препознато је неколико опција које се тичу смањења кључних отисака на животну средину. Указано је на важност процене укупних отисака (оптерећења и неоптерећења) уместо само директних (оптерећујућих) отисака. Међутим, треба имати на уму да смањење једног отиска може негативно утицати на друге еколошке отиске. Један такав пример је производња биогорива, која има потенцијал за побољшање CF и ENF, али може негативно утицати на WF, NF, PF, BF и LF.

Негативне последице повећања специфичних отисака препознале су владе, предузећа, истраживачи и јавност уопште према томе, број процена утицаја је значајно порастао током последње деценије. Широм света усвојено је неколико политика и циљева којима се креће у правцу одрживог развоја и ублажавања или спречавања штетних утицаја на животну средину, као што су климатске промене, губитак биолошке разноликости, еутрофикација водних тела и многе друге. Међутим, треба напоменути да је мерење утицаја на животну средину и њихових последица на животну средину релативно млада дисциплина, стога се очекује да ће се више истраживача придружити напорима и да ће у блиској будућности бити пронађено више оквира и концепата уз помоћ развијених алата.

7. Литература

- [1] Glen P. Peters, Robbie M. Andrew, Jonas Karstensen; *Global enviromental footprints*, Nordic Council of Ministers, Denmark 2016.
- [2] Славка Т. Николић, М. Костреш, В. Младеновић, С. Полић; *Еколошки маркетинг менаџмент-Савремена де(кон)струкција*, Универзитет у Новом Саду - Факултет техничких наука, 2017.
- [3] Lidija Čuček, Jiří Jaromír Klemesš, Zdravko Kravanja; *A Review of Footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability*, 2012.
- [4] Mesfin Mekonnen, Arjen Ysbert Hoekstra; *Water Management - National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption*, Faculty of Engineering Technology, 2011.
- [5] Anila Cherian, Patric D, Nunn, Nick Petforf, Frances Harris et al.; *Global environmental issues-second edition*, Kingston University, UK, 2012.
- [6] Brad Ewing, David Moore, Steven Goldfinger, Anna Oursler, Anders Reed, Mathis Wackernage; *ECOLOGICAL FOOTPRINT ATLAS 2010, GLOBAL FOOTPRINT NETWORK*
- [7] Renat Perelet, Anil Markandya, Pamela Mason, Tim Taylor; *Dictionary of Environmental Economic*, UK and USA in 2001, by Earthcan Publications Ltd
- [8] Zaccai, E., Over two decades in pursuit of sustainable development: influence, transformations, limits, 2012.
- [9] Bojarski, A.D., Lai'nez, J.M., Espun~a, A., Puigjaner L., Incorporating environmental impacts and regulations in a holistic supply chains modeling: an LCA approach, 2009.
- [10] Von Blottnitz, H., Curran, M.A., A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective, 2007.
- [11] Čuček, L., Synthesis of sustainable bioprocesses using computer-aided process engineering (PhD Thesis). Maribor, Slovenia University of Maribor; Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, 2013.
- [12] Kravanja, Z., Čuček, L., Multi-objective optimisation for generating sustainable solutions considering total effects on the environment, 2013.
- [13] Saur, K., Life cycle impact assessment, 1997.
- [14] Koskela, M., Vehmas, J., Defining eco-efficiency: a case study on the finnish forest industry, 2012.
- [15] Huppes, G., Ishikawa, M., Eco-efficiency and its xsterminology, 2005.

- [16] Fang, K., Heijungs, R., de Snoo, G.R., Theoretical exploration for the combination of the ecological, energy, carbon, and water footprints: overview of a footprint family, 2014.
- [17] Chakraborty, R., Hasin, M., Solving an aggregate production planning problem by using multi-objective genetic algorithm (MOGA) approach, International Journal of Industrial, 2013.
- [18] Vujanović, A., Čuček L., Pahor, B., Kravanja, Z., 2014. Multi-objective synthesis of a company's supply-network by accounting for several environmental footprints, 2014.
- [19] Finkbeiner, M., Carbon footprinting opportunities and threats, 2009.
- [20] Carpenter, S.R., Bennett, E.M., Reconsideration of the planetary boundary for phosphorus, 2011.
- [21] Gleick, P.H., Ajami, N., Christian-Smith, J., Cooley, H., Donnelly, K., Fulton, J., Ha, M.-L., Heberger, M., Moore, E., Morrison, J., Orr, S., Schulte, P., Srinivasan, V., The World's Water Volume, 2014.
- [22] Jones, C.M., Kammen, D.M., Quantifying carbon footprint reduction opportunities for U.S. Households and communities, 2011.
- [23] Hoekstra, A., Human appropriation of natural capital: a comparison of ecological footprint and water footprint analysis, 2009.
- [24] Galli, A., Wackernagel, M., Iha, K., Lazarus, E., Ecological footprint: implications for biodiversity, 2014.
- [25] Zeev, S., Meidad, K., Avinoam, M., A multi-spatial scale approach to urban sustainability, 2014.
- [26] Lucas, M., Palzkill, A., Rohn, H., Liedtke, C., The nutritional footprint: an innovative management approach for the food sector, UK, 2013.

Интернет адресе:

- [27] http://www.wwf.rs/o_wwf/lpr_2016/izvestaj_o_zivoj_planeti_2014/ekoloski_otisak/ приступљено: 26.08.2019.
- [28] <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/> приступљено 28.08.2019.
- [29] <http://indicator.sepa.gov.rs/o-indikatori/indikatori-odrzivog-razvoja-srbija-i-svet-1#ekoloski> приступљено 10.10.2019.
- [30] <https://www.sustainable-economy.org/myfootprint.html> приступљено 14.10.2019.
- [31] <https://www.footprintnetwork.org/resources/data/> приступљено 14.10.2019.