

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Katedra experimentální biologie rostlin



Historie konceptu ekologické stopy

Bakalářská práce

Anna Vrbová

Školitel: doc. RNDr. Jana Albrechtová, Ph.D.

Praha 2011

Poděkování:

Chtěla bych poděkovat své školitelce doc. RNDr. Jana Albrechtová, Ph.D. za vstřícnost a trpělivost a mému konzultantovi Prof. RNDr. Lubomíru Nátrovi, DrSc. za odbornou pomoc při vypracovávání mé bakalářské práce.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně s jen použitím citované literatury. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne

Anna Vrbová

Obsah

Seznam zkratk	4
Abstrakt	5
Abstract	6
1. Úvod	7
2. Historie ekologického myšlení	7
2.1. Antika	8
2.2. Osvícenství	8
2.3. 20. století	9
2.3.1. IPCC	12
2.3.2 UNFCCC	13
3. Služby ekosystémů	14
3.1. Definice	15
3.2. Rozdělení ekosystémových služeb.....	15
3.2.1. Služby poskytované tropickými deštnými lesy	15
3.2.2. Služby poskytované boreálními lesy	17
3.2.3. Služby poskytované lesy mírného pásma	18
3.3. Ohodnocení služeb ekosystémů	18
4. Současný koncept ekologické stopy	19
4.1. Definice a využití	19
4.2. Přírodní kapitál.....	21
4.3. Ekologicky produktivní plocha	21
4.4. Výpočet ekologické stopy	22
4.4.1. Nedostatky a nové trendy	29
5. Typy porostu a jejich primární produkce	31
5.1. Primární produkce	31
5.2. Reálné a globální hektary	32
5.3. Popis jednotlivých typů půd	33
6. Ekologická stopa a trvale udržitelný rozvoj	35
7. Závěr	36
8. Použitá literatura	37

Seznam zkratk

COP (Conference of Parties) Konference smluvních stran Úmluvy

EF Ekvivalentní faktor

ES Ekologická stopa

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Organizace OSN pro výživu a zemědělství

FV Faktor výnosu

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Mezivládní panel pro změny klimatu

OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj

OSN Organizace spojených národů

TUR Trvale udržitelný rozvoj

UNCED (United Nations Conference on Environment and Development) Konference o životním prostředí a rozvoji

UNEP (United Nations Environment Programme) Program OSN pro životní prostředí

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Changes) Rámcová úmluva OSN o klimatických změnách

WCED (World Commission on Environment and Development) Světová komise pro životní prostředí a rozvoj

WMO (World Meteorological Organization) Světová meteorologická organizace

WWF (World Wildlife Fund) Světový fond na ochranu přírody

Abstrakt

Ekologická stopa je indikátor, který měří velikost bioproduktivní země, potřebné pro zajištění zdrojů a likvidaci odpadů populace při používání stávajících technologií. Je to významný ukazatel udržitelnosti konání lidské populace na planetě. V dnešní době nastávajícího nedostatku řady surovin, je toto téma velice aktuální.

Biomasu, kterou využíváme pro své zdroje, vytváří rostliny. Jejich funkce nejen ve fungování ekosystémů, ale i v konceptu ekologické stopy je nezastupitelná. Jednotlivé vegetační porosty se liší svým příspěvkem k celkové produkci ekosystémů, což má následně vliv na výpočet ekologické stopy. Proto se práce zabývá kromě samotného konceptu ekologické stopy i službami ekosystémů a zejména těmi, které poskytují rostliny. Cílem předkládané práce je shromáždit v současnosti dostupné informace o vývoji konceptu ekologické stopy, zjistit, co předcházelo jeho vzniku a zaměřit se na funkci rostlin ve fungování ekosystémů, která podmiňuje výpočet ekologické stopy.

Vývoj konceptu ekologické stopy a obecná historie ekologického myšlení je shrnuta v kapitole 1. Kapitola 2 se zabývá službami ekosystémů, jejich ohodnocením a významnou rolí, kterou v nich hrají rostliny. Samotný výpočet ekologické stopy je podrobně popsán v kapitole 3. Jak se liší hodnoty vytvořené biomasy a jejich vliv na výpočet ekologické stopy je ukázáno v kapitole 4. Na závěr je diskutováno téma trvale udržitelného rozvoje, jelikož koncept ekologické stopy s tímto procesem úzce souvisí, zejména v otázce dlouhodobých efektů rozhodnutí lidské populace. Význam rostlin je v konceptu ekologické stopy nezastupitelný a je potřeba dále studovat fyziologii a funkci rostlin v ekosystémech, obzvláště v současné době klimatických změn, abychom mohli lépe zhodnotit a využít to, co nám poskytují.

Klíčová slova: celková produkce ekosystémů, ekologická stopa, fotosyntéza, koncept ekologické stopy, primární produkce, služby ekosystémů

Abstract

The ecological footprint is an indicator that measures the size of the bioproductive land needed to provide resources and disposal of waste from existing technologies. It's an important sign of the sustainability of the population on Earth. As we are currently facing an impending lack of many natural resources, this is an important issue.

The biomass we use is created by plants, which play a critical role not only in functioning of the ecosystems, but in the concept of the ecological footprint. Individual types of vegetation differ in their relative contribution to the overall ecosystem production and consequently to the calculation of the ecological footprint of various lands. For this reason this work is concerned not only with the concept of the ecological footprint, but also with the services that plants provide. The objective of this work is to compile the current information on the evolution of the concept of the ecological footprint, what preceded its creation, and to focus on the important role of plants in the functioning of ecosystems, allowing for the calculation of the ecological footprint.

The evolution of the concept of the ecological footprint is covered in Chapter 1. Chapter 2 deals with ecosystem services, their rating, and the critical role that plants play in them. The calculation of the ecological footprint is detailed in Chapter 3. How amounts of created biomass differ and what influence they have on the calculation of the ecological footprint is discussed in Chapter 4. The conclusion discusses sustainable development, as this concept is closely linked with the ecological footprint, especially in relation to the long-term consequences of the decisions made by the human population. The importance of plants in the concept of the ecological footprint is irreplaceable and it's necessary to further study the physiology and function of plants in ecosystems, particularly in the current era of climate change, so that we may better evaluate and utilize what plants can provide.

Key words: ecological footprint, ecological footprint concept, ecosystem services, overall ecosystem production, photosynthesis, primary production

1. Úvod

Od té doby, co se člověk objevil na planetě Zemi, se buduje vztah mezi ním a přírodou. Toto soužití přináší velké množství výhod, na druhou stranu má i své nedostatky. Využíváme přírodní zdroje - kapitál, který máme k dispozici. Země ale disponuje pouze určitou kapacitou zdrojů, kterou nám může poskytnout. V moderní době se lidé začali zabývat otázkou, zda jsou naše požadavky vůči přírodě udržitelné či nikoliv. Jedním z indikátorů, který tuto udržitelnost měří je i koncept ekologické stopy (ES). Vzniku moderního pojetí ekologické stopy předcházelo mnoho významných událostí a jednání v mezinárodním měřítku.

Koncept ekologické stopy je indikátorem, který měří velikost ekologicky produktivní země, potřebné pro zajištění zdrojů a likvidaci odpadů populace při používání stávajících technologií. Je to velice významný ukazatel udržitelnosti našeho chování a jednání na této planetě. V dnešní době nedostatku určitých surovin, je toto téma velice aktuální, proto jsem si ho také vybrala jako předmět mé bakalářské práce.

Veškerou biomasu, kterou využíváme pro své zdroje, vytváří rostliny, jejich funkce nejen ve funkci ekosystémů, ale i v konceptu ekologické stopy je nezastupitelná. Proto i já se ve své práci zabývám kromě samotného konceptu ekologické stopy i službami ekosystémů a zejména těmi, které poskytují rostliny. Je zřejmé, že jednotlivé vegetační porosty se liší svým příspěvkem k celkové produkci ekosystémů, což má také následně vliv na výpočet ekologické stopy jednotlivých typů půd.

Cílem předkládané práce je shromáždit v současnosti dostupné informace o vývoji konceptu ekologické stopy, zjistit, co předcházelo jeho vzniku a zaměřit se na důležitou funkci rostlin ve fungování ekosystémů, která podmiňuje výpočet ekologické stopy.

2. Historie ekologického myšlení

Ekologické problémy se tradičně spojují s nástupem průmyslové revoluce, kdy v průmyslu došlo k přechodu od ruční výroby na tovární strojní velkovýrobu.

S tím souvisí i změny v oblasti hospodářství jako zdokonalení technologií, či zvýšení produkce a tedy výnosů v rostlinné i živočišné výrobě, zejména v 2. polovině 19. st. Důsledkem byl nárůst počtu obyvatel a posléze také uvědomění si dopadů, které tato revoluce může mít na životní prostředí.

Bohužel se s ekologickými problémy, spojenými s přeměnou přírody setkáváme mnohem dříve, a to již ve starověkém období naší historie.

2.1. Antika

Vztah antického člověka k přírodě byl velice silný a byl spojován s náboženstvím. Příroda pro něj byla součástí přirozeného řádu věcí, byla obydlena bohy a jednotlivé přírodní fenomény byly personifikovány. Příroda měla význam i z hospodářského či zdravotního hlediska. Protože již v této době docházelo k závažným změnám krajiny, objevuje se toto téma i v dílech tehdejších autorů.

Platon již v 4. století př. n. l. ve svém dialogu Kritias psal o tom, že odlesňování mění strukturu půdy a tím i její schopnost regulovat odtok vody. Pro ilustraci uvádím citaci z knihy: „Půda bez lesního porostu nedrží vodu, a tak voda odtéká rovnou do moře. Před odlesněním měla půda hodně humusu a takové složení, že vsakovala a uchovávala vodu, kterou potom vypouštěla do údolí a plnila jí studánky a řeky.“ (Platon, překlad 1996).

2.2. Osvícenství

V době osvícenství v 18. století se do středu zájmu dostává rozpor mezi velikostí populace, popř. hospodářským rozvojem a kapacitou kapitálu planety.

Thomas Malthus a jeho Eseje o principu populace (An essay on the principle of population) jsou reakcí na sbírku esejí The Enquirer (1797) od Williama Godwina a dílo Jeana Antoineta de Condorceta. Dílo pojednává o lidské společnosti, co má vliv na její vývoj a jaká budoucnost naši společnost čeká. Částečně se také zabývá otázkou rozdílu mezi růstem populace a zdrojů. Autor se domnívá, že populace roste exponenciálně, zatímco zdroje pouze lineárně a rozpor mezi těmito dvěma veličinami vede k válkám. Jeho teorie je sice již překonána, ale vidíme zde již

první představy o tom, že lidské zdroje nejsou nekonečné a mohou být vyčerpány (Malthus 1978).

2.3. 20. století

Největší rozvoj zájmu o vědy o životním prostředí nastává ve 20. století.

Aldo Leopold (1887 – 1948) byl americký ekolog, lesník a ochránce životního prostředí. Zabýval se rozvojem etiky životního prostředí, hnutím za zachování divočiny a uvědomoval si významnost biodiverzity v přírodě. Za jeho přispění došlo k založení první národní chráněné oblasti v lesnickém systému v Arizoně. Vyzdvihoval potřebu predátorů v potravním řetězci a upozorňoval na negativní důsledky rekreace v přírodě. Z jeho boje za zachování volné přírody vychází koncept „wilderness“, ve kterém definoval divočinu jako území, kde Země a živá společenství nejsou programově ovlivňována člověkem a člověk je návštěvníkem, který zde trvale nepřebývá.

Aldo Leopold proslul díky své knize *Obrázky z chatrče a rozmanité poznámky* (Sand country almanach, 1949). Kniha je rozdělena do tří částí, z nichž první zahrnuje zážitky A. Leopolda a jeho rodiny z dětství ve Wisconsinu. V druhé části představuje stravitelný způsobem ekologické problémy, které již v té době byly aktuální, např. změny krajiny způsobenou vysušováním půdy, vymírání druhů, nebo problém nadměrné pastvy. Třetí a poslední část knihy obsahuje čtyři eseje, ve kterých ukazuje nejen nedostatky ve vztahu společnosti a přírody, ale snaží se i o rady, jak se vydat správnou cestou. Jedním z problémů je podle A. Leopolda to, že lidé se dívají na přírodu pouze z ekonomického hlediska, tedy pouze na to, jakou má co pro ně cenu. Z toho také vyplývá, že většina zodpovědnosti za ochranu přírody dopadá na státní orgány, což nemá přílišnou budoucnost. Pro ilustraci uvádím citát z knihy:

„Věc je správná, když vede k udržení integrity, stability a krásy bioty. Špatná je, pokud směřuje jinam.“ (Leopold 1995).

Již v 60. letech minulého století vyšla kniha *Silent spring* (1962) od Rachel Carson. Autorka zde kritizuje nadměrné používání pesticidů v zemědělství, které

se rozmohlo po 2. světové válce, v 50. letech 20. st. Zaměřuje se hlavně na škodlivé účinky DDT (dichlordifenyiltrichlormethylmethan), které způsobují nejen smrt zvířat, ale i onemocnění u lidí. Ukazuje blízkou vazbu mezi rostlinami, jejich opylovači, hlavně hmyzem a ptáky jako predátory hmyzu. Autorka v knize uvádí, že pokud došlo k postřiku stromů, na kterých se živil hmyz, nebezpečné látky se v něm akumulovaly a pokud se hmyz stal obětí ptáka, jejich koncentrace se v jeho těle tak zvýšila, že došlo k jeho smrti. Někdy se otrava projevila až v další generaci, kdy nedošlo k vylíhnutí mláďat u postiženého jedince. Kromě ničivých následků postřikem pesticidů se zde autorka také zabývá problémem monokultur, ve kterých se nemoci stromů šíří lépe a rychleji, než by tomu bylo ve smíšeném lese. Po vydání knihy následovalo mimo jiné schválení několika zákonů o pesticidech, které jejich používání redukuje.

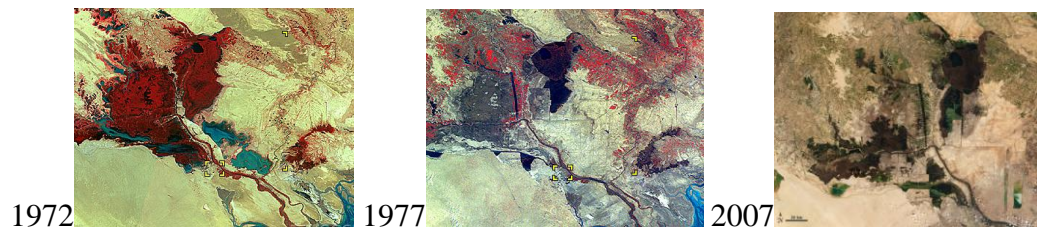
Jedna z prvních prací o udržitelném rozvoji pochází z roku 1972, je to kniha jménem Meze růstu (The Limits to Growth) a napsali ji manželé Meadows společně s kolektivem autorů. „Jedná se, spíše než o odsouzení k záhubě lidstva, o výzvu, jak dosáhnout materiálního úspěchu a zároveň ekologické udržitelnosti“ (Meadows 1992). Není to dílo futurologie, je myšleno jako analýza tehdejších trendů, jejich vzájemný vliv a jejich možné následky. Autoři dospěli k závěru, že hlavní příčinou znečištění prostředí je hospodářský růst. Jejich cílem bylo poskytnout varování o potencionální světové krizi, pokud tyto trendy budou pokračovat a také nabídnout možnost udělat změny v naší politice, ekonomice a sociálním systému, abychom zabránili katastrofě. Konkrétně navrhovali hospodářský růst zastavit (Meadows et al. 1972).

V roce 70. letech se objevují důkazy (Holdren & Ehrlich 1974), že některé zemědělské postupy používané dodnes jsou příčinou nejen rozsáhlých změn krajiny, např. zvětšování pouště Sahara, ale i pádu starověkých civilizací na území Mezopotámie. Mezi takové techniky patří zavlažování, nadměrná pastva nebo provozování monokultur, které jsou v poslední době přesto velmi oblíbené (Holdren & Ehrlich 1974). Tyto objevy byly zjištěny pomocí dálkového monitorování země (remote sensing). Tato metoda umožňuje identifikování, pozorování a měření objektů bez toho přímým kontaktem. Proces spočívá v detekci

a měření radiace různých vlnových délek vyzařovaných z objektů na Zemi a díky tomu mohou být objekty identifikovány a klasifikovány (<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/RemoteSensing/>).

Obrázky získané z družice Landsat ukazují místo soutoku řek Eufrat a Tigris, oblasti tehdejší Mezopotámie. Přehrazením řek a odkloněním jejich vod došlo k redukci mokřadů z jejich původní rozlohy 20000 m² na méně než 4000 m². V dnešní době dochází k jejich opětovné obnově (http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect3/Sect3_6.html).

Obr.1. Vývoj mezopotamských mokřadů. Převzato z http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect3/Sect3_6.html



V roce 1987 varovala Světová komise životního prostředí a rozvoje (WCED), že je nutné odebírat z přírody pouze tolik surovin a zdrojů, kolik je schopno se bez následků znovu obnovit. Ve své zprávě komise popsala problémy a výzvy, které stojí před civilizací a je potřeba je řešit. Určila směry a oblasti, ve kterých by se řešení měla realizovat a navrhla postup, jakým by se mohl ubírat další vývoj společnosti na cestě k udržitelnému rozvoji. Reagovala tak na závěry knihy Meze růstu (Meadows 1972) o zastavení hospodářského vývoje. Komise však nesouhlasila s tím, že jediným činitelem znečištění je hospodářský vývoj. Podle ní závisí také na tom, jaké postupy se při zvyšování životní úrovně používají. Lze dosáhnout vyššího stupně rozvoje i při stejném poškození prostředí. To vedlo k definici pojmu „trvale udržitelný rozvoj“, což znamená takový způsob života, který zajistí naplnění potřeb současné společnosti, aniž by ohrozil možnost splnění potřeb generací příštích. Tato zpráva vyšla pod jménem „Naše společná budoucnost“ (Our Common Future), česky roku 1991 a je také známá pod

názvem „Brundtland Report“, podle norské premiérky Gro Harlem Brundtlandové, která komisi předsedala (Our Common Future 1987).

Když se autoři Meadows a kolektiv znovu o dvacet let později (Meadows 1992) dívali na data z počítačového modelu, který měli k dispozici i při psaní své první knihy, zjistili, že i přes větší povědomí lidí o zhoršeném stavu životního prostředí a nové, dokonalejší technologie se hodně přírodních zdrojů vyčerpává a hodnoty znečištění se výrazně zvyšují. Proto také svou další knihu pojmenovali Překročení mezí (Beyond the Limits: Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future), (Meadows & Randers 1992).

2.3.1. IPCC

Hromadící se vědecké důkazy o změně klimatu (Machta 1972; Walker 1987) v druhé polovině 20. století vedly k založení IPCC – Mezinárodního panelu pro změnu klimatu. Mezivládní panel pro změny klimatu je vědecký orgán, který byl založen v roce 1988. Jeho úkolem je zkoumat vědecké, technické a socioekonomické důsledky změny klimatu a formulovat strategie do budoucna. IPCC byl založena dvěma organizacemi OSN – Světovou meteorologickou organizací (WMO) a Programem OSN pro životní prostředí (UNEP). Vznik tohoto orgánu byl kvalitativním posunem pro posuzování klimatických změn na zemi. Poskytuje modely pro jejich měření (Weslien et al. 2009) i data pro výpočet ekologické stopy.

Tab. 1. Přehled zpráv IPCC. Upraveno podle <http://www.ipcc.ch>

1990: 1. Zpráva - First Assessment Report (FAR)	Konstatuje, že se planeta za poslední 100 let ohřála o 1.2°-1.5°C a hladina moří stoupla o 50-60 cm. Zahájeno jednání o úmluvě týkající se klimatických změn, prosazuje redukci skleníkových plynů, jako jediné řešení pro zastavení klimatických změn
1995: 2. Zpráva – Second Assessment Report (SAR)	Poskytuje důležité vstupy pro sestavení Kjótského protokolu. Tato zpráva byla označena jako nejvíce komplexní a směrodatný posudek ke klimatickým

	změnám a jejich vlivu.
2001: 3. Zpráva - Third Assessment Report (TAR)	Výsledky zprávy potvrzují, že podstatné snížení emisí skleníkových plynů je nezbytné pro naplnění cílů úmluvy. Dále uvádí, že globální střední hodnota přízemní teploty vzduchu prý ve 20. století stoupla o 0.6 stupňů Celsia. Nárůst teploty byl za posledních 1000 let nejvyšší. Střední hladina moří stoupla v minulém století o 0.1 – 0.2 m a teplota oceánů vzrostla.
2007: 4. Zpráva - Fourth Assessment Report (AR4)	Tato zpráva mimo jiné spustila proces, který umožní úplné, efektivní uskutečnění úmluvy pomocí dlouhodobých akcí a dosažení domluvených cílů. Budoucnost vidí velmi příznivě, a to na základě počítačových modelů.
2013-14: 5. Zpráva - Fifth Assessment Report (AR5)	Nově vzniklá zpráva by měla klást větší důraz na odhad socio-ekonomických aspektů klimatických změn a důsledků pro udržitelný rozvoj. Měla by poskytovat více detailní informace o regionech a klimatických fenoménech jako El Nino.

2.3.2 UNFCCC

Významným a stále trvajícím klimatickým problémem je i vysoká koncentrace CO₂ v atmosféře, což přispívá ke skleníkovému efektu a globálnímu oteplování. Došlo tedy ke vzniku Rámcové úmluvy OSN o klimatických změnách (UNFCCC), pro niž byly významným podkladem i zprávy IPCC (<http://www.ipcc.ch>).

UNFCCC je mnohostranná úmluva o ochraně klimatického systému Země. K lednu 2005 ji ratifikovalo 189 států. Konečného textu úmluvy bylo dosaženo roku 1992, těsně před konáním UNCED. Cílem úmluvy je udržet takové koncentrace

skleníkových plynů v atmosféře, při kterých by nedošlo k narušení klimatu způsobené člověkem.

Dalším krokem ke zlepšení stavu prostředí bylo přijetí konceptu trvale udržitelného rozvoje (TUR) mnoha vládami a organizacemi za jednu z priorit při řešení budoucnosti států. Stalo se tak po prvním světovém summitu OSN v Riu de Janeiro roku 1992 pod názvem UNCED. Je znám také pod názvem Summit Země. Pro průmyslové státy zde byly vytyčeny cíle na redukci skleníkových plynů do roku 2000. Vznikl zde mimo jiné dokument Agenda 21, kde byl koncept TUR řádně rozpracován a aplikován na všechna odvětví lidského působení (Moldan 2003).

Na první konferenci v Berlíně v roce 1995 (COP-1), nedošlo ke kvantifikaci závazků smluvních stran. Uspokojivým výsledkem byl až Kjótský protokol, který vznikl na COP-3 v Kjótu v roce 1997. Kjótský protokol je protokol k UNFCCC, ve kterém se průmyslové země zavázaly snížit emise skleníkových plynů o 4,5 % do r. 2010. Od této doby se konaly ještě 3 další konference smluvních stran. (Moldan 2003).

V roce 2005 byl po čtyřech letech zakončen projekt „Hodnocení ekosystémů na přelomu tisíciletí“ (Millennium Ecosystem Assessment), který vycházel ze základních mezinárodních smluv o ochraně přírody (IPCC 2005). Výsledkem byla souhrnná zpráva „Ekosystémy a lidský blahobyt“, ve které autoři ukazují dopad lidské činnosti na funkci ekosystémů. Zpráva dále uvádí, že poškozování ekosystémů představuje překážku pro snížení chudoby a pro dosažení potravinové bezpečnosti (Reid et al. 2005).

3. Služby ekosystémů

Poznání fungování ekosystémů nám pomáhá určovat jejich hodnotu a také získávat nové informace o ekosystémových službách, které jsou nám k dispozici a které využíváme.

3.1. Definice

Ekosystémy, jako souhrn organismů a okolního prostředí na daném území, plní funkce, které jsou výsledkem interakcí mezi jejich složkami (de Groot at al. 2002). Funkce ekosystémů nám poskytují ekosystémové služby.

Rostliny jako první úroveň v potravním řetězci v ekosystémech hrají zásadní roli ve fungování ekosystémů a jsou významné pro poskytování mnoha ekosystémových služeb (Quijas et al. 2010).

Ekosystémové služby jsou podmínky a procesy, které udržují a naplňují lidský život, zachovávají biodiverzitu a produkci ekosystémového zboží, které přispívá k naší ekonomice. Kromě toho také hrají zásadní význam v zajišťování života na Zemi pomocí procesů jako je recyklace živin a udržování klimatu. V neposlední řadě nám přináší estetické a kulturní zážitky (Daily 1997).

3.2. Rozdělení ekosystémových služeb

Ekosystémové služby rozdělujeme do čtyř skupin, jsou to zásobovací služby, regulační služby, kulturní služby a služby podpůrné. Zásobovací služby představují produkty, které z ekosystémů čerpáme, patří sem potraviny, vlákna, dřevo, léky a také voda. Kontrolu procesů v přírodě zajišťují regulační služby, kam řadíme regulaci vody, podnebí, eroze půdy či chorob. Kulturní služby jsou nehmotné zisky, které využíváme a poskytují nám estetické zážitky, možnosti rekreace i duchovní a náboženské hodnoty. Proto, aby nám mohly všechny ostatní služby poskytovat své produkty, je zapotřebí podpůrných služeb, které na rozdíl od jiných služeb mají dlouhodobý efekt a nemají na člověka přímý vliv. Mezi tyto služby patří tvorba půdy, koloběh živin či fotosyntéza (Reid et al. 2005; Patterson & Coelho 2009).

3.2.1. Služby poskytované tropickými deštnými lesy

Jedním z nejdůležitějších ekosystémů na Zemi jsou tropické deštné lesy, které zajišťují mnoho služeb. Mezi jejich hlavní funkce patří ukládání uhlíku a zmírnění sedimentace do vodních nádrží. Dále se podílejí na čištění vody a zachování úrodnosti půdy. Schopnost rostlin zachycovat CO₂ ze vzduchu je rozhodující pro

regulaci klimatu. Tropické lesy nabízí čtyři možná úložiště uhlíku: nadzemní a podzemní části rostlin, půdu a opad na zemi. Úrodnost půdy je zásadní pro biogeochemické procesy a umožňuje koloběhy látek jak v původním lesním porostu, tak v obdělvané půdě. Ochrana před sedimentací je nutná pro udržení kapacity vodních nádrží v dlouhodobém měřítku. V neposlední řadě jsou tropické lesy součástí systému, který zajišťuje vodu pro obyvatelstvo, díky jejich schopnosti čistit vodu.

Při přeměně lesního porostu na pastvinu, monokulturu eukalyptu, nebo městskou plochu dojde k zásadním změnám ve schopnosti tropických lesů poskytovat určité ekosystémové služby. Ve všech třech případech se sníží schopnost absorpce CO₂, nedochází ani k redukci sedimentace do vodních nádrží. Hodnoty týkající se udržení úrodnosti půdy se ale po přeměně lesa na jiný typ půdy téměř nezmění (Ditt et al. 2010).

Jednu z nejdůležitějších úloh hrají tropické deštné lesy v regulaci vody. Téměř 90% srážek, které sem dopadnou, vrací lesy vypařováním zpět do atmosféry (Maass et al. 2005) a tím přispívají k udržování koloběhu vody v přírodě. Vodu v řekách mohou lesy regulovat pomocí tří mechanismů. Jedním z nich je zachytávání vody korunami stromů, poté dochází k absorpci vody v opadu na zemi a nakonec se voda ukládá v půdě a do podzemních vod. Kapacita regulace vodního toku lesních ekosystémů se mění v závislosti na třech aspektech, typ vegetace, typ půdy a sklon.

Bylo zjištěno, že například porost z jehličnatých lesů, kde jsou převažujícím druhem borovice, je schopen regulovat pouze 71% vody z množství, které je schopen regulovat opadavý les s převahou dubů. Kapacita regulace vody se liší i mezi jednotlivými druhy půd, např. vápencová půda dokáže kontrolovat 81% vody z množství, které je schopna regulovat půda žluto-hnědá. Hodnota a typ služby jsou vlastnosti, které se mnohou lišit se změnou okolního prostředí. Tropické lesy poskytují různé služby, s jinou hodnotou, mění se podél proudu řeky. V horním toku, kdy má řeka nejrychlejší průtok může voda procházet přes hydroelektrickou stanici, kde se následně vyrábí elektřina. Ve spodnější části řeky se voda využívá na zemědělství a také jako pitná voda do měst (Guo et al. 2000).

V konečném důsledku může nepřímá hodnota služby, což je v tomto případě výroba elektřiny, poskytovat více ekonomických zisků, než přímé využití vody například v domácnosti (Guo et al. 2000).

3.2.2. Služby poskytované boreálními lesy

Kromě toho, že boreální lesy zajišťují zachování biodiverzity, kontrolu škůdců a možnost rekreace, jejich hlavní úlohou v poskytování ekosystémových služeb je ukládání uhlíku, regulace záplav a schopnost filtrování vody. Jejich vlastnost absorpce uhlíku je významnější, než se předpokládalo. Při porovnání s jinými typy lesů bylo zjištěno, že boreální ekosystémy obsahují zhruba stejné množství uhlíku jako temperátní a tropické lesy dohromady. Při ohodnocování poskytovaných služeb byla absorpce uhlíku na prvním místě, následovala regulace záplav a filtrace vody (Schindler & Lee 2010).

Lesy obecně hrají významnou roli v koloběhu vody, jsou schopny zachycovat srážky, či kontrolovat hromadění a tání sněhu. Boreální oblasti jsou také největším úložištěm povrchové vody, obsahují nejméně 60% vody na zemském povrchu (Schindler 2001).

V budoucnu se předpokládá, že boreální lesy budou jedním z nejvíce ohrožených území globálním oteplováním. Protože globální oteplování způsobuje tání metanových hydrátů v oceánech, zvyšuje se rychlost oteplování a tání ledovců zase zvyšuje oceánskou hladinu. Okyselení a saturace oceánů oxidem uhličitým snižuje jejich schopnost absorpce dalšího uhlíku z atmosféry a množící se CO₂ ve vzduchu posiluje skleníkový efekt a tedy opět globální oteplování (Schindler & Lee 2010).

Byl vytvořen model pro sledování vlivu globálního oteplování a zvýšené produkce na několik ekosystémových služeb lesů boreálního pásu. Potvrdil se předpoklad, že bude docházet k vyšší absorpci C, naopak ale modely neukázaly pozitivní korelaci mezi vyšší teplotou a znečištěním vody, které bylo zjišťováno pomocí obsahu dusíku. Některé druhy zvířete jsou závislé na krátce žijících rostlinách, při zvýšení doby růstu rostlin, kvůli zvýšení produkce, bude klesat diverzita těchto druhů (Weslien et al. 2009).

3.2.3. Služby poskytované lesy mírného pásma

Dalším typem lesního porostu, který poskytuje velké množství ekosystémových služeb, jsou lesy mírného pásma. Pokud nejsou takové oblasti chráněné, tak jsou hlavně využívány jako zdroj dřeva (Lara et al. 2009) a obživy. Zajišťují regulaci plynů, zejména emise kyslíku a fixaci CO₂, která je důležitá pro zmírnění skleníkového efektu. Kromě těchto dvou plynů lesy absorbují i oxid siřičitý (SO₂) a oxidy dusíku (NO_x), což prospívá lidskému zdraví. Rostoucí vegetace akumuluje živiny a přesouvá dusík, fosfor a draslík z půdy do biomasy rostlin. V opadu probíhá dekompozice, která zlepšuje strukturu a kvalitu půdy. Data jsou získána z Číny, z oblasti Pekingu, kde převládajícími druhy stromů jsou duby, zeravy, borovice, topoly, lípy, akáty a modříny (Gaodi et al. 2010).

Důsledkem ničení původních lesních porostů je ztráta důležitých ekosystémových služeb, které využívá společnost. Pozitivní korelace mezi původním lesním porostem a dostupností vody, na rozdíl od malého průtoku při přeměně na exotické plantáže. Studium mladých plantáží také ukazuje nižší půdní vlhkost a kvalitu vody a naopak nárůst absorpce a vypařování vody korunami stromů. Plantáže jsou naopak větším producentem dřeva (Lara et al. 2009).

Poznávání ekosystémových služeb je teprve na svém počátku. Je potřeba dále se zabývat procesy ve fungování ekosystémů, souvislostmi mezi biologickými stupni organizace, ekosystémovým kapitálem, abychom mohli lépe pochopit a ohodnotit služby, které nám ekosystémy poskytují a pomoci jejich zachování udržitelnou cestou (Naidoo et al. 2008).

3.3. Ohodnocení služeb ekosystémů

Přelomovou prací pro koncept služeb ekosystémů a jejich hodnocení byla práce autorů Costanzy a kolektivu z roku 1997. Autoři přišli s novým konceptem ekosystémových služeb. Vychází z již publikovaných studií i jejich vlastních výpočtů. Kromě samotné tržní hodnoty jednotlivých složek, uvažují i hodnotu, která není využitelná pro obchod. Určili hodnotu ekosystémových služeb na jednotku plochy biomu a poté tuto hodnotu vynásobili celkovou plochou každého biomu. Robert Costanza a jeho spolupracovníci vyčíslili hodnotu 17- ti ekosystémových služeb z 16 - ti biomů na 33 mld. dolarů ročně. Předpokládají, že

pokud bude v budoucnu docházet k dalšímu čerpání služeb bez možnosti jejich obnovy, bude jejich hodnota nadále růst. I přes své nedostatky (nedostatek dat, některé služby nejsou zahrnuty) nám tento přístup dává představu o hodnotě ekosystémů a je kostrou pro další analýzy (Costanza et al. 1997).

4. Současný koncept ekologické stopy

4.1. Definice a využití

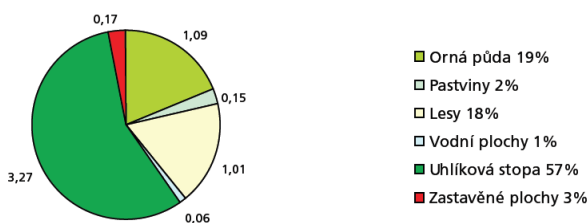
Ekologická stopa (ES) je indikátor, který kvantifikuje intenzitu spotřeby přírodních zdrojů a požadavků na asimilaci odpadu. Ekologická stopy měří plochu biologicky produktivní země a vod, jež populace využívá k vytváření zdrojů, které konzumuje a k absorpci odpadů pomocí běžných technologií (Wackernagel et al. 1996)

Koncept ekologické stopy je aplikovatelný v mnoha směrech. Používá se pro výpočet celkové ekologické stopy populace, v menším měřítku pro města či regiony. Národní účty jsou často považovány za nejvíce kompletní a byly vypočítány pro mnoho zemí. Pro některé i mnohokrát, více různými metodami (Kitzes et al. 2009).

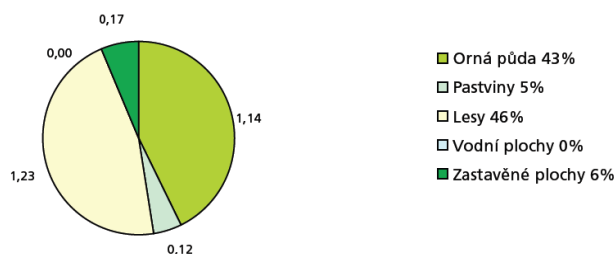
Ekologická stopa České republiky v roce 2007 činila 5.75 gha na osobu. Pro srovnání, v roce 2005 to bylo 5.47 gha na osobu. Je tedy patrný nárůst ekologické stopy. Dostupná biokapacita pro Českou republiku (obr. 3) dosahovala 2.67 gha na osobu v roce 2007. O dva roky dříve to bylo více, 2.74 gha na osobu. Rozdíl mezi ekologickou stopou a biokapacitou byl okolo 3 gha. Česká republika tedy patří mezi globální ekologické dlužníky, její ekologická stopa překračuje biokapacitu a musí biokapacitu „dovážet“ ze světa.

Obrázek 2 ukazuje podrobné složení ekologické stopy pro ČR. Hlavní složkou ekologické stopy je tzv. uhlíková stopa, což je prostor, který je potřeba pro asimilaci oxidu uhličitého. Tento fakt souvisí s velkou spotřebou fosilních paliv u nás.

Obr. 2. Ekologická stopa ČR. Převzato z Global Footprint Network, data za rok 2007



Obr. 3. Biokapacita ČR. Převzato z Global Footprint Network, data za rok 2007



Oblíbeným nástrojem je také výpočet osobní ekologické stopy, který je dostupný na internetových stránkách: <http://www.hraozemi.cz/>. Člověk si zde může spočítat, zda je jeho životní styl udržitelný či nikoliv. Odhad spočívá ve vyplnění dotazníku skládající se z pěti kategorií - bydlení, potraviny, doprava, zboží a služby. Výsledek se poté porovnává s dostupnou biokapacitou.

Obr. 4. Náhled českého kalkulátoru ekologické stopy. Převzato z <http://www.hraozemi.cz/>



4.2. Přírodní kapitál

Jak již bylo řečeno, lidská spotřeba je závislá na přírodě a tedy na jejím kapitálu - zdrojích. Přírodní zdroje byly dříve definovány jako biotická a geologická zásoba vytěžitelných prostředků pro ekonomické využití. Novější pohled ukazuje přírodní kapitál jako výnos vycházející z ekosystémových služeb, tedy výhod, které lidé získávají přímo nebo nepřímo z ekosystémů (Lant et al. 2008).

Zásoby přírodního kapitálu se zmenšují, proto se stává limitujícím faktorem lidského blahobytu i ekonomické udržitelnosti. Jeho obnova je tedy nezbytná nejen jako opatření proti destrukci ekosystémů, proto by se měla stát společným tématem pro dialogy mezi ekologickými inženýry a ekonomy (Aronson et al. 2007).

4.3. Ekologicky produktivní plocha

Přírodní kapitál je produkován ekologicky produktivní plochou, kterou počítá koncept ekologické stopy. Biologicky aktivní neboli bioproduktivní plocha zahrnuje všechny prostor přispívající k biokapacitě tím, že poskytuje takové množství biomasy, které je ekonomicky využitelné. Celkově tato plocha zahrnuje 11.4 mld. ha naší Země. Patří sem lesy, pole, nebo pastviny, plocha naopak nezahrnuje trvale zamrzlá území, ani krajinu, která byla zničena (Wackernagel et al. 2004).

Lze vypočítat, jak velkou plochu této země má každý její obyvatel k dispozici. Vychází se jednak z celkové rozlohy pevniny na Zemi. Povrch planety zahrnuje 51 mld. hektarů. Pevnina zaujímá rozlohu 13.1 mld. ha, z toho je ekologicky produktivní půda 8.9 mld. ha. Zbylých 4.2 mld. ha pevniny představují pouště, mokřady, které nejsou pro nás využitelné. Do produktivní plochy se započítává i 2.5 mld. ha, které tvoří mořské a vnitrozemské rybářské oblasti. Z velikosti ekologicky produktivní plochy musíme ale odečíst prostor, který je nutno zachovat nedotknutelný, mimo jiné pro zachování biodiverzity (Wackernagel et al. 1996).

Komise WCED doporučila, že přinejmenším 12% (tj. 2 mld. ha) zemského povrchu by mělo zůstat vyčleněno pro ochranu biodiverzity a globální ekologické stability. V současné době je celosvětově chráněno pouze 500 milionů hektarů (Rábelová & Třebický 2000).

V roce 1900 připadalo na každou osobu 5.6 ha produktivní země, v roce 1950 už to byly jen 3 ha a v roce 1995 tato plocha představovala 1,5 ha pro každého (Wackernagel et al. 1996).

Pokud se na ekologickou stopu podíváme z druhé strany, můžeme se ptát, jak máme žít a kolik můžeme zkonzumovat, abychom nepřekročili náš „životní prostor“, tedy 1.5ha (Wackernagel et al. 1996).

4.4. Výpočet ekologické stopy

Ekologická stopa měří plochu biologicky aktivní země a vody, jež populace využívá k vytváření zdrojů, které konzumuje a k absorpci odpadů pomocí běžných technologií.

Výpočet ekologické stopy lze provádět dvěma základními způsoby. Jeden z nich zkoumá zdroje odebrané z přírody (například dřevo nebo obilí), ze kterých se vyrábí předměty spotřeby (jídlo, oblečení, atd.), jmenuje se sdružená metoda (compound method). Druhý způsob nazývaný složková metoda (component method) je zaměřen na jednotlivé kategorie spotřeby ve formě hotových výrobků. Způsoby jsou trochu odlišné proto, že na různých úrovních (regionální, národní, globální) jsou dostupná jinak podrobná data. Pro národní výpočet bereme v úvahu spotřebu pšenice, u konkrétního jedince počítáme s hotovým výrobkem, což je chléb. (Monfreda et al. 2004).

Pro výpočet se plocha pevnin rozděluje do šesti skupin:

- a) Zemědělská půda (Cropland)
- b) Pastviny (Pasture)
- c) Lesy (Forest)
- d) Oceány (Ocean cover) – Rybářské oblasti

e) Zastavěná plocha (Built-up land)

f) Plocha pro energii (Energy land)

Ad f) Patří sem hlavně lesy (65%), méně vodní plochy (35%), které dohromady asimilují CO₂ vzniklý spálením fosilních paliv (Wackernagel & Yount 1998).

Rozlohu jednotlivých typů půd uvádí tabulka 2.

Tab. 2. Rozloha jednotlivých typů ploch na Zemi. Upraveno podle Mofreda et al., 2004, FAO

Typ půdy	Rozloha (mld. ha)
Zemědělská půda	1.5
Pastviny	3.5
Lesy	3.8
Rybářské oblasti	2.3
Zastavěná plocha	0.3

Abychom mohli udělat tento výpočet v souladu s globálním měřítkem, hodnoty získané pro každý typ země jsou převedeny do globálních hektarů (gha). Globální hektar je standardizovaná jednotka biologicky produktivní země, jejíž potenciál produkovat využitelnou biomasu je roven světovému průměru v produktivitě. Standardizace se dělá pomocí ekvivalentních faktorů, kam patří samotný ekvivalentní faktor a faktor výnosu (Scotti 2009).

Každá z těchto položek reprezentuje plochu v hektarech, která je potom vynásobena jejím ekvivalentním faktorem, abychom získali velikost plochy v globálních hektarech (Scotti 2009). Ekvivalentní faktory jsou v tabulce 3.

*Ekologická stopa (gha) = Plocha (ha) * Ekvivalentní faktor (gha/ha)*

Tab. 3. Ekvivalentní faktory jednotlivých typů pevniny, upraveno podle WWF (2006)

Bioproduktivní plocha	Ekvivalentní faktor (gha/ha)
Primární orná půda	2.21
Marginální orná půda	1.79
Lesy	1.34
Pastviny	0.49
Mořská loviště ryb	0.36
Vnitrozemská loviště ryb	0.36
Zastavěná plocha	2.21
Průměrná světová produktivita	1.00

Ekvivalentní faktor (EF) ukazuje průměrnou roční produktivitu daného typu půdy v poměru ke světové průměrné produktivitě všech bioproduktivních ploch.

Pro příklad EF orné půdy 2.21 znamená, že 1 světově průměrný hektar orné půdy je 2.21 krát produktivnější než 1 světově průměrný hektar jakékoliv produktivní půdy.

Výpočet ekologické stopy pro každý typ plochy je souhrn ekologických stop všech produktů, které jsou produkovány na této ploše. Pro příklad uvádím zemědělskou půdu, jejíž ekologická stopa zahrnuje obilniny, bavlnu, zpracované oleje i krmivo pro domácí zvíř (Třebický & Lupač 2008).

Ekologická stopa pro tyto produkty vyjadřuje biologickou a technickou kapacitu, která je potřeba pro jejich produkci. Je použita průměrná světová sklizeň (Monfreda et al. 2004).

$$Plocha (ha) = \frac{[Produkce + Import - Export (t)]}{Sklizeň (t/ha)}$$

Průměrné roční zisky různých položek na osobu se získávají z národních dat a vědeckých agentur, které rozdělují celkovou spotřebu podle velikosti populace, např. FAO .

Je potřeba poznamenat, že výpočet ekologické stopy zahrnuje pouze plochu, která je potřeba pro vyprodukování primárních (krmivo pro dobytek) či sekundárních (maso z chované zvěře) produktů, ale nezahrnuje další potencionální vlivy na ztrátu bioproduktivity. Ideálně by měl výpočet zahrnovat také například znečištění vody z chovů domácích zvířat. V nynějších odhadech tyto aspekty chybí, kvůli nedostatku dat. Toto je jedním z důvodů, proč jsou naše odhady požadavků na přírodu podhodnoceny (Wackernagel & Yount 1998).

Pro výpočet biokapacity, což je celkové množství bioproduktivních ploch, vyjádřené také v globálních hektarech, používáme faktor výnosu (FV). Faktor výnosu je specifický pro určitý typ půdy a stát, ukazuje poměr mezi lokální bioproduktivitou daného typu půdy a globálním průměrem produktivity pro stejný druh bioproduktivní plochy.

*Biokapacita (gha) = Plocha (ha) *Ekvivalentní faktor (gha/ha)* Faktor výnosu*

Faktor výnosu reflektuje převažující technické a řídicí techniky jednotlivých států. Pro každou zemi je FV velmi různý, liší zejména mezi státy, které se rozprostírají přes velké množství klimatických pásem jako je např. Kanada (Monfreda et al. 2004).

Tab. 4. Faktory výnosu pro ČR. Upraveno podle Global Footprint Network, National Footprint Accounts, 2006 Edition, Czech Republic

	Jednotka výnosu	Výnos - ČR	Výnos - svět	Faktor výnosu pro ČR
Primární orná půda	1000 ha	2874.0	2102.0	1.37
Marginální orná půda	1000 ha	800.7	529.0	1.51
Neobdělávaná orná půda	1000 ha			1.37

TTP (pastviny)	tuny sušiny/ha/rok		2.2	2.17
Lesy	m ³ /ha/rok	7.8	1.8	4.33
Moře, oceány				1.00
Vnitrozemské vodní plochy	kg/ha/ rok	149.4	70.7	2.11

Při porovnání ekologické stopy a biokapacity zjistíme, zda je přírodní kapitál schopen zabezpečovat veškerou naši spotřebu. Pokud je ekologická stopa státu větší, než jeho biokapacita mluvíme o tzv. ekologickém deficitu. Tento schodek může být realizován dvěma způsoby. Jednak může země importovat biokapacitu z jiných zemí, neboli se jedná o ekologický obchodní deficit (ecological trade deficit), nebo dochází k likvidaci přírodního kapitálu, což znamená ekologické přestřelení (ecological overshoot), (Monfreda et al. 2004).

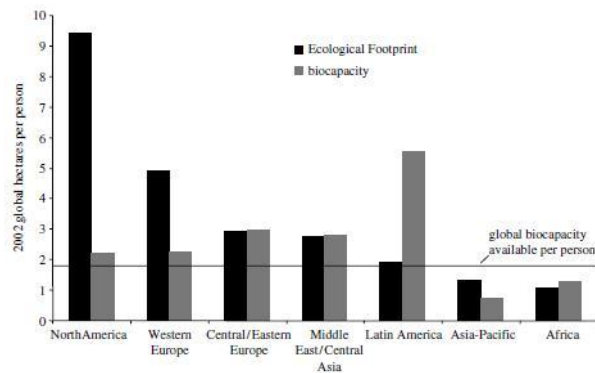
Deficit můžeme spočítat následujícím způsobem:

$$\text{Ekologický deficit (gha)} = \text{Biokapacita (gha)} - \text{Ekologická stopa (gha)}$$

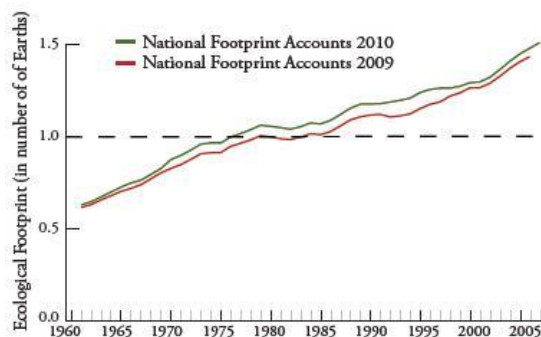
Ekologická stopa tedy porovnává produkci ekosféry a naši spotřebu. Naznačuje, že naším cílem je život v mezích nosné kapacity prostředí a ukazuje, jak blízko jsme k dosažení maxima našich zdrojů. Pomáhá nám stanovit ekologická omezení, abychom mohli formulovat taktiku pro snižování tzv. overshootu (překročení limitů) a mohli monitorovat vývoj k dosažení udržitelnosti - redukce konzumace, zlepšení technologií, změny v chování (Wackernagel et al. 1996).

Na obrázku č. 5 je příklad obyvatel ze severní Ameriky či západní Evropy. Vidíme, že kdyby žili všichni lidé na světě stejně jako oni, potřebovali bychom dalších 3-5 planet na uspokojení našich potřeb při používání stávajících technologií (Kitzes et al. 2008).

Obr. 5. Ekologická stopa a biokapacita vybraných států. Převzato z Kitzes et al., 2008



Obr. 6. Vyjádření světové ekologické stopy v letech 1960-2005 v počtu planet. Převzato z Global Footprint Network, Ecological Footprint Atlas 2010



Naše požadavky rostou neúměrně rychleji, než jaká je biokapacita Země. V roce 2002 tato spotřeba překračovala regenerativní kapacitu Země o 23%. Znamená to, lidé využili během tohoto roku obdobu roční produkce jednoho a čtvrt povrchu naší planety. Jinými slovy by biosféra potřebovala rok a tři měsíce k obnovení svých zdrojů použitých v roce 2002. Jak je vidět z grafu na obrázku č. 6, k překročení hranice jedné planety došlo v 80. letech 20. století a křivka naší spotřeby dále stoupá.

Tento jednoduchý odhad ukazuje, že dnešní spotřební postupy v ekonomice nejsou udržitelné. Pokud chceme dále dosahovat většího ekonomického růstu, jako hlavního nástroje pro sociální postup, musíme vyvinout takové technologie,

kteří budou poskytovat stejné množství servisu, ale s menší spotřebou jak energie, tak materiálu (Wackernagel et al. 1996).

Existuje velký rozdíl ve velikosti ekologické stopy mezi industriálními a rozvíjejícími se zeměmi (viz tabulka 5), (Wackernagel et al. 1996).

Tab. 5. Ekologická stopa, biokapacita a ekologický deficit vybraných států. Upraveno podle WWF, 2006; Syrovátka, 2007

Země	Biokapacita (gha/ha)	Ekologická stopa (gha/ha)	Ekologický deficit (-) nebo rezerva (+) (gha/ha)
ČR	2.6	4.9	-2.3
EU- 23 a	2.2	4.8	-2.6
USA	4.7	9.6	-4.8
Japonsko	0.7	4.4	-3.6
Čína	0.8	1.6	-0.9
Madagaskar	2.9	0.7	+2.2
Brazílie	9.9	2.1	+7.8
Svět	1.78	2.23	-0.45

Poznámka: a: EU-23 nezahrnuje Rumunsko a Bulharsko (v době sestavování zprávy nebyly členy Evropské unie) a Kypr a Maltu (ukazatele byly počítány pouze pro země s více než jedním milionem obyvatel; nicméně zahrnuje Lucembursko, které je přiřazeno k Belgii); čísla v posledním sloupci nemusí odpovídat kvůli zaokrouhlování.

Na příkladu zesíleného skleníkového efektu díky vypouštění skleníkových plynů do ovzduší, je vidět rozdíl mezi státy, které vypouští odpad a státy, které jsou tím ovlivněny. Látky znečišťující prostředí se mohou přesouvat vzduchem na obrovské vzdálenosti od zemí, které je produkují, až do těch států, které nevypouštějí žádné. Mezi producenty patří hlavně průmyslové země, naopak ti, kteří vliv nárůstu teploty pocítují nejvíce, žijí v chudých oblastech. Změna

klimatu se může projevit nejen ve zvýšené teplotě, ale také například ve zvedající se hladině moře, či rozšíření závažných onemocnění jako malárie (Wackernagel et al. 2004).

Při výpočtu národní ekologické stopy je potřeba mít na paměti několik předpokladů. Jedním z nich je dostupnost dat ohledně množství spotřebovaných zdrojů a vygenerovaných odpadů za rok. Tato data musí být převoditelná do standardizovaných jednotek- globálních hektarů a nakonec musíme být schopni porovnat lidské požadavky s dostupnou biokapacitou země (Monfreda et al. 2004).

4.4.1. Nedostatky a nové trendy

Autoři konceptu si byli vědomi toho, že výpočet ekologické stopy má své nedostatky a chyby. Jak již bylo zmíněno výše, některé požadavky, jako eroze půdy nebo uvolňování toxinů do prostředí nejsou zahrnuty do výpočtu ekologické stopy. Vede to k podcenění naší poptávky po přírodních zdrojích. Při kalkulaci ekologické stopy se počítá s tím, že nynější zemědělské praktiky jsou udržitelné, i když tomu bohužel tak není. Výpočet zahrnuje pouze základní služby ekosystému a nepočítá dvakrát jednu plochu, i v případě, že poskytuje více zdrojů. (Wackernagel & Rees 1996). Tato omezení jednak znemožňují získat co nejpresnější informace, ale na druhé straně umožňují, aby byl koncept ekologické stopy jednoduchý a použitelný (Wackernagel et al. 1996, Monfreda et al. 2004). Chyby ve výpočtu také vychází z nedostatku dostupných dat o fungování rostlin, společenstev a ekosystémů, proto je potřeba dalších zkoumání v této oblasti.

Původně byl koncept formulován jako nástroj pro výpočet přírodních zdrojů využívaných pro udržení stávajících životních podmínek. Dnešní zdokonalení metody nám umožňuje aplikace výpočtu na všechny produktivní systémy, kde výsledná hodnota ekologické stopy reprezentuje tlak na prostředí vytvořený aktivitami, které jsou potřebné k výrobě konečných produktů. Příkladem může být využití výpočtu ekologické stopy v produkci nektarinek (Cerutti et al. 2010).

V dnešní době, množících se výpočtů a aplikací, dochází k přehodnocování původní verze konceptu. Mezi hlavní nedostatky konceptu, které vedou ke

změnám, patří fakt, že do výpočtu nejsou zahrnuty důležité přírodní plochy, které nejsou na první pohled dobře využitelné. Také ekvivalentní faktor je počítán na základě zemědělské produktivity, zatímco nové metody počítají s čistou primární produkcí. Nový postup (Venetoulis & Talberth 2008) také umožňuje mnohonásobné počítání jedné plochy, pokud poskytuje více zdrojů a u plochy pro energii bere v úvahu rozdílné rychlosti absorpce CO₂ lesů a oceánů.

Koncept ekologické stopy nabízí jednoduchý a intuitivní odhad vstupů do produkce, avšak selhává při posouzení udržitelnosti spotřeby a to i přes to, že k takovému účelu byl vytvořen. Mezi jeho nedostatky patří nezahrnutí emisí jiných skleníkových plynů než oxidu uhličitého, či přehlížení problémů vyplývajících z degradace půdy. Myšlenka ekologické stopy je celkově statická a nemůže pojmut technologické změny. Pro stanovení udržitelnosti existují lepší metody založené na měření degradace půdy, nebo nahromadění CO₂ ve vzduchu (Fiala 2008).

Kritika konceptu ekologické stopy vychází z také faktu, že nedostatečně odráží všechny vlivy člověka na životní prostředí. Autoři van den Bergh J. a Grazi F. také nesouhlasí s tím, že velikost plochy, kterou stát využívá, by neměla být větší, než určují jeho hranice, jak předpokládají autoři konceptu ekologické stopy. Je zřejmé, že hranice států mají své historické kořeny a že ve všech zeměpisných podmínkách na Zemi nejsou stejné podmínky. Proto je obchod mezi jednotlivými zeměmi nezbytný a přirozený (van den Bergh & Grazi 2010).

Nová zdokonalení konceptu by měla umět rozlišit mezi udržitelným a neudržitelným zacházením s půdou, nebo ohodnotit rovnováhu ekologické kapacity mezi dovozem a vývozem, to znamená při obchodování s neudržitelností počítat, ale nepředpokládat, že samotný obchod je neudržitelný (van den Bergh & Grazi 2010).

4.4.1.1. Národní účty

Dnes nejpoužívanější metoda pro výpočet národní ekologické stopy je National Footprint Accounts, která byla vyvinuta sítí organizací Global Footprint Network. Stále probíhá proces zlepšování a zpřesňování těchto účtů. Mnohá vylepšení

odpovídají i na kritiky metody ekologické stopy (van den Bergh & Verbruggen 1999). Zdokonalení se týká mnoha složek, které výpočet zahrnuje. Diskutuje se o přesnosti výsledků, které jsou závislé na dostupnosti dat. Není jasné, zda jsou vhodně zvolené a vůbec potřebné nové jednotky - globální hektary. Je otevřena i možnost zahrnutí nových typů půdy do výpočtu ekologické stopy (Kitzes et al. 2009).

Vývoj indikátorů trvalé udržitelnosti je nezbytný a ekologická stopa není výjimkou. Jeho změny ale musí probíhat tak, aby výsledky účtů zůstaly použitelné a byly i dále významné pro aplikaci do praxe.

5. Typy porostu a jejich primární produkce

5.1. Primární produkce

Rostliny pro svůj život potřebují mnoho živin, jednou z nich je i uhlík. Asimilovaný uhlík, který není spotřebován na dýchání, se ukládá do těla rostliny. Tím, že zvyšuje její hmotnost, narůstá biomasa rostliny a tomuto procesu se říká produkce sušiny, neboli produktivita. Produktivita vyjadřuje přírůstek sušiny za jednotku času v produkčním období. Je ovlivněna mnoha faktory. Význam má jednak morfologický a fyziologický stav rostliny, ale svoji roli hrají také vnější podmínky, dostatek světla, dopadající záření, optimální teplota. Srážky jsou hlavním kontrolním mechanismem v celosvětovém měřítku, naopak dostupnost živin hraje roli v lokálním systému. Využívání asimilátů a rychlost růstu se liší mezi jednotlivými typy rostlin – řasy, jednoletky, trvalky a stromy.

Množství sušiny vytvořené vegetačním pokryvem na dané ploše se nazývá čistá primární produkce (PP). Vyjadřuje se v t/ ha nebo g/ m² půdy.

Rostlina ale nevyužívá veškerý přijatý uhlík na produkci biomasy. Určité množství spotřebovává na dýchání. Veškeré množství CO₂, který rostlina fixuje procesem zvaným fotosyntéza, tvoří hrubou primární produkci. Po odečtení množství biomasy potřebné na zajištění dýchání zůstává čistá primární produkce (NPP), (Larcher 1988). Čistá primární produkce určuje množství energie dostupné pro přesun z rostlin do dalších úrovní potravního řetězce v ekosystémech (Haberl

et al. 2007). Tato biomasa je částečně uložena v tělech rostlin, část je spasena zvěří, a část opadáva.

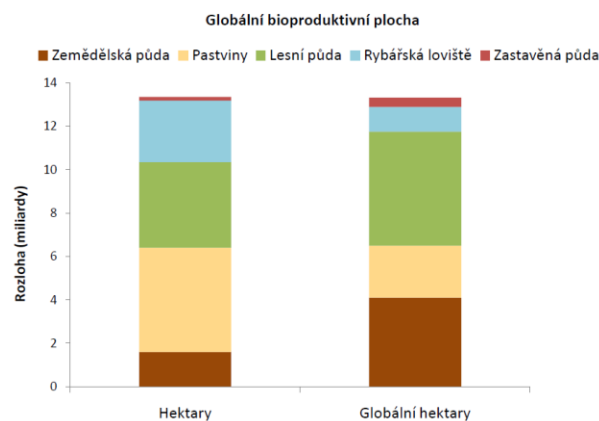
Nejvyšší produkce dosahují společenstva vyskytující se v mělkých vodách blízko pobřeží, v oblastech korálových útesů, v deštných lesích, apod. Vysoká čistá primární produkce se měří v tropech a ve vnitrozemských vodách v pásmu mezi 40°-60° severní a jižní šířky, kde mají rostliny optimální podmínky pro svůj růst. Většina povrchu země vykazuje pouze střední produkci (Larcher 1988).

5.2. Reálné a globální hektary

Pro nás jsou zajímavá data o kategoriích půdy, které se vyskytují ve výpočtu ekologické stopy -zemědělská půda, pastviny, lesy, zastavěná půda, rybářské oblasti.

V reálných hektarech je rozloha jednotlivých typů půdy odlišná od velikosti ve standardizovaných jednotkách - globálních hektarech. Plocha ve skutečných hektarech se vynásobí ekvivalentními faktory (viz výše) a tím se získá rozloha v globálních hektarech, jak ukazuje obrázek č. 7.

Obr. 7. Relativní plocha šesti kategorií půd na světě v hektarech a globálních hektarech v roce 2005. Převzato z Ewing et al., 2009



Tento graf odráží skutečnost, že pokud je zemědělská půda více produktivní, než je průměrná produkce bioproduktivní plochy, její ekvivalentní faktor je 2.21, je jí přiřazeno i více globálních hektarů, než třeba pastvinám, které jsou naopak méně produktivní než světový průměr. Jednotlivé typy půd a jejich průměrná primární produkce jsou shrnuty v tabulce č. 6.

Tab. 6. Čistá primární produkce využívaná člověkem. Upraveno podle <http://www.globalchange.umich.edu/globalchange1/current/lectures/kling/energyflow/energyflow.html>

Typ půdy	NPP (Pg) využívaná člověkem
Zemědělská půda	15.0
Pastviny	11.6
Lesy	13.6
Zastavěná plocha	0.4
Terestrická plocha celkem	40.6
Vodní ekosystémy	2.0
Celkem	42.6

Poznámka: Pg neboli Petagram odpovídá 10^9 tun.

Celkové množství 42.6 Pg čisté primární produkce spotřebované za rok odpovídá 19% celosvětové NPP. Je potřeba si uvědomit, že toto obrovské množství biomasy využívá pouze jeden živočišný druh – člověk. (<http://www.globalchange.umich.edu/globalchange1/current/lectures/kling/energyflow/energyflow.html>).

5.3. Popis jednotlivých typů půd

Zemědělská půda - zajišťuje pěstování veškerých plodin, včetně krmiva pro dobytek a je nejvíce bioproduktivní. Tato půda je více než dvakrát produktivnější než stejná plocha, která by patřila do jiné kategorie. Odpovídá tomu i počet globálních hektarů, který je větší než množství reálných hektarů, které tato plocha zaujímá (viz obr. 7), (Ewing at al. 2009). Rozlišujeme dva druhy zemědělské půdy. Jedná se o primární zemědělskou půdu a nepříliš úrodnou půdu. Druhý typ půdy vykazuje menší produktivitu a pěstují se zde plodiny jako proso, olivy, nebo krmivo pro dobytek (Monfreda et al. 2004).

Pastviny - zatravněné plochy permanentně využívané k pastvě dobytka, ze kterého posléze získáváme maso, mléko, nebo kůži. Data o pastvinách se získávají z tropů, mírného pásma i aridních oblastí, tedy z velmi různorodých končin světa. Je možné z nich získat prvotní přehled o tomto typu půdy, ale je potřeba dalšího zkoumání k získání podrobnějších a spolehlivějších dat, zvláště v oblastech s vysokou, nebo naopak nízkou produktivitou, jako například oblast Sahelu v subsaharské Africe (Monfreda et al. 2004). Potenciální produktivita pastvin je nižší než u zemědělské půdy, což vyplývá z faktu, že nejvíce produktivní půda se využívá více na pěstování než na pastvu (Haberl et al. 2007).

Lesy - ekologická stopa se získává z údajů o roční těžbě surového a palivového dřeva. Palivové dříví zahrnuje dřevěné uhlí a ze surového dřeva se vyrábí například papír (Monfreda et al. 2004). Tato plocha zahrnuje kromě půdy pro lesní produkty i půdu pro vázání CO₂ a rezervaci biodiverzity. Kvůli nedostatečným údajům se mezi těmito kategoriemi nerozlišuje a ekologická stopa se počítá celkově pro lesní půdu. Za zmínku stojí, že půda pro vázání uhlíku se jako jediná věnuje asimilaci odpadu, tedy CO₂ a je největším přispěvatelem k současné celkové ekologické stopě lidstva (Ewing et al. 2009).

Rybářské oblasti - většina mořského rybolovu se uskutečňuje v kontinentálních šelfech. Tato plocha představuje 2 mld. ha a i přes to, že je to minimum z celkové rozlohy oceánů (36.3 mld. ha), tak poskytuje přes 95% úlovku mořských ryb. Vnitrozemské vody přispívají dalšími 0.3 mld. ha vodní plochy pro rybolov. Největší změny v rozloze zaznamenávají rybářské oblasti, jejichž rozloha se zmenšila z 3.1 mld. ha na 2.3 mld. ha (Monfreda et al. 2004).

Zastavěná půda - zahrnuje plochu půdy pokrytou lidskou infrastrukturou, bydlením, dopravou, průmyslovými stavbami. Uvádí se, že zastavěná půda má stejný ekvivalentní faktor jako zemědělská půda, protože lidská stavení zabírají půdu, která by se původně mohla využívat na zemědělství. Toto domněnka vychází z pozorování, že lidská sídla se staví ve velmi úrodných oblastech (Monfreda et al. 2004).

6. Ekologická stopa a trvale udržitelný rozvoj

Jak bylo řečeno dříve, koncept ekologické stopy nám pomáhá najít cestu směrem k udržitelnému rozvoji. Udržitelnost je rozdělena na dva typy, „silná“ a „slabá“. Oba směřují k nejlepšímu možnému způsobu života pod hranicí biokapacity Země. Silná udržitelnost předpokládá nenahraditelnost přírodního kapitálu, tedy jeho esenciální význam pro život. Za cíl si klade udržení přírodního kapitálu nezávisle na vývoji kapitálu vytvořeným lidmi. Na druhé straně slabá udržitelnost předpokládá, že lidský kapitál může být schopen nahradit ten přírodní, neklade tedy takový důraz na zachování přírodního kapitálu a nejlepší možností pro dosažení lidského blahobytu je, podle druhého typu udržitelnosti, kombinace obou kapitálů dohromady (Monfreda et al. 2004).

Trvale udržitelný rozvoj je koncipován tak, aby bral ohled nejen na přítomný stav věcí, ale hlavně na budoucnost. Jeho klíčová role spočívá ve spojení hospodářského rozvoje a ochrany životního prostředí. Nejde o to, zvyšovat spotřebu zdrojů, ale zefektivnit jejich využití. Je uskutečňován v pěti odvětvích: průmysl, energetika, doprava, turismus a cestovní ruch a zemědělství (Moldan 2003).

Koncept ekologické stopy patří mezi indikátory trvale udržitelného rozvoje. Vznik takových indikátorů iniciovala potřeba udržitelnost nějakým způsobem měřit. Bylo vytvořeno velké množství indikátorů a to jak na úrovni ekonomické, např. HDP, tak sociální, např. míra nezaměstnanosti, a také samozřejmě indikátory týkající se životního prostředí. Indikátory jednak kvantifikují informace, což vede k větší srozumitelnosti jejich významu a také zjednodušují informace, tedy usnadňují komunikaci. Kromě toho, že musí být pochopitelné a srovnatelné a také by měly být užitečné pro jejich uživatele. Charakteristických rysů indikátorů existuje celá řada.

Tradice problematiky indikátorů týkajících se životního prostředí v České republice začala v roce 1993. Oficiálním a hlavně viditelným způsobem byla zahájena publikací „Zprávy o stavu životního prostředí v ČR v roce 1993“,

vydané pod záštitou ministerstva životního prostředí, a to zahrnutím systému indikátorů životního prostředí používané předtím již v OECD (Moldan 1996).

7. Závěr

Koncept ekologické stopy měří plochu ekologicky produktivní země a vody potřebné k produkci spotřebovaných zdrojů a asimilaci vzniklých odpadů této populace používající běžné technologie. Historie otázek týkajících se společnosti, jejího vztahu k přírodním zdrojům, vlivu člověka na přírodu apod. sahá daleko do dávné minulosti a domnívám se, že je velice zajímavá a inspirativní. I přes to, že je koncept ekologické stopy zajímavý a užitečný, slouží více jako představa ohledně spotřeby lidské populace a jejich vlivů na životní prostředí. V současné době se vyvíjejí jeho modifikace, které lépe odpovídají dnešním požadavkům a novým poznatkům v této oblasti. Pro určení hodnoty ekologické stopy je potřeba znát mnoho údajů, které vyplývají mimo jiné z fyziologické znalosti rostlin. Rostliny mají také obrovský význam v poskytování ekosystémových služeb, které jsou nezbytné pro náš život. Bližší poznání a ohodnocení těchto služeb snad povede kromě jiného k zachování ekosystémů.

8. Použitá literatura

Aronson J., Blignaut J.N., Milton S.J., Clewell A.F., 2006. Natural capital: The limiting factor, *Ecological Engineering*, Vol. 28, No. 1.: 1-5

Carson R., 1962. *Silent spring*, Hamish Hamilton Ltd, London

Cerutti A. K., Bagliani M., Beccaro G.L., Bounous G., 2010. Application of Ecological Footprint Analysis on nectarine production: methodological issues and result from a case study in Italy, *Journal of Cleaner Production*, 18: 771-776

Costanza R., Daly H.E., 1992. Natural capital and sustainable development, *Conservation Biology*, Vol.6, No. 1

Costanza R., dArge R., deGroot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., vandenBelt M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, Vol. 387:253 – 260

Daily C. G., 1997. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*, Island Press, Washington DC

de Groot R.S., Wilson A. M., Boumans Roelof M.J., 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services, *Ecological Economics*, 41: 393–408

Ditt E. H., Mourato S., Ghazoul J., Knight J., 2010. Forest conversion and provision of ecosystem services in the Brazilian Atlantic Forest, *Land Degrad. Develop.*, 21:591-603

Ewing B., A. Reed, Rizk S.M., Galli A., Wackernagel M., Kitzes J., 2009. *Metodika výpočtu národních účtů ekologické stopy*, vydání z roku 2008, Global Footprint Network, Oakland a Centrum pro otázky životního prostředí UK, Praha

Fiala N., 2008. Measuring sustainability: Why the ecological footprint is bad economics and bad environmental science, *Ecological Economic*, 67: 519-525

Global Footprint Network, *National Footprint Accounts*, 2006 Edition, Czech Republic

Haberl H., Erb K. H., Krausmann F., Gaube V., Bondeau A., Plutzer Ch., Gingrich S., Lucht W., Fischer-Kowalski M., 2007. Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems, *PNAS*, Vol. 104, No. 31: 12942–12947

Holdren J.P., Ehrlich P.R., 1974. Human population and the global environment, *American Scientist*, 62 (3):282-92

Kitzes J., Wackernagel M., Loh J., Peller A., Goldfinger S., Cheng D., Tea K., 2008. Shrink and share: humanity's present and future Ecological footprint, *Philosophical Transaction of The Royal Society B*, 363:476-675

Kizes J., Galli A., Baglianic M., Barrettd J., Dige G., Edef S., Erbg K., Giljumb S., Haberlg H., Hailsi Ch., Jolia-Ferrierj L., Jungwirthk S., Lenzenl M., Lewism K., Lohn J., Marchettinib N., Messingero H., Milnek K., Molesp R., Monfredaq Ch., Moranr D., Nakanos K., Pyhälät A., Reesu W., Simmons C., 2009. A research sganda for improving national Ecological Footprint accounts, *Ecological Economics*, 68: 1991-2007

Kušková P., 2000. Ekologická stopa České republiky. Diplomová práce. Ústav pro životní prostředí, Universita Karlova v Praze, Praha

Lant L. Ch., Ruhl J.B., Kraft S. E., 2008. The tragedy of ecosystem, *BioScience*, Vol. 58, No. 10: 969-974

Lara A., Little C., Urrutia R., McPhee J., A´lvarez-Garretó´n C., Oyarzu´n C., Soto D., Donoso P., Nahuelhual L., Pino M., Arismendi I., 2009. Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile, *Forest Ecology and Management*, 258:415–424

Larcher W., 1988. Fyziologická ekologie rostlin, překlad RNDr. Václav Bauer, CSc., Academia, Praha

Leopold A., 1995. Obrázky z chatrče a jiné rozmanité poznámky, Abies, Tulčík

Lieth H., Whittaker H. R., 1975. Primary productivity of the biosphere, Springer-Verlag, New York

Maass J., Balvanera P., Castillo A., Daily G. C., Mooney H. A., Ehrlich P., Quesada M., Miranda A., Jaramillo V. J., García-Oliva F., Martínez-Yrizar A., Cotler H., López-Blanco J., Pérez-Jiménez A., Búrquez A., Tinoco C., Ceballos G., Barraza L., Ayala R., Sarukhán J., 2005. Ecosystem services of tropical dry forests: insights from long-term ecological and social research on the Pacific Coast of Mexico, *Ecology and Society*, 10(1): 17

Malthus T., 1798. An Essay on the Principle of Population, EBook. Dostupné z <http://www.esp.org/books/malthus/population/malthus.pdf>

Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W. III., 1972. The limits to growth, Universe Books, New York

Meadows D., Randers J.: Beyond the Limits, 1992. Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future, Chelsea Green Publishing Company

Moldan B., 1996. Indikátory trvale udržitelného rozvoje, Centrum pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy, Praha

Moldan B., 2003. (Ne)udržitelný rozvoj: ekologie hrozba i naděje, Karolinum, Praha

Monfreda C., Wackernagel M., Deumling D., 2004. Establishing national natural capital accounts based on detailed Ecological Footprint and biological capacity assessments, *Land Use Policy*, 21:231-246

Patterson T.M., Coelho D.L., 2009. Ecosystem services: Foundation, opportunities, and challenges for the forest product sector, *Forest Ecology and Management*, 257: 1637-1646

Platón, 1996. Timaios, z řeckého originálu přeložil František Novotný, 2. vydání, Oikoymenh, Praha

Quijas S., Schmid B., Balvanera P., 2010. Plant diversity enhances provision of ecosystem services: A new synthesis, *Basic and Applied Ecology*, 11: 582–593

Naidoo R., Balmford A., Costanza R., Fisher B., Green R. E., Lehner B., Malcolm T. R., Ricketts T. H., 2008. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities, *PNAS*, Vol. 105, No. 28:9495–9500

Rábelová E., Třebický V., 2000. Unese země civilizaci? Edice Planeta, Ministerstvo životního prostředí, Praha

Reid, W.V., Mooney H. A., Cropper A., Capistrano D., Carpenter S. R., Chopra K., Dasgupta P., Dietz T., Duraiappah A. K., Hassan R., Kasperson R., Leemans R., May R. M., McMichael T. (A.J.), Pingali P., Samper C., Scholes R., Watson R. T., Zakri A.H., Shidong Z., Ash N. J., Bennet E., Kumar P., Lee M. J., Raudsepp-Hearne C., Simons H., Thonell J., Zurek M. B., 2005. Ekosystémy a lidský blahobyt: Syntéza: Zpráva Hodnocení ekosystémů k miléniu, Univerzita Karlova, Centrum pro otázky životního prostředí, Praha

Scotti M., Bondavalli C., Bodini A., 2009. Ecological footprint as a tool for local sustainability: The municipality of Piacenza (Italy) as a case study, *Environmental Impact Assessment Review*, 29:39-50

Schindler D.W., 2001. The cumulative effects of climate warming and other human stress on Canadian freshwaters in the new millennium, *Canadian Journal of Fisheries And Aquatic Science*, 58: 18-29

Schindler D.W., Lee P.G., 2010. Comprehensive conservation planning to protect biodiversity and ecosystem services in Canadian boreal regions under a warming climate and increasing exploitation, *Biological Conservation*, 143: 1571-1586

Syrovátka M. 2007. Možnosti a omezení ekologické stopy jako ukazatele udržitelnosti, publikováno ve sborníku: Nováček, P. Udržitelný rozvoj: nové trendy a výzvy, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc

The World Commission on Environment and Development, 1987. Our Common Future, Oxford university press, Oxford

Třebický V., Lupač M., 2008. Ekologická stopa města a školy, TIMUR, Praha

van den Bergh J.C.J.M., Verbruggen H., 1999. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the „ecological footprint“, *Ecological Economics*, 29:61-72

van den Bergh J.C.J.M., Grazi F., 2010. On the Policy Relevance of Ecological Footprints, *Environmen.Sci.Technol.*, 44:4843-4844

Venetoulis J., Talberth J., 2008. Refining the ecological footprint, *Environ. Dev. Sustain.*, 10:441-469

Wackernagel M., Rees W., 1996. *Our ecological footprint: reducing human impact on the Earth*, New society publishers, Gabriola Island

Wackernagel M., Yount D. J., 1998. The ecological footprint: an indicator of progress toward regional sustainability, *Enviromental Monitoring and Assessment*, 55:511-529

Wackernagel M., Monfreda Ch., Erb K.-H., Haberl H.,Schultz N.B., 2004. Ecological footprint time series of Austria, the Philippines, and South Korea for 1961-1999: comparing the conventional approach to an 'actual land area' approach, *Land Use Policy*, 21:261-269

Wackernagel M., Monfreda Ch., Schultz N. B., Erb K.-H., Haberl H., Krausmann F., 2004. Calculating national and global ecological footprint time series: Resolving conceptual challenges, *Land Use Policy*, 21(3):271-278

Weslien J., Finér Leena , Jónsson, Jón Á., Koivusalo, Harri , Laurén, Ari , Ranius, Thomas and Sigurdsson, Bjarni D., 2009. Effects of increased forest productivity and warmer climates on carbon sequestration, runoff water quality and accumulation of dead wood in a boreal landscape: A modelling study, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24: 4, 333 - 34

WWF, 2006. *Living planet report 2006*, WWF Gland, Switzerland

Xie G., Wenhua L., Yu X., Biao Z., Chunxia L., Kai A., Jixing W., Kang X., Jinzeng W., 2010. Forest Ecosystem Services and Their Values in Beijing, *Chin. Geogra. Sci.*, 20(1): 051–058

Zhongwei G., Xiangming X., Dainmo L., 2000. An assessment of ecosystem services: water folw regulation and hydroelectric power production, *Ecological Applications*, 10(3): 925–936

Internetové odkazy:

http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/ecological_footprint_atlas_2010/

<http://www: www.footprintstandards.org>

<http://www.hraozemi.cz/>

<http://www.ipcc.ch/>

<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/RemoteSensing/>

http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect3/Sect3_6.html