

Základná environmentálna rovnováha a jej implikácie

Jozef Čech¹

Fundamental environmental balance and its implications

In the article there are described basic relations and balances between the economics and environment as well as implications resulting from the basic laws of thermodynamics. The first one is the famous law about conversation of matter and second one is popularly known as the entropy law. From viewpoint of the next development of global society the laws obtain a great importance. They show that reduction of overall volume of waste and emissions is the most straight and best way to the environment protection and the sustainable development.

Key words: environmental asset, laws of thermodynamics, recycling, sustainable development, conceptual model, experimental model

Úvod

Konceptuálny a experimentálny model fundamentálnej rovnováhy ekonomiky a životného prostredia. Takýto model sa snaží zachytiť štruktúru a podstatné vzťahy medzi ekonomickým systémom a prírodným prostredím, v ktorom je vnorený. V každej ekonomike sa výroba, rozdeľovanie a potreba vykonáva v rámci prírodného systému. Na jednej strane vystupuje príroda ako poskytovateľ surovínových a energetických zdrojov pre výrobu a spotrebu, keď dopad, ktorý má ekonomický systém na prírodný systém je reprezentovaný čerpaním prírodných zdrojov, surovín, bez ktorých by existencia ekonomického systému nebola možná. Na druhej strane, výroba a spotreba produkuje rôzne odpady, ktoré si skôr, či neskôr nájdu svoju cestu späť do prírodného systému. Dôležitosť správneho pochopenia týchto vzťahov a bilancií spočíva najmä v ich dôsledkoch pre trvalo udržateľný rozvoj a ochranu životného prostredia. Prvé štúdie základnej bilancie sa objavujú v prácach (Ayres, 1978), (Kneese, 1970, 1979), ich zaslúžené zaradenie do základného rámca konštitujúcej sa environmentálnej a ekologickej ekonomiky sú uvedené v prácach (Field, 1994), (Perman et al., 1999). K neskorším prácam v tejto oblasti patria najmä práce autorov (Ayres et al. 1998, 2000) a (Simpson et al., 2005).

Životné prostredie ako aktívum

Z ekonomického hľadiska je životné prostredie a jeho prírodný systém možné považovať za určitý hmotný statok, poskytujúci rôzne služby. Povaha tohto statku je však veľmi špeciálna a závažná, nakoľko zakladá, podporuje a udržiava existenciu života na Zemi. Ochrana takéhoto majetku pred znehodnotením je z tohto pohľadu životne dôležitou otázkou. Ekonomika čerpá zo životného prostredia predovšetkým suroviny, ktoré transformuje vo výrobe, distribúcii a spotrebe, použitím veľkého množstva energie, do výrobkov a služieb. V konečnom dôsledku sa však tieto suroviny a energia zákonite vracajú späť a končia ako určité odpadové produkty opäť v životnom prostredí. Okrem uvedeného nepriameho spôsobu, toto aktívum poskytuje určité produkty (výrobky a služby) aj priamym spôsobom, ako napríklad pri dýchaní alebo vnímaní krásy krajiny a pod., pre ktoré je ťažko nájsť substitúty v čisto spoločensko-ekonomickom systéme.

Aplikácia zákonov termodynamiky

Ak sa obmedzí predstava o životnom prostredí iba na našu planétu a jej atmosféru, ak sa teda zanedbajú toky energie zo Slnka a vesmíru a hmotné prírastky mimozemského pôvodu, a tiež obrátene, náš hmotno-energetický export do vesmíru, je možné ho považovať za relatívne uzavretý systém. Tento predpoklad potom umožňuje aplikovať prvý zákon termodynamiky, ktorý hovorí, že energiu alebo hmotu nemožno zničiť ani vytvoriť. Potom musí platiť, že materiály vstupujúce do ekonomického prostredia z prírodného prostredia sa buď akumulujú v ekonomickom systéme alebo vracajú do prírodného systému ako odpad. Ak by sa neuvažovala akumulácia, potom by musela platiť rovnováha medzi vstupom a výstupom matérie ekonomického systému, teda množstvo hmoty vstupujúcej do ekonomiky by sa malo rovnať množstvu hmoty vystupujúcej do prírody. Nadmerné množstvo takejto hmoty vo forme odpadov rôzneho charakteru, ktoré prekračujú absorpčnú, resp. samočistiacu schopnosť prírodného prostredia, spôsobuje

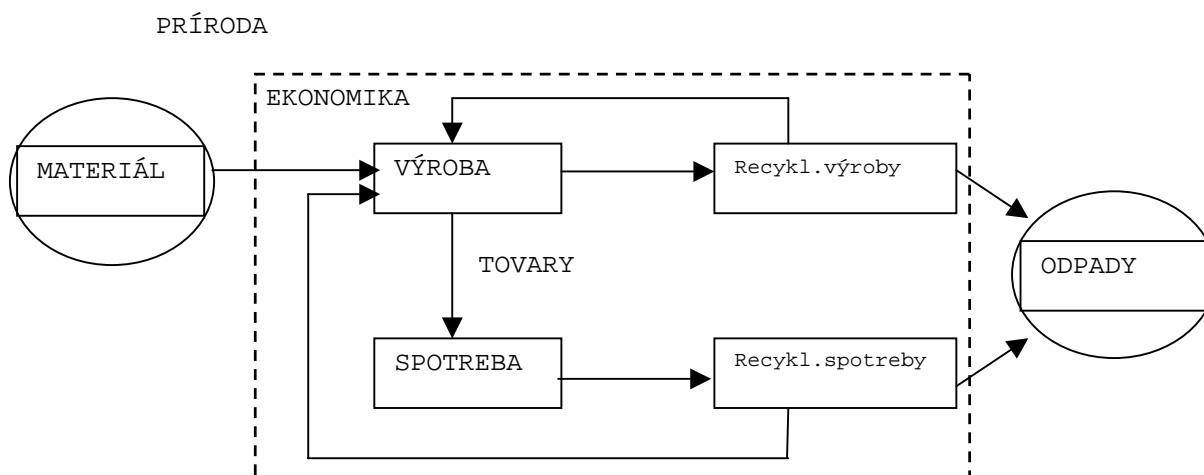
¹ doc. Ing. Jozef Čech, CSc., TU F BERG, Ústav montánných vied a životného prostredia, Park Komenského 19, Košice, jozef.cech@tuke.sk
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 18. 3. 2009)

prítom znehodnocovanie tohto aktíva, ktoré následne znižuje svoju schopnosť poskytovať naďalej svoje produkty v predchádzajúcej kvantite a kvalite, a to či už priamym alebo nepriamym spôsobom.

Vzťah medzi prírodným prostredím na jednej strane a ekonomickým systémom a človekom na strane druhej je podmienený aj ďalším fyzikálnym zákonom, druhým zákonom termodynamiky, ktorý je nazývaný tiež zákon entropie. Tento zákon hovorí, že množstvo entropie stúpa a reprezentuje to množstvo ušlej energie, ktorá viac nie je k dispozícii ekonomickému systému. Aplikovaním tohto zákona na energetické procesy sa konštatuje, že žiadna transformácia energie nie je stopercentne účinná a že spotreba akejkoľvek energie je proces nezvratný. To znamená, že vždy sa nejaká časť energia počas konverzie stratí a tá zvyšná časť, raz použitá, už nie je viac k dispozícii. Ak sa vychádza z predpokladu, že náš prírodný systém je uzavretý, bez akýchkoľvek energetických vstupov, vyplývalo by z tohto zákona, že dochádza k postupnému a nezvratnému vyčerpaniu celkovej disponibilnej energie v tomto systéme. Prítom si treba uvedomiť, že život bez energie nie je možný. Uchovávané množstvo energie je z ekonomického hľadiska reprezentované predovšetkým takými zdrojmi, ako sú fosilné palivá, nukleárna energia, vodné nádrže a toky, lesy a ďalšie, napr. tzv. alternatívne zdroje energie. Z dlhodobého a mimozemského hľadiska je potom zrejme, že limitujúcou energiou pre život ľudstva sa stáva dispozícia solárnej energie a možnosti jej využitia.

Konceptuálny model environmentálnej rovnováhy

Každý model (obr. 1) reprezentuje v podstate zjednodušený spôsob zobrazenia, popisu, z určitého hľadiska podstatných vzťahov a štruktúry niečoho, čo je predmetom záujmu a skúmania. V tomto prípade ekonomický systém, ktorý je celý vnorený do prírodného prostredia, je možné rozčleniť na dva základné, široko obsažné subsystémy - výrobu a spotrebu, ktoré pre tento účel dostatočne vystihujú podstatu štruktúry ekonomického systému. Výroba zahŕňa v sebe všetky subjekty a organizácie, ktoré na základe rôznych vstupov produkujú rôzne užitočné produkty. Zahŕňa v sebe aj verejný sektor, neziskové organizácie a všetky ďalšie entity ekonomického systému, okrem sféry samotnej spotreby, kde zaradíme potom všetky ostatné činnosti v rámci takto definovanej ekonomiky.



Obr. 1. Konceptuálny model environmentálnej rovnováhy.
Fig. 1. Conceptual model of environmental balance.

Prírodné prostredie poskytuje pre výrobný subsystém predovšetkým primárne vstupy, ako sú materiály rôznej povahy, suroviny, palivá, drevo, voda, plyn, nafta, ale aj také položky, ako sú kyslík, svetlo, teplo alebo samotný priestor pre ekonomické aktivity a pod. V podstate všetky tovary a služby sú výsledkom, odvodeným z určitej kombinácie takýchto materiálových a energetických vstupov, ktoré označíme *ME*. Samotné produkty, či už vo forme tovarov alebo služieb, ktoré označíme ako *TS*, predstavujú však vždy iba časť pôvodnej kvantity primárneho materiálu a energie na vstupe do výroby, prechádzajúcej potom ďalej k spotrebiteľovi. Tá zvyšná časť predstavuje odpady z výroby rôznej povahy, ako sú emisie do ovzdušia, odpady, látky degradujúce pôdu, vypúšťané látky do vôd, ale aj odpadové teplo, hluk, vibrácie, rádioaktivitu a pod. Označme tieto odpady z výroby, presnejšie ich množstvo, všeobecne rôznej materiálo-energetickej povahy, ako *OV*, jej možné recyklované množstvo ako *RV* a možné definitívne uložené, absorbované množstvo ako *UV*.

Podobne aj spotrebu pri konzumácii rôznych tovarov a služieb je možné vidieť ako producenta najrôznejších odpadov, ako sú napríklad komunálny domový odpad, emisie z dopravy, organické

a anorganické zlúčeniny znečisťujúce vody a pod. Principiálne všetok materiál v spotrebných predmetoch a tovaroch musí nakoniec skončiť ako odpad, v tomto prípade ako odpad spotreby, ktorý označíme ako *OS*, a aj keď sa uvažuje o jeho možnej recyklácii, v množstve s označením *RS*, prevažná časť končí ako skládkovaný odpad spotreby v množstve, ktorý označíme ako *US*.

Vyčlenené subsystemy - výroba a spotreba, sa pritom nemusia vždy chápať prísne disjunkčne. Lahko sa dá predstaviť prípad spotreby v sektore výroby, keď pracovník svojou činnosťou skôr spĺňa podmienky individuálnej spotreby v rámci výroby a obrátene, keď v sektore spotreby sa priamo siaha na prírodné zdroje, bez sprostredkujúcej účasti výrobného sektora. Dokonca aj samotná ľudská spoločnosť ako celok sa môže niekedy javiť z tohto pohľadu viac ako výrobca, inokedy viac ako spotrebiteľ. Principiálne to však nič nemení na charaktere základnej rovnováhy a pri výstavbe modelu sú takéto aspekty zanedbateľné.

Konceptuálne, z fyzikálneho, ale aj systémového hľadiska, je zrejmé, že materiál a energia *ME* je v podstate získavaná z prírodného prostredia na strane vstupu do ekonomického systému a odpady, reprezentované sumou *UV + US*, sú nakoniec vždy uvoľnené späť do prírodného prostredia na strane výstupu z ekonomického systému. Aplikáciou uvedeného prvého zákona termodynamiky, známeho ako zákon o zachovaní hmoty, berúc do úvahy dlhodobé hľadisko, musí platiť rovnosť medzi tokom na vstupe a výstupe definovaného ekonomického systému, t.j.:

$$ME = UV + US \quad (1)$$

Z krátkodobého hľadiska, pochopiteľne, je možné dospieť k iným záverom. Napríklad je zrejmé, že v etape hospodárskeho rastu môže byť veľká časť prírodných vstupov zadržovaná v ekonomickom systéme, či už vo forme predmetov dlhodobej spotreby, alebo akumulácie kapitálu a pod. Avšak po skončení takejto etapy by sa zrejme veľká časť týchto prostriedkov mohla ocitnúť ako odpad na výstupe zo systému, čo je veľmi príznačné pre postindustriálnu etapu vývoja mnohých vyspelých krajín. Podobný efekt môžu spôsobiť recyklačné procesy, ktoré však nemôžu byť stopercentne účinné a samé môžu byť zdrojom odpadu. Z dlhodobého hľadiska teda uvedená základná rovnovážna rovnica (1) platí a prináša pre ľudstvo niekoľko závažných implikácií, resp. záverov, ktoré je nutné brať do úvahy.

Prvým takýmto záverom a nesporne aj podstatným je fakt, že ak si z dlhodobého hľadiska ľudstvo želá redukovať množstvo odpadov, vždy nakoniec končiacich v prírodnom prostredí, musí znižovať množstvo surovín čerpaných z prírodného systému a vstupujúcich do ekonomického systému. Pritom si treba uvedomiť, že spracovávanie alebo zbavovanie sa odpadov je často iba púhou premenou pôvodnej formy toho-ktorého odpadu do inej prípadne viacerých iných foriem odpadu. Napríklad čiastočné zachytávanie emisií do ovzdušia pomocou rôznych odlučovačov môže znamenať iba zmenu odpadu z plynnej fázy na tuhú, resp. zachytenie a zvýšenie koncentrácie samotnej tuhej fázy tohto odpadu. Zmenilo sa iba médium nútené absorbovať tento odpad v prírodnom systéme, a to z ovzdušia v atmosfére na pôdu s úložiskom tuhého odpadu.

K celkovej, vonkajšej rovnováhe, vyplývajúcej zo zákona o zachovaní hmoty, vyjadrenej vzťahom (1), je možné v ďalšom priradiť aj druhú rovnováhu, vnútornú, v rámci ekonomického systému, rovnako vyplývajúcu z uvedeného zákona.

$$ME = TS + OV - (RV + RS) \quad (2)$$

Táto rovnováha hovorí, že množstvo materiálo-energetických vstupov *ME* sa musí rovnať množstvu obsiahnutému v tovaroch a službách *TS* plus množstvu odpadov z výroby, a to všetko redukované o množstvo, vyplývajúce z recyklácie z výroby *RV* a spotreby *RS*.

Dosadením rovnovážnej rovnice (1) do rovnice (2) dostaneme vzťah:

$$ME = TS + OV - (RV + RS) = UV + US \quad (3)$$

Tento vzťah vyjadruje jednak vonkajšiu rovnováhu, bilanciu medzi prírodným systémom a ekonomickým systémom, zastúpenú vonkajšou časťou rovnice, a tiež vnútornú rovnováhu, bilanciu vysporiadania sa ekonomického systému s vonkajšími okolnosťami, zastúpenú strednou časťou rovnice. Táto reprezentuje v podstate nejako štruktúrované a nejako riadené správanie sa ekonomického systému pod zákonitým tlakom vonkajšej rovnováhy medzi ním a prírodným prostredím, vyjadrenej vzťahom (1).

Implikácie modelu environmentálnej rovnováhy

Vzťah (3) zahŕňa nielen podstatné prvky a vzťahy vnútornej štruktúry ekonomického systému pre zachovanie rovnováhy medzi prírodou a ekonomikou, ale zároveň aj načrtáva tri hlavné cesty, spôsoby, ktoré môže ľudstvo použiť na zmiernenie už dost' negatívnej bilancie v spolunažívaní týchto dvoch systémov. Pritom podstatným problémom zostáva zníženie *ME*, teda znižovanie čerpania materiálno-energetických prírodných zdrojov, a tým z dlhodobého hľadiska aj zníženie celkového množstva definitívne skládkovaných odpadov a absorbovaného znečistenia *UV + US*.

Prvou cestou sa javí redukcia celkového množstva tovarov a služieb *TS*, poskytovaných v rámci ekonomického systému. Táto cesta má veľa zástancov, ktorí považujú redukciiu objemu výroby a zníženie spotreby a celkovej intenzity hospodárskeho rastu za najlepšie dlhodobé riešenie zastavenia ďalšej degradácie životného prostredia. Iní uprednostňujú riešenie s tzv. nulovým populačným rastom. Najmä pre vyspelé krajiny sa však táto cesta neosvedčila, pre rozvojové krajiny však ostáva otvorená. Aj napriek stagnácii v populačnom raste vyspelých krajín, evidentne v týchto krajinách dochádza k miernemu ekonomickému rastu, čo však stále zvyšuje dopyt po surovinách a energiách globálne, najmä kvôli zvyšovaniu bohatstva a spotreby na jednotlivca.

Druhou cestou sa javí redukcia odpadov z výroby, v modeli označených ako *OV*. Ide v podstate o požiadavku znižovania odpadov na jednotku produkcie. Je to úloha pre vývoj nových výrobkov a technológií a tiež moderných spôsobov riadenia. Od takýchto výrobkov a technológií sa očakáva nielen nižšia produkcia odpadov, ale aj zníženie celkovej materiálovo-energetickej náročnosti pri samozrejmom dosahovaní požadovaného spotrebiteľského štandardu a raste jeho kvality. (napr. dobrým indikátorom úspešnosti tejto cesty je materiálovo-energetická náročnosť na jednotku meny finálnej realizovanej produkcie).

Ďalším spôsobom, v rámci tejto druhej cesty, je zmena charakteru a štruktúry výrobkov a služieb. *TS* v podstate obsahuje v sebe veľké množstvo rozličných tovarov a služieb, ktoré sa líšia aj z aspektu produkovania odpadu aj svojou materiálovo-energetickou náročnosťou a účinnosťou. Reštrukturalizácia tohoto balíka od vysoko odpadových smerom k nízko odpadovým položkám s maximálnou materiálovo-energetickou účinnosťou pri zachovaní jeho celkovej hodnotovej úrovne, je želaný trend najmä v priemyselne vyspelých krajinách. Tieto krajiny sa snažia postupne zbavovať niektorých výrobných odvetví, najmä ťažkého priemyslu a zaznamenávajú intenzívny rast najmä v sektoroch sofistikovanej výroby a služieb. Najmarkantnejším príkladom je rast odvetvia informatiky, ktorý spolu s globalizáciou svetovej ekonomiky predstavuje obrovský reštrukturalizačný tlak na ekonomiky vyspelých krajín. Nesporne aj s týmto druhom priemyslu sú spojené určité rafinované formy odpadov a emisií, tieto problémy sú však svojím rozsahom ďaleko menšie v porovnaní s tradičnými druhmi priemyslu.

Treťou cestou sa javí zvyšovanie podielu recyklácie vo výrobe a spotrebe, v modeli označenom ako súčet *RV + RS*. Je to veľmi jasná cesta znižovania primárneho čerpania prírodných zdrojov. Namiesto hľadania rôznych riešení pre skládkovanie odpadov z výroby a spotreby ich treba v maximálnej miere vracieť do výrobného procesu ako druhotné suroviny, materiály a polotovary. Z matematicko-fyzikálneho hľadiska ide v podstate o náhradu časti originálneho toku *ME* z prírodných zdrojov za recyklovaný materiál. Takto sa môže podstatne redukovať aj celkové množstvo skládkovaných odpadov *UV + US*, hoci aj pri konštantnej intenzite produkcie tovarov a služieb, požadovanej spotrebou.

V samotnej recyklácii je skrytá veľmi efektívna možnosť, ako znížiť čerpanie prírodných zdrojov a množstvo odpadov v prírode. Treba si však uvedomiť, že recyklácia nikdy nemôže byť stopercentná ani pri vynaložení enormného úsilia a zdrojov. Mnohé výrobné procesy menia fyzikálno-chemickú podstatu vstupného materiálu nezvratne a teda bez možnosti opätovného použitia. V týchto súvislostiach treba mať na zreteli najmä implikácie druhého zákona termodynamiky, zákona entropie. V prípade energetických surovín ide o absolútnu neobnoviteľnosť týchto prírodných zdrojov. Okrem toho, aj samotná recyklácia môže byť zdrojom, a to aj nebezpečného odpadu. Výskum a vytváranie nových materiálov sú z vedeckého hľadiska podstatné pre zvyšovanie miery recyklácie. Z ekonomického hľadiska sa musí recyklácia stať predovšetkým atraktívnejšou, a to bude až vtedy, keď sa stane ekonomicky efektívnejšou ako čerpanie originálnych prírodných zdrojov, alebo sa stane lacnejšou alternatívou skládkovania a zbavovania sa odpadov.

Experimentálny model environmentálnej rovnováhy

Dodatočným definovaním nezávisle premenných veličín, charakterizujúcich sektor výroby a sektor spotreby a tiež miery recyklácie, osobitne pre výrobu a spotrebu, je možné navrhnuť experimentálny model environmentálnej rovnováhy. Model vznikne odvodením vzťahov medzi spomenutými nezávislými premennými, ktoré popisujú kľúčové správanie sa ekonomického systému ako celku a závislými

premennými, známymi už z modelu základnej rovnováhy, ktoré popisujú dôsledky, vyvolané správaním sa ekonomického systému v životnom prostredí. Uvedené bude platiť za predpokladu zachovania dlhodobej rovnováhy, ktorá tvorí vnútornú logiku modelu a vyplýva z prvého zákona termodynamiky.

Nech je takto definovaná výrobnosť ekonomického systému $V < 1$, ako určitý podiel z materiálo-energetických vstupov ME , ktorý po vstupe do výrobného sektora pokračuje do spotrebného sektora, teda

$$V = TS / ME \quad (4)$$

pričom $1 - V$ potom reprezentuje tú časť ME , ktorá smeruje do odpadov z výroby OV . Teda pre $V = 1$ sa teoreticky jedná o bezodpadovú technológiu.

Podobne nech miera spotreby $S > 1$ je definovaná ako nárast spotreby v ekonomike, vyvolaný napríklad hospodárskym rastom ekonomiky alebo rastom populácie. Teda pre $S = 1,1$ by to znamenalo desaťpercentný nárast.

Ďalej je potrebné definovať mieru recyklácie, osobitne pre výrobu $MRV < 1$ a spotrebu $MRS < 1$. MRV vyjadruje takto podiel recyklovaného množstva z odpadov výroby OV , ktoré sa vracia späť do výroby:

$$MRV = RV / OV \quad (5)$$

a MRS , analogicky, podiel recyklovaného množstva z odpadov spotreby OS , ktoré sa vracia späť tiež do výroby:

$$MRS = RS / OS \quad (6)$$

Pre $MRV = 1$ a $MRS = 1$ sa teoreticky jedná o stopercentnú recykláciu.

Definované nezávislé premenné experimentálneho modelu V , S , MRV a MRS môžu takto v podstatných rysoch, z hľadiska experimentálnych potrieb, popisovať proporcionálne a trendové správanie sa vyššie definovaného ekonomického systému vnoreného v prírodnom prostredí. Dôsledky takéhoto správania vyplývajú zo základnej bilancie a zobrazujú sa v hodnotách závisle premenných veličín modelu, ktorými sú už známe premenné ME , UV , US . ME pritom reprezentuje požadovanú intenzitu čerpania prírodných zdrojov akejkoľvek povahy a UV , US vyvolanú intenzitu skládkovania, znečisťovania alebo emisií do prírodného prostredia.

Zapojením definovaných parametrov výroby, spotreby a recyklácie do modelu pri zachovaní základnej rovnováhy, vyjadrenej v (3), možno potom odvodiť nasledovné vzťahy pre ME na vstupe do ekonomického systému a UV , US na výstupe z ekonomického systému:

$$ME = S/V - MRS \cdot S - MRV \cdot S/V \cdot (1 - V) \quad (7)$$

$$UV = (1 - MRV) \cdot S/V \cdot (1 - V) \quad (8)$$

$$US = (1 - MRS) \cdot S \quad (9)$$

Zmenou definovania niektorej z veličín V , S , MRV a MRS raz ako premennej a ostatných ako konštant je možné odvodiť funkčné vzťahy pre ME , UV a US a skúmať ich ako je to bežné v rámci matematickej analýzy. Na prvý pohľad je zrejmé, že dospejeme prevažne k lineárnym závislostiam s proporcionálnym rastom alebo poklesom a iba v prípade definovanej výrobnosti V k strmo klesajúcej hyperbolickej závislosti, čo poukazuje na veľkú citlivosť ME a UV na túto veličinu, a teda kľúčový význam technologického pokroku pre udržateľný rozvoj.

K experimentálnemu skúmaniu všetkých premenných súčasne je výhodné použiť počítačové riešenie, napr. niektorý z tabuľkových procesorov, s možnosťou rýchleho prepočítavania zmien v hodnotách ME , UV a US podľa vzťahov (7), (8), (9) pri niektorej kombinácii nastavených hodnôt v premenných - bunkách S , V , MRV a MRS . Takto získané výsledky je možné graficky znázorniť a o nich diskutovať.

Ďalšou doplnením modelu môže byť napríklad dodefinovanie parametra populácie v rámci sektora spotreby, ktorý by tak ovplyvňoval celkovú spotrebu v ekonomike, podľa zvoleného pravidla alebo funkcie. Podobne by sa mohol štruktúrálné rozčleniť sektor výroby podľa určitých hľadísk s rôznou definovanou výrobnosťou V a zároveň by sa mohli podrobnejšie rozčleňovať druhy odpadov, znečistenia a emisií. Tieto, ako aj iné možné aspekty, otvárajú ďalšie možnosti modelového experimentálneho výskumu a sú výzvovou k ďalšej analýze problému.

Záver

V článku boli špecifikované a popísané základné vzťahy rovnováhy ekonomiky a životného prostredia ako aj jej implikácie, vyplývajúce zo základných zákonov termodynamiky, a to zo zákona zachovania hmoty (prvý zákon termodynamiky) a tiež zo zákona o entropii (druhý zákon termodynamiky). Tieto zákony sú z hľadiska dlhodobého ekonomického rozvoja globálnej spoločnosti na Zemi fundamentálne. Jedným z prvoradých cieľov ekonomiky životného prostredia je na základe toho pôsobiť smerom k redukcii čerpania prírodných zdrojov a znečisťovania životného prostredia a následne na zmierňovanie škôd, zapríčinených emitovaným a skládkovaným odpadom z výroby a spotreby. Aj keď spracovanie a zbavovanie sa odpadov spôsobom, ktorý znižuje škody a celkový negatívny dopad na životné prostredie je neustále v centre pozornosti, preventívne znižovanie celkového množstva odpadov už pri ich vzniku je nesporne tou najpriamejšou a najlepšou cestou. Prezentované modelové vzťahy jasne odhaľujú tri základné spôsoby dosiahnutia tohto cieľa.

Literatúra - References

- Ayres, R. U.: Resources: Environment and Economics, Applications of Material/Energy Balance Principle. *J. Wiley and Sons. New York 1978.*
- Kneese, A. V., Blair, T. B.: Environmental Quality and Residuals Management. *J. Hopkins Press. Baltimore, 1979.*
- Kneese, A. V., and all.: Economics and the Environment: A Materials Balance Approach. Resource for the Future. *Washington, DC 1970.*
- Field, B. C.: Environmental economics. *MacGraw-Hill, New York, 1994.*
- Perman, a kol.: Natural resource and environmental economics. *Addison-Wesley/Longman. London, 1999.*
- Ayres, R. U., Ayres, L. W.: Accounting for Resources, 1: Economy-Wide Applications of Mass-Balance Principles to Materials and Waste. *Edward Elgar Publishing. Northampton MA, 1998.*
- Ayres, R. U., Ayres, L. W.: Accounting for Resources, 2: The Life Cycles of Materials. *Edward Elgar Publishing. Northampton MA, 2000.*
- Simpson, R. D., Toman, M. A., Ayres, R. U.: Scarcity and Growth Revisited: Natural Resources and the Environment in the New Millennium. *Resources for the Future. Washington DC, 2005.*