

NEOBNOVLJIVI RESURSI – TRENDVI KORIŠĆENJA

SAŽETAK: Na planeti postoji fiksna količina neobnovljivih resursa, uključujući metalne i nemetalne minerale, uglj, naftu i prirodni gas. Imamo velike zalihe nekih resursa, kao što je gvožđe; dok su zalihe žive ili helijuma, relativno ograničene. Globalna ekonomija iskorišćava te resurse – često po rastućim stopama. Da li je to razlog za uzbunu? Tako su smatrali autori originalnog izveštaja Ograničenja rasta (Limits to Growth), još 1972. godine i ponovili su slično upozorenje dvadeset godina kasnije. To i dalje ostaje aktuelno pitanje na globalnom nivou.

KLJUČNE RIJEČI: neobnovljivi resursi, životna sredina, recikliranje, globalna ekonomija, životna sredina.

1. UVOD

Ljudsko korišćenje mnogih neophodnih resursa i stvaranje mnogih vrsta zagađujućih materija već su prešli stope koje su fizički održive. Ukoliko se značajno ne smanje tokovi materijala i energije, u narednim decenijama će nekontrolisano opadati autput hrane po glavi stanovnika, korišćenje energije i industrijska proizvodnja.

Naravno, ograničeni neobnovljivi resursi ne mogu trajati zauvek, ali pitanja njihovog korišćenja su složena i obuhvataju promene u ponudi i tražnji resursa, kao i otpad i zagađenje koje se stvara njihovom potrošnjom-

Važni ekonomski principi uključujući i analizu troškova korisnika i Hotellingovog pravila za određivanje cena resursa, ali sofisticiranija analiza mora da se bavi uslovima kakvi postoje u stvarnom svetu. Obično uočavamo mnoštvo različitih kvaliteta resursa (na primer, različite vrste rude bakra), a retko nam je sa sigurnošću poznata lokacija i ukupna količina resursnih depozita.

Važno pitanje jeste na koji način će potrošnja resursa, nove tehnologije i otkrića međudelovati i uticati na cene, što će zatim uticati na buduće obrasce ponude i tražnje resursa. Da bismo bolje razumeli ove faktore, potrebna nam je sofisticiranija ekonomska teorija korišćenja neobnovljivih resursa.

2. FIZIČKA I EKONOMSKA PONUDA

Ekonomska ponuda neobnovljivih resursa razlikuje se od njihove fizičke ponude. Fizička ponuda (u Zemljinoj kori) je ograničena, ali generalno nije precizno poznata njena

količina. Ekonomski iskoristive rezerve obezbeđuju merilo koje se najčešće koristi, na primer, za izračunavanje životnog veka resursa. Međutim, te cifre se vremenom menjaju iz tri glavna razloga:

1. Resurs se tokom vremena koristi i eksploatiše, čime se smanjuju rezerve.
2. Nove zalihe resursa se vremenom otkrivaju, čime se povećavaju rezerve.
3. Promena cena i tehnoloških uslova može da učini da više (ili manje) poznatih rezervi bude ekonomski isplativo.

Ti faktori predviđaju životni vek resursa u neegzaktnoj nauci.

Mineralni resursi, kao što je bakar, klasifikuju se kombinovanjem geoloških i ekonomskih merila (slika 1). U geološkom smislu, resursi se klasifikuju prema raspoloživim količinama, što je prikazano horizontalnom dimenzijom na slici 1.

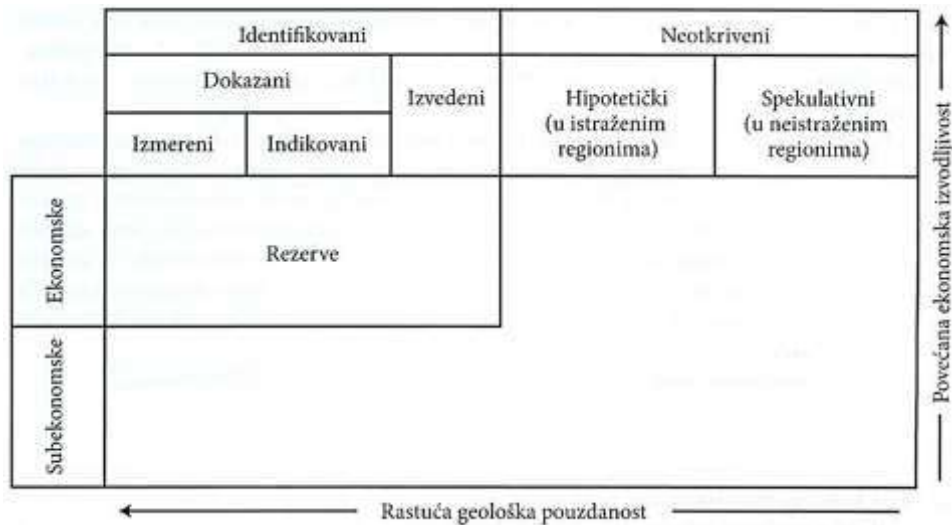
Identifikovane rezerve su one rezerve čiji su količina i kvalitet već poznati. Deo tih identifikovanih rezervi je već izmeren sa dvadeset procenata odstupanja; drugi deo je indikovani ili izveden na osnovu geoloških principa. Osim toga, hipotetičke i spekulativne količine resursa još nisu otkrivene, ali verovatno postoje u nekim geološkim situacijama.

Ekonomski faktori stvaraju još jednu dimenziju za klasifikaciju resursa, što je prikazano vertikalno na slici 1, a ekonomski najprofitabilniji resursi su pri vrhu. Resursi koji su dovoljno visokog kvaliteta za profitabilnu proizvodnju nazivaju se ekonomske rezerve. Subekonoiniski resursi su oni resursi čiji su troškovi ekstrakcije previsoki da bi proizvodnja bila isplativa. Međutim, ukoliko njihove cene porastu ili se poboljša tehnologija ekstrakcije, te rezerve mogu postati profitabilne.

Činjenica da se ekonomske rezerve mogu proširiti i u geološkoj i u ekonomskoj dimenziji čini predviđanja izračunata pomoću statičkog indeksa rezervi nepouzdanim. Da bi se dobila procena životnog veka resursa, statički indeks rezervi deli ekonomske rezerve stopom sadašnje potrošnje:

$$\text{očekivani životni vek resursa} = \frac{\text{ekonomske rezerve}}{\text{godišnja potrošnja}}$$

Slika 1. Klasifikacija neobnovljivih resursa



Izvor: http://rainerals.usgs.gov/minerals/pubs/metal_prices/

Naravno, trenutna potrošnja nije nužno dobar pokazatelj budućeg korišćenja. Možemo očekivati da će sa rastom populacije i ekonomskog outputa rasti i korišćenje neobnovljivih resursa – iako će modeli supstitucije i izmenjene potrošnje uticati na stope rasta.

Eksponencijalni indeks rezervi pretpostavlja da će potrošnja eksponencijalno rasti tokom vremena, što će ubrzati iscrpljivanje resursa. Proračuni rađeni još 1972. godine, korišćenjem i statičkog i eksponencijalnog indeksa rezervi, pokazali su da će glavne mineralne rezerve biti iscrpljene za nekoliko decenija – jasno je da se ta predviđanja nisu ispunila. [Ackerman, Frank, 1996.] Zašto? Zato što su rezerve porasle zbog novih otkrića i novih tehnologija ekstrakcije. Međutim, ne možemo tek tako odbaciti predviđanja o iscrpljivanju resursa. Čak i uz širenje rezervi, planetarni resursi su ipak ograničeni.

3. EKONOMSKA TEORIJSKA KORIŠĆENJA NEOBNOVLJIVIH RESURSA

Šta određuje stopu po kojoj ekstahujemo i koristimo neobnovljive resurse? Pojedine kompanije koje upravljaju rudnicima ili drugim operacijama ekstrakcije resursa moraju da se vode principom maksimiziranja resursne rente. [Cleveland, Cutler, 1991] Razmotrimo kompaniju koja ima rudnik boksita (ruda aluminijuma). Ukoliko firma posluje u konkurentskoj industriji, ona prihvata datu cenu i prodaje svoj output po tržišnoj ceni nad kojom nema kontrolu. Međutim, ona može da kontroliše količinu ekstrakcije resursa u bilo kojem periodu.

Uopšteno govoreći, kada se ekstrahuje više resursa, raste i granični trošak ekstrakcije. Očigledno, ako granični trošak ekstrakcije prevaziđe tržišnu cenu, proizvodnja boksita postaje neprofitabilna. Da bi se proizvodnja isplatila, cena mora biti barem jednaka graničnom trošku. Za razliku od drugih konkurentskih industrija gde je u ravnoteži cena jednaka graničnom trošku, kompanije koje se bave ekstrahovanjem resursa obično rade sa nivoom outputa pri kojem cena prevazilazi granične troškove (slika 2). Takve kompanije moraju težiti maksimiziranju vrednosti rente ne samo u jednom periodu, već tokom dužeg vremenskog perioda.

Renta za kompaniju u bilo kojem određenom periodu i data je kao:

$$R_i = P - MC(q_i)$$

gde je q , količina ekstrahovanog resursa u periodu i .

Sadašnja vrednost toka renti koji se proteže u budućnost data je kao:

$$PV[R] = R_0 + R_1/(1+r) + R_2/(1+r)^2 + R_3/(1+r)^3 + \dots + R_n/(1+r)^n = \sum_{i=0}^n R_i/(1+r)^i$$

gde je R_i renta koja se kompaniji obračunava u periodu i .

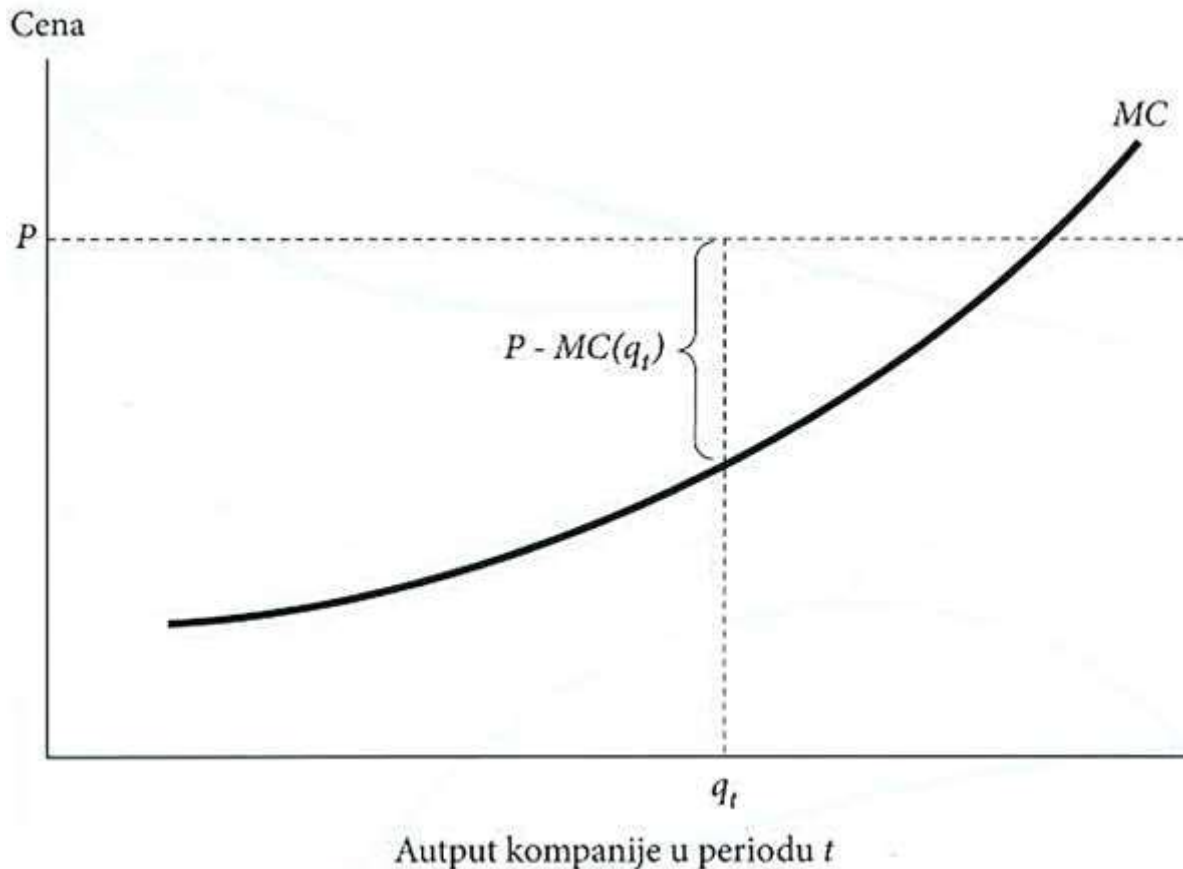
Da bi maksimizirala sadašnju vrednost toka rente, firma mora da koriguje ekstrahovanu količinu u svakom periodu sve dok renta ne počne da raste stopom koja je jednaka diskontnoj stopi, tako da sadašnja vrednost rente u svakom periodu bude ista ili:

$$R_0 = R_1/(1+r) + R_2/(1+r)^2 + R_3/(1+r)^3 = \dots = R_n/(1+r)^n$$

Kada sve kompanije koje se bave ekstrakcijom resursa budu poslovale po ovom principu, renta, ili neto cena (cena minus troškovi ekstrakcije), mora vremenom rasti u skladu sa Hotelingovim pravilom. Razumno objašnjenje za to je da će kompanije proizvoditi više ako je proizvodnja danas vrlo profitabilna.

Povećanje proizvodnje će smanjiti sadašnju cenu, dok će smanjene rezerve koje su dostupne za buduću proizvodnju podići očekivane buduće cene. Taj proces će se odvijati sve dok se ne zadovolji Hotelingovo pravilo – neto cena vremenom raste stopom koja je jednaka diskontnoj stopi, a diskontovana vrednost renti se vremenom izjednačava.

Slika 2. Resursna renta za konkurentsku kompaniju



Izvor: Cleveland, Cutler, 1991.

Ako granični troškovi ekstrakcije vremenom opadaju, možda zbog poboljšanja tehnologije, neto cena može da raste dok tržišna cena resursa opada. Međutim, ako su troškovi ekstrakcije stabilni, očekivaćemo da tržišna cena resursa raste tokom vremena. Zbog toga što se za većinu resursa ovo još nije dogodilo, posledice Hotelingovog pravila mogu postati očigledne kada se specifični resursi više približe iscrpljenju.

Princip maksimiziranja rente ima važnije neposredne implikacije: prvo će se eksploatisati visoko kvalitetni resursi. Pretpostavimo, na primer, da firma poseduje dve rezerve boksita, jednu više, a drugu niže klase. Granični troškovi proizvodnje za resurs više klase biće relativno niski, tako da se može ostvariti visoka renta ako se bude proizvodilo danas. Troškovi ekstrahovanja rezervi niže klase su znatno viši. Čak i ako bi ekstrakcija rezervi niže klase danas bila granično profitabilna, bolja strategija bi bilo čekati da porastu tržišne cene ili da bolja tehnologija pojeftini ekstrakciju. To objašnjava zašto resursi koji su sada subekonomski (slika 2) mogu postati ekonomski u budućnosti, uz mogućnost da

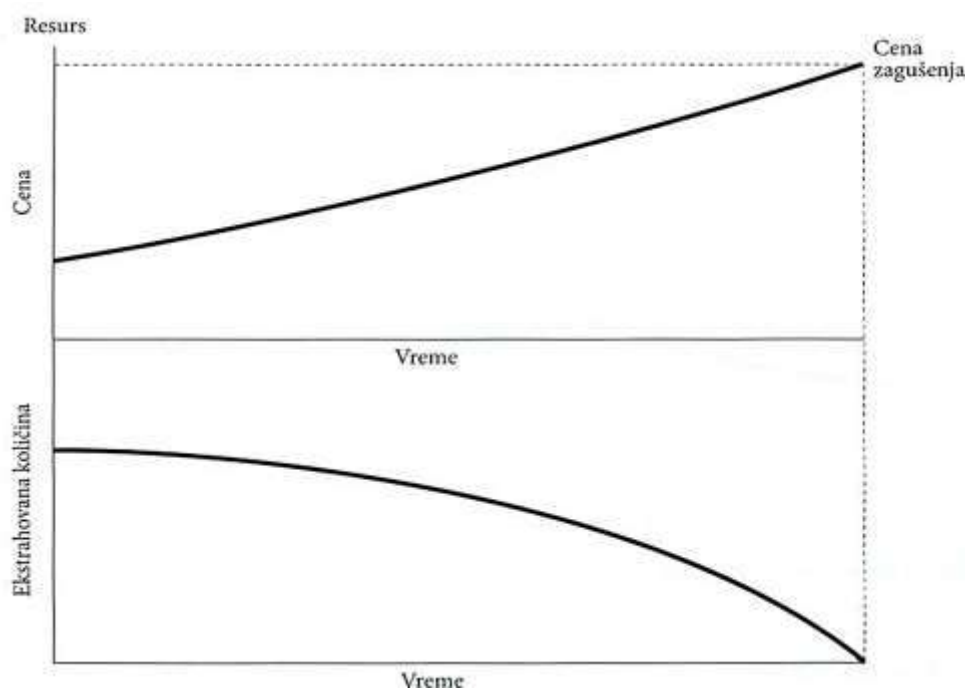
povećaju količinu ekonomski iskoristive rezervi – dok istovremeno ekstrakcija smanjuje fizičke rezerve.

Osnovna teorija ekstrakcije neobnovljivih resursa takođe implicira da će ograničeni fondovi resursa biti eksploatisani do iscrpljenja. Sve dok cene nastavljaju da rastu, odlaganje neke proizvodnje biće profitabilno. Ali, svaki resurs ima maksimalnu cenu, koja se naziva cena zagušenja, pri kojoj tražena količina pada na nulu. Do vremena kad se dostigne cena zagušenja, proizvođači će već ekstrahovati i prodati sve ekonomski vredne rezerve.

Dijagram (Hartwick and Olewiler, 1998) sadrži napredniju diskusiju o ekonomskoj teoriji ekstrakcije neobnovljivih resursa.

Slika 3 prikazuje putanju cene i putanju ekstrakcije zaliha resursa koji se eksploatišu do iscrpljenja.

Slika 3. *Ischrpljenje zaliha minerala*



Izvor: Hartwick, and Olewiler, 1998.

3.1. Dugoročni trendovi u korišćenju neobnovljivih resursa

U kojoj meri se ova teorija iscrpljivanja resursa uklapa u iskustvo stvarnog sveta? Klasična studija koju su sprovedeli Barnett i Mors [Barnett, Harold I., and Chandler Morse, 1963] pokazuje da su cene većine mineralnih resursa opale od industrijske revolucije do sredine 20. veka. Istovremeno se neprekidno povećavala globalna potrošnja neobnovljivih resursa. Za to su odgovorna tri faktora:

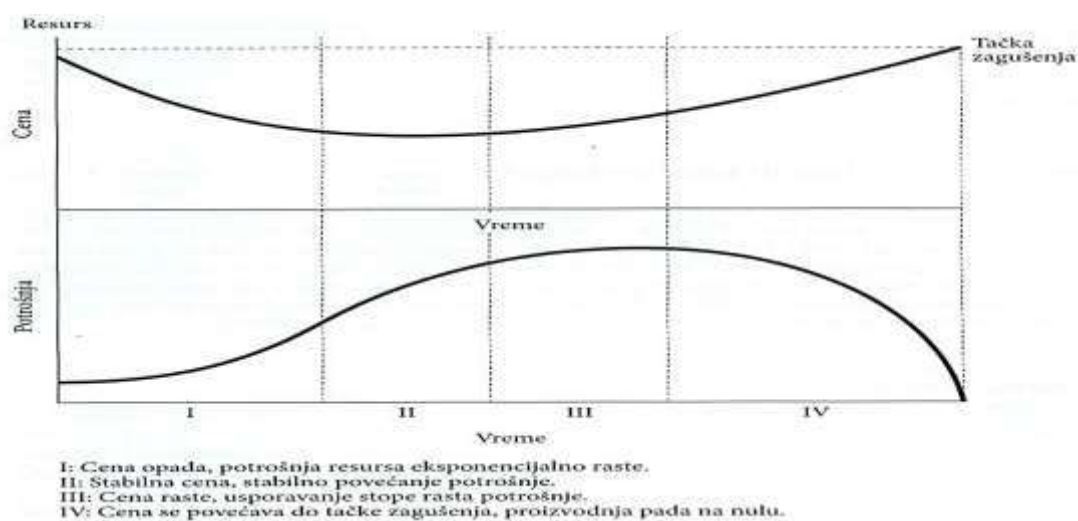
- neprekidno otkrivanje novih resursa,
- poboljšana tehnologija ekstrakcije resursa,
- supstitucija resursa, kao što je korišćenje plastike umesto metala.

Uprkos nepouzdanosti procene rezerve i indeksa iscrpljenja, nova otkrića i poboljšane tehnologije ekstrakcije ne mogu u nedogled produžavati životni vek neobnovljivih resursa. Osim toga, ekonomske težnje da se prvo iscrpljuju visokokvalitetne rezerve znače da će vremenom ostajati rezerve slabijeg kvaliteta, čija će ekstrakcija biti teža i skuplja. Na taj način možemo da predvidimo dugoročan profil korišćenja resursa sličan onome koji je prikazan na slici 4.

U ranim stadijumima eksploatacije resursa cena pada jer je lakše doći do resursa zbog novih otkrića i poboljšane tehnologije. U stadijumu II, cene su stabilne jer povećanje potrošnje (koje ima tendenciju da povećava cene) uravnotežava dalja otkrića i tehnološka poboljšanja (koja imaju tendenciju da snižavaju cene). U stadijumu III, tražnja počinje da pritiska ograničene resurse i cene počinju da rastu. Konačno, cene u porastu ograničavaju potrošnju, koja na kraju pada na nulu kako cene dostižu tačku zagušenja.

Ovakva vrsta profila primenjiva je na izvesne regionalne resurse fosilnih goriva i uskoro bi mogla da se primeni na globalnu potrošnju fosilnih goriva. Za mineralne resurse, slika je generalno složenija. Postoje mnoge kontroverze o tome da li je profil resursa sličan onome na slici 4 primenjiv na većinu minerala. Tamo gde se primenjuje, interesantno je pitanje da li se trenutno nalazimo u stadijumu I, II ili III i da li stoga možemo očekivati padanje, stabilnost ili porast cena. To se da razmatrati.

Slika 4. Hipotetički profil korišćenja neobnovljivih resursa

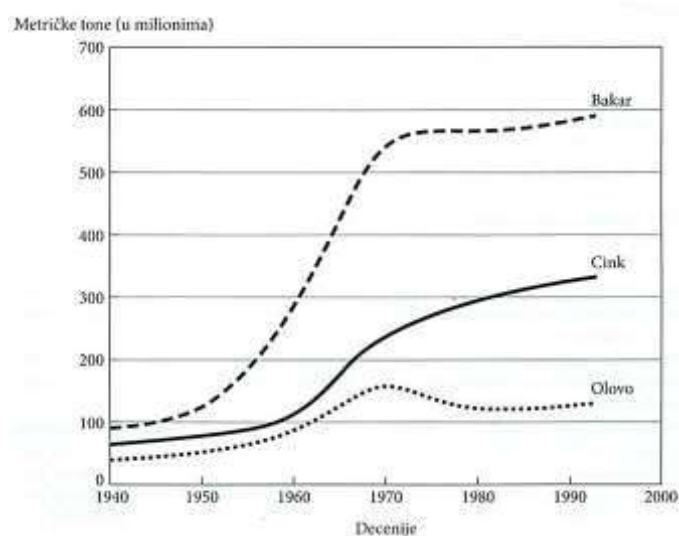


Izvor: Barnett, Harold I., and Chandler Morse, 1963.

3.2. Globalna oskudica ili veće izobilje

Kao što smo primetili, predviđanja iscrpljenja neobnovljivih resursa do sada nisu ostvarena. Zapravo, uprkos rastu potrošnje, nova otkrića i poboljšana tehnologija povećali su rezerve većine minerala. Slika 5 prikazuje taj trend tokom vremena za bakar, olovo i cink. Tabela 1 prikazuje trenutne procene rezervi i statički indeks rezervi za glavne minerale. Generalno, statički indeksi rezervi pokazuju da očekivani životni vek resursa varira od nekoliko decenija do nekoliko stoleća. Moć predviđanja statičkog indeksa rezervi je ograničena jer ne uzima u obzir nova otkrića ili poboljšane tehnologije ekstrakcije.

Slika 5. Promene u bazi svetskih rezerviza odabrane minerale



Izvor: Hartwick, John M. and Nancy D. Olevviler, 1998.

Tabela 1. Procene rezervi za izabrane minerale

Minerali	Godišnja potrošnja (hiljade metričkih tona)	Ukupne rezerve (hiljade metričkih tona)	Baza rezervi (hiljade metričkih tona)	Indeks rezervi (godine)	Indeks baze rezervi (godine)
Aluminijum	103.625*	23.000.000	28.000.000	222	270
Kadmijum	20	600	1.200	30	60
Bakar	10.714	340.000	650.000	32	61
Ruda gvožđa	959.609	71.000.000	160.000.000	74	167
Olovo	5.342	64.000	130.000	12	24
Živa	6,6	120	240	18	36
Nikl	882	49.000	150.000	56	170
Kalaj	218	9.600	12.000	44	55
Cink	6.993	190.000	430.000	27	62

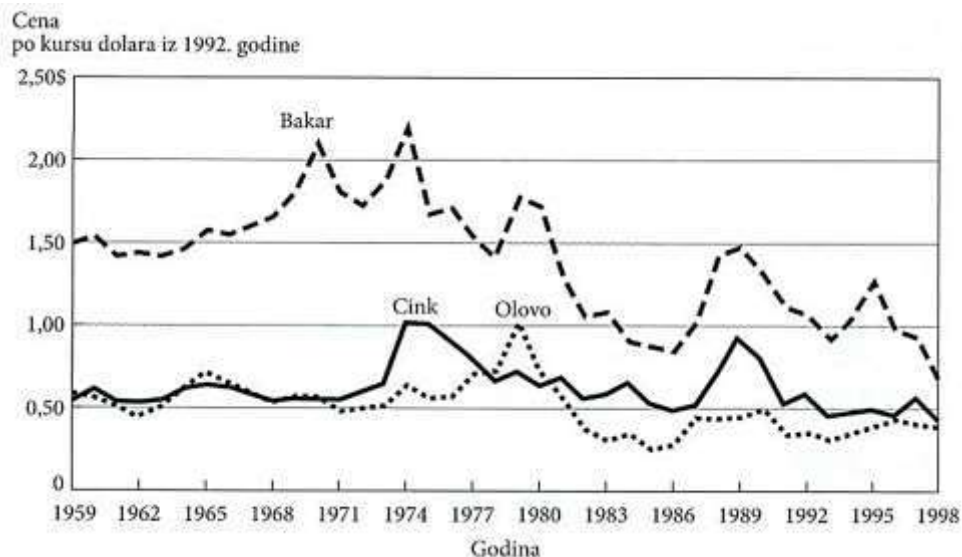
Izvor: Hartwick, John M. and Nancy D. Olevviler, 1998.

Indeks baze rezervi odražava šire procene potencijalnih rezervi i, stoga, duži predviđeni životni vek. Čak i sa tim širim indeksom primećujemo da neki važni minerali, kao što su kalaj, cink, bakar, olovo i živa, imaju relativno kratak predviđeni životni vek. Da li onda možemo očekivati da ćemo doživeti povećanje cena tih minerala?

Sadašnji podaci ne ukazuju na trend povećanja cena za većinu minerala. Slika 6 prikazuje trendove za bakar, olovo i cink. Dok su 80-ih godina cene sva tri minerala rasle, od 90-ih godina cene su stabilne ili opadaju, a budući izgledi su neizvesni. [Berck and Roberts, 1963]

Jedno od važnih fizičkih razmatranja, koje se generalno ne odražava u ekonomskim modelima, jeste distribucija različitih kvaliteta mineralne rude u Zemljinoj kori. Najveći deo dostupnih rezervi je znatno nižeg kvaliteta od onih koji se sada komercijalno eksploatišu. Studije obilja minerala često su pretpostavljale relativno ravnomeran obrazac distribucije sličan onome koji je prikazan na slici 7a. Ukoliko je to tačno, tržište treba da ukaže na iscrpljenje mineralnih resursa postepenim rastom cena zbog većih troškova ekstrakcije.

Slika 6. *Trendovi cena za izabrane minerale*



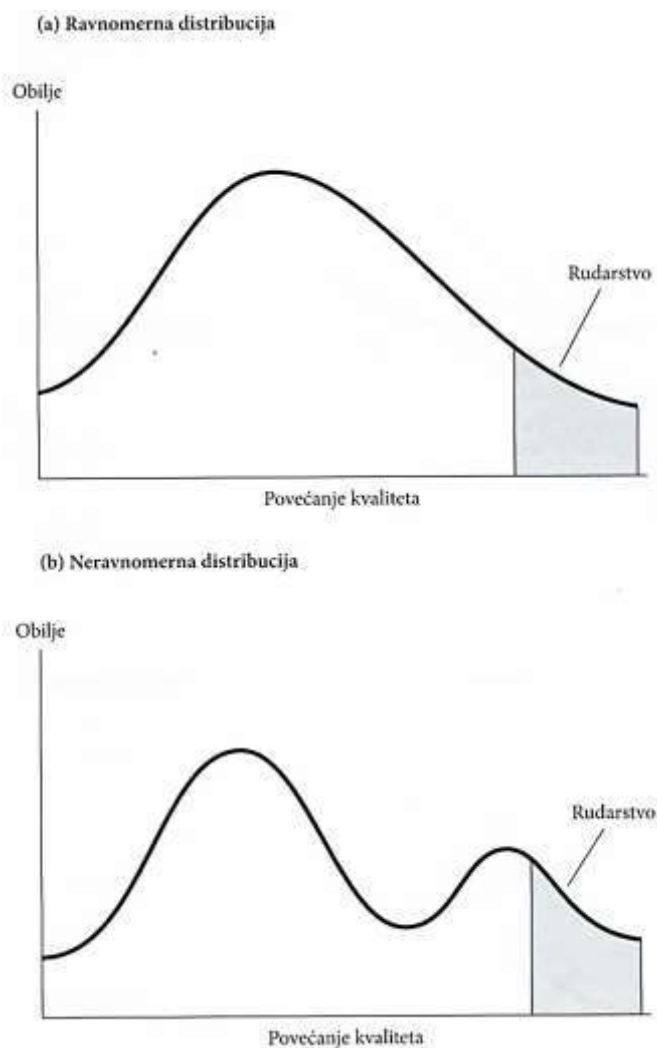
Izvor: http://rainerals.usgs.gov/minerals/pubs/metal_prices/

Međutim, relativno obilje ruda visokog i niskog kvaliteta takođe može biti nejednako, što pokazuje model sličan onome na slici 7b, uz znatnu razliku kvaliteta između ruda koje se trenutno iskopavaju i rezervi nižeg kvaliteta. Ukoliko je to tačno, kada se iscrpe visokokvalitetne rezerve, ekstrakcija ruda nižeg kvaliteta biće znatno teža i skuplja i više će oštećivati životnu sredinu. Što je ruda slabijeg kvaliteta, to se pri proizvodnji minerala tržišnog kvaliteta stvara veća količina otpada.

3.2.1. Internalizovanje troškova životne sredine nastalih iscrpljivanjem resursa

Iako je malo verovatno da ćemo ikad potpuno ostati bez resursa, možemo umnogome iscrpeti rezerve visokog kvaliteta, što će dovesti do viših privatnih troškova i troškova životne sredine nastalih iscrpljivanjem resursa. Slika 8 prikazuje implikacije toga za profile cena resursa. Ako se internalizuju troškovi životne sredine, profil cene koji odražava ukupne društvene troškove ekstrakcije resursa prikazivaće tačku preloma ranije nego profil koji prikazuje samo troškove ekstrakcije. Treba da uzmemo u obzir i direktne i indirektne troškove životne sredine u vezi sa iscrpljivanjem resursa. Rudarstvo obično proizvodi ogromne količine otpada, od čega su neki ekstremno toksični, i oštećuje zemljište i vodu (tabele 2 i 3).

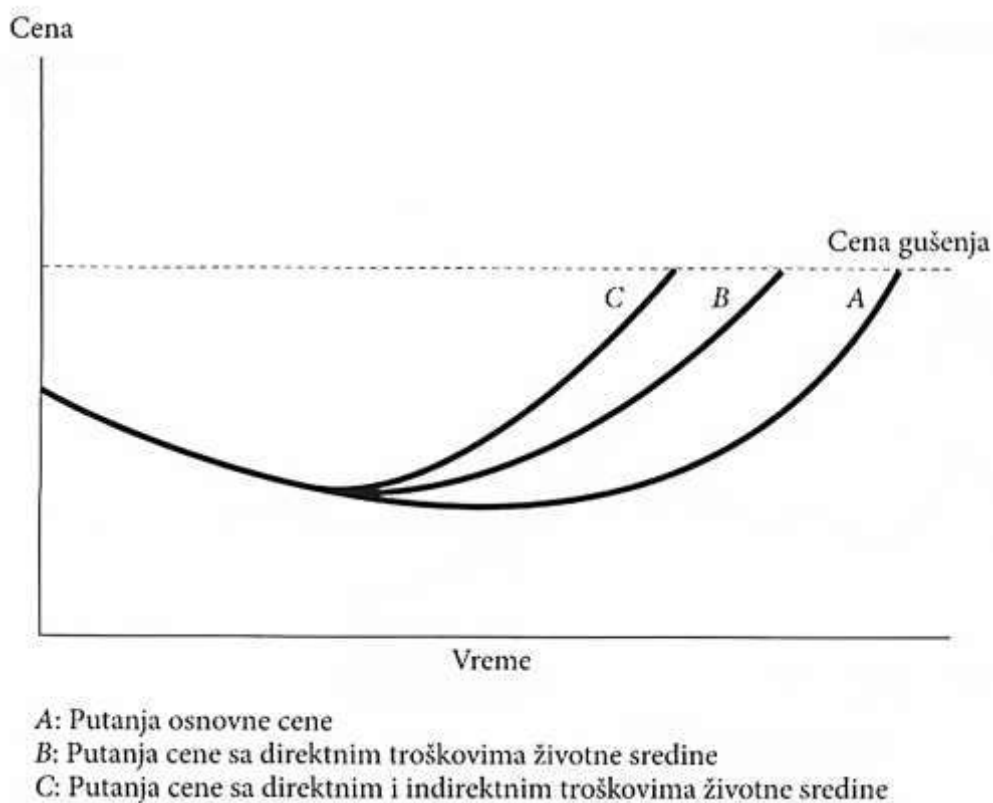
Slika 7. Distribucija mineralnih ruda u Zemljinoj kori



Izvor: Preuzeto iz: Skinner, 1976: 203.

Kako kvalitet resursa opada, povećava se količina rudarskog otpada po toni proizvoda. Osim toga, resursi niskog kvaliteta obično traže više energije po jedinici proizvodnje. [Cleveland, Cutler, 1991] Iako će putanja osnovne cene odražavati više troškove energije, i proizvodnja energije će stvarati znatne eksternalije životne sredine. To bi moglo da se internalizuje u cenu energije, ali se to generalno ne radi. Ukoliko uračunamo ove indirektno štete po životnu sredinu, putanja cene resursa će brže i oštrije rasti i znatno ranije dostići „cenu zagušenja“. Slika 9 prikazuje najverovatniji uticaj internalizovanja troškova životne sredine na profil potrošnje resursa.

Slika 8. Profil cena resursa sa troškovima životne sredine



Izvor: Preuzeto iz: Skinner, 1976: 203.

Tabela 2. Troškovi životne sredine za rudarstvo

Aktivnost	Potencijalni uticaj
Iskopavanje i uklanjanje rude	Uništavanje staništa biljaka i životinja, ljudskih naselja i drugog (površinsko rudarstvo) Sleganje zemljišta (podzemno rudarstvo) Povećana erozija; nanosi u jezerima i rekama Stvaranje otpada Zagađivanje jezera, reka i podzemnih voda usled drenaže kiselina i kontaminacije metalom
Koncentracija rude	Stvaranje otpada (reziduali) Kontaminacija organskim hemikalijama Drenaža kiselina i kontaminacija metalom
Topljenje/rafinisanje	Zagađenje vazduha (uključujući sumpor-dioksid, arsen, olovo, kadmijum i druge toksine) Stvaranje otpada (šljaka) Uticaj proizvodnje energije (većina energije koja se koristi za proizvodnju minerala odlazi na topljenje i rafinaciju)

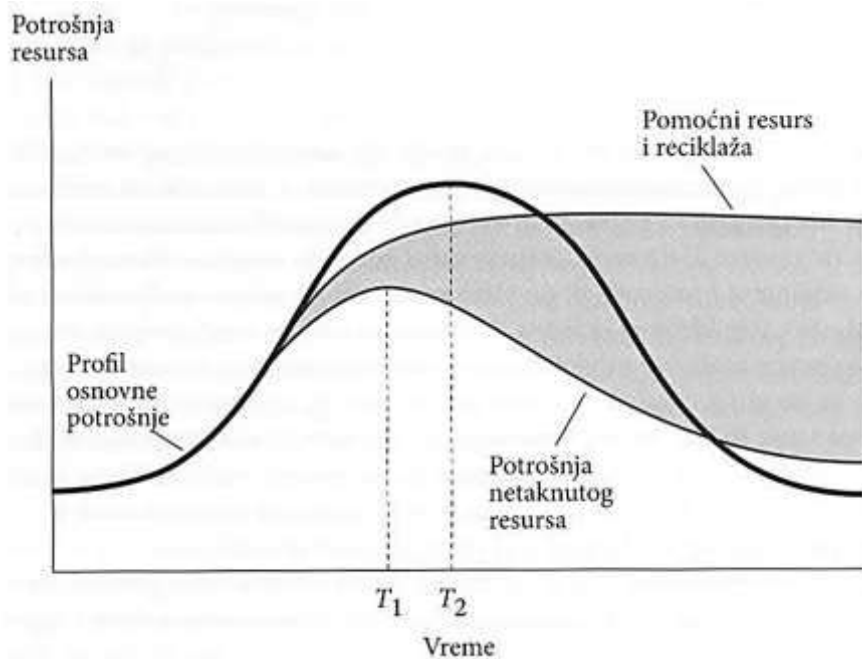
Izvor: Young, 1992: 17.

Tabela 3. *Uticaji na životnu sredinu odabranih mineralnih projekata*

Minerali/lokacija	Uticaji na životnu sredinu
Rudnici i topionica bakra u području Ilo-Lokombo u Peruu	Godišnje se emituje 600.000 tona sumpornih jedinjenja; u more se svake godine ispusti skoro 40 miliona kubnih metara taloga koji sadrži bakar, cink, olovo, aluminijum i tragove cijanida zajedno sa 800.000 tona šljake.
Rudnik fosfata na ostrvu Nauru u južnom Pacifiku	Kada se rudnik iscrpi u narednih 5–15 godina, četiri petine ostrva površine 2.100 hektara biće nepodesno za život.
Rudnik gvozdene rude u oblasti Para State u Brazilu	Potrebe za drvetom za topljenje rude gvožđa opustošiće svake godine 50.000 hektara tropske šume.
Topionice nikla u Rusiji	Dve topionice nikla u blizini finske i norveške granice ispuštaju u atmosferu 300.000 tona sumpor-dioksida, zajedno sa manjim količinama teških metala. Više od 200.000 hektara lokalnih šuma umire kao posledica toga i lokalno stanovništvo trpi posledice po zdravlje.
Rudnik bakra Mamut u provinciji Sabah u Maleziji	Lokalne reke su kontaminirane i sadrže visok nivo hroma, bakra, olova, mangana i nikla.
Rudnik zlata u basenu Amazona u Brazilu	Reke su zagušene sedimentima, a 100 tona žive se svake godine ispušta u ekosistem.

Izvor: Young, 1992: 17.

Slika 9. *Profil potrošnje resursa sa pomoćnim resursima ili recikliranjem. Internalizacija troškova životne sredine izaziva da potrošnja netaknutih resursa dostigne vrhunac u T_1 umesto u T_2 .*



Izvor: Young, 1992.

Pošto se profil osnovne potrošnje povećava dok veće cene ne počnu da ograničavaju tražnju a zatim rapidno pada, uključivanje troškova životne sredine u cenu dovodi do ranijeg smanjenja potrošnje netaknutih ili primarnih resursa. Potrošači resursa će nastojati da se prebace na pomoćne resurse ili da recikliraju resurse gde je to moguće. Pomoćni resursi mogu da zamene originalni proizvod, ali po višoj ceni – oni će ući na tržište tek kada cene dostignu određeni nivo. Recikliranje je jedna od opcija za mnoge neobnovljive resurse, naročito za metale, i postaje troškovno delotvornija kako cene netaknutih resursa rastu.

Treba primetiti da sa modifikovanim profilom potrošnje fondovi primarnih resursa duže traju. Potrošnja pokazuje manje rapidan preokret, a tehnološka infrastruktura može se prilagoditi tako da koristi pomoćne i reciklirane resurse. Na osnovu toga i zato što je to dobra politika da se internalizuju eksternalije, savetuje se politika određivanja cena koja ohrabruje raniju tranziciju udaljavanja od zavisnosti od primarnih resursa.

Neke procene raspoloživosti globalnih resursa predstavljaju optimističko gledište budućnosti zasnovano na relativno dugom predviđenom životnom veku nekih resursa i mogućnosti za supstituciju u slučaju onih sa kraćim indeksima rezervi. [Goeller and Zucker, 1984: 485–462]

Međutim, ovaj pristup skoro ne uzima u obzir rast problema životne sredine koji su posledica iscrpljivanja resursa slabijeg kvaliteta. Osim današnjih troškova životne sredine, iscrpljivanje resursa visokog kvaliteta takođe nameće troškove korisnika budućim

generacijama. Budući korisnici resursa će plaćati i veće cene i pretrpeće veća oštećenja životne sredine jer će koristiti resurse slabijeg kvaliteta.

Recikliranje resursa danas smanjuje i sadašnje i buduće troškove koji nastaju usled korišćenja primarnih resursa. Proces recikliranja takođe ima svoje troškove, uključujući troškove kapitala, objekata za reciklažu i troškove rada, transporta i energije. Stoga ima smisla ispitati ekonomiju recikliranja i njene posledice na korišćenje resursa.

4. EKONOMIJA RECIKLIRANJA

U teoriji, efikasno recikliranje može znatno produžiti životni vek mnogih neobnovljivih resursa. Međutim, recikliranje ima i ekonomska i fizička ograničenja.

Prema drugom zakonu termodinamike (princip povećanja entropije), potpuno recikliranje je nemoguće. Uvek će se pojaviti izvestan gubitak ili degradacija materijala u procesu izrade, korišćenja i recikliranja. Osim toga, recikliranje zahteva nove inpute energije. U ekonomskom smislu, moramo uporediti troškove recikliranja sa troškovima korišćenja primarnih materijala da bismo odredili da li će recikliranje biti i fizički izvodljivo i ekonomski isplativo.

Slika 10 prikazuje ekonomiju recikliranja sa tačke gledišta proizvođača. Očigledna prednost za proizvođača je to što korišćenje recikliranih materijala štedi trošak kupovine novih inputa. Kada se slika 10 gleda sleva udesno, ukupan trošak netaknutih materijala opada kako se povećava udeo recikliranih inputa. S druge strane, trošak recikliranih materijala raste na nelinearan način, što ukazuje na to da kako se približavamo teoretski stoprocentnom recikliranju, povećanje udela recikliranih materijala postaje teško i skupo.

U ovom hipotetičkom primeru, optimalan miks netaknutih i recikliranih materijala, prikazan minimalnom tačkom krive ukupnog privatnog troška, jeste 40 procenata udela recikliranog materijala. Međutim, pri tom su zanemareni troškovi životne sredine i odlaganja. Oni su tipično eksterni i ne snosi ih proizvođač. Troškovi životne sredine obuhvataju zagađenje vode i vazduha od rudarstva i proizvodnje primarnih materijala. Troškove odlaganja plaća ili potrošač ili vlasti koje nemaju kontrolu nad udelom netaknutog materijala koji proizvođač koristi (iako odluke zajednice o recikliranju na kraju mogu da utiču na industrijske inicijative).

Ako uključimo troškove životne sredine i odlaganja koji su povezani sa korišćenjem netaknutih materijala, optimalan udeo recikliranih materijala u ovom primeru raste na 70 procenata (najniža tačka krive ukupnih troškova i troškova životne sredine). Ako se uvede porez na primarne resurse da bi se internalizovali troškovi uticaja na životnu sredinu i

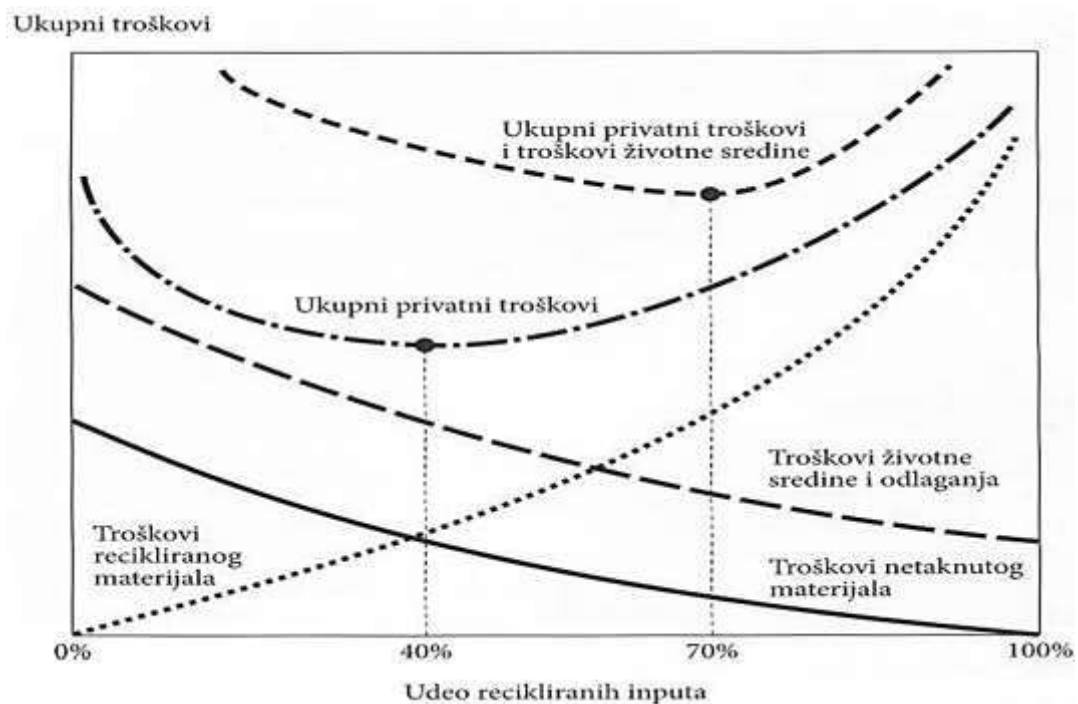
odlaganja, proizvođači će zaključiti da mogu da minimiziraju troškove ukupnog inputa, uključujući i porez, tako što će koristiti 70 procenata recikliranog materijala.

Takođe možemo ispitati nivoe privatne i društvene ravnoteže recikliranja u smislu odgovarajućih krivih graničnog troška, kao što je prikazano na slici 11.

Proizvođači koji teže maksimiziranju profita uravnotežiće granični trošak recikliranja sa graničnim troškom netaknutih materijala.

Ako bismo internalizovali eksterne troškove pomoću poreza koji odražava istinske društvene troškove, njihova odluka će se pomeriti u korist korišćenja više recikliranih materijala.

Slika 10. Ukupni troškovi recikliranja



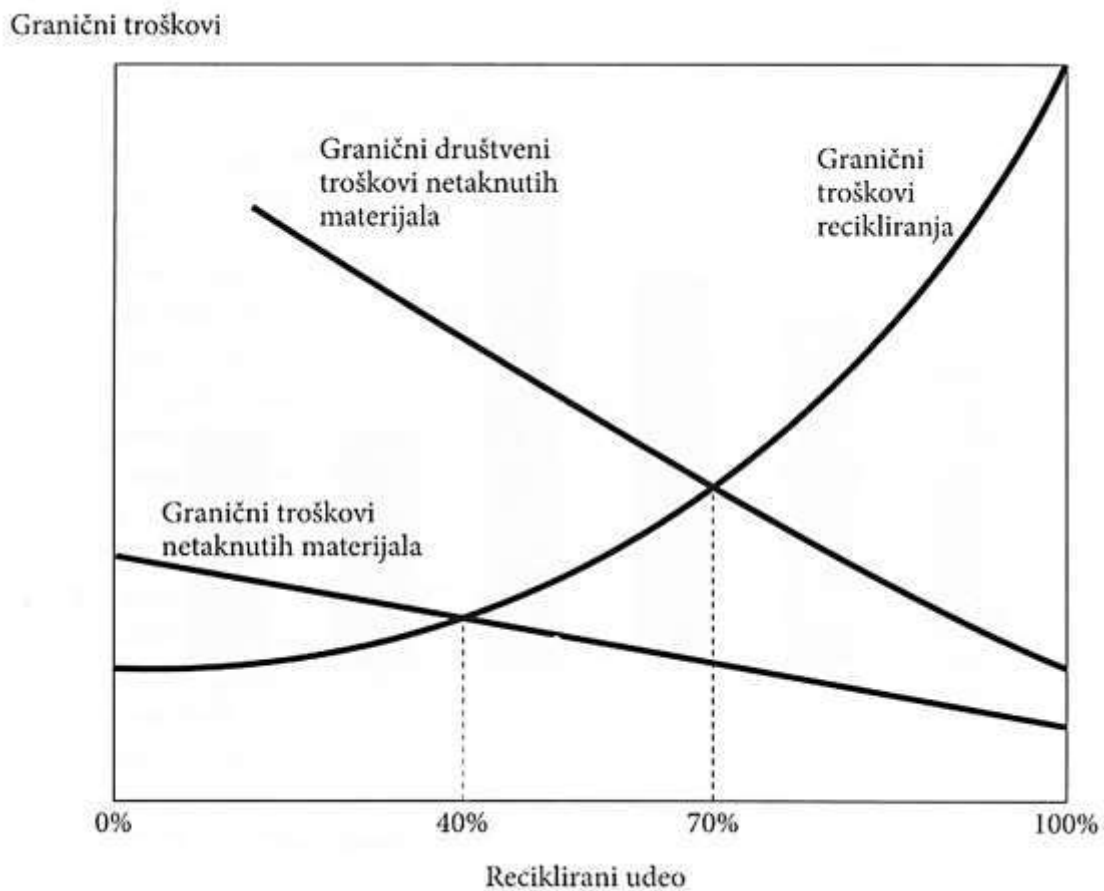
Izvor: Hodges, 1995: 1307.

4.1. Politike za promovisanje recikliranja

Čak i bez značajnih politika za internalizovanje troškova životne sredine, reciklaža metala je generalno u porastu. U SAD, skoro 50 procenata potrošnje metala sada potiče od recikliranja (slika 12).

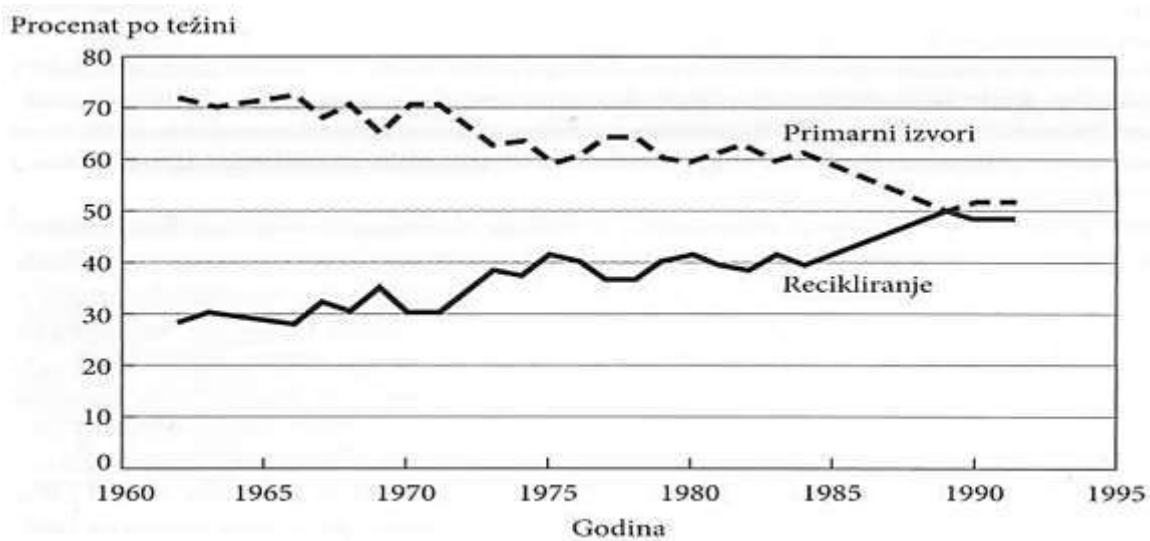
Među metalima sa najvišom godišnjom potrošnjom, aluminijum ima 40 procenata recikliranog sadržaja, bakar oko 45 procenata, a gvožđe i čelik oko 55 procenata.

Slika 11. Granični troškovi recikliranja



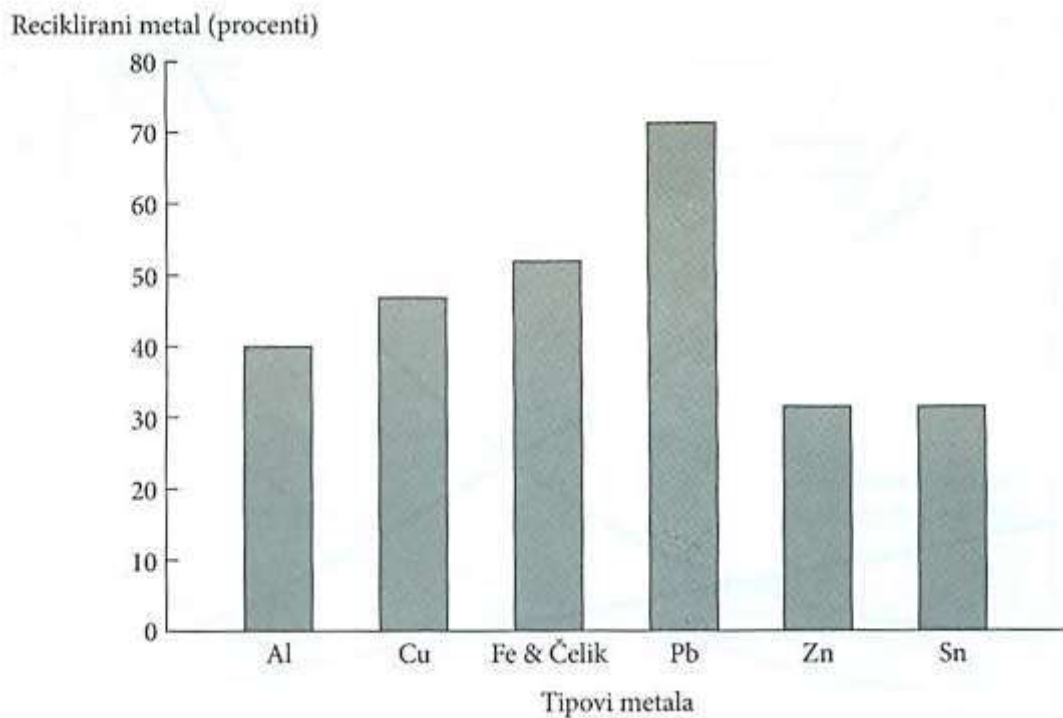
Izvor: Hodges, 1995: 1307.

Slika 12. Potrošnja metala u SAD iz primarnih i recikliranih izvora



Izvor: Meadows, Donella H., et al. 1992.

Slika 13. Reciklirani metal kao udeo u ukupnoj potrošnji u SAD



Izvor: Carol Hodges, „Mineral Resources, Environmental Issues, and Land Uses“. Preuzeto iz *Science* 268, 1995: 1307.

Reciklaža olova, koja iznosi skoro 70 procenata, znatno smanjuje visokotoksične reziduale olova u životnoj sredini (slika 12 i 13).

Stope recikliranja su značajne jer proširuju životni vek resursa i smanjuju ekonomske i ekološke troškove. Kada bi stopa globalnog recikliranja metala mogla da pređe 50 procenata, životni vek resursa bi se više nego dvostruko povećao u odnosu na životni vek kada bi se koristili samo netaknuti resursi. Osim toga, znatno bi se smanjilo zagađenje od rudarstva i prerade, kao i problemi odlaganja otpada.

Koje vrste politika bi najbolje promovisale povećanje recikliranja neobnovljivih resursa? Opcije politika za povećanje recikliranja obuhvataju sledeće:

1. *Izmenu javnih politika koje ohrabruju rapidnu ekstrakciju resursa.* Vlade često dozvoljavaju eksploataciju mineralnih resursa uz ekstremno niske naknade. Na primer, Opšti zakon o rudarstvu SAD iz 1872. godine nudi prava na eksploataciju minerala na državnom zemljištu za samo nekoliko dolara po jutru – ta cena se nije menjala duže od jednog veka. Uprkos učinjenim naporima da se izmeni zakon da bi se ponovo stekao deo rente resursa plaćanjem adekvatnijih taksi, rudarski interesi su uspešno sprečavali nove dopune zakona i propise. Uz gubitak prihoda, niske cene vrednih resursa promovišu preteranu eksploataciju resursa i preterane eksterne troškove i troškove korisnika. [Spofford, 1971: 561–589]

2. *Uvođenje poreza na korišćenje primarnih resursa.* Kao što je prikazano na slici 12 i 11, internalizovanje troškova životne sredine uz pomoć poreza, promoviše povećavanje upotrebe recikliranih materijala. Međutim, pošto troškovi netaknutih materijala predstavljaju samo mali udeo troška finalnog proizvoda, sam porez može imati slab uticaj na obrasce potrošnje. [Ackerma: 1996]
3. *Kombinovanje tržišnih inicijativa za reciklažu sa merilima koja podstiču tehnologiju i infrastrukturu koje su potrebne za sisteme za recikliranje.* Fenomen koji se naziva tehnološka sinhronizacija podstiče privrednu granu koja je jednom nabavila određenu vrstu postrojenja i mehanizacije – u ovom slučaju, tehnologiju proizvodnje koja koristi primarne resurse – da nastavi da investira u istu vrstu postrojenja. Prelazak cele privredne grane sa jednog proizvodnog sistema na drugi iziskuje velike troškove i zahteva znatnu količinu početnog kapitala. Oporezivanje, ulaganje u istraživanja i razvoj tehnologija recikliranja i vladine nabavke – program koji garantuje izvesnu tražnju vlade za recikliranim materijalima – mogu pomoći da se ovaj proces započne.
4. *Opštinski programi i institucije koji će promovisati recikliranje.* Kante za recikliranje pored puta olakšavaju recikliranje otpadnih materijala potrošačima i kompanijama. Zajednica može povratiti novac uloženi u kante za recikliranje pored puta prodajom materijala koji se mogu reciklirati i smanjivanjem troškova odlaganja. Čak i ako takvi programi zahtevaju subvencije, oni mogu biti opravdani na osnovu zaštite životne sredine. Opštinske institucije za reciklažu stvaraju osnovu za tok rudarskog opada tako što dobijaju metale i druge materijale iz otpada umesto iz depozita minerala ili drugih primarnih izvora. Povećanje ponude recikliranih materijala će sniziti njihovu cenu i učiniti ih privlačnijim inputima za proizvođače.
5. *Inicijative potrošača kao što su sistemi depozita/povraćaja ili pravila „plaćanja po kesi“ za skupljanje smeća koje se ne može reciklirati.* To bi potrošačima pružilo finansijsku motivaciju za recikliranje i nametnulo bi im troškove izbegavanja reciklaže. Pokazalo se da su takve potrošačke inicijative generalno efikasnije ako se kombinuju sa drugim institucionalnim mehanizmima za recikliranje, kao što je postavljanje kanti za recikliranje pored puta, ili pravilima koja od proizvođača zahtevaju da identifikuje različite vrste materijala da bi se podržalo recikliranje.

Promovisanje recikliranja može koristiti životnoj sredini i u pogledu neobnovljivih i u pogledu obnovljivih resursa. Recikliranje metala smanjuje potrebu za vađenjem ruda, recikliranje plastike smanjuje tražnju za primarnim proizvodima od sirove nafte, a recikliranje papira smanjuje pritisak na šume.

Energetski resursi, međutim, ne mogu se reciklirati, a energija je potrebna i za ekstrakciju i za recikliranje primarnih resursa. Prema drugom zakonu termodinamike, korisna energija se neizbežno razlaže na otpadnu toplotu nakon upotrebe.

Iz tog razloga, u našoj analizi korišćenja resursa energija zaslužuje posebnu pažnju.

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Ponuda neobnovljivih resursa je ograničena, ali dostupne rezerve resursa mogu se proširiti ili novim otkrićima ili povećanjem ekstrakcije depozita slabijeg kvaliteta. Zabrinutost da će se iscrpeti glavni neobnovljivi resursi još uvek nije obistinjena. Uprkos rastu tražnje, nova otkrića i poboljšana tehnologija povećali su dostupne rezerve ključnih minerala.

Ekonomska teorija neobnovljivih resursa ukazuje na to da će se neto cena (cena minus troškovi ekstrakcije) resursa određenog kvaliteta vremenom povećavati. Kompanije koje teže maksimiziranju profita prvo će eksploatisati visokokvalitetne resurse. Kako resursi slabijeg kvaliteta prodiru na tržište, troškovi energije i životne sredine u vezi sa ekstrakcijom imaju tendenciju rasta. Pošto tehnološki napredak i proširenje dostupnosti resursa mogu neutralisati efekte cena, predviđanja cena resursa ostaju neizvesna.

Proces rudarstva stvara mnoge toksične otpade i izaziva sveobuhvatne negativne uticaje životne sredine na vodu i zemljište. Internalizovanje ukupnih troškova ekstrakcije resursa po životnu sredinu ohrabrilo bi korišćenje obnovljivih resursa ili recikliranje, umesto povećane potrošnje netaknutih resursa.

U SAD se za preko 40 procenata sadašnje proizvodnje metala koristi reciklirani otpad. Iako je potpuno recikliranje nemoguće, stope recikliranja znatno rastu kod većine glavnih metala. Osim što produžava životni vek neobnovljivih resursa, recikliranje znatno smanjuje štete po životnu sredinu koje nastaju kao posledica proizvodnje netaknutih materijala.

Javne politike za promovisanje recikliranja obuhvataju podizanje taksi za korišćenje materijala za pristup mineralima na javnom zemljištu, internalizovanje troškova životne sredine uvođenjem poreza na korišćenje primarnih resursa, razvoj tehnologije i infrastrukture i vladine nabavke recikliranih proizvoda.

Metal, plastika i papir mogu se reciklirati, ali energetski resursi ne mogu. Energija je esencijalni input i za ekstrakciju i za recikliranje primarnih resursa, što energetskim resursima daje posebnu važnost u analizi korišćenja neobnovljivih resursa.

LITERATURA

- [1] Ackerman, Frank. *Why Do We Recycle? Markets, Values, and Public Policy*. Washington, D.C.: Island Press, 1996.
- [2] Barnett, Harold I., and Chandler Morse. *Scarcity and Growth: The Economics of Natural Resource Availability*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1963.
- [3] Berck, Peter, and Michael Roberts. „Natural Resource Prices: Will They Ever Turn Up?“ *Journal of Environmental Economics and Management* 31 (1996): 65–78.
- [4] Cleveland, Cutler J. „Natural Resource Scarcity and Economic Growth Revisited: Economic and Biophysical Perspectives“. 19. poglavlje u *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*, urednik Robert Costanza. New York: Columbia University Press, 1991.
- [5] Goeller, H. E., and A. Zucker. „Infinite Resources: The Ultimate Strategy“. *Science* 27 (1984): 456–462.
- [6] Hartwick, John M., and Nancy D. Olewiler. *The Economics of Natural Resource Use*. 2nd ed. Reading, Mass.: Addison Wesley Longman, 1998.
- [7] Hodges, Carol A. „Mineral Resources, Environmental Issues, and Land Use“. *Science* 268 (2. juni 1995): 1305–1312.
- [8] John E. Young, *Mining the Earth*, Worldwatch Paper 109: 17–19, 1992.
- [9] Meadows, Donella H., et al. *The Limits to Growth*. New York: Universe Books, 1972.
- [10] Meadows, Donella H., et al. *Beyond the Limits: Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future*. Post Mills, Vt.: Chelsea Green, 1992.
- [11] Carol Hodges, „Mineral Resources, Environmental Issues, and Land Uses“. Preuzeto iz *Science* 268 (2. juni 1995), str. 1307.
- [12] Skinner, B. J., A Second Iron Age Ahead?, *American Scientist*, 64. 1976: 203.
- [13] Walter O. Spofford, Jr., „Solid Residual Management: Some Economic Considerations“. *Natural Resources Journal*, Vol. 11, juli 1971: 561–589.
- [14] http://rainerals.usgs.gov/minerals/pubs/metal_prices/

Aleksandar Radulović

INHABITABLE RESOURCES – TRENDS OF USE

Summary

There is a fixed amount of non-renewable resources on the planet, including metallic and non-metallic minerals, coal, oil and natural gas. We have large inventories of some resources, such as iron; supplies of others, such as mercury or helium, are relatively limited. The global economy uses these resources – often at rising rates. Is it a reason for an alert? So, in 1972, authors of the original Limits to Growth report were reiterated and similarly warned twenty years later, the current issue remains at the global level.

Key words: non-renewable resources, environment, recycling, global economy, environment.