

ŽIVOTNI CIKLUS ANTIFRIZA I – MATEMATIČKI MODEL

Analiza životnog ciklusa (LCA) podrazumeva identifikaciju i kvantitativno razmatranje upotrebljenih sirovina, energije i stvorenih otpadnih materijala tokom celog životnog ciklusa ispitivanog proizvoda. Cilj analize je procena uticaja na okolinu i poboljšanje procesa kako bi se sprečilo ili umanjilo nastajanje otpada. Osnovu za izvođenje analize predstavlja matematički model izveden iz masenih i energetskih bilansa svih procesa u životnom ciklusu.

Rezultati ovog rada ukazuju da je regeneracija antifriza najpovoljnija mogućnost tretmana otpadnog antifriza, sa stanovišta efikasnosti utroška materijala i korišćenja energije, mada ne treba zanemariti ni efekat ponovnog korišćenja antifriza.

Saznanje i prihvatanje činjenice da su izvori sirovina i energije u svetu ograničeni i da ih treba štedeti, kao i narasla svest o neophodnosti zaštite životne sredine od štetnih supstanci i sve većih količina različitih vrsta otpada, doveli su do toga da se sve ozbiljnije postavlja pitanje o potrebi provere ekološke opravdanosti proizvodnje i primene različitih materijala i proizvoda.

Pravljenje ekološkog bilansa omogućava poređenje različitih supstanci, svih faza njihove proizvodnje, kao i doprinos svake faze zagađenja životne sredine. U pravljenju takozvanog ekološkog bilansa koristi se šema u koju se unose sve faze "života" nekog materijala ili supstance (slika 1).

Ekološki bilans omogućava poređenje različitih postupaka proizvodnje jednog proizvoda, pa samim tim i pravi izbor kako materijala tako i postupaka njegove proizvodnje, korišćenja i regeneracije.

U prvom delu ovog rada definisan je ekološki bilans antifriza, proizvoda koji ima masovnu upotrebu, zapravo postavljanje matematičkog modela životnog ciklusa antifriza.

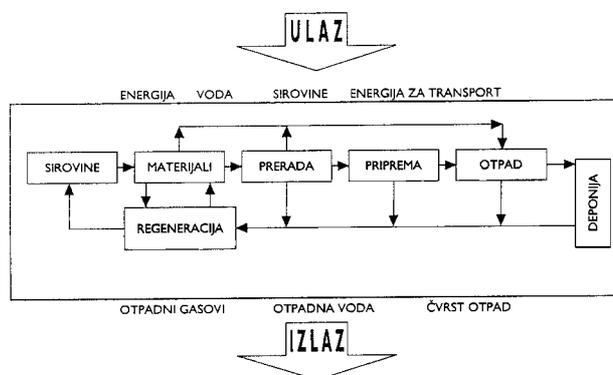
Neophodno je ukazati na činjenicu da analiza životnog ciklusa (LCA) neizbežno uključuje pojednostavljenje složenih sistema i subjektivne procene. Različite LCA analize istog proizvoda mogu dati različite čak i međusobno neuporedive rezultate u zavisnosti od načina izvođenja analize. Rezultati jedne analize životnog ciklusa su relevantni za posmatrane (navedene) procese i proizvode i za jasno definisane uslove analize. Stoga ne treba donositi uopštene zaključke iz pojedinačnih LCA analiza.

Cilj rada je definisanje matematičkog modela na osnovu kojeg će se obraditi realni i trenutno dostupni podaci vezani za životni ciklus antifriza.

Adresa autora: J. Kesić, Tehnološko–metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Karnegijeva 4, 11000 Beograd, Srbija i Crna Gora

Rad primljen: Decembar 20, 2004.

Rad prihvaćen: Maj 4, 2005.



Slika 1. Ekološki bilans

Figure 1. Ecological balance

ANTIFRIZ KAO MASOVNI PROIZVOD I EKOLOŠKI PROBLEM

Antifrizi su specijalne tečnosti čiji je primarni zadatak zaštita sistema za hlađenje motora sa unutrašnjim sagorevanjem. Ovi proizvodi moraju da zadovolje osnovne zahteve koje uslovljavaju svi vodeći proizvođači i koji određuju njihovu primenu:

1. sposobnost snižavanja temperature mržnjenja vode ispod najniže temperature u zimskom periodu;
2. sposobnost zaštite od korozije metala od kojih je napravljen rashladni sistem;
3. efikasan prenos toplote i odsustvo neželjenih efekata pri radu i hlađenju motora;
4. hemijska stabilnost tokom upotrebe;
5. otpornost na dejstvo vode različitog kvaliteta (tvrdoće) i stvaranje naslaga na zidovima rashladnog sistema;
6. minimalan uticaj na elastomere i fino obrađene površine motora;
7. rok upotrebe (najmanje jedna godina);
8. mala toksičnost;
9. niska cena.

Pored ovih zahteva, antifizi moraju da zadovoljavaju još neke zahteve kao što su prihvatljiv miris, nezapalj-

vost, odgovarajuća temperatura ključanja, mala viskoznost na niskim temperaturama, nizak koeficijent širenja pri zagrevanju, malo penušanje i minimalni gubici.

Pored primene za zaštitu sistema za hlađenje motora, antifrizi imaju i druge primene:

- u solarnim sistemima;
- zaštita cevovoda od očvršćavanja fluida;
- u sistemima za prenos toplote i sličnim uređajima.

Antifrizi predstavljaju direktnu opasnost za ljude i životinje u slučaju oralne upotrebe gotovog proizvoda. Toksičnost antifrizna fukcija je ukupne formulacije. Monoetilenglikol kao glavna komponenta antifrizna bliže određuje njegovu toksičnost mada ne treba zanemariti ni prisustvo inhibitora korozije u gotovom proizvodu.

Smrtonosna doza za čoveka je približno 1.4 g/kg ili 100 cm³ monoetilenglikola. Manje je opasan za kožu i oči, izuzev ako je izlaganje njegovom dejstvu intenzivno ili dugotrajno.

Pored direktne opasnosti od intoksikacije, postoji i indirektna opasnost koja se odnosi na uticaj novog i iskorišćenog antifrizna na životnu sredinu (zemljište, voda, vazduh). Način raspodele i odlaganja antifrizna koji je izašao iz eksploatacije je prikazan na slici 2.

U zemljama sa strogim zakonskim regulativama etilenglikol je proglašen za otrovnu supstancu. Samim tim znatno su porasli troškovi odlaganja korišćenog antifrizna na bazi etilenglikola. Regeneracija korišćenog antifrizna je postala jako popularna iz tri razloga:

- očuvanje životne sredine;
- smanjenje troškova proizvodnje novog antifrizna;
- smanjenje troškova i problema vezanih za odlaganje korišćenog antifrizna.

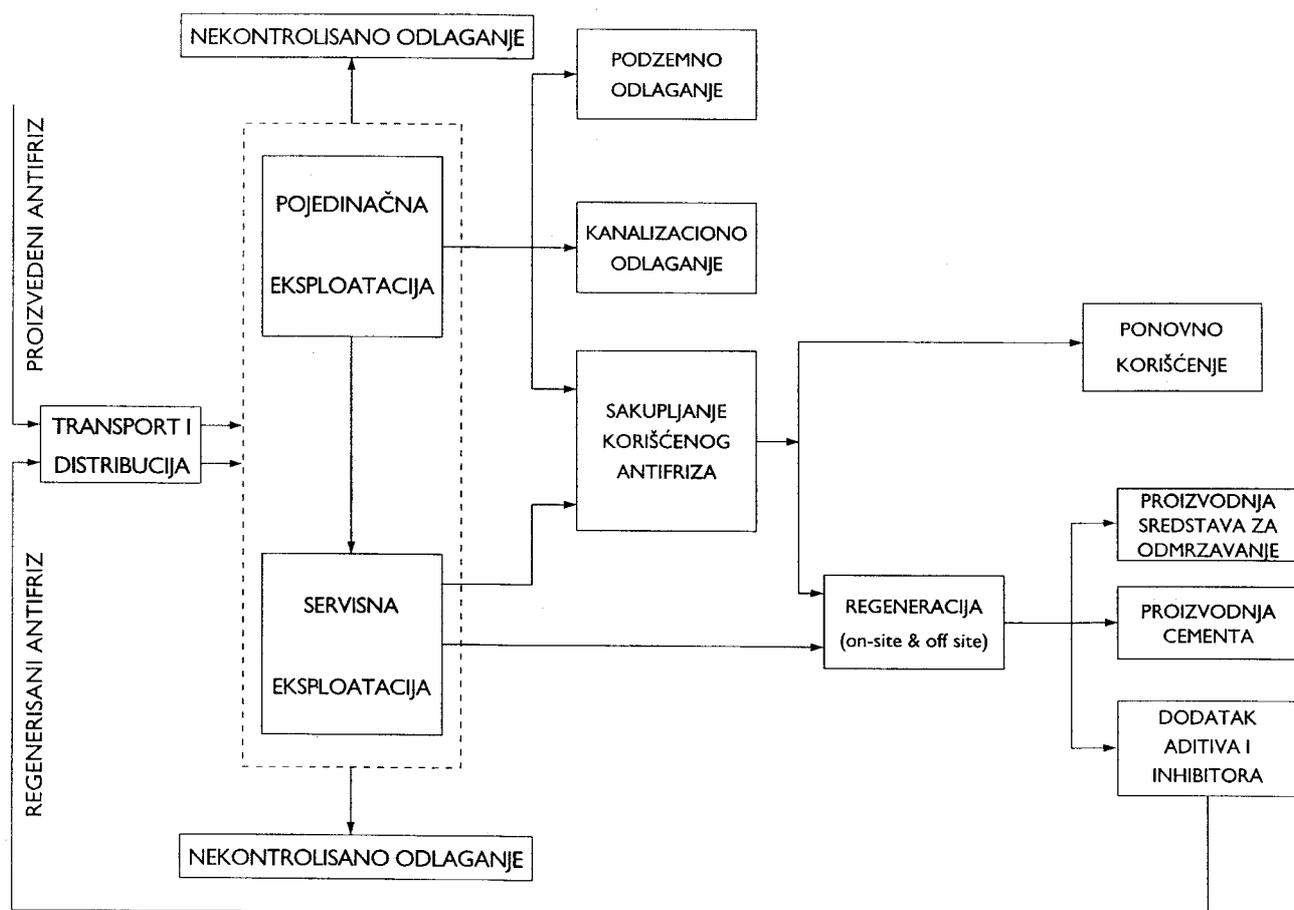
Razvijene zemlje se već dosta dugo bave ovom problematikom i u primeni su dva tipa regeneracije:

- "On-site" regeneracija (obrada korišćenog antifrizna na mestu eksploatacije);
- "Off-site" regeneracija (obrada korišćenog antifrizna u industrijskim razmerama).

"On-site" regeneracija je sve zastupljenija zbog svoje efikasnosti, malih dimenzija opreme za regeneraciju, relativno pristupačne cene opreme i eliminisanih troškova sakupljanja, skladištenja i transporta do industrijskih postrojenja za regeneraciju.

SPECIFIKACIJE ANTIFRIZA

Antifriz kao komercijalni proizvod mora da zadovoljava specifikacije performansi proizvođača motornih vozila. Navedene su samo neke specifikacije:



Slika 2. Način raspodele i odlaganja korišćenog antifrizna

Figure 2. The manner of distribution and disposal of used antifreeze

FIAT 55523/
 AUDI VW-TL 774
 OPEL B-040 0068
 FORD SM 97BI002
 PEUGEOT 41-01-101
 GM-13365

Specifikacije performansi antifrizi i rashladnih sredstava uslovljavaju niz karakteristika koje osiguravaju bezbednu i pravilnu upotrebu u eksploataciji. Na osnovu ovih zahteva vrši se formulacija proizvoda koja je data specifikacijom sastava. Specifikacija sastava je recept koji proizvođač sledi da bi dobio pravu formulaciju. Pri tome se propisuju komponente i njihove koncentracije.

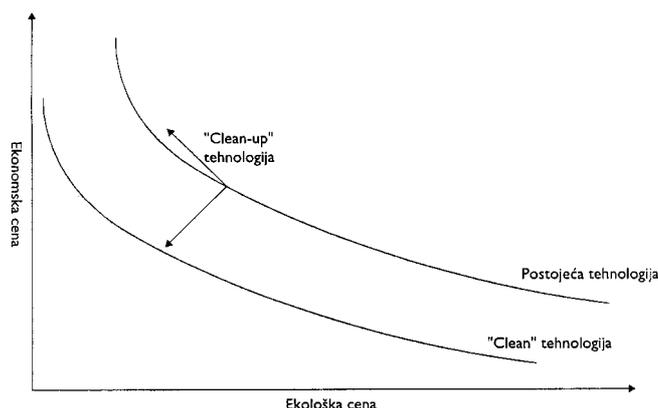
NIS-Rafinerija nafte Beograd proizvodi niz proizvoda koji se koriste kao antifrizi i poznati su pod komercijalnim nazivom KORSANTINI. Osnovna komponenta svih proizvoda je monoetilenglikol. Druga komponenta je demineralizovana voda, dok su ostale komponente inhibitori korozije i hemikalije koje im daju boju. U ovom radu obrađen je jedan od tih proizvoda čiji je komercijalni naziv KORSANTIN 100 [1].

Tabela 1. Karakteristike KORSANTINA 100 [1]
 Table 1. Korsantin 100 characteristics [1]

Karakteristike	Metoda	Vrednost
Izgled	Vizuelno	Bistra zeleno-plava tečnost
Gustina (20°C), g/cm ³	JUS B.E4.340	1.12-1.14
Sadržaj vode, mas %, max	JUS H.Z8.051	3
Sadržaj pepela, mas%, max	JUS H.Z8.055	1.5
Temperatura ključanja, °C, min	JUS H.Z8.058	160
Test sa tvrdom vodom	Zt. 55523	Bistar do opalescentan rastvor
Temperatura mržnjenja, °C, za smešu 1:1, max	JUS H.Z8.053	-38
Penušanje, ml, max za smešu sa Tm = -18°C	JUS H.Z8.057	5.0
Korozija pločica gubitak mase pločica, mg za smešu Korsantina 100 i vode sa Tm = -18°C	JUS H.Z8.056	5.0
- bakar		5.0
- mesing		5.0
- čelik		5.0
- liveno gvožđe		5.0
- aluminijum		10.0

PROCENA ŽIVOTNOG CIKLUSA (LIFE CYCLE ASSESSMENT - LCA) [2, 3, 4]

Za razliku od više godina primenjivanog kratkoročnog načina sagledavanja problema zagađivanja životne sredine, u poslednje vreme je postalo aktuelno daleko-



Slika 3. "Clean i clean-up" tehnologija
 Figure 3. "Clean and clean-up" technologies

sežnije sagledavanje problema zagađivanja, tj. ispitivanje ukupnog uticaja na životnu sredinu. Za ovakvu vrstu analize razradena je metodologija koja se naziva Life Cycle Assessment - LCA, odnosno procena životnog ciklusa.

Ovakva analiza podrazumeva identifikovanje i kvantitativno razmatranje upotrebljenih sirovina, energije i stvorenih otpadnih materijala tokom celog životnog ciklusa ispitivanog proizvoda. Analiza se izvodi od samog početka (dobijanje, prerada polazne sirovine), preko proizvodnje, distribucije, upotrebe, regeneracije i ponovne upotrebe, do odlaganja u obliku otpada.

Cilj LCA nije poboljšanje prerade otpada već poboljšanje procesa kako bi se sprečilo i/ili smanjilo nastajanje otpada. Poboljšati proces znači uvećati njegovu efikasnost uz umerene troškove. U svetu su aktuelna dva termina:

- tehnologija "čišćenja" (Clean-up technology)
- "čista" tehnologija (Clean technology)

Ove dve tehnologije iako terminološki slične, suštinski se razlikuju.

"Clean-up" tehnologija razmatra smanjenje obima zagađenja u već postojećim tehnologijama.

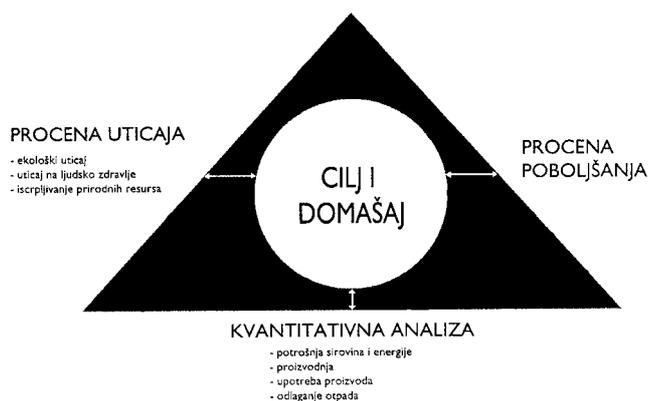
"Clean" tehnologija podrazumeva uvođenje novih tehnologija kako bi se izbeglo stvaranje zagađenja i otpada.

Međunarodna organizacija SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) je 1990. godine inicirala međunarodno priznavanje LCA metodologije za procenu uticaja procesa, proizvoda ili aktivnosti na životnu sredinu.

Na koji način se vrši procena uticaja:

1. definišu se i kvantitativno određuju korišćena energija, sirovine i nastao otpad predat okolini;
2. procenjuje se njihov uticaj na okolinu;
3. definišu se i procenjuju mogućnosti za poboljšanje.

Procena uticaja se vrši na polju ekologije, ljudskog zdravlja i iscrpljivanja prirodnih izvora i nema osvrta na ekonomske niti socijalne efekte, mada se ekonomski efekti mogu indirektno posmatrati.



Slika 4. Procena životnog ciklusa

Figure 4. LCA estimation

Kao i ostale naučne metode i LCA je bazirana na pojednostavljanju fizičkog sistema pa se stoga ne može opisati niti precizno predstaviti svaka interakcija sistema sa okolinom. Do koje mere će sistem biti pojednostavljen zavisi od nivoa informacija koje želimo dobiti iz analize. Procena životnog ciklusa (u daljem tekstu: LCA) sastoji se od nekoliko međusobno povezanih komponenata:

UTVRĐIVANJE CILJA I DOMAŠAJA

U ovoj fazi potrebno je jasno definisati razloge izvođenja analize i u koje svrhe će se koristiti dobijeni rezultati. Cilj treba definisati u skladu sa odlukama koje će se bazirati na rezultatima analize. Definisanjem domašaja definiše se sistem, granice sistema, potrebni podaci, pretpostavke i ograničenja.

Za izvođenje analize potrebno je jasno definisati funkciju sistema, a samim tim i funkcionalnu jedinicu, tj. referentnu meru. Funkcionalna jedinica mora biti precizno definisana, merljiva i lako vezujuća za ulazne i izlazne podatke.

KVANTITATIVNA ANALIZA

Principi kvantitativne analize se odnose na bilo koju aktivnost koja direktno ili indirektno koristi energiju ili sirovine i emituje otpad.

Sistem se definiše kao zbir svih materijalno i energetski povezanih operacija koje izvode neku definisanu funkciju. Sistem je od svoje okoline odvojen granicom sistema. Sve izvan granice sistema predstavlja okolinu sistema. Okolina sistema je izvor svih ulaza u sistem i sakuplja sve izlaze iz sistema. Kvantitativna analiza predstavlja kvantitativan opis svih materijalnih i energetskih tokova kroz granicu sistema. Ona se izvodi za sve procese koji sačinjavaju sistem.

Za izvođenje analize neophodni su detaljni podaci o ulazu u sistem (sirovine i energija) i izlazu iz sistema (proizvodi i ispuštanje u okolinu – voda, vazduh, zemljište).

Ovi podaci se uglavnom dobijaju od kompanija koje se bave tim specifičnim procesima, mada postoje i drugi izvori podataka. Najbitnije je da su izvori podataka pouzdani.

Bilansi se preračunavaju na odgovarajuću funkcionalnu jedinicu proizvoda (na primer, jedno punjenje antifrizu), što znači da se u procesu bilansiranja usvaja ona količina sirovine koja odgovara funkcionalnoj jedinici odgovarajućeg finalnog proizvoda.

PROCENA UTICAJA

Procena uticaja je kvantitativni i/ili kvalitativni postupak kojim se vrši karakterizacija i procena uticaja, definisanih u kvantitativnoj analizi, na okolinu. Sastoji se od tri kontinualna koraka: klasifikacija, karakterizacija i vrednovanje.

Klasifikacija – podaci dobijeni kvantitativnom analizom se grupišu u brojne kategorije uticaja. Grupisanje se vrši tako da se podaci pojavljuju u više kategorija. Analizira se uticaj na tri osnovne oblasti zaštite životne sredine: prirodni izvori, ljudsko zdravlje i ekologija.

Karakterizacija – korak u kojem se vrši kvantitativna analiza i ukoliko je moguće grupisanje uticaja unutar datih kategorija uticaja. Sledeći nivo karakterizacije je normalizovanje grupisanih podataka po kategoriji uticaja u skladu sa stvarnom veličinom uticaja unutar same kategorije. Ovo se sve radi u cilju stvaranja mogućnosti za poređenje različitih kategorija uticaja i kao priprema za sledeću fazu, tj. vrednovanje.

Vrednovanje je korak u kome doprinosi iz različitih kategorija uticaja dobijaju svoju vrednost da bi mogli da se porede međusobno. Vrednosti kojima se porede kategorije uticaja su bazirane na proceni relativne štete po okolinu. Ova procena reflektuje neke socijalne norme. Tehnika teorijskog odlučivanja, koja ne mora uvek da bude prisutna, omogućava racionalno i eksplicitno vrednovanje.

PROCENA POBOLJŠANJA

U ovom stupnju LCA analize se razmatraju opcije za smanjenje uticaja sistema na životnu okolinu. Opcije se određuju i vrednuju. Kvantitativna analiza upućuje na aspekte koji se mogu poboljšati: ulaz i izlaz iz sistema (manja potrošnja energije, veći prinos proizvoda) ili izlazi u okolinu koja nas okružuje (iscrpljivanje prirodnih izvora i emisije različitih otpadnih materija).

Bilo kakvo poboljšanje koje proistekne iz LCA analize povećava značaj ovakvog načina sagledavanja problema zagađivanja. Tehnička rekonstrukcija postrojenja koja proistekne iz LCA analize nije deo LCA već samo praktična primena ove metodologije koja je sve zastupljenija. Krajnji proizvođači naručuju procenu celog životnog ciklusa svog proizvoda bez zanemarivanja značajnih aspekata savremenog života: zaštita životne sredine, bezbednost, zdravlje.

EKSERGIJA – SREDSTVO U PROCENI ŽIVOTNOG CIKLUSA [5, 6]

Svaki proces se može posmatrati kao serija operacija gde se ulaz u proces (sirovine i energija) transformiše u izlaz iz procesa (proizvodi i otpad). Prema zakonu održanja mase i energije, ulaz materijala jednak je izlazu materijala i ulaz energije jednak je izlazu energije.

Kriterijum za kvalitet energije je njena "transformabilnost" u drugi oblik energije ili rad. Visokokvalitetna energija kojom se snabdeva proces (elektricitet, gorivo ili para) se transformiše u niskokvalitetnu energiju (topla voda i vazduh) napuštajući proces kao energija koja se gubi, odnosno više se ne upotrebljava. Eksergija je udeo energije koji se može transformisati u rad, odnosno eksergija je transformisani (iskorišćeni) deo energije.

Koncept eksergije uzima u obzir kvalitet različitih vidova energije ali i kvalitet različitih materija. Neenergetске sirovine imaju eksergetsku vrednost koja zavisi od njihove hemijske strukture i koncentracije. Upotrebljive sirovine treba da budu koncentrisane i strukturirane na način koji se razlikuje od okruženja sistema (vazduh, voda i zemljište). Vazduh, voda i zemljište se u analizu eksergije smatraju referentnim supstancama koje su dostupne u neograničenim količinama i koje imaju nultu vrednost eksergije. Bilo koja druga supstanca koja se razlikuje u strukturi i koncentraciji od referentnih ima određenu vrednost eksergije. Što je veća uređenost materije manja je entropija, a veća vrednost eksergije.

Kada se u procesima visokokvalitetna energija transformiše u niskokvalitetnu dešava se gubitak eksergije. Gubitak eksergije se dešava i kada se sirovina velikih vrednosti eksergije transformiše u proizvode niže ukupne vrednosti eksergije. Ukupan gubitak eksergije se dobija sumiranjem doprinosa transformacije materije i energije. Međutim, promena eksergije materije može biti i obratna, npr. sirovina može da se transformiše u proizvode više vrednosti eksergije. U tom slučaju jedan deo eksergije goriva koje ulazi u proces prenosi se na proizvode i oduzima se od gubitka eksergije pri transformaciji energije pri računanju ukupnog gubitka eksergije u procesu.

S obzirom na mogućnost međusobnog pretvaranja različitih vidova energije, postoji sledeća klasifikacija:

- Energija koja se može neograničeno pretvarati u druge oblike energije zove se EKSERGIJA. Potpuno pretvaranje moguće je samo pomoću povratnih procesa. U ovu grupu spadaju: potencijalna, kinetička, mehanička i električna energija.

- Energija koja se može samo ograničeno pretvarati u druge oblike energije kao na primer unutrašnja energija i toplota. Ograničenje pretvaranja je posledica drugog principa termodinamike, a zavisi od oblika energije, stanja u kome se proces odvija i stanja okoline.

- Energija koja se ne može pretvarati u drugi oblik energije zove se ANERGIJA. Primer ove grupe energije su energija okoline i energija mora.

Korišćenjem pojmova eksergije i anergije moguće je definisati zakon o održanju energije i prvi princip termodinamike, kao njegov poseban slučaj, na sledeći način: "U svim energetskim procesima zbir eksergije i anergije je konstantan"

ENERGIJA = EKSERGIJA + ANERGIJA

Jedan od članova desne strane jednačine može imati i vrednost nula.

Za pretvaranje energije iz jednog oblika u drugi važi:

- 1) u svim nepovratnim procesima eksergija se pretvara u anergiju,

- 2) samo u povratnim procesima eksergija ostaje konstantna, i

- 3) nemoguće je anergiju pretvoriti u eksergiju.

Svi realni energetski procesi su više ili manje nepovratni, pa se sa pretvaranjem oblika energije smanjuju "zalihe" eksergije jer se deo eksergije pretvara u anergiju. Ovim se opravdava naziv drugog principa termodinamike – "princip smanjenja eksergije".

Za sve energetske procese potrebna je energija i to ne bilo kakva energija već energija koja se može pretvoriti u druge oblike, znači eksergija. Energetski izvori su u stvari izvori eksergije. Izrazi kao što su "potrošnja energije" i "gubitak energije" u suprotnosti su sa zakonom o održanju energije po kome se energija ne može ni potrošiti ni izgubiti. Za razliku od ovih pojmova, pojmovi "potrošnja eksergije" i "gubitak eksergije" imaju puno značenje jer se eksergija troši i gubi pretvarajući se nepovratno u anergiju.

Ono što nudi koncept eksergije je bliska veza između transformacije sirovina i energije. Zahvaljujući tome, ceo životni ciklus se može okarakterisati samo jednom vrednošću za potrošnju (iscrpljivanje) energetskih i sirovinskih izvora. Ta vrednost je ukupni gubitak eksergije tokom celog životnog ciklusa. Prednost korišćenja koncepta eksergije leži u činjenici da vrednost koja karakteriše životni ciklus ima jasno fizičko značenje – gubitak upotrebljive materije i energije.

PRIBLIŽNO IZRAČUNAVANJE GUBITAKA EKSERGIJE

Detaljna analiza gubitaka eksergije industrijskih procesa zahteva poznavanje kompletnog energetskog bilansa posmatranih procesa kao i svih temperatura na kojima se razmenjuje toplota sa okolinom. Stoga je, usled nedostataka potrebnih podataka, često nemoguće uraditi detaljnu analizu. Tako se javlja potreba za približnim izračunavanjem pomenutog gubitka eksergije na osnovu dostupnih podataka o potrošnji:

- goriva (MJ/t glavnog proizvoda)

- pare različitih pritisaka (t/t glavnog proizvoda)

- električne energije (kWh/t glavnog proizvoda).

Ovi normativi, takozvani "utilities", sastavni su deo čak i vrlo šturih opisa tehnoloških procesa.

U ovom radu korišćena je jednačina za približan proračun ukupnih gubitaka eksergije procesa [7]:

Spisak promjenljivih:

AF_e – masa antifrizu u eksploataciji
 KAF – masa korišćenog antifrizu koji izlazi iz eksploataciji
 KAF_{sak} – sakupljena masa korišćenog antifrizu
 KAF_n – ukupna masa korišćenog antifrizu koja se odlaže na jedan od tri načina
 KAF_{kan} – masa korišćenog antifrizu koja se kanalizaciono odlaže
 KAF_{zem} – masa korišćenog antifrizu koja se podzemno odlaže
 KAF_{nek} – masa korišćenog antifrizu koja se odlaže nekontrolisano
 KAF_{sak1} – masa sakupljenog antifrizu koja se regeneriše
 KAF_{sak2} – masa sakupljenog antifrizu koja se ponovo koristi
 KAF_{reg} – masa korišćenog antifrizu koji izlazi iz procesa regeneracije
 PKOR – masa antifrizu nakon ponovnog korišćenja
 PKOR1 – masa antifrizu koja se sa ponovnog korišćenja upućuje na regeneraciju
 PKOR2 – masa antifrizu koja se sa ponovnog korišćenja upućuje na odlaganje
 KAF_{pr} – masa antifrizu proizvedena od regenerisanog antifrizu
 KAF_{pak} – masa regenerisanog antifrizu na pakovanju proizvoda
 KAF_{trd} – masa regenerisanog antifrizu koja se transportuje i distribuše na eksploataciju
 SA_{Fe} – masa svežeg antifrizu u eksploataciji
 SA_{Fpak} – masa svežeg antifrizu na pakovanju proizvoda
 SA_{Fpr} – masa sveže proizvedenog antifrizu
 EG_{tr} – masa etilenglikola koji se transportuje na proizvodnju antifrizu
 EG_{pr} – proizvedena masa etilenglikola
 E_{tr} – masa etilena koji se transportuje na proizvodnju etilenglikola
 EAF – masa etilena koji se sa procesa pirolize upućuje na proizvodnju antifrizu
 AMB – masa litarske (1.25) polietilenske ambalaže koja ide na pakovanje
 PE_{tr} – masa polietilena koji se transportuje na proizvodnju polietilenske ambalaže
 PE_{pr} – proizvedena masa polietilena u procesu polimerizacije etilena
 EAMB_{tr} – masa etilena koji se transportuje na proizvodnju polietilenske ambalaže
 EAMB – masa etilena koji se sa procesa pirolize upućuje na proizvodnju ambalaže
 E – ukupna masa etilena na izlazu iz procesa pirolize
 BENZ – masa primarnog benzina koji se sa atmosferske destilacije upućuje na pirolizu
 NAFT_{atr} – masa nafte koji se transportuje na rafinerijsku preradu
 NAFTA – potrebna masa nafte za dobijanje određene mase antifrizu u eksploataciji

Spisak koeficijenata:

ke_{spl} – udeo korišćenog antifrizu koji izlazi sa eksploataciji (0.9)
 ks_{ak} – udeo korišćenog antifrizu koji se sakupi (promenljiv)
 k_{kan} – udeo korišćenog antifrizu koji se kanalizaciono odlaže (promenljiv)
 kz_{em} – udeo korišćenog antifrizu koji se podzemno odlaže (promenljiv)

k_{nek} – udeo korišćenog antifrizu koji se nekontrolisano odlaže (promenljiv)
 k1_{sak} – udeo sakupljenog antifrizu koji se regeneriše (promenljiv)
 k2_{sak} – udeo sakupljenog antifrizu koji se ponovo koristi (promenljiv)
 k_{reg} – udeo antifrizu koji izlazi iz procesa regeneracije (1.05)
 kp_{kor} – udeo korišćenog antifrizu koji se ponovo koristi (0.284/0.7)
 kp_{kor1} – udeo antifrizu koji se posle ponovnog korišćenja upućuje na regeneraciju (promenljiv)
 kp_{kor2} – udeo antifrizu koji se posle ponovnog korišćenja upućuje na odlaganje (promenljiv)
 k_{praf} – masa antifrizu koja se dobija po jedinici mase ulazne sirovine (1.0)
 k_{pak} – udeo antifrizu u procesu pakovanja (1.0)
 k_{trd} – udeo antifrizu koji se transportuje i distribuše na eksploataciju (1.0)
 k_{treg} – udeo etilenglikola koji se transportuje na proizvodnju antifrizu (1.0)
 k_{preg} – masa etilenglikola koji se dobija po jedinici mase etilena (1.376)
 k_{tre} – udeo etilena koji se transportuje na proizvodnju etilenglikola (1.0)
 k_{ambaf} – udeo ambalaže u gotovom proizvodu (0.057)
 k_{pamb} – udeo polietilenske ambalaže koji izlazi iz procesa proizvodnje ambalaže (1.0)
 k_{trpe} – udeo polietilena koji se transportuje na proizvodnju ambalaže (1.0)
 k_{prpe} – masa polietilena koji se dobija po jedinici mase etilena (0.962)
 k_{treamb} – udeo etilena koji se transportuje na proizvodnju ambalaže (1.0)
 k_{pir} – masa etilena koji se dobija po jedinici mase primarnog benzina (0.327)
 k_{raf} – masa primarnog benzina koji se dobija po jedinici mase sirove nafte (0.093)
 k_{trn} – udeo nafte koji se transportuje sa bušotine na rafinerijsku preradu (1.0)

BILANS EKSERGIJE

Ukupni utrošak eksergije (MJ) u životnom ciklusu dat je formulom:

$$\Delta E = E_{\text{nafta,ul}} - E_{\text{eg1}} - 0.5 \cdot E_{\text{eg2}} + \Sigma \Delta E_{\text{proces}}$$

Eksergija nafte koji ulazi u životni ciklus iznosi 46.666 MJ/kg [7]. E_{eg1} je eksergija očuvana u etilenglikolu koji se ponovo koristi.

E_{eg2} – eksergija očuvana u etilenglikolu koji se podzemno odlaže.

Verovatnoća da će ova eksergija biti ponovo iskorišćena je 0.5.

$$E_{\text{nafta,ul}} = 46.666 \cdot 0.0939 \cdot 0.3953 \cdot 0.885 \cdot \text{NAFTA}$$

$$E_{\text{eg1}} = 19.563 \cdot \text{KFA}_{\text{sak2}}$$

$$E_{\text{eg2}} = 19.563 \cdot \text{KAF}_{\text{zem}}$$

Utrošak eksergije po procesima (MJ):

$$\Delta E_{\text{tr,s,o}} = 0.0939 \cdot 0.222 \cdot \text{NAFT}_{\text{atr}}$$

$$\Delta E_{\text{dest}} = 0.0939 \cdot 19.742 \cdot \text{BENZ}$$

$$\Delta E_{\text{pb}} = 0.3953 \cdot 51.810 \cdot E$$

$$\Delta E_{\text{tr1}} = 0.885 \cdot 0.117 \cdot E_{\text{tr}}$$

$$\Delta E_{\text{tr2}} = 0$$

$$\Delta E_{pe} = 14.33 * PE_{pr}$$

$$\Delta E_{petr} = 0.117 * PE_{tr}$$

$$\Delta E_{pa} = 1.545 * AMB$$

$$\Delta E_{eg} = 0.885 * 23.362 * EG_{pr}$$

$$\Delta E_{egtr} = 0.117 * EG_{tr}$$

$$\Delta E_{af} = 0.2035 * (KAF_{pr} + SAF_{pr})$$

$$\Delta E_{pak} = 3.210 * (KAF_{pak} + SAF_{pak})$$

$$\Delta E_{trd} = 0.288 * (KAF_{trd} + SAF_{trd})$$

$$\Delta E_{sak} = 0.288 * KAF_{sak}$$

$$\Delta E_{reg} = 2.713 * KAF_{reg}$$

U procesu atmosfere destilacije, pirolize primarnog benzina i dobijanja etilenglikola dobija se više proizvoda zbog čega je ukupan utrošak eksergije za te procese odgovarajućim koeficijentima raspodeljen na sve proizvode, srazmerno njihovom masenom udelu u izlaznom toku proizvoda procesa.

LITERATURA

- [1] Interna dokumentacija Rafinerije nafte Beograd 1999, 2000.
- [2] Guidelines for Life-Cycle Assessment: A "Code of Practice", SETAC Workshop Ed., SETAC, Sesimbra, Portugal, 1993.
- [3] Clift, R.F., Pollution & Waste Management I: Cradle-to-grave Analysis, Science in Parliament, **50** (3), (1993) 29-32.
- [4] Finnveden, G., Methods for Describing and Characterising Resource Depletion in the Context of Life-Cycle Assessment, IVL-Swedish Environmental Research Institute, Stockholm, 1994.
- [5] Đorđević, B., Valent, V., Šerbanović, S., Termodinamika i Termotehnika, DIP "Građevinska knjiga", Beograd, 1990.
- [6] Šargut, A., Petela, R., Eksergija, Energija, Moskva, 1968.
- [7] Cvetković, R.M., Približno određivanje energetske efikasnosti hemijsko-tehnoloških procesa, Magistarski rad, Tehnološki fakultet, Leskovac, 1995.

SUMMARY

ANTIFREEZE LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)

(Scientific paper)

Jelena Kesić, Dejan Skala

Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Serbia and Montenegro

Antifreeze based on ethylene glycol is a commonly used commercial product. The classification of ethylene glycol as a toxic material increased the disposal costs for used antifreeze and life cycle assessment became a necessity.

Life Cycle Assessment (LCA) considers the identification and quantification of raw materials and energy inputs and waste outputs during the whole life cycle of the analyzed product. The objectives of LCA are the evaluation of impacts on the environment and improvements of processes in order to reduce and/or eliminate waste. LCA is conducted through a mathematical model derived from mass and energy balances of all the processes included in the life cycle. In all energy processes the part of energy that can be transformed into some other kind of energy is called exergy. The concept of exergy considers the quality of different types of energy and the quality of different materials. It is also a connection between energy and mass transformations. The whole life cycle can be described by the value of the total loss of exergy. The physical meaning of this value is the loss of material and energy that can be used.

The results of LCA are very useful for the analyzed products and processes and for the determined conditions under which the analysis was conducted. The results of this study indicate that recycling is the most satisfactory solution for the treatment of used antifreeze regarding material and energy consumption, but the re-use of antifreeze should not be neglected as a solution.

Key words: Antifreeze • Ethylene glycol • Life Cycle Assessment • LCA • Exergy • Modeling •

Кljučne reči: Antifriz • Etilengliko • Životni ciklus procesa • LCA • Eksergija • Modelovanje •