

FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE

Zavod za polimerno inženjerstvo i organsku kemijsku tehnologiju

Recikliranje i zbrinjavanje otpada

Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Katančić

Raspored nastave i kolokvija

9.10.2026.	1. predavanje
16.10.2026.	2. predavanje
30.10.2026.	3. predavanje 4. predavanje
6.11.2026.	5. predavanje
13.11.2026.	1. kolokvij
20.11.2026.	6. predavanje
27.11.2026.	7. predavanje
4.12.2026.	8. predavanje
11.12.2026.	9. predavanje
15.1.2027.	Seminar
22.1.2027.	2. kolokvij

- Vježbe od sredine studenog (HVU)
- Utorak 8-10 h
- Raspored će izaći naknadno
- Podjela seminarskih zadataka do kraja listopada, izlaganje zadanih tema 15.1.2027.
- Voditelj vježbi i seminara Dorothy Šimotić, mag. appl. chem., dsimotic@fkit.unizg.hr

Načini provjere znanja:

2 kolokvija

- 5 pitanja x 10 bodova → 50 bodova
- 2 x 50 = **100** bodova
- Minimalno 25 bodova na svakom kolokviju, 60 ukupno iz kolokvija
- Seminarski rad **15** bodova
- Vježbe **5** bodova
- **Nema “popravnih” kolokvija!**

Ukupno ostvareni bodovi (kol. + sem. + vj.)		Ocjena
60-70 %	72-84	Dovoljan (2)
71-80 %	85-96	Dobar (3)
81-90 %	97-108	Vrlo dobar (4)
91-100 %	109-120	Izvrstan (5)

ispit

- 5 pitanja x 10 bodova → 50 bodova
- + bodovi seminar (X/2)
- + bodovi vježbe (X/2)

Ukupno ostvareni bodovi (ispit+ sem. + vj.)		Ocjena
60-70 %	36-42	Dovoljan (2)
71-80 %	43-48	Dobar (3)
81-90 %	49-54	Vrlo dobar (4)
91-100 %	55-60	Izvrstan (5)

Obaveze:

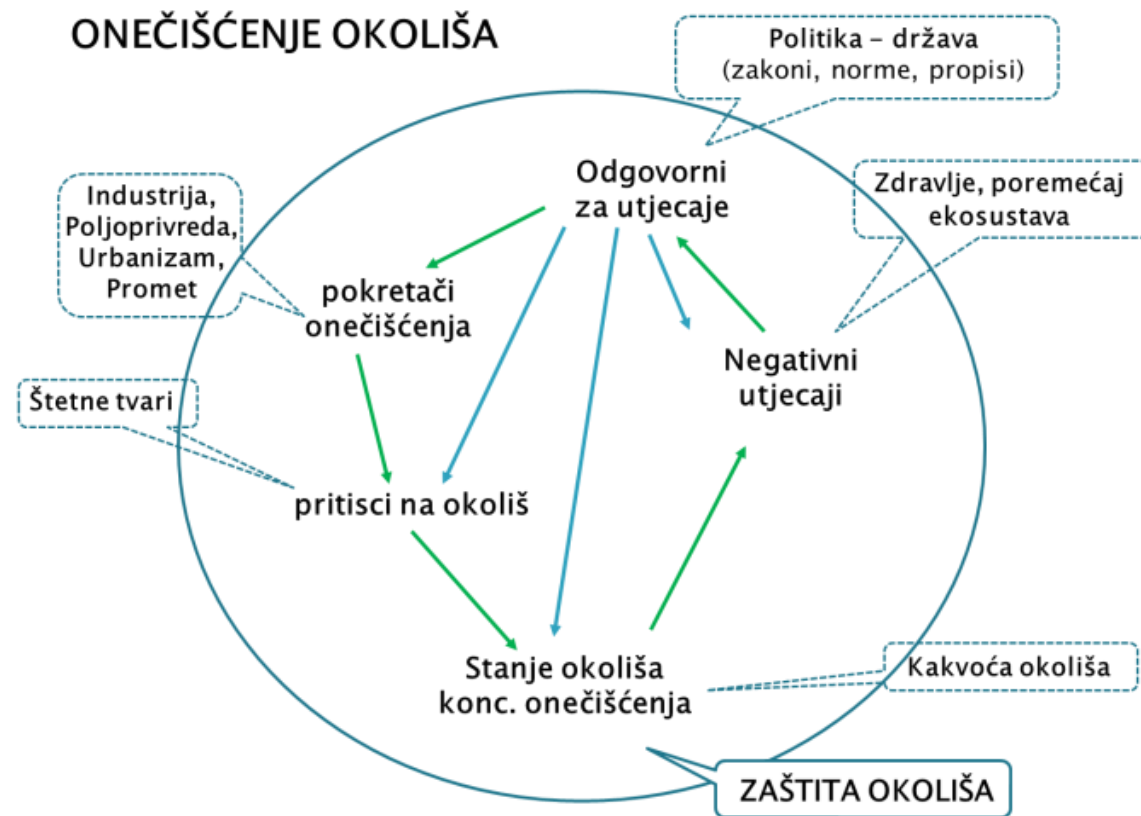
- uvjet priznavanja rezultata ostvarenih na parcijalnim kolokvijima su priznati seminari i vježbe
- prisustvovanje nastavi (75 %)
- uvjet za izlazak na ispit su priznati seminari i vježbe
- usmeni ispit održavat će se iznimno kao dodatni kriterij ocjenjivanja u slučaju graničnog uspjeha

SADRŽAJ KOLEGIJA

- uvod, onečišćenje okoliša, pokretači onečišćenja, količine otpada, upravljanje otpadom
- definiranje otpada, sastav, karakteristike
- sustav zbrinjavanja krutog otpada (skupljanje, skladištenje, transport, razdvajanje)
- tehnologije recikliranja metala, plastičnog otpada, stakla, papira, građevnog materijala, e-otpada, opasnog otpada
- spaljivanje nerazdvojenog otpada, opasnog otpada u spalionicama
- kompostiranje, biootpad, biostabilat
- odlagališta komunalnog otpada; odabir lokacije, razlaganje krutog otpada, odlagališni plinovi, procjedne vode, projektiranje odlagališta, upravljanje odlagalištem

ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA

- pokretači onečišćenja su **ljudske aktivnosti** kojima se zadovoljavaju životne potrebe
- emisije štetnih tvari, koje su posljedica zadovoljavanja životnih potreba, čine **pritisak na okoliš**
- povećane koncentracije štetnih tvari imaju značajan **negativan utjecaj** na ljudsko zdravlje i dovode do poremećaja ekosustava



POKRETAČI ONEČIŠĆENJA

INDUSTRIJA (najopćenitija definicija) - organizirana ljudska aktivnost koja osigurava **robu i usluge** značajne za održiv razvoj života ljudi

- Klasifikacija industrije prema **ekonomskim aktivnostima**
- primarna, sekundarna i tercijarna
- primarna industrija je ona koja prikuplja i prerađuje prirodne sirovine u primarni produkt, sirovinu za sekundarnu industriju
 - poljoprivreda, rudarstvo,...
- sekundarna industrija koristi produkte primarne industrije i preradom, proizvodnjom i/ili izgradnjom daje konačni proizvod
 - prerada željeza, čelika, petrokemijska industrija, tekstil, prehrambena industrija
- tercijarna industrija koristi produkte sekundarne industrije i dostavlja ih konačnim potrošačima
 - transport, distribucija, zabava, prodaja

- **Klasifikacija industrije prema proizvodima**
- građevinska (zgrade, infrastruktura)
- kemijska (proizvodnja kemikalija)
- naftna (vađenje i prerada nafte)
- automobilska (proizvodnja automobila i dijelova)
- elektronika (potrošačka elektronika, kućanski aparati, mobiteli)
- prehrambena (proizvodnja i prerada hrane)
- energetika (proizvodnja i distribucija električne i toplinske energije)
- ribarstvo (lov, uzgoj i prerada ribljih proizvoda)
- papirna (proizvodnja i reciklaža papira)
- zabava (filmovi, glazba, sport)
- uslužna (hotelijerstvo, restorani, putne agencije, klubovi i barovi)

- **Postoje još brojne klasifikacije, raznih organizacija i raznih kriterija**

NAICS (North American Industry Classification System, 1937.)

- Agriculture, Forestry, Fishing and Hunting
- Mining, Quarrying, and Oil and Gas Extraction
- Utilities
- Construction
- Manufacturing
- Wholesale Trade
- Retail trade
- Transportation and Warehousing
- Finance and Insurance
- Real Estate and Rental and Leasing
- Professional, Scientific, and Technical Services
- Management of Companies and Enterprises
- Educational Services
- Health Care and Social Assistance
- Arts, Entertainment, and Recreation
- Accommodation and Food Services

United Kingdom Standard Industrial Classification of Economic Activities, 1958.)

- Agriculture, Forestry, and Fishing
- Mining and Quarrying
- Manufacturing
- Electricity, Gas, Steam and air conditioning
- Water supply, sewerage, waste management and remediation activities
- Construction
- Wholesale Trade
- Transport and storage
- Accommodation and Food Services
- Information and communication
- Finance and Insurance
- Real Estate
- Professional, Scientific, and Technical Services
- Administrative and support service activities
- Public administration and defence; compulsory social security
- Education
- Human health and social work activities
- Arts, Entertainment, and Recreation

International Standard Industrial Classification, UN 1958.)

- Agriculture, forestry and fishing
- Mining and quarrying
- Manufacturing
- Electricity, gas, steam and air conditioning supply
- Water supply; sewerage, waste management and remediation activities
- Construction
- Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles and motorcycles
- Transportation and storage
- Accommodation and food service activities
- Information and communication
- Financial and insurance activities
- Real estate activities
- Administrative and support service activities
- Public administration and defence; compulsory social security
- Education
- Human health and social work activities
- Arts, entertainment and recreation
- Activities of extraterritorial organizations and bodies

KLASIFIKACIJA INDUSTRIJE

- različite industrije imaju i različite utjecaje na okoliš
- primarna i sekundarna industrija imaju najveći negativni utjecaj

industrije koje imaju **najmanji** utjecaj na okoliš:

- tekstilna industrija, industrija obuće (proizvodnja odjeće i obuće)
- industrija gume i plastike (prerada)

industrije koje imaju **značajniji** negativan utjecaj na okoliš

- industrija prerade željeza, prerada kože (štavljenje kože), energetika
- farmaceutska industrija

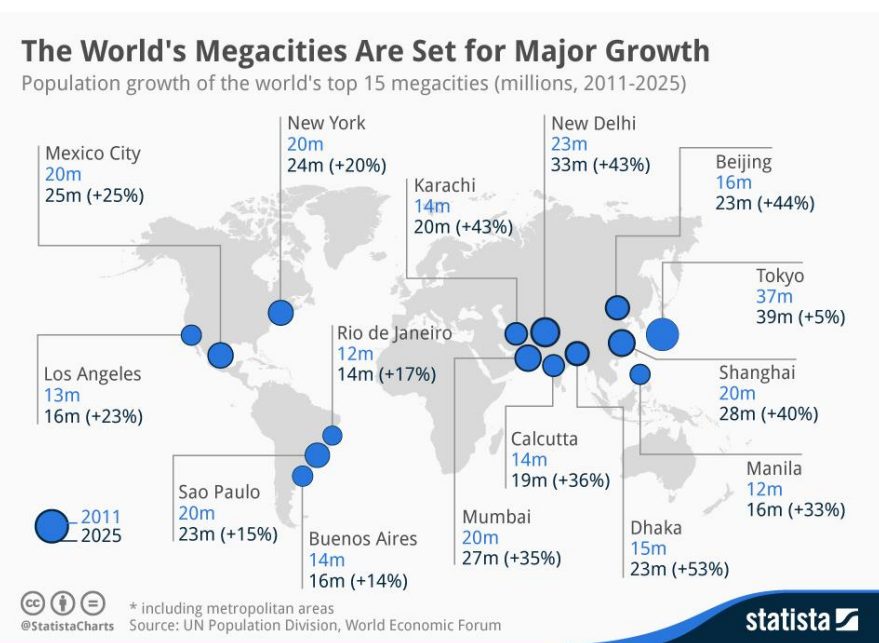
industrije koje imaju **veliki** negativan utjecaj na okoliš

- industrija željeza i čelika (vađenje i prerada ruda)
- proizvodnja cementa
- proizvodnja pesticida, papira
- rafinerije nafte, dobivanje benzina i plina

POKRETAČI ONEČIŠĆENJA

URBANIZAM

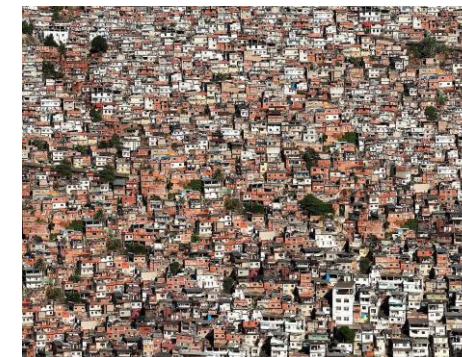
- razvitak industrije/gospodarstva te **prirast stanovništva**, uzrokuju rast proizvodnje i potrošnje materijalnih dobara, a time se sve se više onečišćuje okoliš
- urbanizacija - predviđen rast gradova u budućnosti, sve veći broj mega gradova
- 2030. će 60 % stanovništva živjeti u gradovima



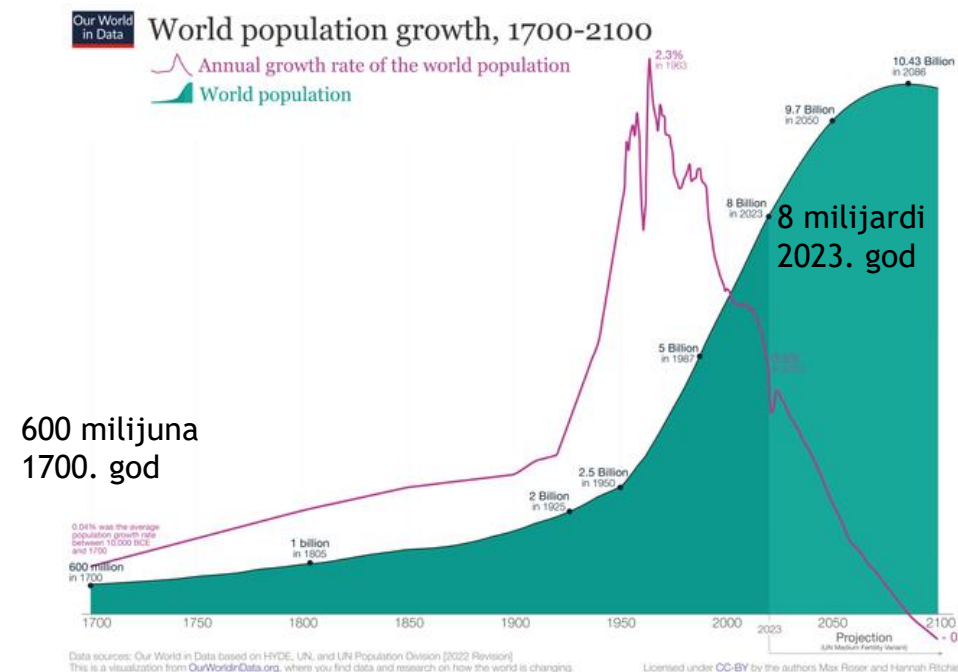
Sao Paolo



Šangaj



Rio de Janeiro





Kairo, Jakarta, Peking, Napulj,...





**Kako će izgledati gradovi i okoliš
budućnosti?**



**Potrebno je razviti održivi sustav
gospodarenja otpadom**



Gospodarenja otpadom kroz povijest

- pretpostavke su bile da će se u prirodi otpad razgraditi do bezopasnih tvari ili da će se koncentracija opasnih tvari smanjiti do razine koje nisu opasne za okoliš
- nisu se ispunile, a narušeni, pogoršani uvjeti u okolišu počeli su prijetiti uništenju okoliša i zdravlju ljudi
- zbog onečišćenje okoliša dolazi do poremećaja u međusobnim ovisnostima i utjecajima živih organizama i njihovog živog i neživog okoliša
- to je nametnulo potrebu za izgradnjom cjelovitog pristupa gospodarenja otpadom
- potreba za **zaštitom okoliša**

DEFINICIJA OTPADA

Zakon o gospodarenju otpadom RH (NN. 84/21, 142/23)

- **Otpad** - svaka **tvar** ili **predmet** koje vlasnik (posjednik) (pravna ili fizička osoba) odbacuje, namjerava ili mora odložiti
- Otpadom se smatra i svaki predmet i tvar čije su sakupljanje, prijevoz i obrada nužni u svrhu zaštite javnog interesa
- Otpad je međutim i izvor sirovina i energije
- Njegovim odbacivanjem na odlagališta bespovratno se gube dragocjene materijalne i energetske vrijednosti
- Zakonom je ZABRANJENO odložiti na odlagalište otpad koji se može materijalno ili energetski iskoristiti (oporabiti)

Na odlagalištu otpada zabranjeno je odlaganje:

- 1) tekućeg otpada, osim taloga/mulja iz uređaja za pročišćavanje procijednih voda s tijela odlagališta s kojega su procjedne vode sakupljene i pročišćene
- 2) otpada koji je u uvjetima odlagališta eksplozivan, nagrizajući, oksidirajući, lako zapaljiv ili zapaljiv prema odredbama posebnih propisa → opasni otpad
- 3) bolničkog i drugog kliničkog otpada koji nastaje u medicinskim i/ili veterinarskim ustanovama i ima svojstva opasnog medicinskog otpada prema posebnim propisima
- 4) otpadnih guma
- 5) animalnog i klaoničkog otpada, životinjskih trupla i životinjskih prerađevina ako nisu termički obrađeni prema posebnim propisima
- 6) otpadnih industrijskih i automobilskih baterija i akumulatora
- 7) otpadnih motornih vozila i njihovih neobrađenih sastavnih dijelova, koji nastaju u postupku obrade i uporabe otpadnih vozila
- 8) otpadnih električnih i elektroničkih uređaja i opreme
- 9) odvojeno sakupljenog otpada u svrhu pripreme za ponovnu uporabu i recikliranje, osim otpada koji nastaje obradom odvojeno sakupljenoga otpada za kojega odlaganje daje najbolji ishod za okoliš sukladno hijerarhiji gospodarenja otpadom

Pojmovi recikliranja i uporabe

- **Oporaba otpada** - svaki postupak čiji je glavni rezultat uporaba otpada u korisne svrhe kada otpad zamjenjuje druge materijale koje bi inače trebalo uporabiti za tu svrhu ili otpad koji se priprema kako bi ispunio tu svrhu, u tvornici ili u širem gospodarskom smislu
- Rezultat uporabe otpada je oporabljeni (recovered) materijal ili energija
- **Recikliranje** je svaki postupak uporabe, uključujući ponovnu preradu organskog materijala, kojim se otpadni materijali prerađuju u proizvode, materijale ili tvari za izvornu ili drugu svrhu osim uporabe otpada u energetske svrhe, odnosno prerade u materijal koji se koristi kao gorivo ili materijal za nasipavanje
- Rezultat recikliranja otpada je materijal
- Recikliranje - materijalna uporaba
- Spaljivanje otpada za dobivanje energije - energetska uporaba

Vrste otpada

Otpad se kategorizira s obzirom na **mjesto nastanka** i **svojstva**

- Po **mjestu nastanka** razlikujemo: **komunalni** otpad i **proizvodni/tehnološki** otpad
- **Komunalni** otpad - otpad iz kućanstva, i otpad koji je po prirodi i sastavu sličan otpadu iz kućanstva, a nastaje u gospodarstvu, ustanovama i uslužnim djelatnostima
- Redovito se prikuplja i zbrinjava u okviru komunalnih djelatnosti
- Glomazni komunalni otpad je predmet ili tvar koju je zbog zapremine i/ili mase neprikladno prikupljati u sklopu usluge prikupljanja miješanog komunalnog otpada

Vrste otpada

- **Tehnološki otpad** - otpad koji nastaje u proizvodnim procesima u industriji, ustanovama i uslužnim djelatnostima, a po količinama, sastavu i svojstvima razlikuje se od komunalnog otpada
- Za nadzor toka i zbrinjavanje industrijskog otpada propisane su posebne procedure, kojih se mora pridržavati svaki proizvođač, odnosno vlasnik industrijskog otpada. Za gospodarenje s industrijskim otpadom mogu se koristiti usluge specijaliziranih tvrtki

Prema svojstvima otpada razlikujemo **opasni**, **neopasni** i **inertni** otpad

- **Opasni** otpad je svaki otpad koji sadrži tvari koje imaju neko od sljedećih svojstava:
- eksplozivnost, reaktivnost, zapaljivost, nadražljivost, štetnost, toksičnost, infektivnost, kancerogenost, teratogenost, mutagenost, ekotoksičnost, svojstvo oksidiranja, svojstvo nagrizanja i svojstvo otpuštanja otrovnih plinova kemijskom reakcijom ili biološkom razgradnjom

Opasni otpad

- H1 „**Eksplzivno**” - tvari i pripravci koje mogu eksplodirati pod utjecajem vatre ili koje su osjetljivije na udarce i trenje
- H2 „**Oksidirajuće**” - tvari i pripravci koje pokazuju visoko egzotermne reakcije u kontaktu s drugim tvarima, posebice zapaljivim tvarima
- H3 „**Visoko zapaljivo**” - tekuće tvari i pripravci koje imaju temperaturu paljenja nižu od 21 °C, ili - tvari i pripravci koje se mogu zagrijati i zapaliti se u kontaktu sa zrakom na sobnoj temperaturi bez primjene energije, ili - tvari i pripravci koje, u kontaktu s vodom ili vlažnim zrakom, otpuštaju visoko zapaljive plinove u opasnim količinama
- H4 „**Nadražujuće**” - nadražujuće tvari i pripravci koje u neposrednom, dužem ili ponovljenom kontaktu s kožom ili sluznicom, mogu prouzročiti upalnu reakciju
- H5 „**Opasan**”- tvari i pripravci koje, ako ih se udiše ili proguta ili ako prodru u kožu, mogu prouzročiti granični rizik za zdravlje
- H6 „**Otrovno**” - tvari i pripravci (uključujući vrlo otrovne tvari i pripravke) koje, ako ih se udiše ili proguta ili ako prodru u kožu, mogu prouzročiti ozbiljni, akutni ili kronični rizik za zdravlje i čak smrt
- H7 „**Karcinogeno**” - tvari i pripravci koje, ako ih se udiše ili proguta ili ako prodru u kožu, mogu prouzročiti rak ili povećati njegovu učestalost
- H8 „**Nagrizajuće**” - tvari i pripravci koje u kontaktu mogu uništiti tkivo
- H9 „**Infektivno**” - tvari koje sadrže održive mikroorganizme ili njihove otrove koji su poznati ili se pouzdano zna da uzrokuju bolesti kod ljudi i drugih živih organizama
- H10 „**Toksično za reprodukciju (Teratogeno)**” - tvari i pripravci koji, ako ih se udiše ili proguta ili ako prodru u kožu, mogu prouzročiti nenasljedne urođene deformacije ili povećati njihovu učestalost
- H11 „**Mutageno**” - tvari i pripravci koje, ako ih se udiše ili proguta ili ako prodru u kožu, mogu prouzročiti nasljedne genetske defekte ili povećati njihovu učestalost
- H12 - tvari i pripravci koji otpuštaju otrovne ili vrlo otrovne plinove u kontaktu s vodom, zrakom ili kiselinom

Opasni otpad

Komunalni, industrijski, ambalažni, električki i elektronički otpad i otpadna vozila **svrstavaju se u opasni otpad ukoliko imaju neko od svojstava opasnog otpada**

Količine opasne tvari koje otpad čine opasnim:

Primjeri:

Otpad je nadražujući (H4):

- ako sadrži 10 % ili više, jedne ili više nadražujućih tvari klasificiranih oznakom R41 ili
- ako sadrži 20 % ili više, jedne ili više nadražujućih tvari klasificiranih oznakama R36, R37 ili R38 prema posebnom propisu o otrovima

Otpad je opasan za zdravlje (H5):

- ako sadrži 25 % ili više, jedne ili više tvari klasificiranih kao opasne tvari prema posebnom propisu o otrovima

Otpad je karcinogen (H7):

- ako sadrži 0,1 % ili više, jedne ili više karcinogenih tvari 1. ili 2. skupine karcinogena ili
- ako sadrži 1 % ili više, jedne ili više karcinogenih tvari 3. skupine karcinogena prema posebnom propisu o otrovima

Neopasni otpad

- Neopasni otpad je otpad koji nema neko (niti jedno) od svojstava opasnog otpada

Inertni otpad

- Otpad koji ne podliježe značajnim fizičkim, kemijskim ili biološkim promjenama
- Nije topljiv, nije zapaljiv, na bilo koje druge načine fizikalno ili kemijski ne reagira niti je biorazgradiv
- S tvarima s kojima dolazi u dodir ne djeluje tako da bi to utjecalo na zdravlje ljudi, životinjskog i biljnog svijeta ili na povećanje dozvoljenih emisija u okoliš
- Vodotopljivost, sadržaj onečišćujućih tvari u vodenom ekstraktu i ekotoksičnost vodenog ekstrakta (eluata) inertnog otpada mora biti zanemariva i ne smije u nijednom propisanom parametru ugrožavati kakvoću površinskih ili podzemnih voda

Posebne vrste otpada

- Zakonom o gospodarenju otpadom definirano je 13 posebnih kategorija otpada, koje su važne bilo s aspekta njihove štetnosti po okoliš i zdravlje ljudi, bilo po količinama koje nastaju
- Gospodarenje posebnim kategorijama otpada regulirano je pravilnicima
- Za šest posebnih kategorija otpada (**ambalaža, gume, ulja, baterije i akumulatori, vozila, EE oprema**) uveden je sustav proširene odgovornosti proizvođača odnosno naplata naknade za stavljanje na tržište proizvoda od kojih nastaje određena kategorija otpada i uspostavljen je zaseban sustav sakupljanja i obrade

Posebne kategorije su:

- otpadna ambalaža
- otpadne gume
- otpadna ulja
- otpadne baterije i akumulatori
- otpadna vozila
- otpadni električni i elektronički uređaji i oprema
- otpadni tekstil i obuća
- građevni otpad i otpad koji sadrži azbest
- medicinski otpad
- otpad iz proizvodnje titan dioksida
- otpadni poliklorirani bifenili i poliklorirani terfenili
- plastika za jednokratnu uporabu i ribolovni alati koji sadrže plastiku

Pravilnik o katalogu otpada (NN 90/2015)

- **Ključni broj otpada** - jedinstvena oznaka vrste otpada
- sastoji se od **šesteroznamenkastoga** broja kojem je, u slučaju opasnog otpada, pridružen znak (*)
- **prve dvije znamenke** ključnog broja određuju **pripadnost grupi** u koju je razvrstana ta vrsta otpada
- **druge dvije znamenke** ključnog broja određuju **pripadnost podgrupi** u koju je razvrstana ta vrsta otpada
- **zadnje dvije znamenke** ključnog broja određuju **vrstu otpada unutar podgrupe**

Porijeklo i mjesto nastanka otpada utvrđuje posjednik otpada koji je:

- a) proizvođač otpada na način da odredi lokaciju na kojoj je otpad nastao
- b) osoba koja obavlja postupak gospodarenja otpadom

Pravilnik o katalogu otpada (NN 90/2015)

Popis djelatnosti koje generiraju otpad

01 00 00	Otpad koji nastaje kod istraživanja i kopanja ruda, iskopavanja i drobljenja kamena i od fizičkog i kemijskog obrađivanja ruda
02 00 00	Otpad iz poljodjelstva, vrtlarstva, proizvodnje vodenih kultura, šumarstva, lova i ribarstva, pripremanja hrane i prerade
03 00 00	Otpad od prerade drveta i proizvodnje ploča i namještaja, celuloze, papira i kartona
04 00 00	Otpad iz kožarske, krznarske i tekstilne industrije
05 00 00	Otpad od prerade nafte, pročišćavanja prirodnog plina i pirolitičke obrade ugljena
06 00 00	Otpad iz anorganskih kemijskih procesa
07 00 00	Otpad iz organskih kemijskih procesa
08 00 00	Otpad od proizvodnje, formulacija, prodaje i primjene premaza (boje, lakovi i staklasti emajli), ljepila, sredstva za brtvljenje i tiskarskih boja
09 00 00	Otpad iz fotografske industrije
10 00 00	Otpad iz termičkih procesa
11 00 00	Otpad koji potječe od kemijske površinske obrade i zaštite metala; hidrometalurgije neželjeznih metala
12 00 00	Otpad od oblikovanja i površinske fizičko-kemijske obrade metala i plastike
13 00 00	Otpadna ulja i otpad od tekućih goriva (osim jestivog ulja i otpada iz grupa 05, 12 i 19)
14 00 00	Otpadna organska otapala, rashladni i potisni mediji (osim 07 00 00 i 08 00 00)
15 00 00	Otpadna ambalaža; apsorbenzi, materijali za brisanje i upijanje, filtarski materijali i zaštitna odjeća koja nije specificirana na drugi način
16 00 00	Otpad koji nije drugdje specificiran u katalogu
17 00 00	Građevinski otpad i otpad od rušenja objekata (uključujući i otpad od iskapanja onečišćenog tla)
18 00 00	Otpad koji nastaje kod zaštite zdravlja ljudi i životinja i/ili srodnih istraživanja (isključujući otpad iz kuhinja i restorana koji ne potječe iz neposredne zdravstvene zaštite)
19 00 00	Otpad iz uređaja za obradu otpada, gradskih otpadnih voda i pripremu pitke vode i vode za industrijsku uporabu
20 00 00	Komunalni otpad (otpad iz domaćinstava, trgovine, zanatstva i slični otpad iz proizvodnih pogona i institucija), uključujući odvojeno prikupljene frakcije

Pravilnik o katalogu otpada (NN 90/2015)

- Katalog otpada sadrži i **preporučene postupke obrade** pojedinih vrsta otpada
- Preporučeni postupci obrade otpada **odnose se na otpad koji se nije mogao izbjeći i čija se korisna svojstva (materijalna ili energetska) ne mogu ponovo iskoristiti/uporabiti**
- **K/F - kemijsko-fizikalni** - postupci kemijsko-fizikalnim metodama s ciljem mijenjanja njegovih kemijsko-fizikalnih, odnosno bioloških svojstava, a mogu biti: neutralizacija, taloženje, ekstrakcija, redukcija, oksidacija, dezinfekcija, centrifugiranje, filtracija, sedimentacija, reverzna osmoza i derivatizacija
- **B - biološki** - postupci koji biološkim metodama mijenjaju kemijska, fizikalna i biološka svojstva otpada, a mogu biti aerobna i anaerobna razgradnja
- **T - termički** - postupci uporabom topline pod nužnim i propisanim uvjetima. Provode se s ciljem mijenjanja kemijskih, fizikalnih, odnosno bioloških svojstava, a mogu biti: spaljivanje, piroliza, isparavanje, sterilizacija, destilacija, sinteriranje, žarenje, taljenje, zataljivanje u staklo
- **O - odlaganje otpada**
- **K - kondicioniranje otpada** - priprema za određeni način zbrinjavanja i uporabe otpada, a može biti: usitnjavanje, ovlaživanje, pakiranje, odvodnjavanje, otprašivanje, očvršćivanje, stabilizacija te postupci kojima se smanjuje utjecaj štetnih tvari koje sadrži otpad

Pravilnik o katalogu otpada (NN 90/2015)

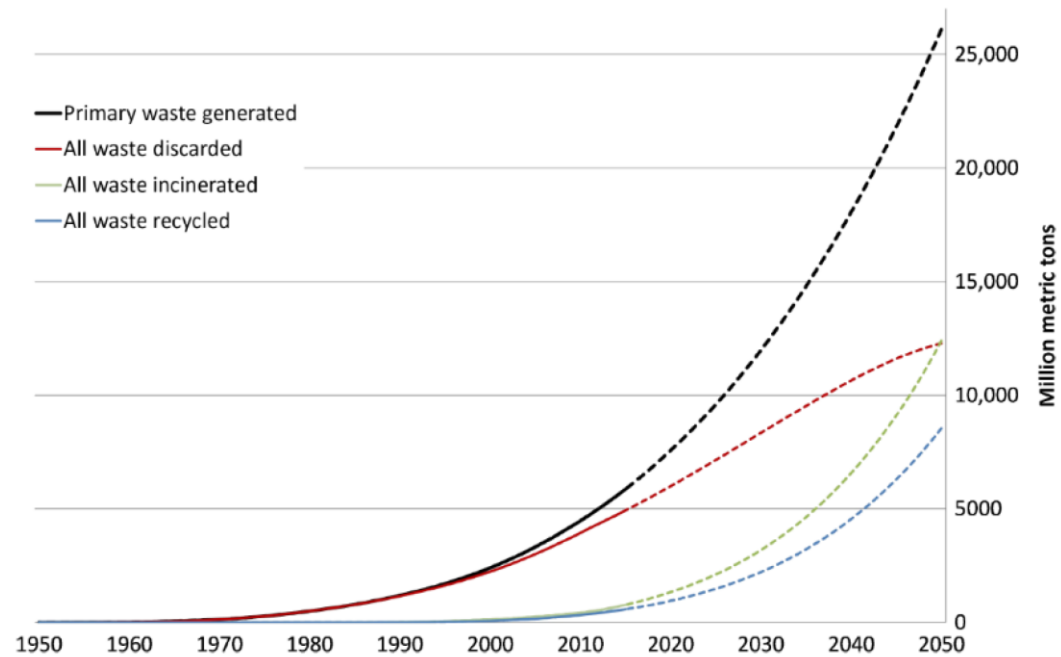
Ključni broj	NAZIV OTPADA	Preporučeni postupci obrade			
		K/F	B	T	O
01	OTPAD KOJI NASTAJE KOD ISTRAŽIVANJA I KOPANJA RUDA, OD ISKOPAVANJA I DROBLJENJA KAMENA I FIZIČKOG I KEMIJSKOG OBRADIVANJA RUDA				
01 01	otpad od iskopavanja ruda				
01 01 01	otpad od iskopavanja željezonosnih ruda				+
01 01 02	otpad od iskopavanja neželjezonosnih ruda				+
01 03	otpad od fizičke i kemijske prerade željezonosnih ruda				
01 03 04*	kiseli otpad od prerade sulfidne rude	+			

05	OTPAD OD PRERADE NAFTE, PROČIŠĆAVANJA PRIRODNOG PLINA I PIROLITIČKE OBRADE UGLJENA				
05 01	otpad od prerade nafte				
05 01 02*	muljevi od odsoljavanja	+	K	K	K
05 01 03*	talozi iz spremnika	+		+	
05 01 04*	kiseli muljevi iz alkilacije	+		+	
05 01 05*	razlivena nafta	+		+	K
05 01 06*	zauljeni muljevi od održavanja uređaja i opreme			+	K
05 01 07*	kiseli katrani	+		+	

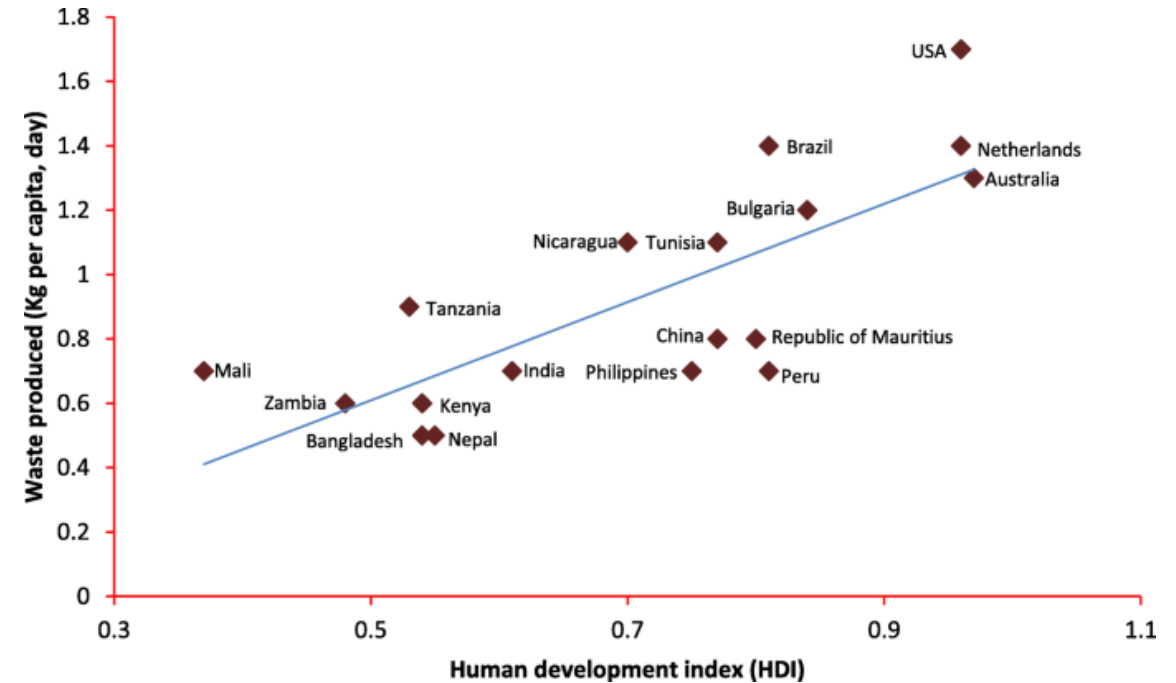
15	OTPADNA AMBALAŽA; APSORBENSI, TKANINE I SREDSTVA ZA BRISANJE I UPIJANJE, FILTARSKI MATERIJALI I ZAŠTITNA ODJEĆA KOJA NIJE SPECIFICIRANA NA DRUGI NAČIN				
15 01	ambalaža (uključujući odvojeno skupljani komunalni ambalažni otpad)				
15 01 01	ambalaža od papira i kartona			+	+
15 01 02	ambalaža od plastike			+	+
15 01 03	ambalaža od drveta		+	+	
15 01 04	ambalaža od metala			+	+
15 01 05	višeslojna (kompozitna) ambalaža			+	+
15 01 06	miješana ambalaža			+	+
15 01 07	staklena ambalaža			+	+

20	KOMUNALNI OTPAD (OTPAD IZ KUĆANSTAVA I SLIČNI OTPAD IZ INDUSTRIJSKIH I ZANATSKIH POGONA I IZ USTANOVA) UKLJUČUJUĆI ODVOJENO PRIKUPLJENE SASTOJKE				
20 01	odvojeno skupljeni sastojci (osim 15 01)	+	+	+	
20 01 01	papir i karton	+	+		+
20 01 02	staklo			+	+
20 01 08	biorazgradivi otpad iz kuhinja i kantina		+		K
20 01 10	odjeća	+		+	+
20 01 11	tekstil	+		+	+
20 01 13*	otapala	+		+	

Količine otpada u svijetu



- Povećanje količine otpada - posljedica gospodarskog rasta

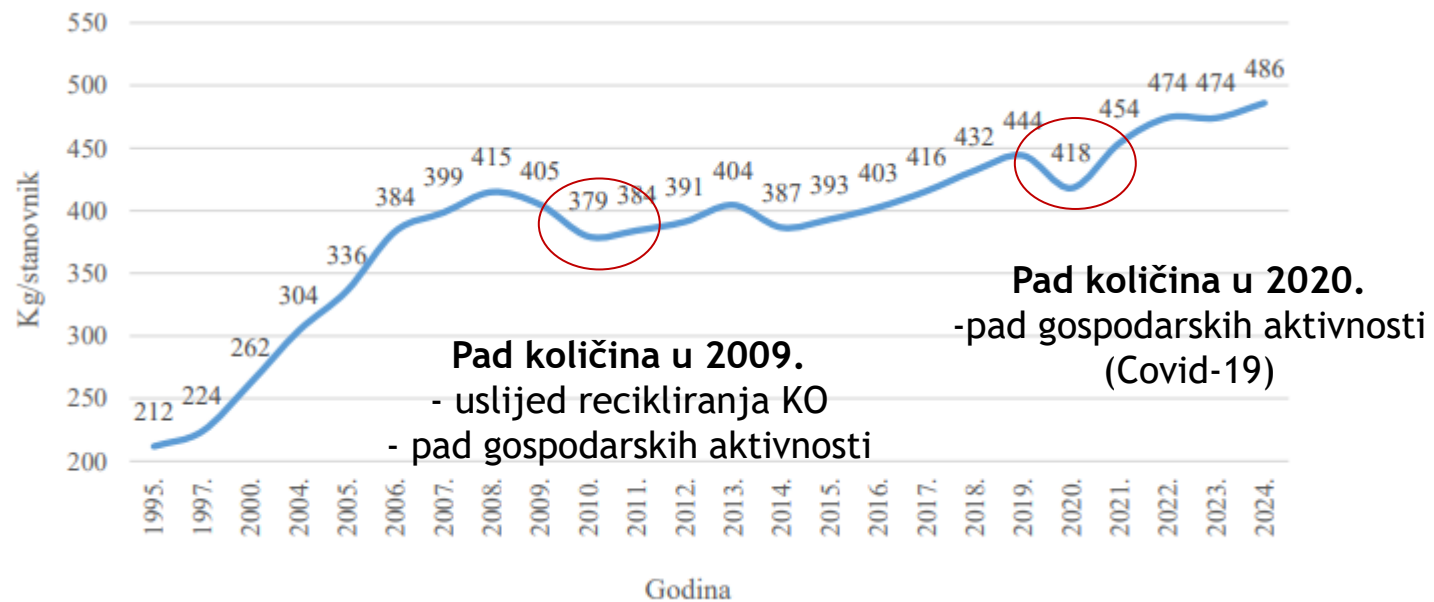


- Količina je direktni pokazatelj stupnja razvoja nekog društva

Količine otpada u RH

- do 2005. najvećim dijelom **procjena**
- od 2006. prema podacima **prijavljenim** od obveznika

Obuhvat stanovništva skupljanjem KO: 1995. - 57 %
2012. - 99 % stanovništva



Količine otpada u RH

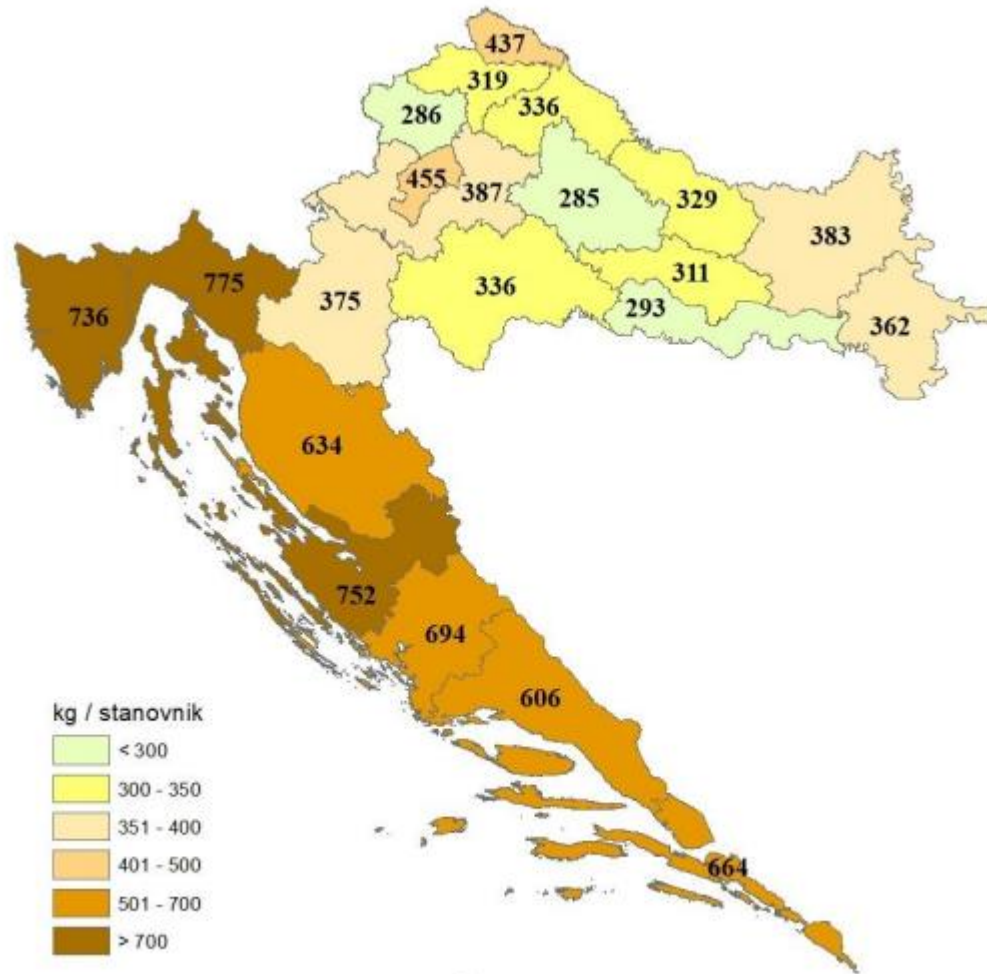
Ukupne količine komunalnog otpada u 2024. po županijama

Županija	Broj stanovnika (2023.)	Ukupna količina skupljenog KO (t)	Količina KO po stanovniku (kg/stan)	Udio županije u ukupno proizvedenom komunalnom otpadu (%)
Varaždinska	158.952	50.681	319	2,7
Koprivničko - križevačka	99.599	33.434	336	1,8
Grad Zagreb	772.122	351.334	455	18,7
Zadarska	163.221	122.696	752	6,5
Šibensko - kninska	95.591	66.325	694	3,5
Dubrovačko -neretvanska	115.496	76.742	664	4,1
Ukupno RH	3.861.967	1.878.802	486	100

Izvor: MZOZT, Izvješće o komunalnom otpadu 2024.

Količine otpada u RH

Količina komunalnog otpada po stanovniku u 2024. po županijama



Izrada: MZOZT, 2025.

Udio otpada od turizma

Prim-gor.	20,2 %
Lič-senj.	3,0 %
Zadarska	15,0 %
Šib-knin.	6,0 %
Split-dal.	17,9 %
Istarska	25,9 %
Dub-ner.	8,3 %
Kontinentalne	<0,4 %

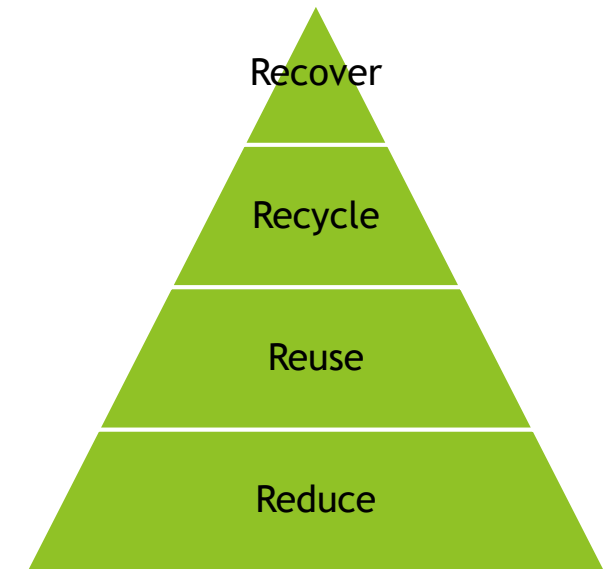
Gospodarenje otpadom

- Kuda sa sve većom količinom otpada? Kako ga zbrinuti?
- Kako smanjiti količinu otpada prije njegovog nastanka?

4R načelo gospodarenja otpadom

Reduce, Reuse, Recycle, Recover

- **Reduce** (smanjenje) - sprječavanje nastanka nepotrebnog otpada, primjenom čistijih tehnologija, novih standarda, smanjenog pakiranja. U proizvodnji i dizajnu proizvoda smanjujemo mogućnost nastanka otpada
- **Reuse** (ponovna upotreba) - korištenje otpada u nove svrhe, npr. prazne ambalaže za pakiranje drugih stvari
- **Recycle** (recikliranje) - promjena otpadnog proizvoda mehaničkim ili kemijskim putem u svrhu dobivanja novog proizvoda
- **Recover** (oporaba) - pretvaranje nereciklabilnog otpada u resurse (toplina, el. energija, gorivo) kemijskim i/ili biološkim procesima



Smanjenje količine otpada primjenom Zelenog inženjerstva

- Zeleno inženjerstvo je **kreiranje, nalaženje i implementacija** inženjerskih rješenja koja su dobrobit za probleme vezane uz okoliš, ekonomiju i društvo - rezultat je **ODRŽIVI RAZVOJ**
- **Održivi razvoj** je okvir za oblikovanje politika i strategija kontinuiranog gospodarskog i socijalnog napretka, bez štete za okoliš i prirodne izvore bitne za ljudske djelatnosti sada i u budućnosti
- **Cilj** Zelenog inženjerstva je minimiziranje nepovoljnih utjecaja, uz istovremeno maksimiziranje dobrobiti za okoliš, ekonomiju i društvo
- Konvencionalna (danas zastarjela) inženjerske rješenja su primjenjivana bez perspektive održivog razvoja
- Primjeri se naći svugdje oko nas, neefikasno korištenje vode, energije → uništenje prirodnih sustava kao posljedica ljudske djelatnosti
- Nužno je kreirati nove **proizvode/procese/sustave** koji donose najveću dobrobit budući da oni utječu na efikasnost/optimizaciju korištenja materijala, kemikalija, utroška energije
- Ujedno se unosi kreativnost, inovativnost u nova proizvodna rješenja

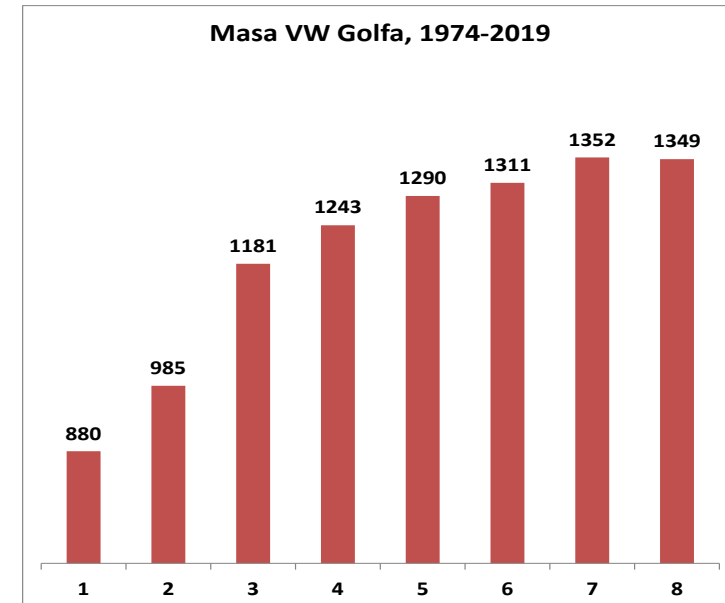
Zeleno inženjerstvo

Primjer rješenja za smanjenje potrošnje goriva automobila

Dobit: Ušteda u potrošnji goriva → Smanjenje emisije CO₂, NO_x

- Poboljšanje efikasnosti rada motora
direktno ubrizgavanje, turbopunjači, deaktivacija cilindara, gašenje prilikom stajanja
- Upotreba laganih materijala u izradi automobila
automobili postaju sve teži iz generacije u generaciju zbog veće količine elektronike i sigurnosnih sustava (VW Golf 1: 880 kg → VW Golf 8: 1349 kg), potrebno je naći način smanjenja mase: stakla svjetala zamijenjena polikarbonatom, dijelovi izrađeni iz kompozitnih materijala
- Dizajn za povećanje aerodinamičnosti

	Cd
Ford Escort (1997)	0,36
Ford Focus (2018)	0,27



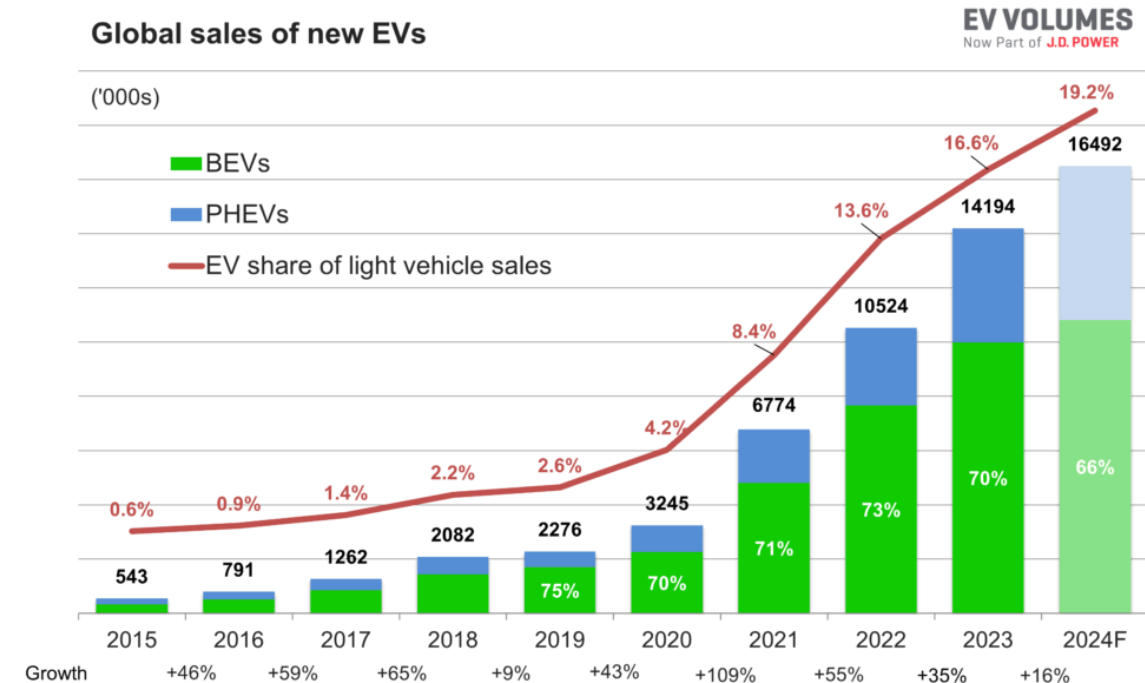
Zeleno inženjerstvo

- Upotreba hibridnih ili potpuno električnih motora
Toyota Corolla; benzinski motor: 5,3 l/100 km, 120 g/km CO₂
hibrid: 3,3 l/100 km, 76 g/km CO₂

EU-28 novoregistrirani automobili

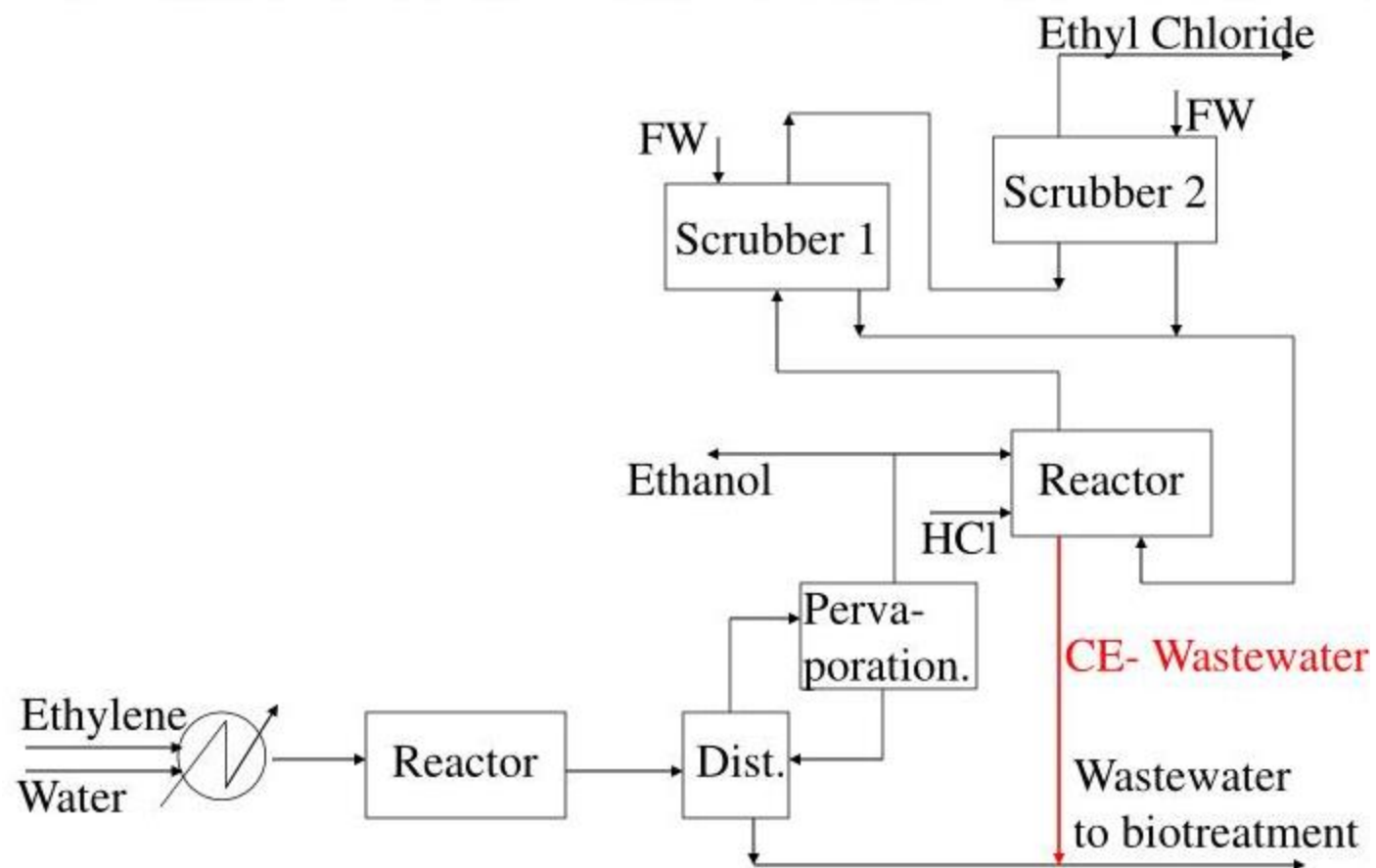
	2020	2021	2022	2023	2030
Benzin	53,2 %	49,9 %	47,3 %	47,9 %	20-25 %
Dizel	28,6 %	21,7 %	18,4 %	16,0 %	3-4 %
Hibrid (HEV)	4,8 %	6,8 %	8,8 %	9,9 %	25-30 %
Plug-in hibrid (PHEV)	5,1 %	8,8 %	9,0 %	7,7 %	5-10 %
Električni (BEV)	6,2 %	10,3 %	13,9 %	15,7 %	55-60 %

- ICE (internal combustion engine) - benzin, dizel, *vodik*
- HEV (hybrid electric vehicle) - uključuje blage hibride i pune hibride, baterija se puni benzinskim motorom i regenerativnim kočenjem
 - Blagi „mild” hibrid → ima malu bateriju koja daje dodatnu snagu i snižava potrošnju goriva, ne može voziti samo na električni pogon
 - Puni hibrid → veća baterija, može voziti samo na električni pogon, benzinski motor se automatski pali kada je potrebna veća snaga
- PHEV (plug-in hybrid vehicle) - velika baterija, električni domet 50+ km, puni se preko utičnice
- BEV (battery electric vehicle) - samo električni pogon, baterija se puni preko utičnice



Zeleno inženjerstvo

Primjer: Proizvodnja etil klorida



Zeleno inženjerstvo

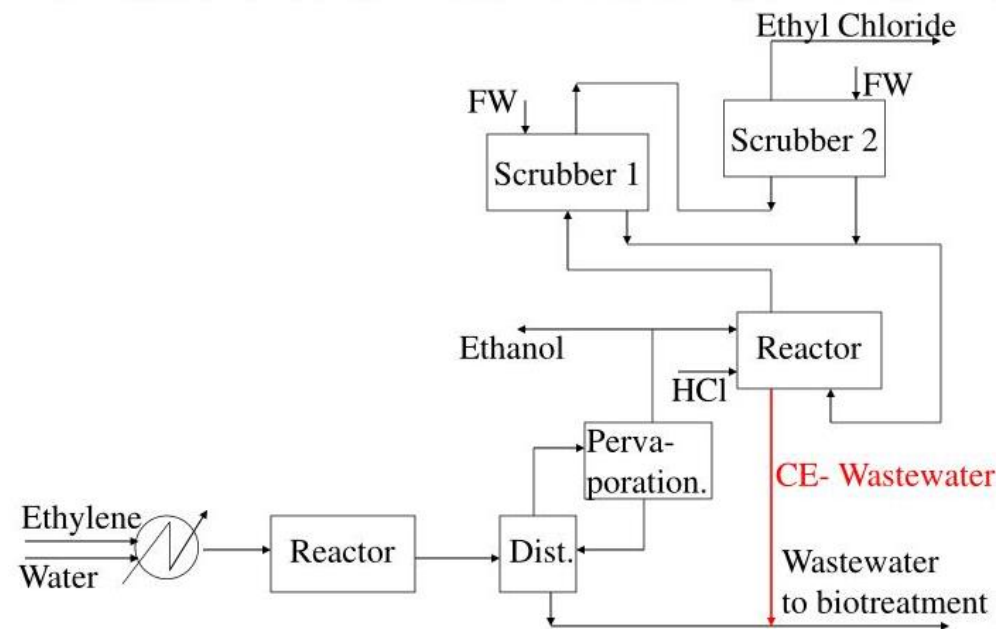
Primjer: Proizvodnja etil klorida

Problem: zbog toksičnosti kloroetanola (CE) potrebno je smanjit njegovu koncentraciju u otpadnim vodama na 1/6 trenutne koncentracije

Koje bi bilo najjeftinije rješenje problema?

Moguće strategije:

- Uklanjanje iz vode
 - adsorpcija na polimer
 - adsorpcija na aktivni ugljen
 - ekstrakcija uljem
- Uklanjanje iz plinova
 - adsorpcija zeolitom
 - zračno stripiranje
 - parno stripiranje



Zeleno inženjerstvo

Primjer: Proizvodnja etil klorida

Kako bi se našlo optimalno rješenje potrebno je odgovoriti na pitanja:

- U koju fazu (vodenu, plinovitu) je potrebno uvesti separacijski sistem za uklanjanje CE?
- U koju procesnu struju?
- U kojoj mjeri treba ukloniti CE iz svake procesne struje kako bi se postiglo smanjenje?
- Koji separacijski procesi bi se trebali koristiti? (Adsorpcija, ekstrakcija, stripiranje)
- Koji adsorbens bi trebalo koristiti? (Polimer, aktivni ugljen, zeolit)
- Koje struje treba recirkulirati?

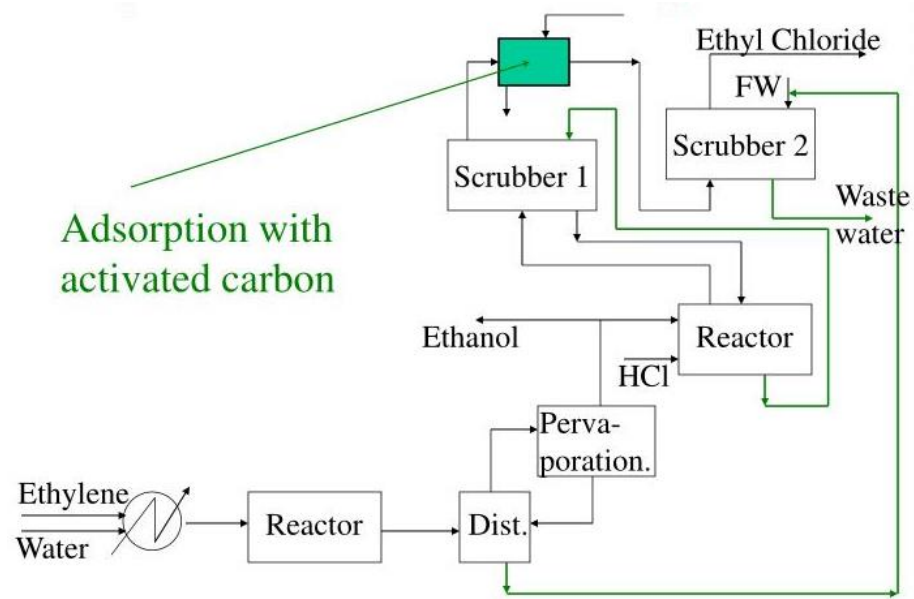
Zeleno inženjerstvo

Primjer: Proizvodnja etil klorida

Rješenje: **Adsorpcija aktivnim ugljenom**

Benefiti takvog rješenja:

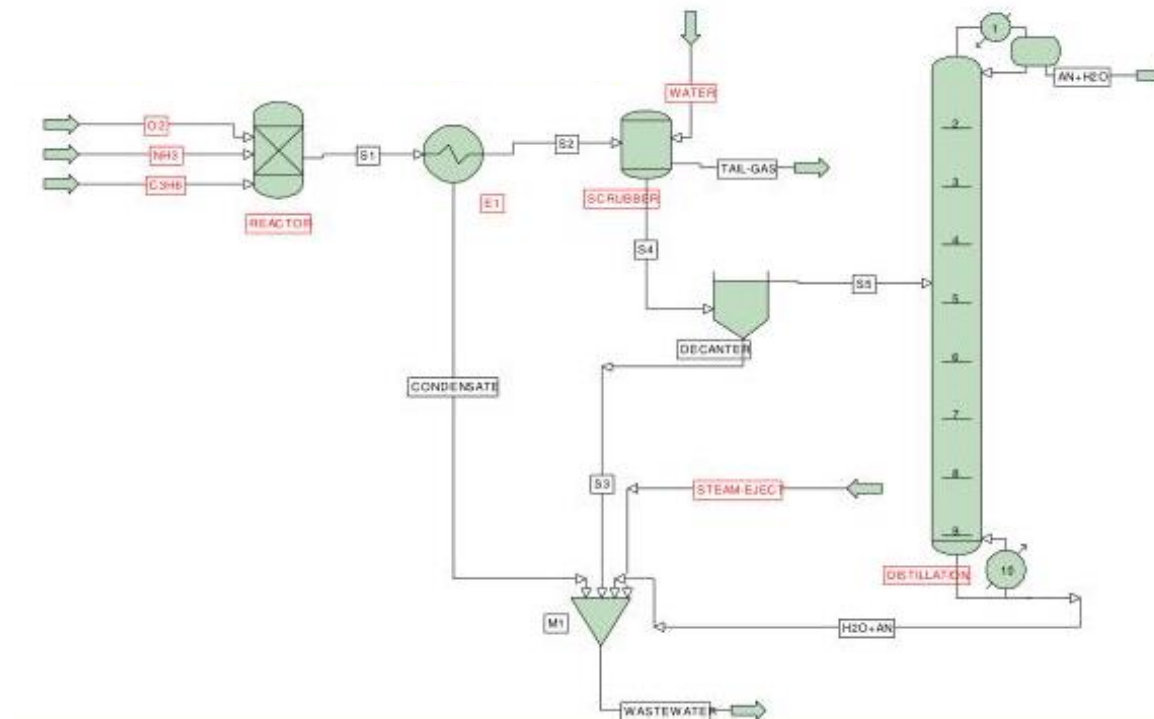
- Smanjenje potrošnje svježe vode reciklacijom
- CE se uklanja adsorpcijom iz plinske faze
- 44 % niži operativni troškovi nego uklanjanje CE iz otpadne vode



Zeleno inženjerstvo

Primjer: uklanjanje uskog grla u proizvodnji akrilonitrila (AN)

Problem: postrojenje za biološko pročišćavanje je na punom kapacitetu

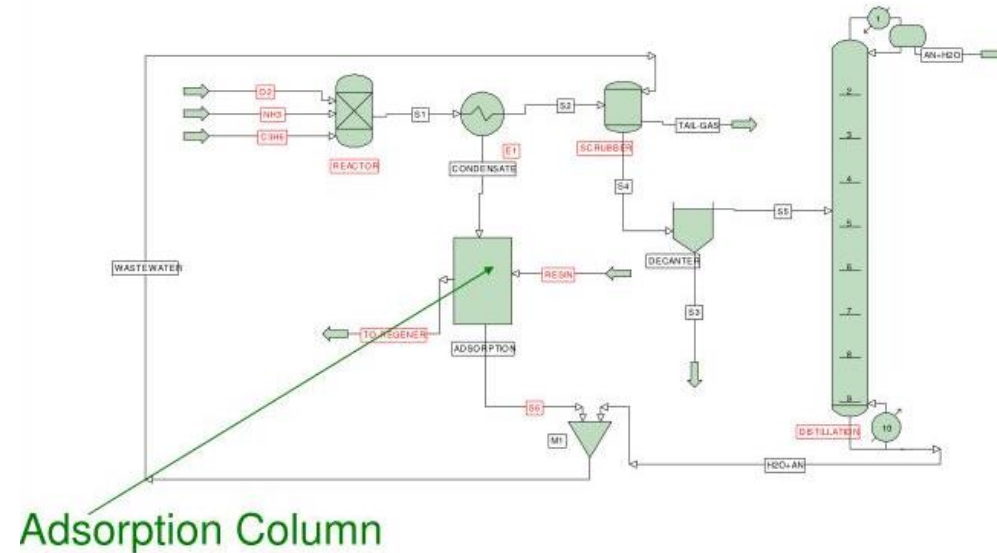


Zeleno inženjerstvo

Rješenje: Ugradnja adsorpcijske kolone

Benefiti rješenja:

- Potrošnja svježe vode smanjena što je smanjilo dotok u postrojenje za 7,2 kg/s
- Time je dotok smanjen za 40 %.
Proizvodnja se može povećati 2,5x u odnosu na trenutni kapacitet
- Proizvodnja AN povećana je s 3,9 na 4,6 kg/s
- Uz cijenu od 0,6 \$/kg AN to je povećalo godišnji prihod za 13,3 mil \$



ANALIZA ŽIVOTNOG CIKLUSA

Eng. Life Cycle Analysis/Assessment (LCA)

LCA - omogućuje primjenu “zelenog inženjerstva ” i kreiranje održivog razvoja za jedan životni ciklus (LC-life cycle) proizvoda/ procesa/usluge uzimajući u obzir sve njegove faze

Međunarodno standardizirana metodologija (ISO 14040:2006) koja se bavi proučavanjem utjecaja određenog proizvoda na okoliš te materijalnim i energetske resursima vezanim za taj proizvod kroz cijeli životni ciklus

Analiza uključuje vrednovanje svih faza životnog ciklusa proizvoda;

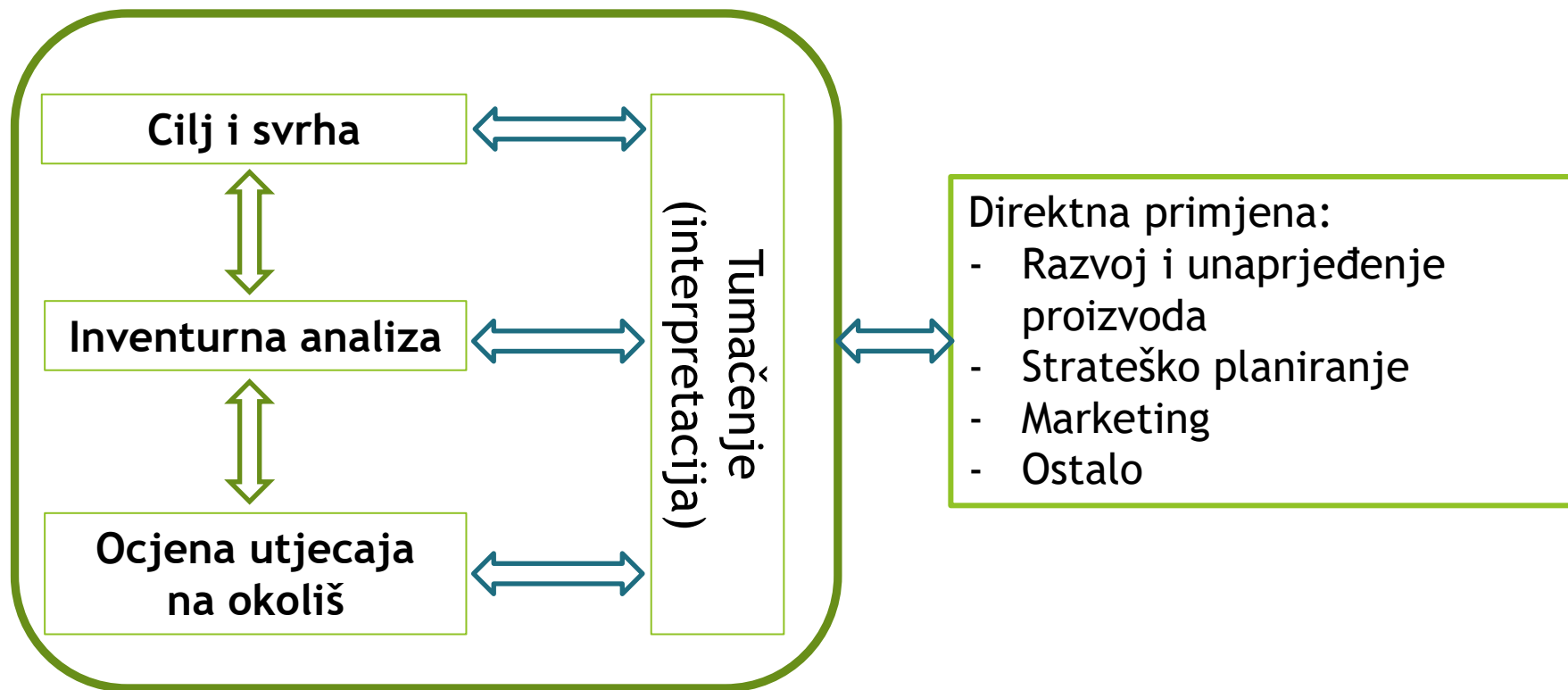
- izvor sirovine
- prerada sirovine
- proizvodnja
- upotreba
- izračun utroška energije kod proizvodnje
- oporavak - recikliranje
- odlaganja

Analiza životnog ciklusa

- Cjelokupni životni ciklus mora se razmotriti jer se javlja različit utjecaj na okoliš u različitim fazama
- Npr. neki materijali mogu imati nepoželjan utjecaj na okoliš **tijekom prerade** sirovine, a tijekom **upotrebe** u potpunosti su **bezopasni** i kasnije se lako se recikliraju
- Takav materijal je aluminij. Dobivanje Al iz rude energetski vrlo je zahtjevno, ali se lako reciklira i tijekom primjene nema negativan utjecaj na okoliš
- Drugi primjer je automobil koji ima negativan utjecaj na okoliš upravo tijekom upotrebe zbog potrošnje goriva i emisija štetnih plinova tijekom sagorijevanja tijekom rada motora



Analiza životnog ciklusa



Prvi korak u LCA je definiranje cilja i svrhe

Analiza životnog ciklusa

1. Cilj i svrha

- Prvi korak u LCA je definiranje njene svrhe i cilja jer ono predviđa upotrebu i korisnike
- Time se definira za koje slučajeve se provedena analiza smije, a za koje ne smije koristiti

Pitanja za LCA

- Koja je osnovna namjena provedbe LCA?
- Za što će se rezultati analize koristiti?
- Koji su konkretni razlozi koji su nagnali na LCA?
- Koje se odluke mogu donijeti na temelju provedene analize?

Analiza životnog ciklusa

1. Cilj i svrha

- **Opseg** - Identificiranje predmeta analize, kao i definiranje granica koje će obuhvatiti sve ono što je bitno, odnosno ono što je definirano svrhom analize
- Potrebno je definirati sljedeće:

1) Proizvodni sustav koji je predmet analize

- Podrazumijeva sve procese kroz koje prolazi proizvod kroz svoj životni ciklus, počevši od ekstrakcije sirovina, pa sve do njegovog odlaganja na otpad ili recikliranja
- Rijetko će se u analizi obuhvatiti cijeli proizvodni sustav, već se postavljaju granice sustava s obzirom na specifične potrebe analize

2) Funkcijsku jedinicu

- Referentan parametar LCA, određuje ga usluga koju pruža neki proizvod. Predstavlja kvantifikaciju usluge koju proizvod pruža, što je potrebno da bi se osigurala usporedivost rezultata analize, te svakako mora sadržati vrijeme trajanja usluge (*Primjer: Potrebno je osvijetliti neku prostoriju. Funkcijska jedinica je određena kao osvjetljavanje prostorije tijekom 1000 sati, svjetlosnim tokom od 1250 lumena*)

Analiza životnog ciklusa

1. Cilj i svrha

3) Izbor referentnog proizvoda

- U velikoj većini slučajeva novi proizvod predstavlja tek mali napredak u odnosu na postojeći proizvod. To znači da će velik dio životnog ciklusa novog proizvoda (proizvoda u nastajanju) već biti poznat preko postojećih
- Na taj je način moguće predvidjeti velik dio (procjenjuje se između 80 i 90 %) utjecaja na okoliš novog proizvoda koristeći već postojeće iskustvo

4) Granice sustava

- Definiraju procese u koje ulazi promatrani proizvod. Granice sustava biti će postavljene tako da su ulazi i izlazi kroz granicu sustava najprimitivniji mogući elementi (npr. ulaz u proizvodnju Al radijatora bio bi iskop boksitne rude)
- Izbor granica sustava uvelike ovisi o svrsi analize, namjeni, korisnicima, postavljenim pretpostavkama, raspoloživosti podataka, te kriterijima odluka o značajnosti određenih procesa

Analiza životnog ciklusa

2. Inventurna analiza - Dijagram toka procesa

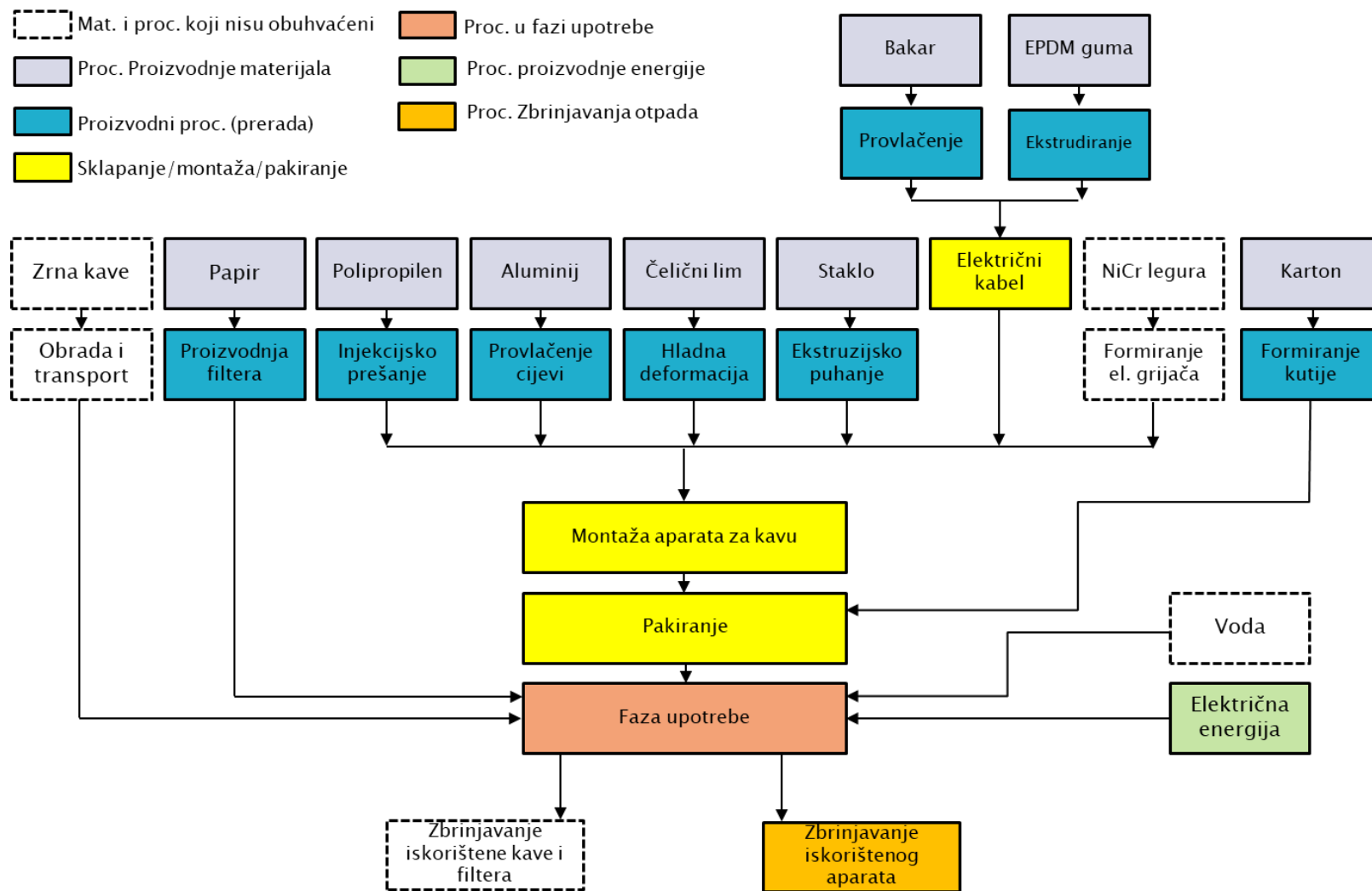
- Inventurna analiza uključuje sve ulaze i izlaze u životnom ciklusu produkta, počevši od čega se sastoji produkt, otkud dolazi taj materijal i gdje će se primijeniti
- Također, potrebno je uključiti ulazne i izlazne podatke o upotrebi i potrošnji materijala, energije, kao i analizu emisiju plinova u zrak, onečišćenje vode i tla, transporta te nusprodukata otpada

Prikupljanje podataka

- Aktivnost koja zahtjeva najviše vremena u cijeloj LCA, ovisi o eventualnom postojanju prethodno napravljenih baza podataka i dostupnim računalnim programima
- 1) **Elektronske baze podataka** - Postoje brojne baze podataka, koje su najčešće sastavni dio računalnih programa za LCA, nastaju na temelju već provedenih analiza, te se preporuča njihovo korištenje (ukoliko postoje podatci unutar baze koji su kompatibilni s promatranim procesom) zbog uštede u vremenu i troškovima
 - 2) **Podatci iz literature** - Znanstveni radovi, postojeći LCA izvještaji i slično
 - 3) **Podatci dobiveni od proizvođača, laboratorija i slično**

Analiza životnog ciklusa

2. Inventurna analiza - Dijagram toka procesa



Analiza životnog ciklusa

3. Ocjena utjecaja na okoliš

- Određuju se **potencijalni utjecaji na okoliš**, biljni i životinjski svijet i na ljudsko zdravlje, i to na temelju podataka o potrošnji resursa i emisija u okoliš, dobivenih u inventurnoj analizi
- Prikazuje **usporedbu potencijalnih utjecaja na okoliš za različita alternativna rješenja**
- Pokušava dati vezu između proizvoda ili procesa i njihovog potencijalnog utjecaja na okoliš. (Npr. kakav utjecaj ima 9.000 tona CO₂ ili 5.000 tona CH₄ ispuštenih u atmosferu? Koji slučaj je gori? Koji je njihov potencijalni utjecaj na globalno zatopljenje?)
- **Konverzijski faktori**, koji su nastali na temelju znanstvenih analiza. Služe kako bi se veličine dobivene u inventurnoj analizi analize prevele u reprezentativne indikatore utjecaja na zdravlje ljudi i ekosustava
- Različite veličine se prevode u indikatore utjecaja

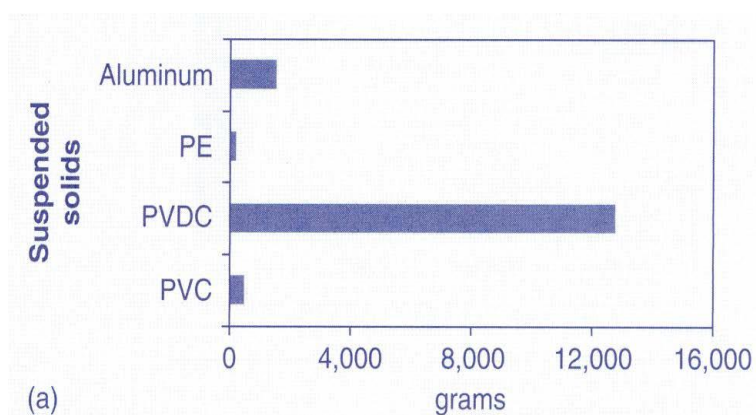
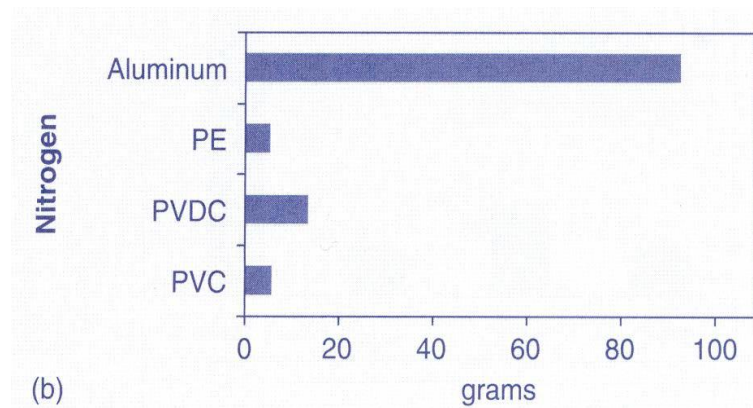
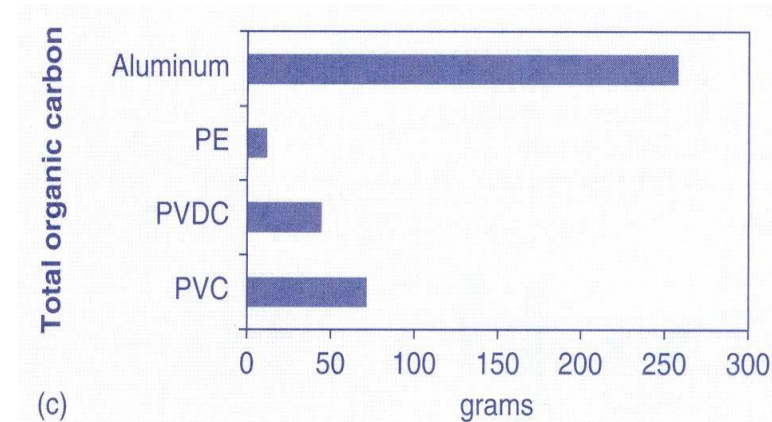
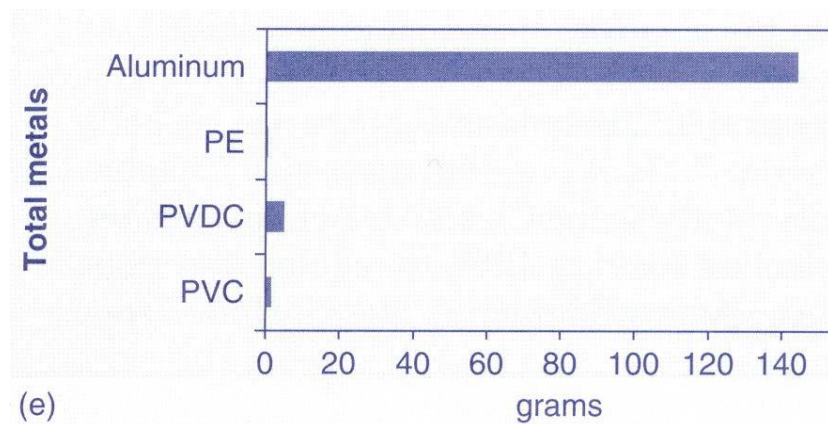
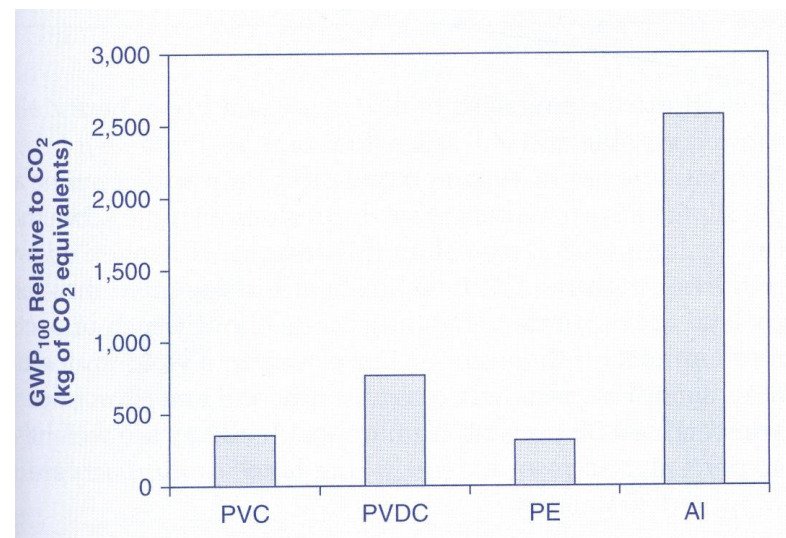
$$\Sigma \text{ Indikatora utjecaja} = \Sigma \text{ Količine tvari} \times \text{konverzijski faktor}$$

- **Indikatori utjecaja stavljaju različite količine tvari u isto mjerilo** (Npr. 10 kilograma metana ima veći utjecaj na globalno zatopljenje od 20 kilograma kloroforma)
- Svrstavanje rezultata dobivenih u inventurnoj analizi u prethodno definirane kategorije (Npr. NO₂ negativno utječe na stvaranje ozona, ali i na zakiseljavanje tla. Kako te dvije pojave nisu u međusobnoj ovisnosti, potrebno je čitavu količinu NO₂ svrstati u obje kategorije)

Analiza životnog ciklusa

3. Ocjena utjecaja na okoliš

Analiza utjecaja na onečišćenje voda tijekom proizvodnje cijevi od različitih materijala



Analiza životnog ciklusa

4. Tumačenje utjecaja na okoliš

- Analiza rezultata, donošenje zaključaka, objašnjenje ograničenja, donošenje preporuka aktivnosti na temelju provedene analize, izvještavanje o rezultatima interpretacije rezultata na transparentan način
- Jasna, kompletna i konzistentna prezentacija kompletne LCA, u skladu sa definicijom svrhe i opsega analize
- Na kraju, LCA omogućuje uvid u proces i moguća poboljšanja tijekom proizvodnje/proces/sustava, tj. smanjenje negativnih pritiska na okoliš
- Omogućuje odabir novih rješenja za pojedine faze ili ukupno poboljšanje proizvodnje proizvoda/proces/sustava s ekonomskog i ekološkog aspekta

EKONOMSKA ANALIZA ŽIVOTNOG CIKLUSA

- Ekonomska procjena životnog ciklusa proizvoda
- Troškovi životnog ciklusa, LCC (Life cycle cost)
- Financijska analiza životnog ciklusa proizvoda, LCC omogućuje uvid u **cijenu troškova životnog ciklusa** jednog proizvoda/procesa/ sustava
- Analiza uključuje **sve troškove** proizvodnje do prodajne cijene uz dodatne troškove; **troškovi upotrebe**, održavanja, **popravaka i postupanja na kraju životnog vijeka** (odlaganje, recikliranje)
- **LCC analiza** daje realniju sliku prilikom osmišljavanja (dizajniranja) proizvoda/procesa/ sustava i olakšava donošenje konačne odluke o početku proizvodnje

Ekonomska analiza životnog ciklusa

- LCC daje uvid što je dobar dizajn proizvoda/procesa/sustava s aspekta financija tijekom LC, uzimaju se u obzir sadašnji i budući troškovi da bi se donijela pravilna procjena
- Tu se javlja pitanje vrijednosti novca u vremenu. Novac je vrijedniji danas nego sutra. Vrijednost novca iz različitog vremena se prilagođava primjenom kamatne stope

Tvrtka je dobila ugovor na 4 godine za isporuke vode za piće. Trenutni sustav za obradu vode ima visoke troškove rada, a novi sustav je skup. Koji sustav bi trebalo odabrati?

Opcija	Stara oprema	Nova oprema
Kupnja (Eur)	0	4.000
Troškovi rada (Eur/god)	2.000	500
Trajanje (god)	4	4

$$PVA = A * \left(\frac{(1+i)^{n-1}}{i(1+i)^n} \right) = A * \left[\frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \right]$$

- PVA** - sadašnja vrijednost anuiteta (present value of an annuity)
- A** je godišnja vrijednost anuiteta, **i** kamatna stopa, i **n** broj godina kredita

Konačni ishod ovisi o kamatnoj stopi i

$i = 10\%$

$i = 20\%$

PVA(stara) = 6.340 Eur

PVA(nova) = 5.585 Eur

PVA(stara) = 5.180 Eur

PVA(nova) = 5.295 Eur

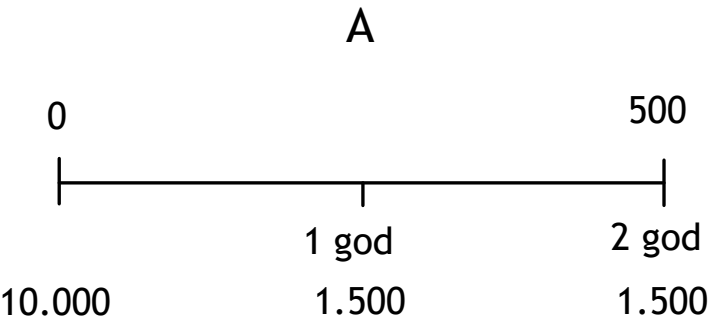
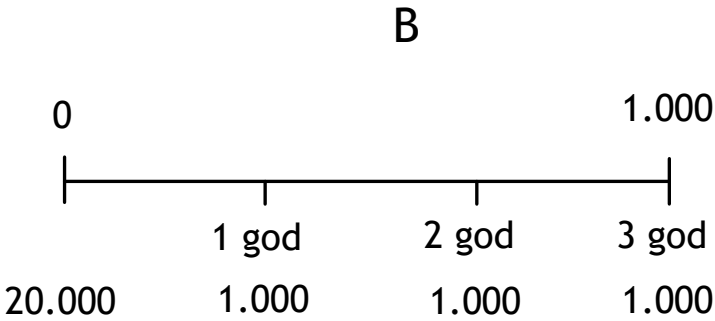
Ekonomska analiza životnog ciklusa

- Ponekad je potrebno **usporediti dva dizajna** proizvoda/procesa/sustava koji nemaju jednak vijek trajanja
- sustav A je jeftiniji i traje 2 god.
- sustav B je skuplji i traje 20 god.
- Nije moguće direktno usporediti sustave s različitim rokom trajanja. Potrebno je nabaviti i zbrinuti na kraju vijeka 10 sustava A u roku trajanja sustava B
- Stoga je potrebno provesti LCC analizu i **izračunati godišnje troškove poslovanje za oba sustava** uzevši u obzir; ulaganje za kupnju, troškovi rada i postupanje na kraju životnog ciklusa

Ekonomska analiza životnog ciklusa

Dva su sustava za filtraciju zraka. Koji izabrati na temelju godišnjih troškova uz kamatu nabavke 15 % godišnje

Opcija	Oprema A	Oprema B
Kupnja (Eur)	10.000	20.000
Troškovi rada (Eur/god)	1.500	1.000
Vrijednost na kraju (Eur)	500	1.000
Vijek trajanja	2	3



Ekonomska analiza životnog ciklusa

$$PVA = A * \left[\frac{1 - (1 + i)^{-n}}{i} \right]$$

Opcija	Oprema A	Oprema B
Kupnja (kn)	10.000	20.000
Troškovi rada (kn/god)	1.500	1.000
Vrijednost na kraju (kn)	500	1.000
Vijek trajanja	2	3

$$PVA = 10.000 + 1.500 \times \left[\frac{1 - (1 + 0,15)^{-2}}{0,15} \right] - \frac{500}{(1 + 0,15)^2} = 12.061 \text{ Eur}$$

- PVA je sada potrebno prevesti u godišnji trošak

$$A = PVA \times \left[\frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} \right] = 12.061 \times \left[\frac{0,15}{1 - (1 + 0,15)^{-2}} \right] = 7.418 \text{ Eur}$$

A

$$PVA = 20.000 + 1.000 \times \left[\frac{1 - (1 + 0,15)^{-3}}{0,15} \right] - \frac{1.000}{(1 + 0,15)^3} = 21.626 \text{ Eur}$$

$$A = PVA \times \left[\frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} \right] = 21.626 \times \left[\frac{0,15}{1 - (1 + 0,15)^{-3}} \right] = 9.472 \text{ Eur}$$

B