

Energija, okoliš i održivi razvoj

Energijske tehnologije
FER 2008.



Gdje smo:

1. Organizacija i sadržaj predmeta
2. Uvodna razmatranja
3. O energiji
4. Energetske pretvorbe i procesi u termoelektranama
5. Energetske pretvorbe i procesi u hidroelektranama
6. Energetske pretvorbe i procesi u nuklearnim el.
7. Geotermalna energija
8. Potrošnja električne energije
9. Prijenos i distribucija električne energije
10. Energija Sunca
11. Energija vjetra
12. Biomasa
13. Gorivne ćelije i ostale neposredne pretvorbe
14. Skladištenje energije
- 15. Energija, okoliš i održivi razvoj**

Sadržaj predavanja

- utjecaji energijskih transformacija i objekata na okoliš
 - zrak
 - voda
 - tlo
- klimatske promjene
- vrednovanje raznorodnih utjecaja na okoliš
 - energijski lanac
 - eksterni trošak
- održivi razvoj



Utjecaji energetskih postrojenja na okoliš

Normalni pogon

- zrak – onečišćujuće tvari, otpadna toplina
- voda – onečišćujuće tvari, otpadna toplina
- tlo – suho/mokro taloženje, odlaganje otpada
- ostali utjecaji
 - buka
 - vizualna degradacija
 - elektromagnetski utjecaji
 - izravan utjecaj na žive organizme (3 ptice/MW_{VE})

Nesreće (HE, NE...)



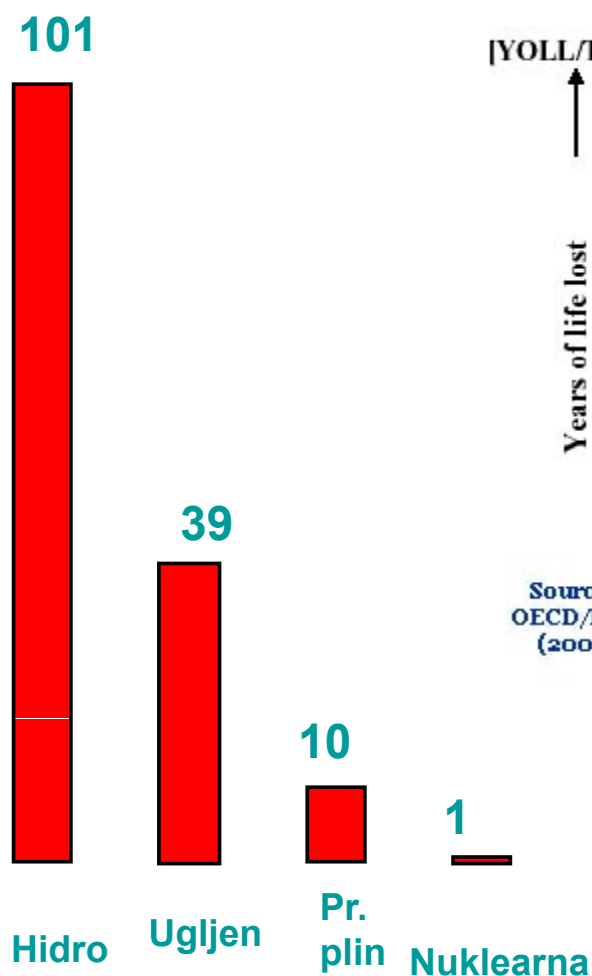
Nesreće povezane s energetikom

Mjesto	Godina	Broj poginulih	Uzrok
Benxihu Colliery, Kina	1942	1549	eksplozija ugljene prašine
Banqiao brana, Kina	1975	26000 +145000	tajfun Nina
Machhu II, Indija	1979	2500	pucanje brane HE
Hirakud, Indija	1980	1000	pucanje brane HE
Cubatao, Brazil	1984	508	nafta - požar
Černobil, Ukraina	1986	56 +tisuće na dugi rok	nuklearna nesreća
Asha-ufa, Siberia	1989	600	curenje i požar UNP-a
Dobrinja, Jugoslavija	1990	178	rudnik ugljena
Durunkha, Egipat	1994	580	spremište nafte i munja
Warri, Nigeria	1998	>500	curenje iz naftovoda i požar

UNP – ukapljeni naftni plin

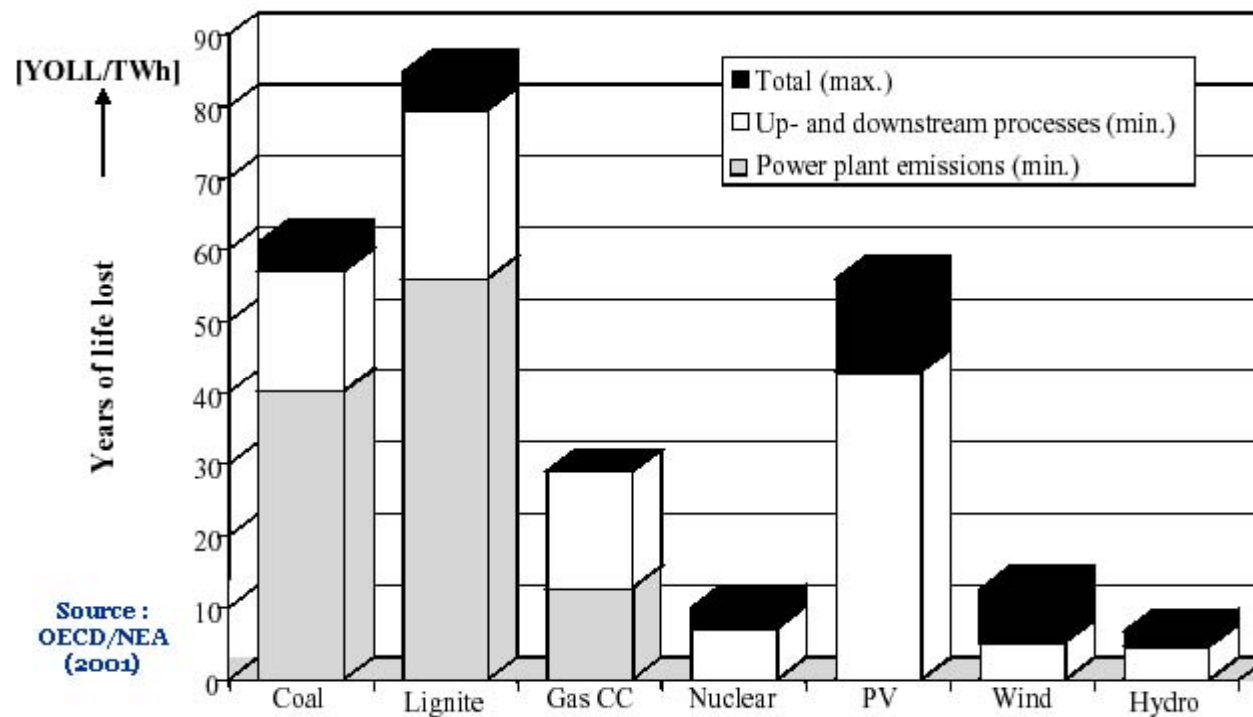
Broj smrtnih slučajeva po TWh električne energije

[stradali/TWh]



2008.

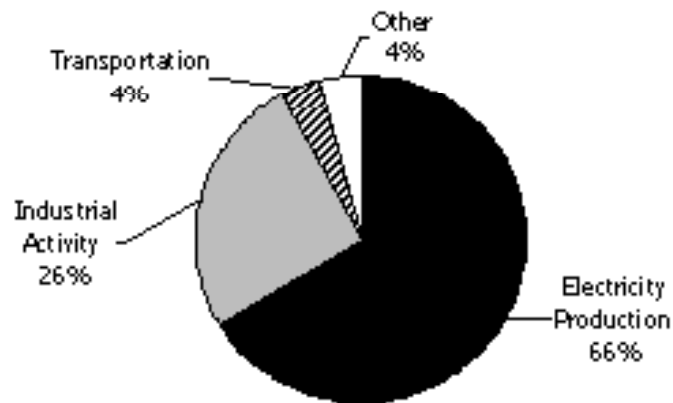
Health risks of energy systems



Onečišćenje zraka

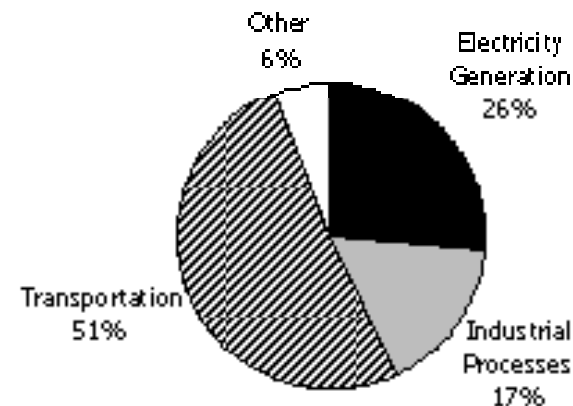
- Transport, elektrane i industrija
- Izvor poznat
- Utjecaj složen

Sumporni dioksid (SO_2)



Source: EPA National Air Quality and Emissions Trends Report, 1996.

Dušični oksidi (NO_x)



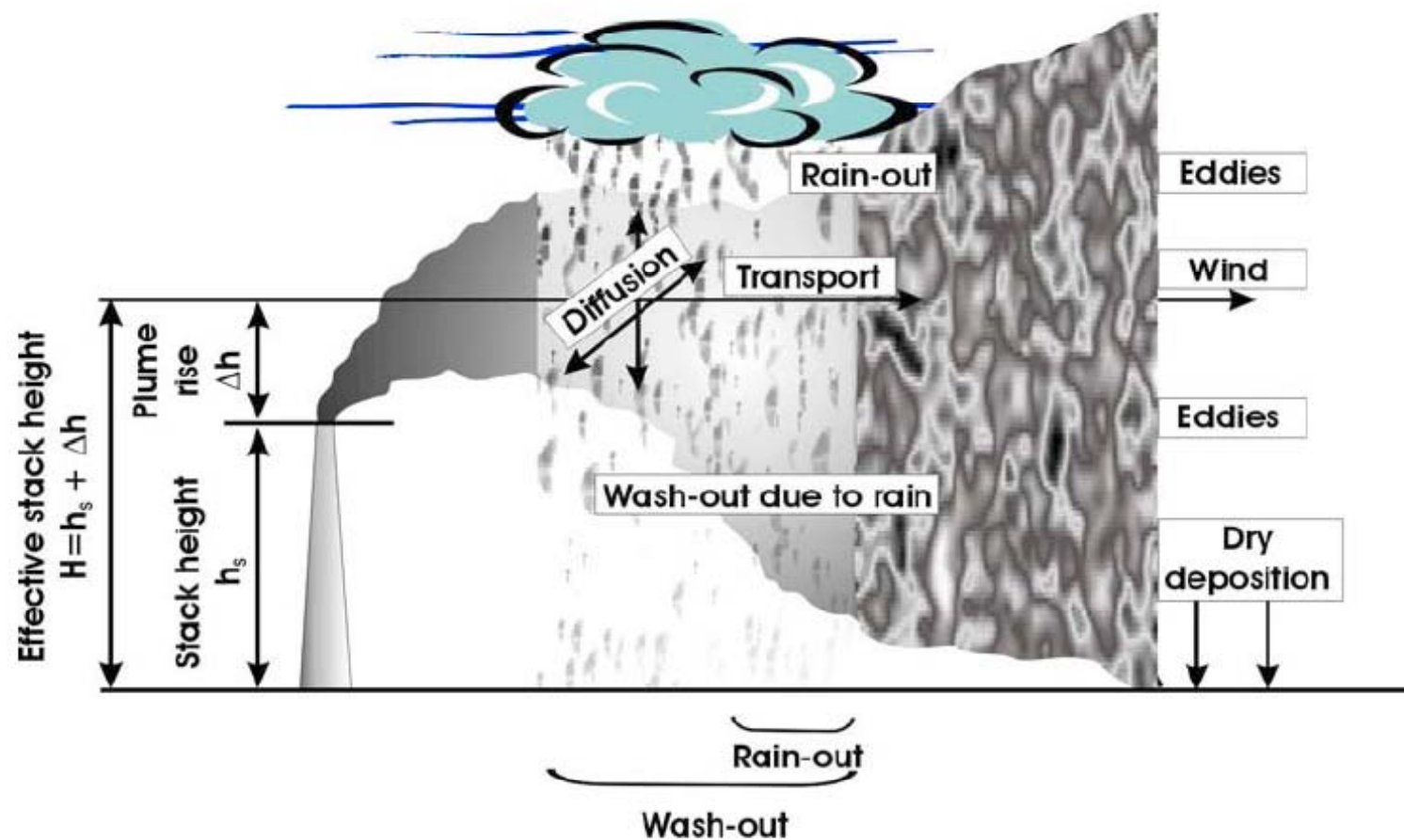
Source: EPA National Air Quality and Emissions Trends Report, 1996.

Onečišćenje zraka iz elektrana

- 'kiseli' spojevi – SO_2 i NO_x s OH^- radikalom tvore u zraku sumpornu i dušičnu kiselinu
 - promjena pH vrijednosti (zakiseljavanje) tla i voda
 - negativan utjecaj na biljke i životinje (prvenstveno ribe)
- čestice
- teški metali
- radionuklidi
- poseban problem – CO_2

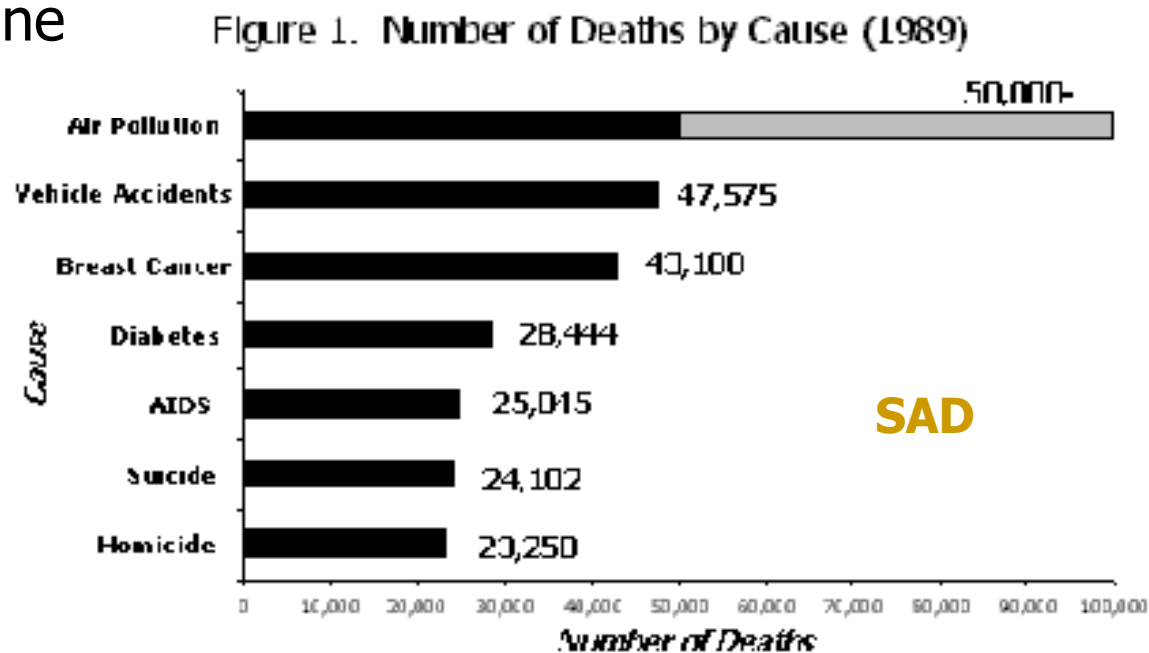


Ponašanje efluenata oslobođenih u atmosferu



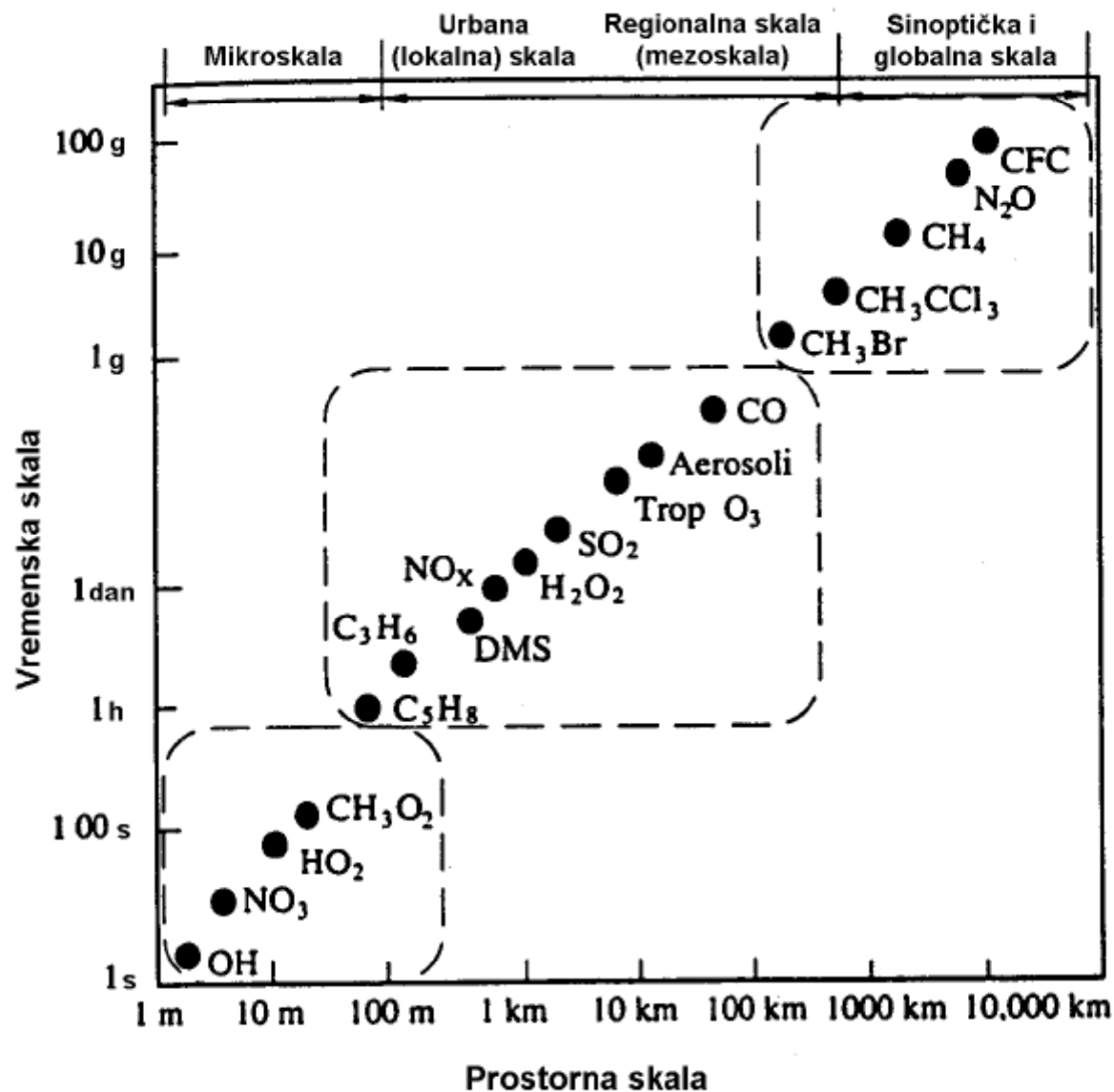
Utjecaji onečišćenja zraka

- taloženje kiselih spojeva i radionuklida na tlo i vodu
- utjecaji na zdravlje ljudi
- utjecaji na poljoprivredu
- utjecaji na građevine
- ...



Source: Curtis Moore, "Tying Needles by: Sickness and Death Due to Energy-Related Air Pollution", Renewable Energy Policy Project Issue Sheet #6, February, 1997. On-line at online.wsj.com/resources/article.asp

Prostorne i vremenske skale onečišćivača u atmosferi



Zadatak 15.1 Emisija CO₂ iz TE Plomin 2

Snaga TE Plomin II iznosi 210 MW, učinkovitost 35%, a faktor opterećenja 0,68. Ogrjevnost korištenog ugljena je 25 MJ/kg, (maseni) udio ugljika u ugljenu iznosi 63%, a udio sumpora 1%.

Kolika se masa ugljičnog i sumpornog dioksida godišnje ispusti u okoliš?

Pretpostaviti da je izgaranje potpuno.

$$P = 210 \text{ MW}$$

$$m = 0,68$$

$$\eta = 0,35$$

$$H = 25 \text{ MJ/kg}$$

$$\omega(C) = 63\%$$

$$\omega(S) = 1\%$$

Zadatak 15.1 - rješenje

$$E_{el} = 210 \cdot 0,68 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 = 4.50E09 \text{ MWs}$$

$$E_t = E_{el} / \eta$$

$$m_g = E_t / H = E_{el} / \eta H = 4.50E09 / 25 \cdot 0,35 = \mathbf{514668 \text{ t}}$$

$$m(C) = m_g \cdot 0,63 = \mathbf{324241 \text{ t}}$$

Pri potpunom izgaranju ugljika vrijedi:



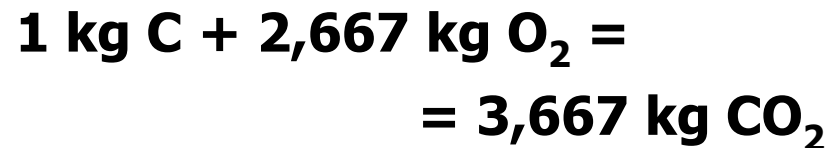
Zamjenom broja kilomola odgovarajućom masom tvari (1 kmol = μ kg), dolazi se do relacije:



jer relativna masa **ugljika** iznosi **12**, **kisika** $2 \cdot 16 = \mathbf{32}$, a **ugljik-dioksida** $12 + 2 \cdot 16 = \mathbf{44}$.

Zadatak 15.1 - rješenje

Dijeljenjem izraza s 12 dobivamo količinu CO₂ u kg koja nastaje potpunim izgaranjem 1 kg ugljika:



Masa je ugljičnog dioksida godišnje ispuštena u okoliš jednaka:

$$\begin{aligned} 324240,5 \cdot 10^3 \cdot 3,667 &= \\ &= 1188990 \text{ t} \end{aligned}$$

$$m(\text{S}) = m_g \cdot 0,01 = 5146,7 \text{ t}$$

Pri potpunom izgaranju sumpora vrijedi:



Masa je sumpornog dioksida godišnje ispuštena u okoliš jednaka:

$$5146,7 \cdot 10^3 \cdot 2 = 10293,4 \text{ t}$$

Zadatak 15.2 Emisija CO₂ iz elektrane na plin

Snaga elektrane na plin u kombiniranom plinsko-parnom ciklusu iznosi 200 MW, učinkovitost 44%, a faktor opterećenja 0,5.

Ogrjevna moć plina je 36 MJ/m³. Pretpostaviti da plin u potpunosti čini metan te da je izgaranje potpuno.

Kolika se masa ugljičnog dioksida godišnje ispusti u okoliš?

$$P = 200 \text{ MW}$$

$$m = 0,5$$

$$\eta = 0,44$$

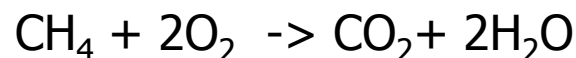
$$H = 36 \text{ MJ/kg}$$

$$\omega(\text{CH}_4) = 100\%$$

$$E_{\text{el}} = 200 \cdot 0,5 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ MWs}$$

$$E_{\text{t}} = E_{\text{el}} / \eta$$

$$V_{\text{g}} = E_{\text{t}} / H = E_{\text{el}} / \eta H = 200 \cdot 0,5 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 / 36 \cdot 0,44 = \\ = 199,1 \text{ e6 m}^3 = V(\text{CH}_4)$$



Zadatak 15.2 - rješenje

Kilomol bilo kojeg plina ima uvijek isti volumen (pri jednakom tlaku i jednakoj temperaturi)

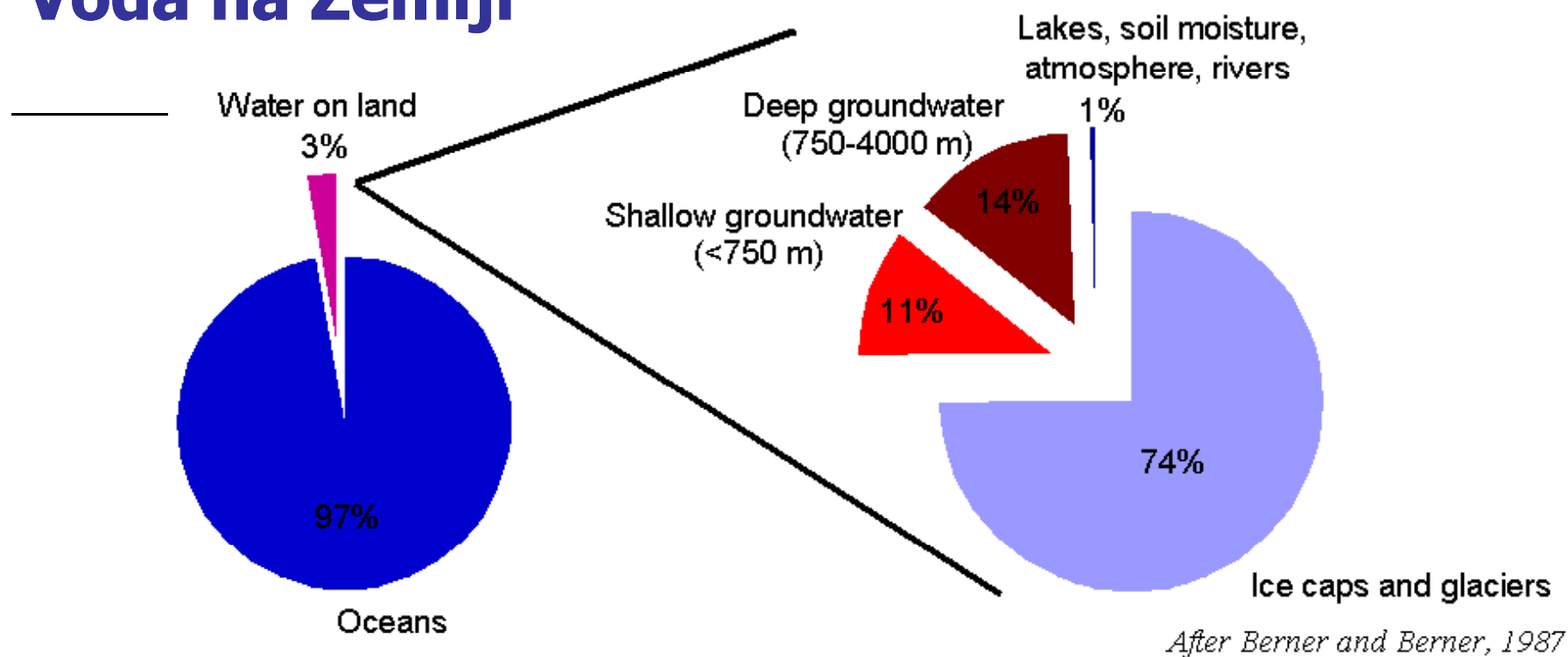
$$V_g = V(\text{CH}_4) = V(\text{CO}_2) = 199,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Vrijedi: $\mu_{\text{CO}_2} : v_\mu = m(\text{CO}_2) : V(\text{CO}_2)$

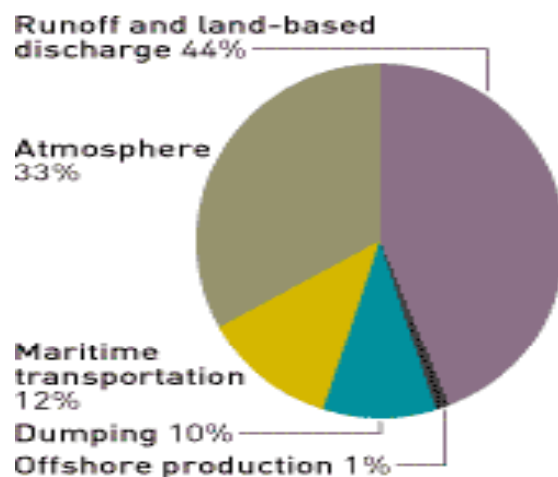
Masa je ugljičnog dioksida ispuštena u okoliš u godini dana jednaka:

$$\begin{aligned} m(\text{CO}_2) &= \frac{\mu_{\text{CO}_2} \cdot V(\text{CO}_2)}{v_\mu} = \\ &= \frac{44 \cdot 199,1 \cdot 10^6}{22,4} = 391,1 \cdot 10^6 \text{ kg} = \\ &= 391100 \text{ t} \end{aligned}$$

Voda na Zemlji



Izvori onečišćenja vode

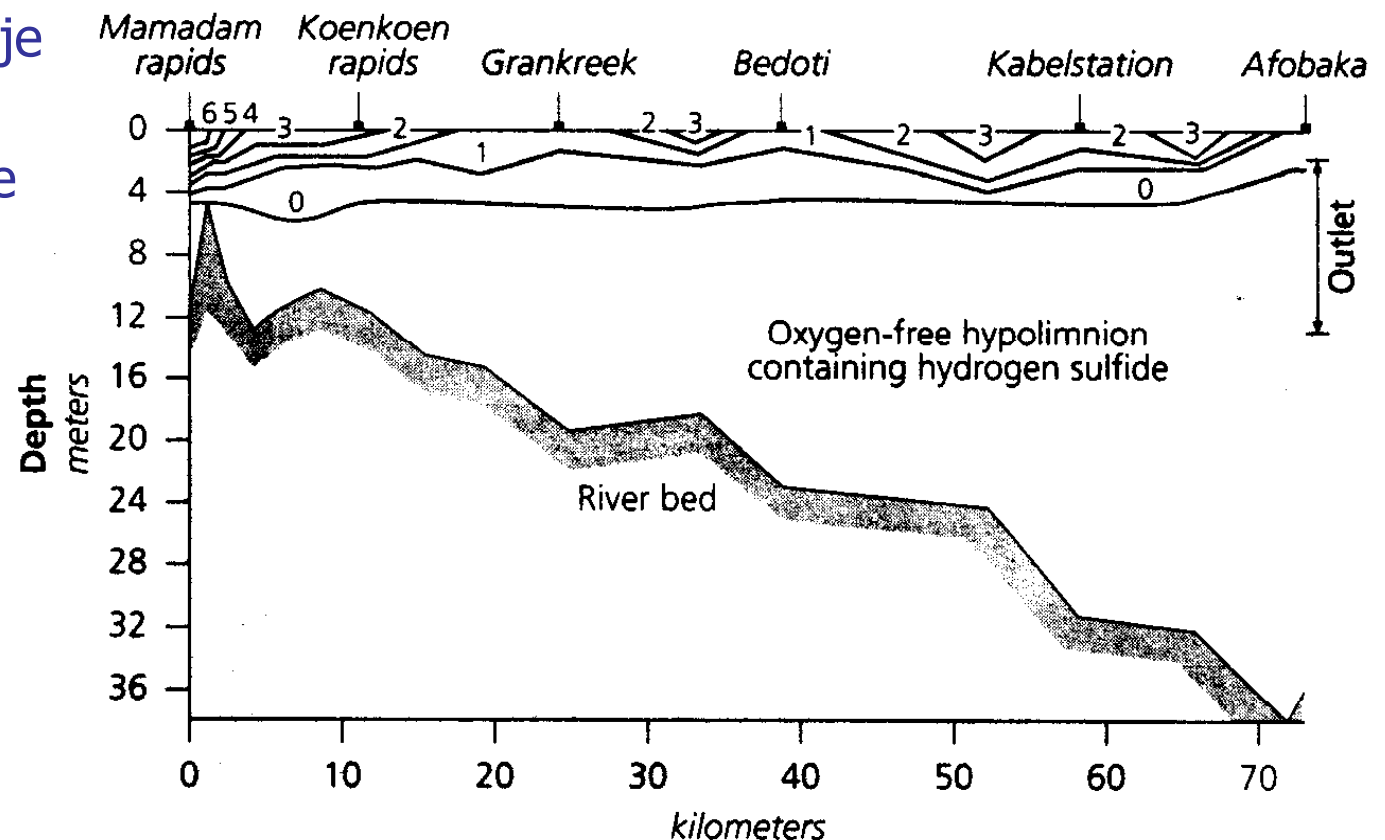


Source: UNEP.

Onečišćenje vode

- industrija, poljoprivreda i proizvodnja energije
- proizvodnja energije primarno toplinski zagađuje vodu
- hidroelektrane, specifično:

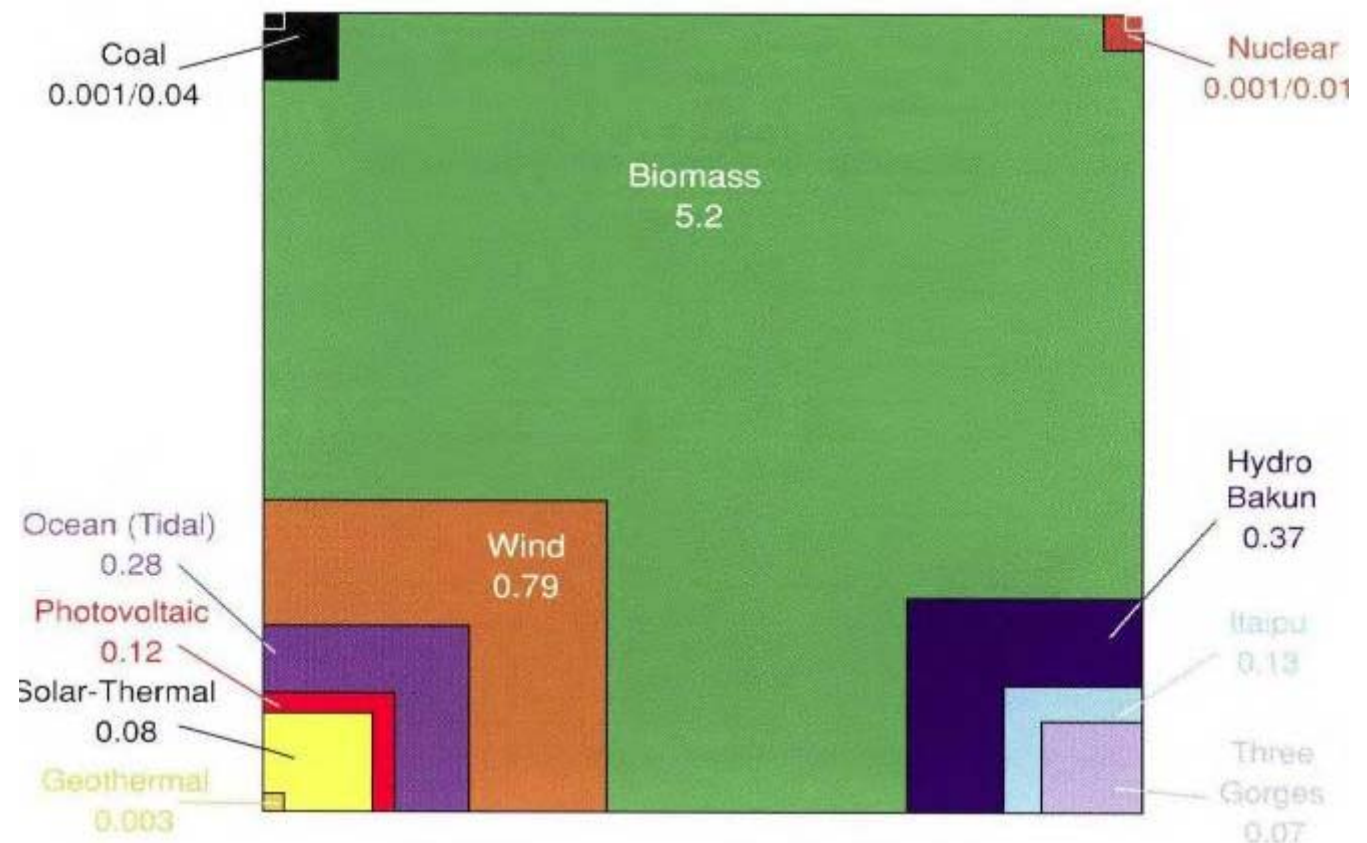
- smanjivanje koncentracije kisika
- ugrožavanje vodenih ekosustava



Onečišćenje tla

- industrija, energetika, komunalni otpad...
- energetika onečišćuje tlo izravno...
 - pepeo, gips, mulj
- ...i neizravno: **taloženjem onečišćujućih tvari iz zraka**

Površina potrebna za
100MW elektranu, uz
faktor opterećenja = 1
(km²/MW)

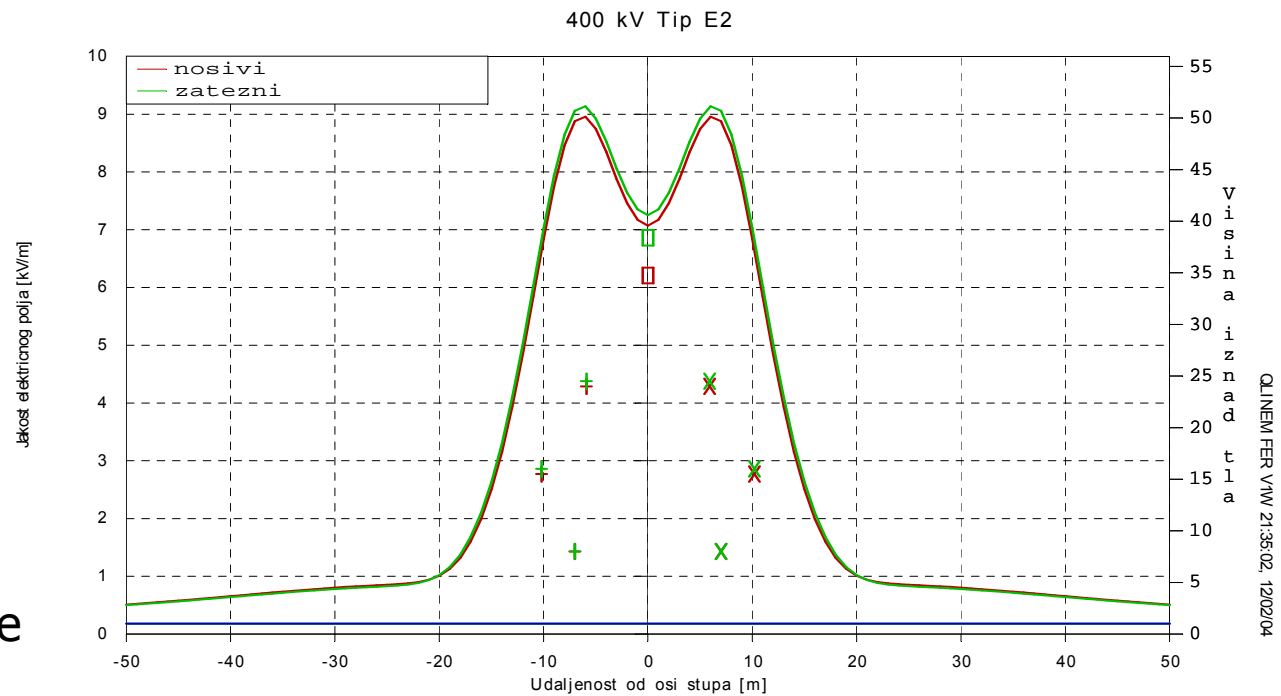


Onečišćenje - ostalo

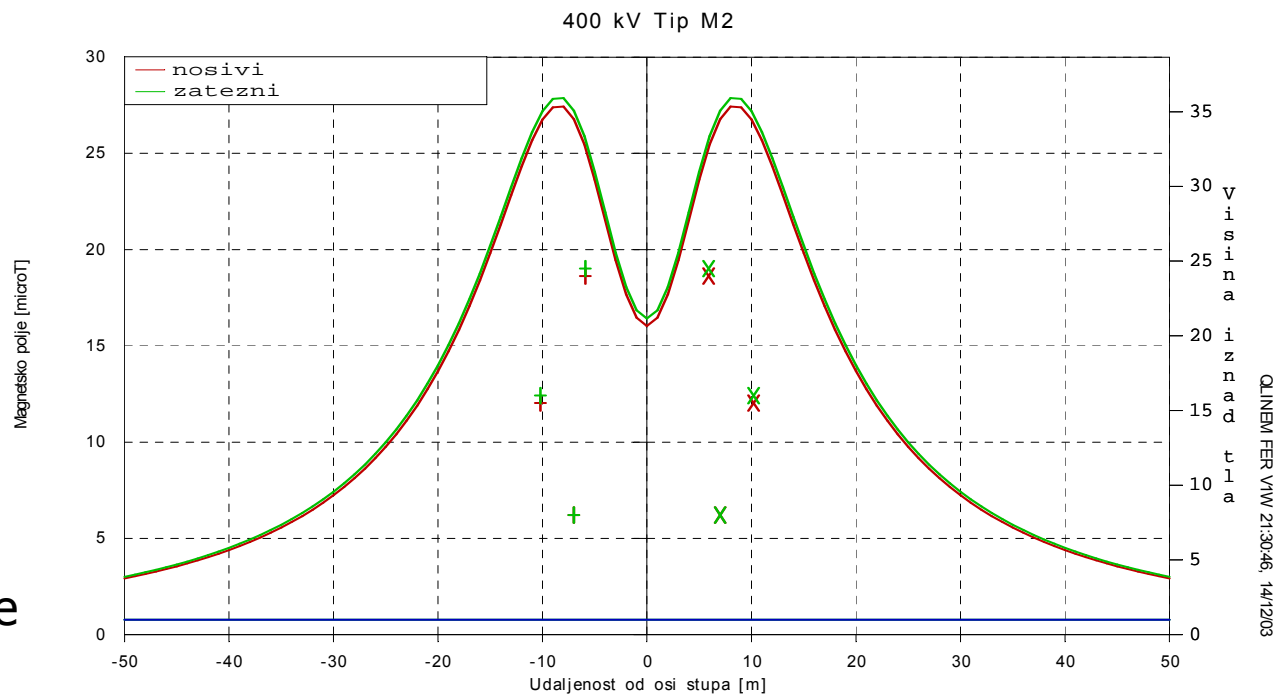
- Biološki – direktni utjecaj na vrste (ptice i vjetroelektrane?, hidroelektrane i ribe...)
- Svjetlosno onečišćenje
- Onečišćenje bukom
- Vizualni utjecaj na okoliš
- Elektromagnetsko
 - Nedovoljno dokaza o utjecaju
 - Ograničenja određena na osnovi bioloških procesa (~ 1 nT)
 - 1 mT u Velikoj Britaniji
 - Dalekovod 400 kV na
 - 10 m: ~ 3 μ T
 - 100 m: $\sim 0,1$ μ T

Dalekovodi – električno i magnetsko polje

Električno polje

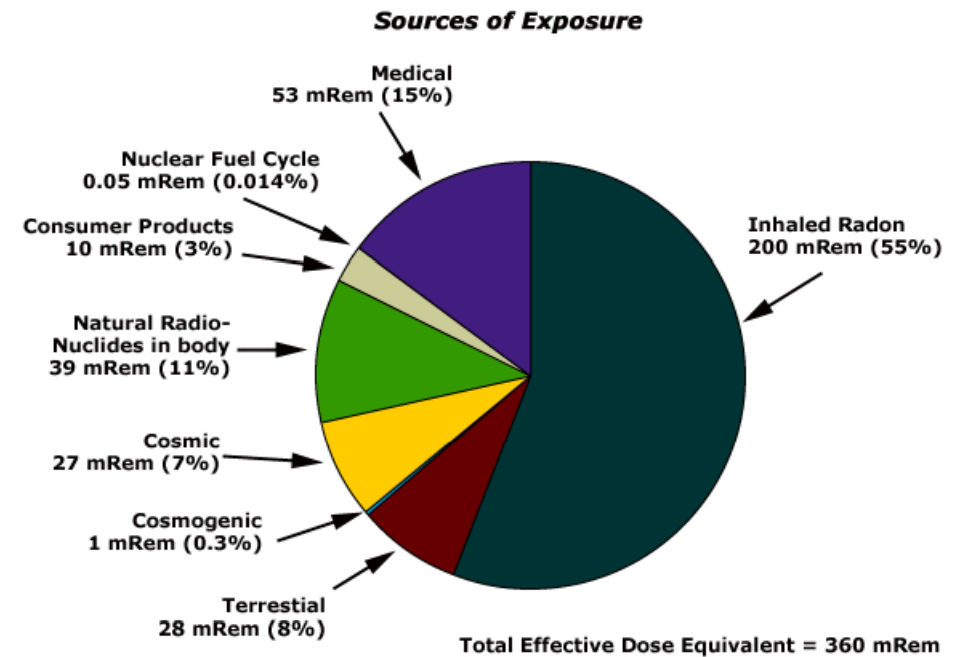
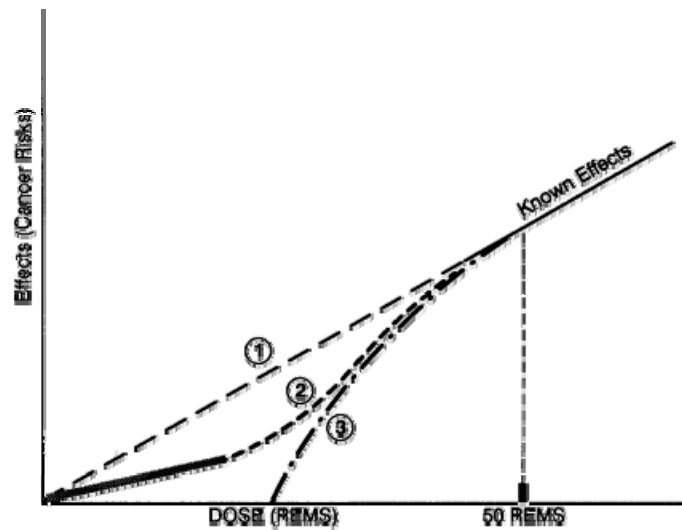


Magnetsko polje



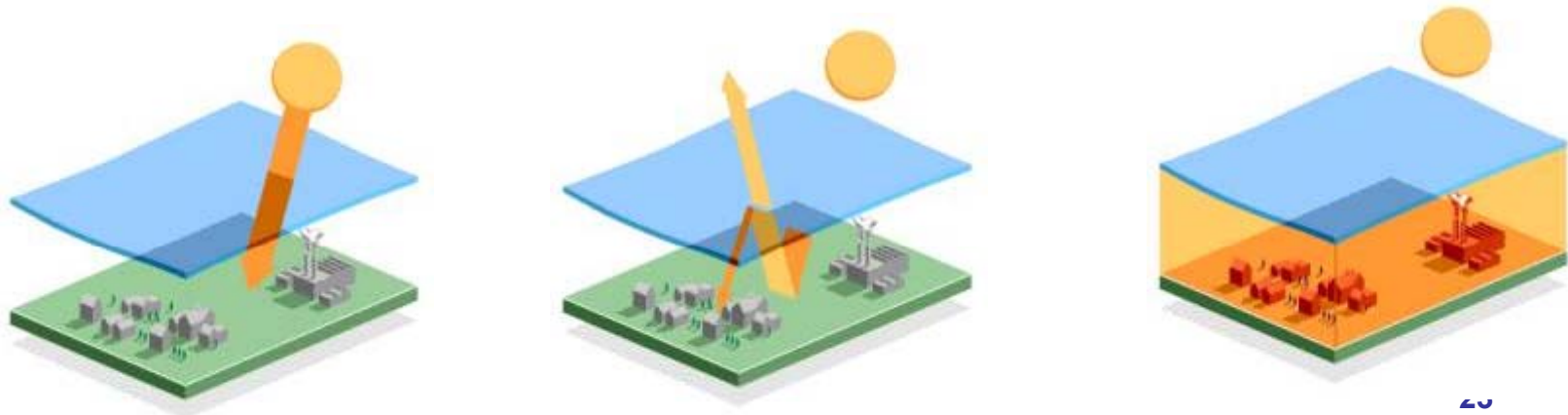
Onečišćenje – ostalo (3)

- Radioaktivnost
 - Industrija, medicina i korišćenje nuklearne energije
 - “Poseban” tretman zbog puno razloga
 - Primjer pobjede straha i iracionalnog nad činjenicama i znanosti



Učinak staklenika

- učinak staklenika – preduvjet razvoja života na Zemlji
- staklenički plinovi izmiješani u cjelokupnom sloju atmosfere čine zračni toplinski omotač oko Zemlje koji sprečava gubitak toplinske energije u svemir
- prirodni staklenički plinovi
 - vodena para (H_2O)
 - ugljični dioksid (CO_2)
 - metan (CH_4)
 - didušik oksid (N_2O)
- bez omotača koji sadrži stakleničke plinove, površina Zemlje bi bila preko 30°C stupnjeva hladnija nego što je danas
 - danas – prosjek oko 14°C
 - bez stakleničkih plinova – oko -19°C

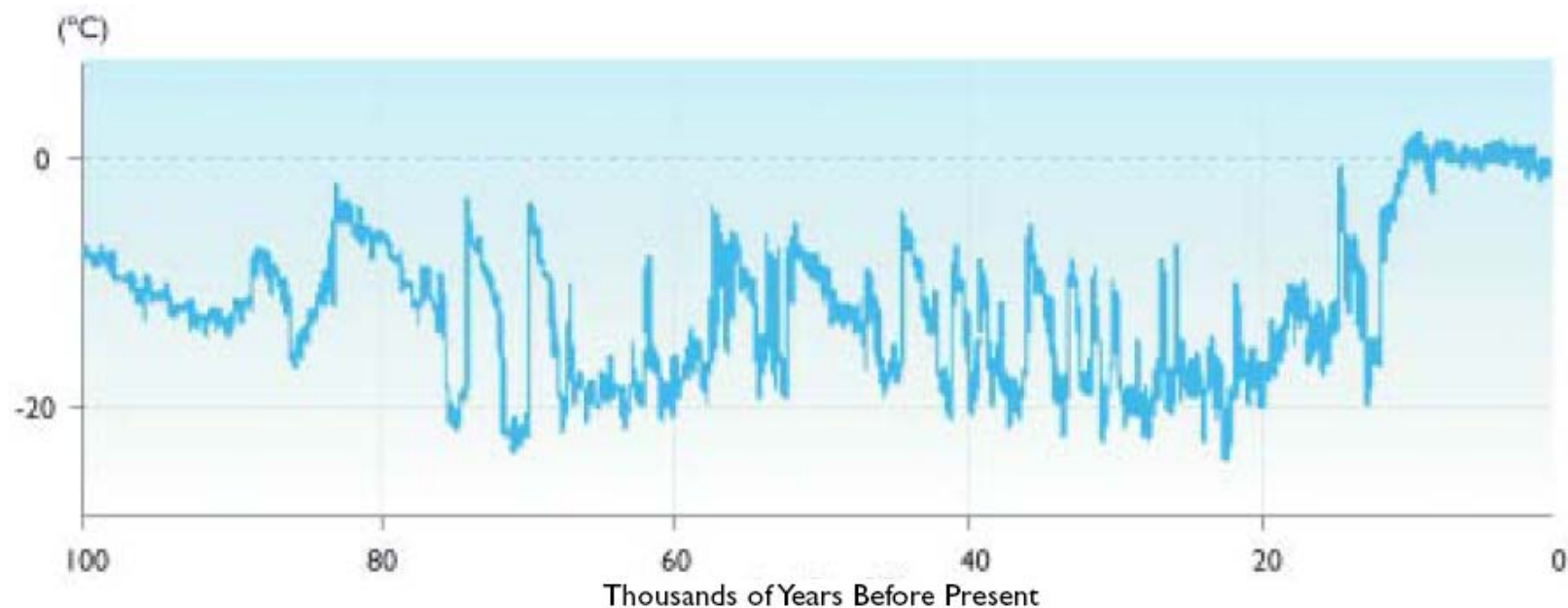


Klimatske promjene

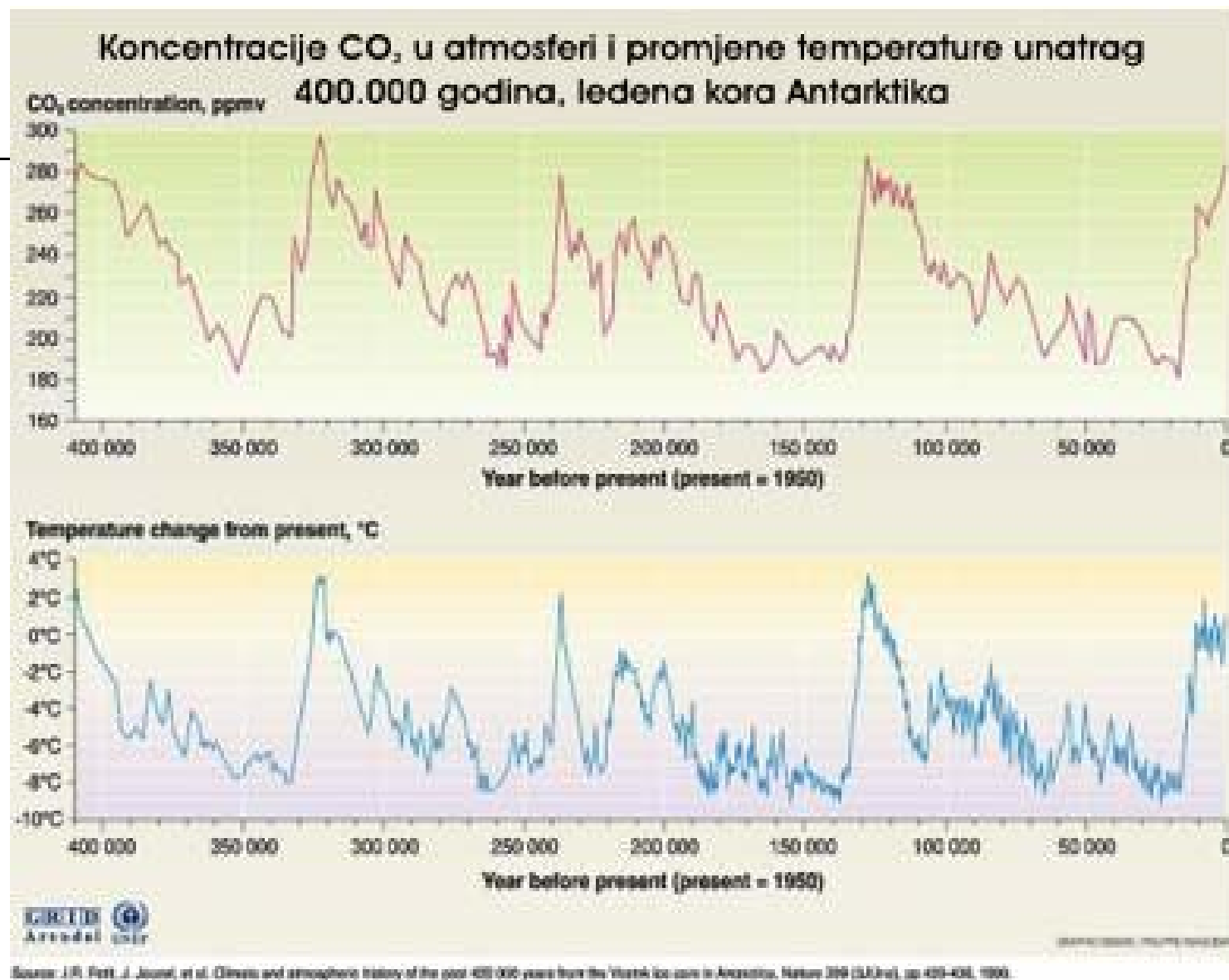
- promjena klime se odigrava u ciklusima i bez utjecaja čovjeka
- sve više dokaza da utjecaj čovjeka izaziva velike i brze promjene klime
- razumijevanje utjecaja i posljedica slabo, ali moguće posljedice goleme
- nema globalnog konsenzusa o nužnosti i razini djelovanja

Temperatura tijekom posljednjih 100.000 godina

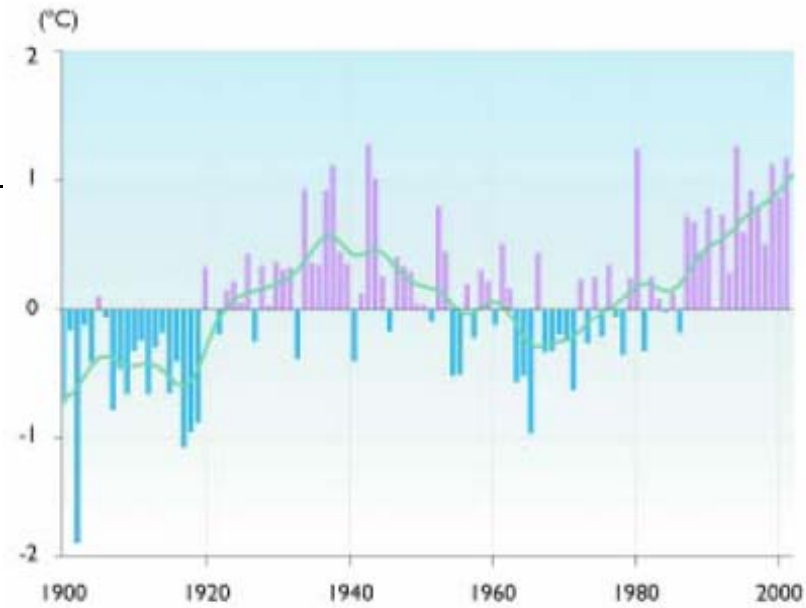
temperatura određena na temelju mjerenja u ledenoj kori na Grenlandu



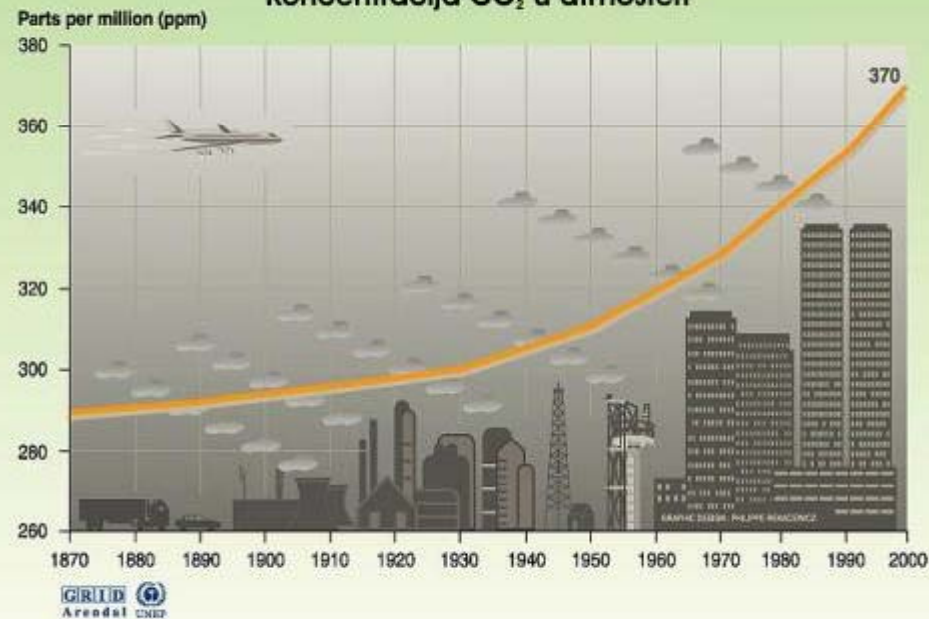
zanimljivo: tijekom posljednjih 10000 godina (razvoj ljudske civilizacije) temperatura je bila iznimno stabilna!



Observed Arctic Temperature, 1900 to Present



Koncentracija CO₂ u atmosferi



Sources: TPI Whorf, Scripps, Mauna Loa Observatory, Hawaii; Institute of Oceanography (IO), University of California La Jolla, California, United States, 1999

Staklenički plinovi obuhvaćeni međunarodnim sporazumima

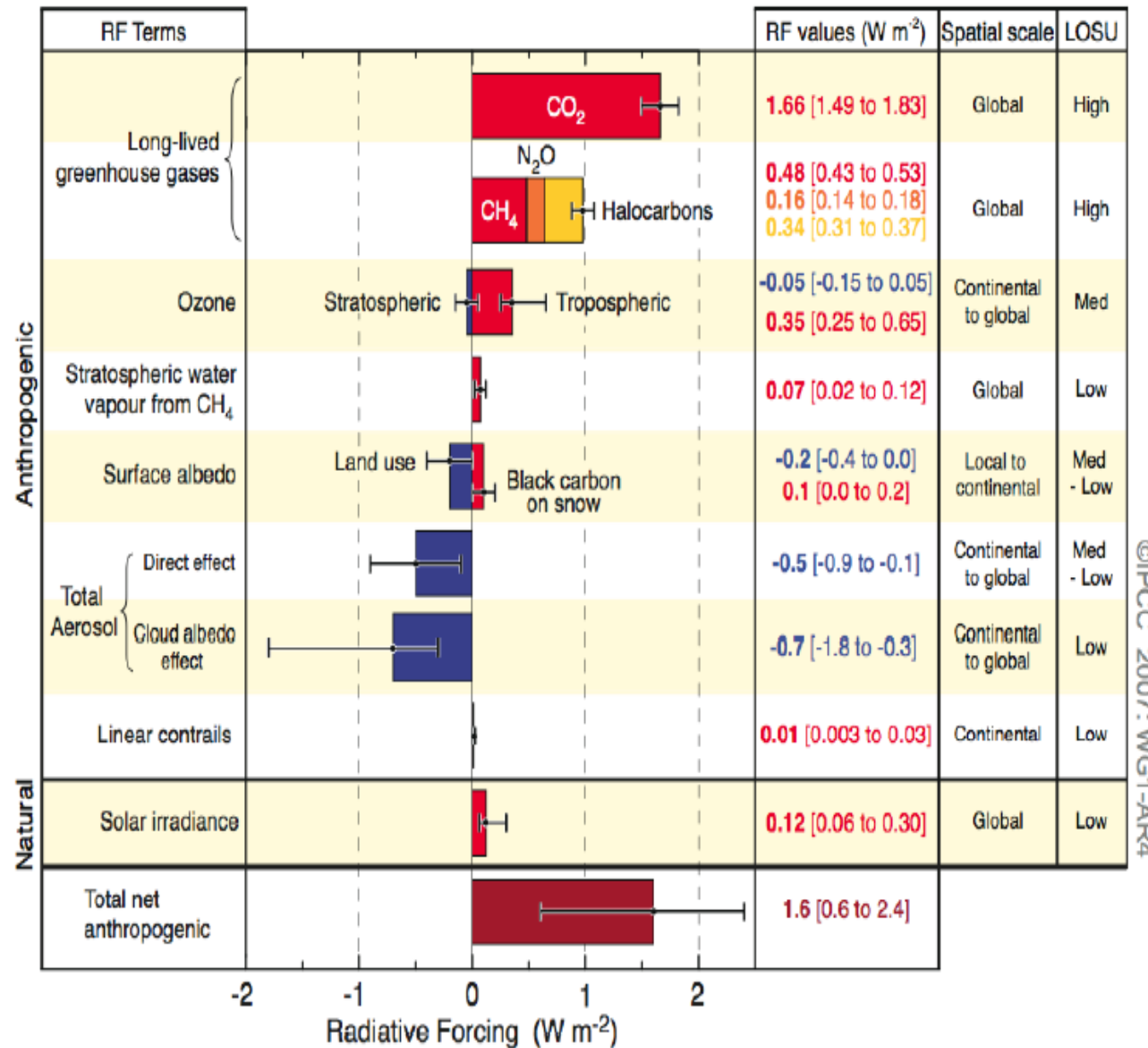
- ugljični dioksid - CO_2 ,
- metan - CH_4 ,
- didušikov oksid - N_2O ,
- tetrafluorometan - CF_4 ,
- heksafluoroetan - C_2F_6 ,
- sumporni heksafluorid - SF_6 ,
- hidrofluorougijici - HFC (CHF_3 , $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$, $\text{C}_2\text{H}_4\text{F}_2$)

vodena para (H_2O) i troposferski ozon (O_3) nisu obuhvaćeni sporazumima zbog kratkog vremena zadržavanja u atmosferi

Plinovi koji pojačavaju učinak staklenika i oštećuju ozonski omotač

- klorofluorougļjici - CFC
(CFCl_3 , CF_2Cl_2 , CClF_3 , $\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$, $\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$, $\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$)
- ugljikov tetraklorid - CCl_4
- metilni kloroform - CH_3CCl_3
- klorofluorougļjikovodici - HCFC ($\text{C}_2\text{H}_3\text{FCl}_2$, $\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_2\text{Cl}$)
- haloni - CClF_2Br i CF_3Br

Doprinosi snazi zračenja koje dolazi na Zemlju



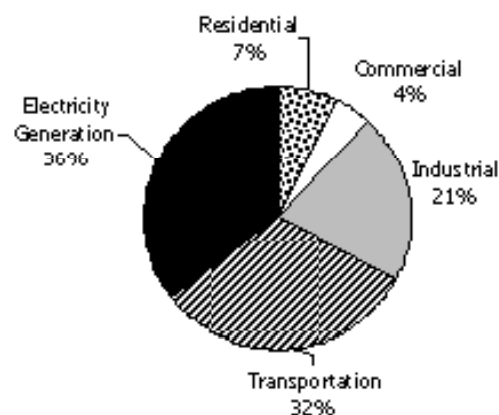
Najvažniji uzroci pojačanom učinku staklenika

- izgaranje fosilnih goriva
- proizvodnja cementa

ostali doprinosi:

- stočarstvo
- odlaganje otpada
- sječa šuma
- poljoprivredna proizvodnja

Izvori ugljičnog dioksida (CO₂)



Source :EPA National Air Quality and Emissions Trends Report, 1996.

Međunarodna tijela i sporazumi

- IPCC (**I**ntergovernmental **P**anel on **C**limate **C**hange - međuvladin panel za klimatske promjene
 - nema sumnje da prosječna temperatura raste
 - 95%-tna vjerojatnost da je uzrok antropogen
 - posljednji put kad su polarne kape bile toplije nego sada tijekom duljeg vremena (prije 125.000 godina), došlo je do porasta razine mora za 4 do 6 metara
- međunarodni ugovori
 - UNFCCC (**U**nited **N**ations **F**ramework **C**onvention on **C**limate **C**hange) – ograničenje emisija na razini iz 1990.
 - Protokol iz Kyota – smanjenje emisija u odnosu na baznu godinu, samo za razvijene i tranzicijske zemlje

Zaključno o klimatskim promjenama

- u dva sljedeća desetljeća, očekuje se zagrijavanje od 0,2°C u desetljeću
- kad bi se ovog časa emisije stakleničkih plinova ograničile na razini iz 2000, zagrijavanje bi se nastavilo s 0,1°C u desetljeću
- i da se koncentracije stakleničkih plinova stabiliziraju, rast prosječne temperature i razine mora nastavio bi se stoljećima
- stabilizacija emisija stakleničkih plinova skupa i mukotrpna
- pitanje političke volje

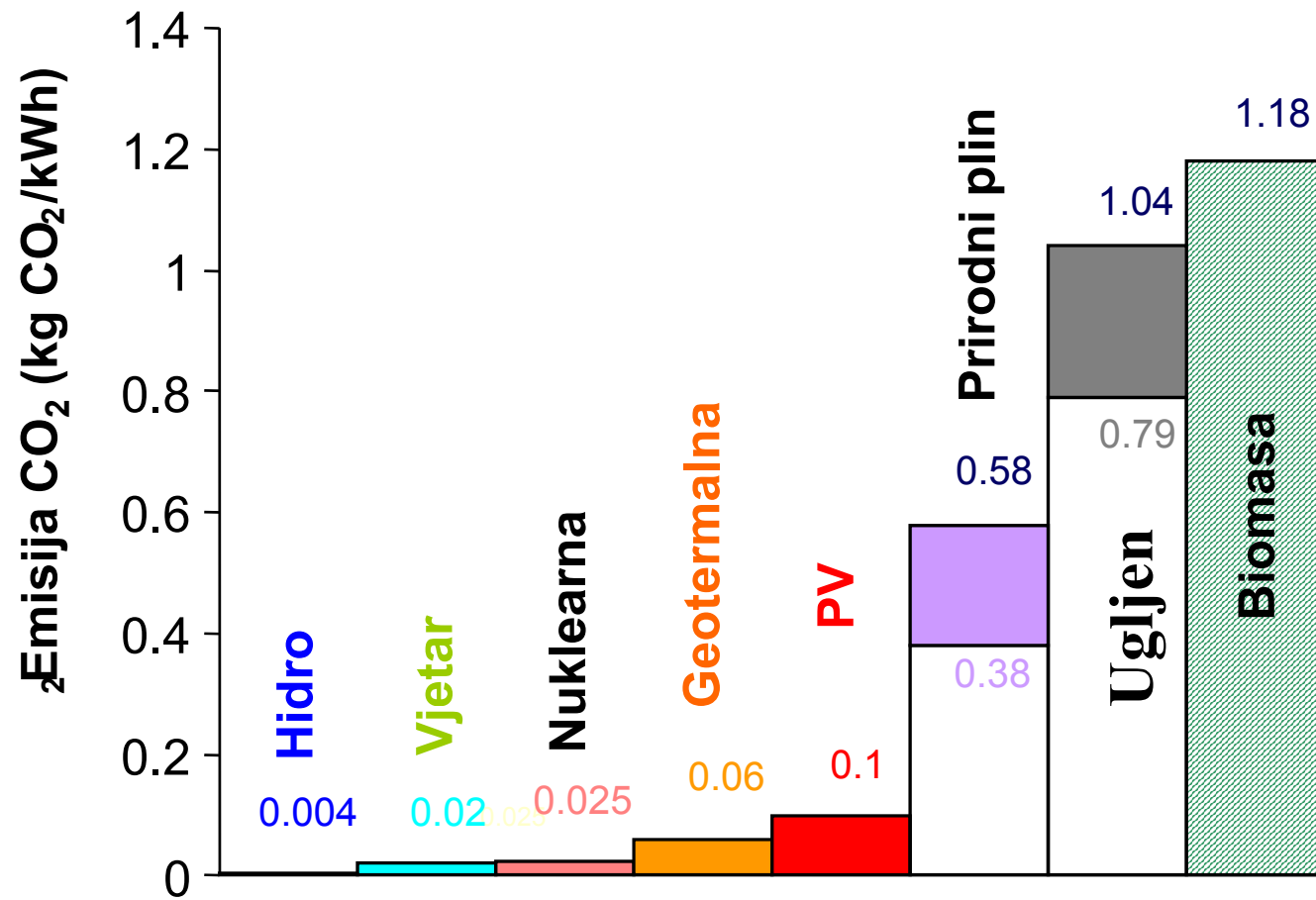
Kako međusobno uspoređivati utjecaje na okoliš različitih tehnologija i izvora energije?

- temeljita usporedba čitavog 'energijskog lanca'
- energijski lanac – svi procesi 'ispred' i 'iza' elektrane
 - proizvodnja opreme
 - izgradnja elektrane i pratećih postrojenja
 - pogon elektrane (pridobivanje energenta, transport, energetske pretvorbe, ostali procesi u elektrani)
 - razgradnja elektrane
- svaki od navedenih dijelova energijskog lanca uzrokuje negativne posljedice po okoliš

Kako međusobno uspoređivati utjecaje na okoliš različitih tehnologija i izvora energije? (2)

- utjecaji na okoliš proizvodnje opreme i izgradnje elektrane slični su kod svih energetske opcije
 - dominantan je utjecaj emisija uzrokovanih potrošnjom energije
- pogon i razgradnja elektrane jako ovise o korištenom gorivu
 - 'novi' obnovljivi u pogonu praktički nemaju utjecaja na okoliš
 - zbog najvećeg potencijalnog utjecaja, razgradnja najbolje definirana za NE
 - postojeće lokacije nastoje se što dulje koristiti

Emisija CO₂, izgradnja, pogon, priprema goriva (kg/kWh)



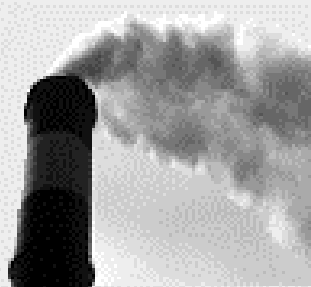



Kako međusobno uspoređivati utjecaje na okoliš različitih tehnologija i izvora energije? (3)

- utjecaji na okoliš brojni su i raznorodni
- što je gore – onečišćenje zraka spojevima sumpora, vizualna degradacija krajolika, mala vjerojatnost teške nesreće u nuklearnoj elektrani ili porast koncentracije CO₂?
- da bi se različite veličine uspoređivale, treba ih svesti na 'zajednički nazivnik'
- danas je najprihvaćeniji 'nazivnik' novac

Eksternalije

- pojavljuju se u slučajevima kada proizvodnja ili potrošnja nekog dobra nanosi drugima nehotične troškove ili koristi
- posljedica ponašanja jednog privrednog činitelja na dobrobit drugog, pri čemu se taj učinak ne odražava u novčanoj vrijednosti ili tržišnim transakcijama
- mogu biti pozitivne (eksterne uštede) i negativne (eksterni troškovi)
- **Eksterni trošak:**
 - eksterni trošak – trošak koji nije uključen u ekonomsku bilancu poduzeća
 - trošak pridružen nekoj šteti u okolišu, ukoliko uzročnik te štete nije financijski kažnjen, predstavlja eksterni trošak
 - studija ExternE dala je temeljite procjene eksternih troškova svih energetske opcije

Eksterni trošak (2)

1. Utvrđivanje razine emisija	2. Raspršenje polutanata u okoliš	3. Ocjena biološkog učinka	4. Novčano vrednovanje štete
			

Usporedba eksternih troškova (ExternE, €/kWh)

ugljen	2-15
mazut	3-11
plin	1-4
NE	0,2-0,7
biomasa	0,2-3
hidro	0,1-1
vjetar	0,05-0,25

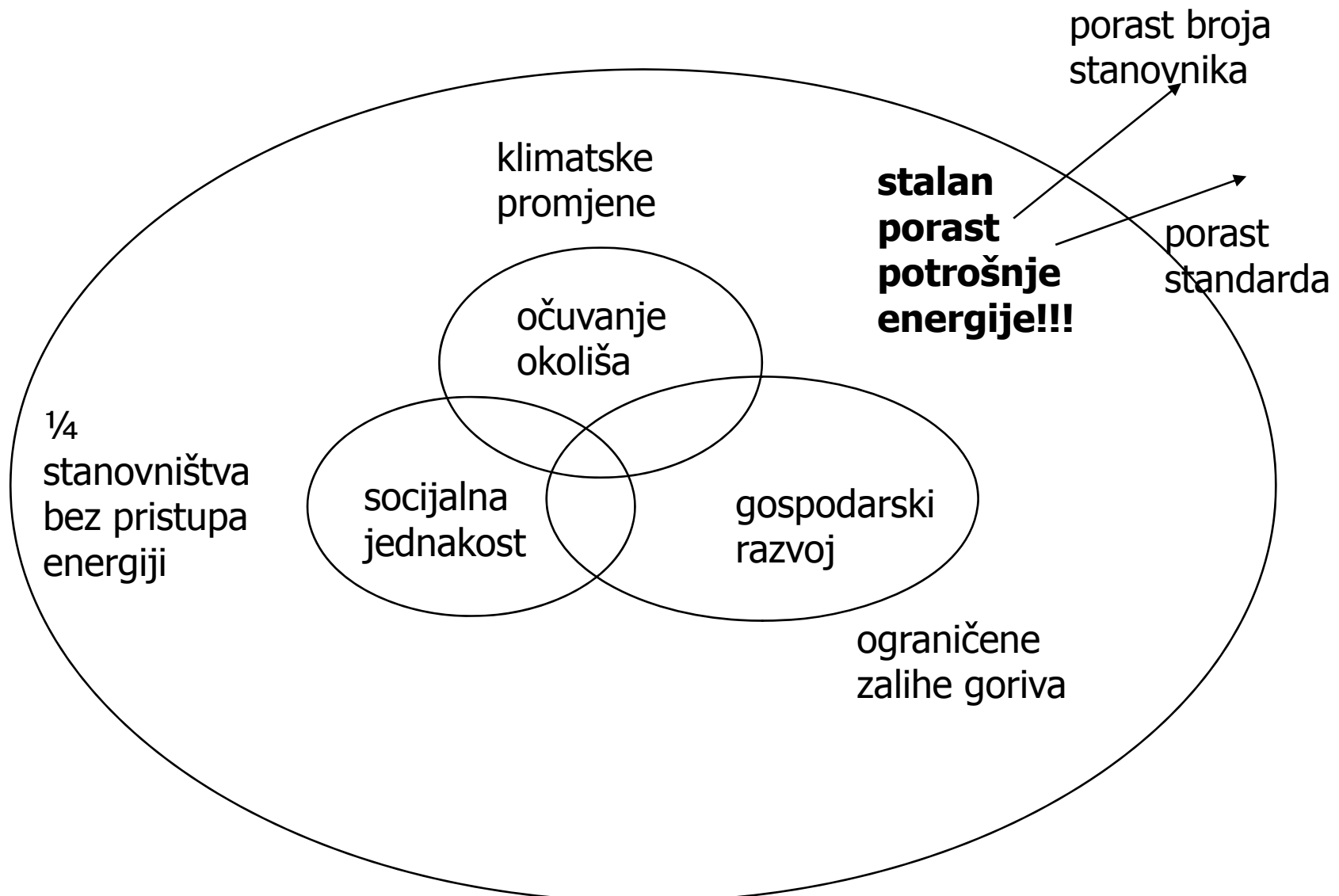
Eksterni troškovi u elektroenergetici

- usporedba različitih tehnologija
- usporedba različitih razvojnih strategija
- izbor lokacije za novu elektranu
- analizi kolike bi troškove i dobiti uzrokovali određeni programi smanjenja emisija
- izbor kontrolne tehnologije
- određivanje visine emisijskih pristojbi za pojedine polutante

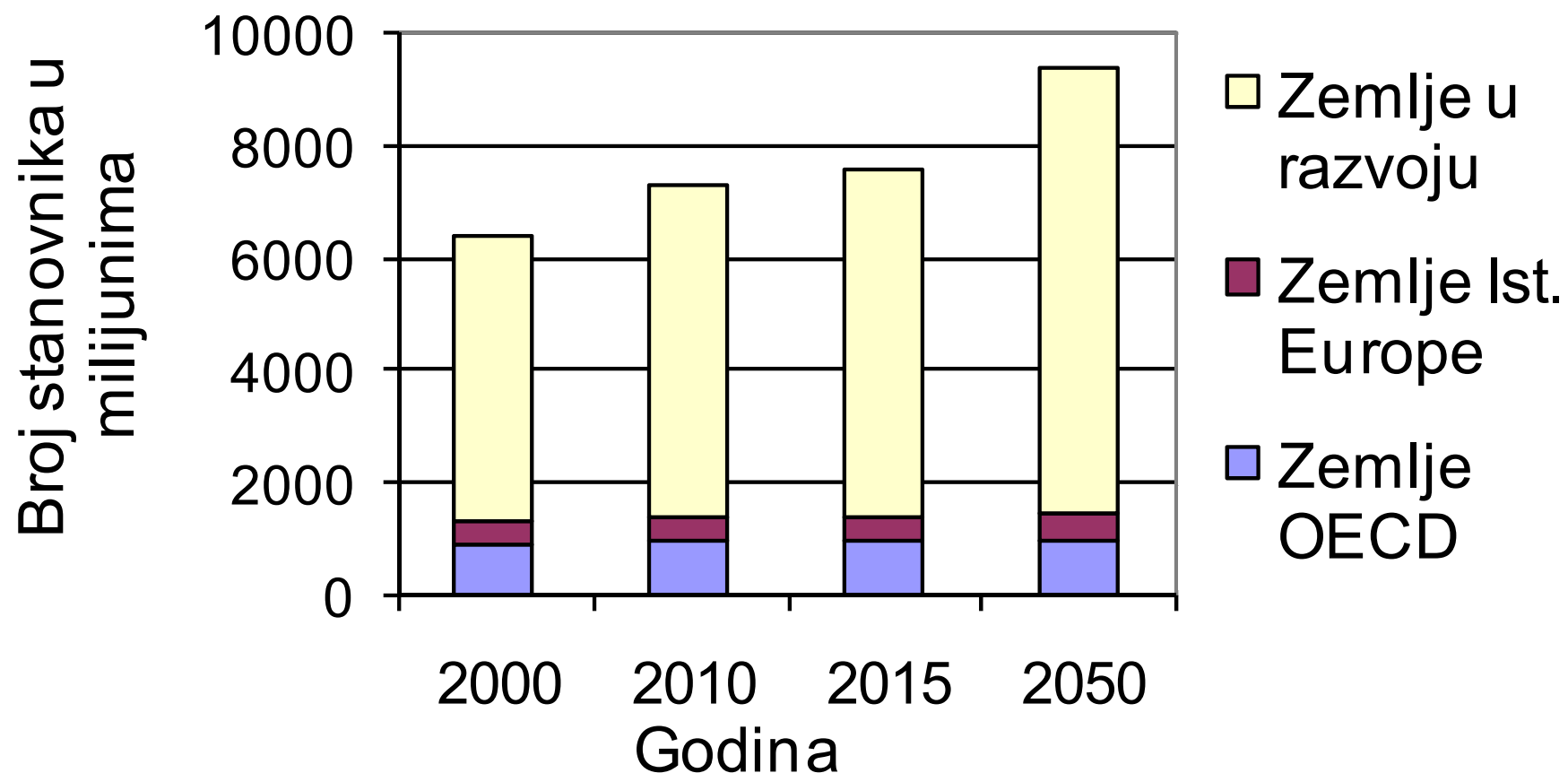
Održivi razvoj

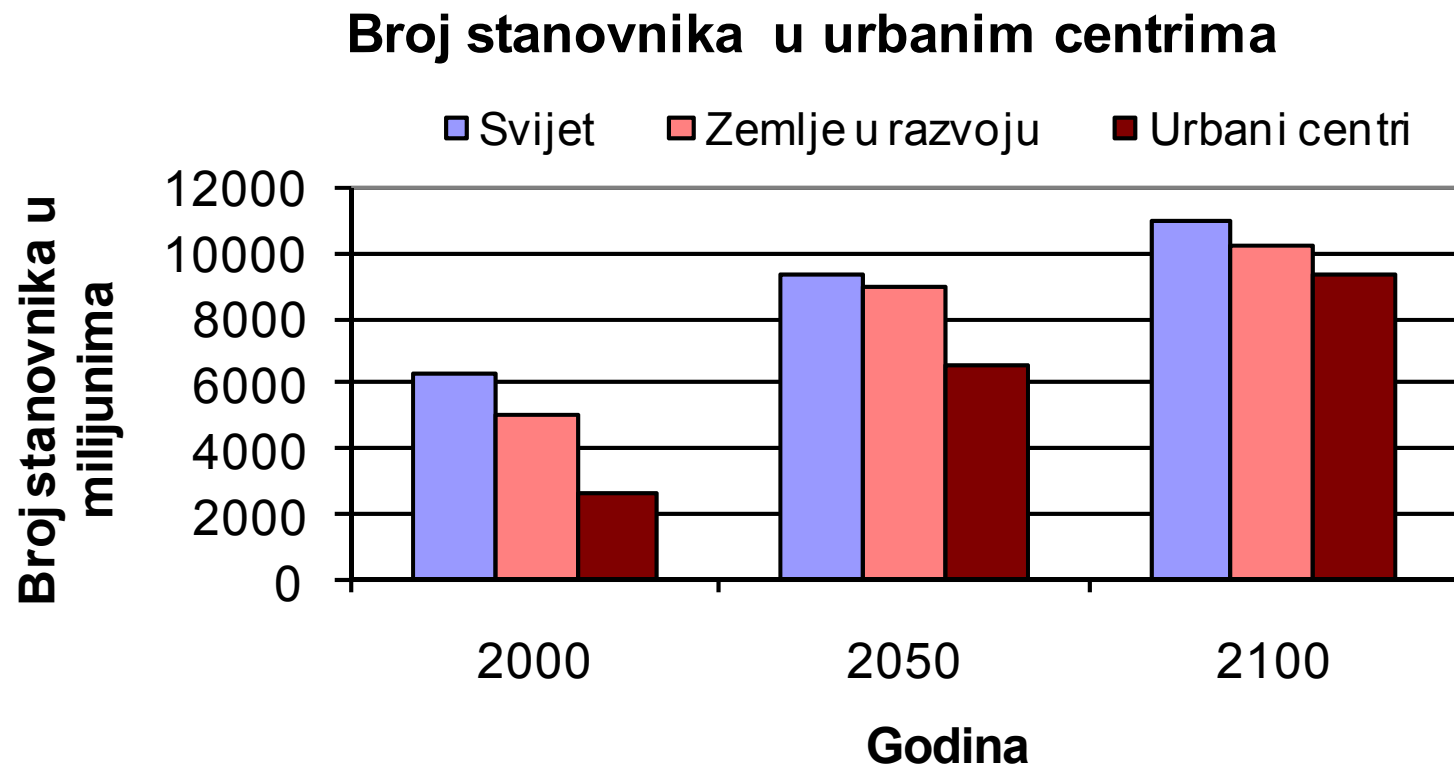
- 1987 Bruntland report "Our common future" (Svjetska komisija za okoliš i razvoj):
- zadovoljavanje sadašnjih potreba, bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolje svoje potrebe
- ključne postavke
 - današnje potrebe ne smiju ugroziti mogućnost budućih generacija za zadovoljenje vlastitih potreba
 - postoji izravna veza između gospodarstva i okoliša
 - potrebno je zadovoljiti potrebe siromašnih, u svim narodima
 - da bi se zaštitio okoliš, ekonomski uvjeti najsiromašnijih moraju se poboljšati
 - u svim aktivnostima potrebno je uzeti u obzir njihov utjecaj na buduće generacije

Održivi razvoj i energetika

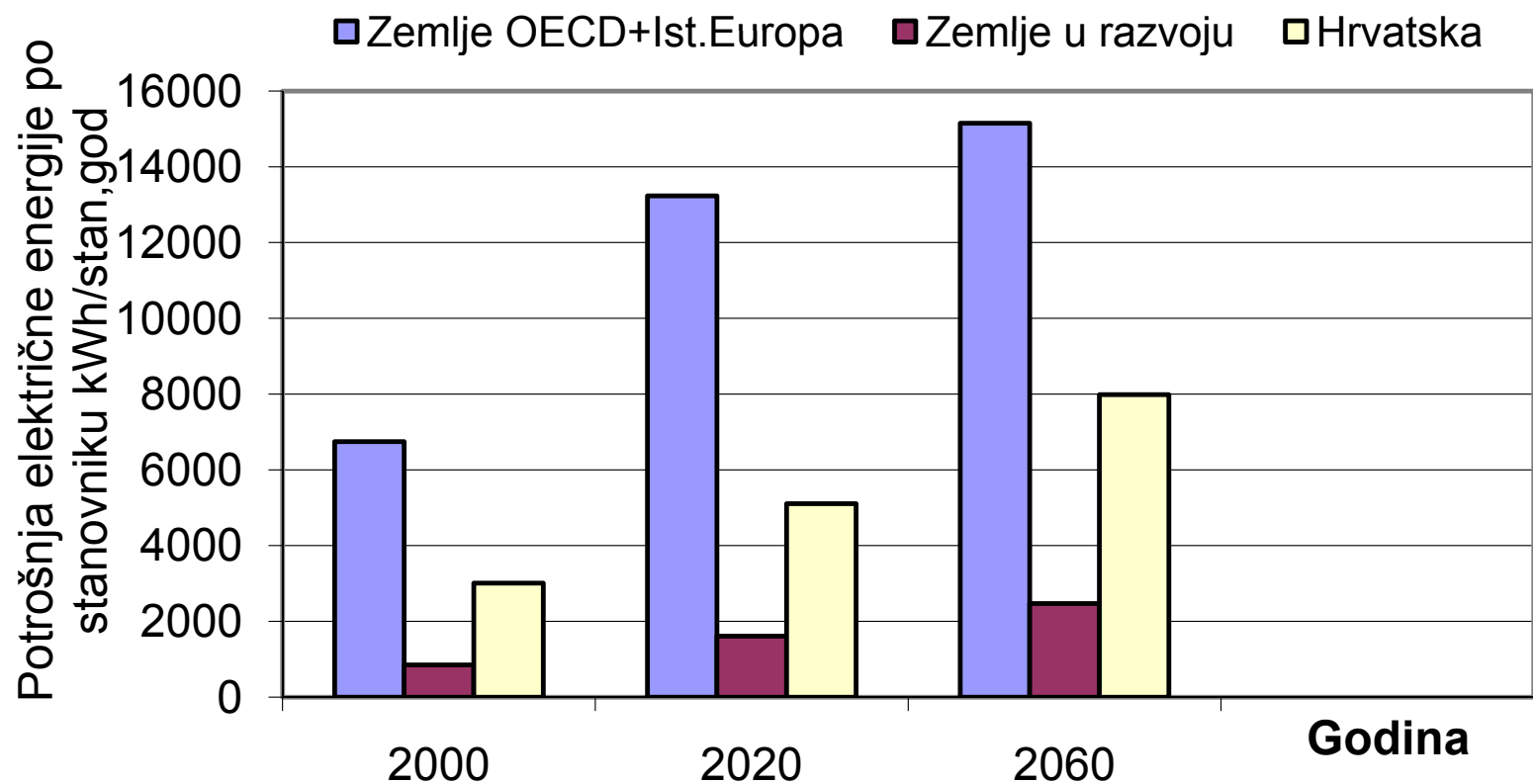


Broj stanovnika u svijetu

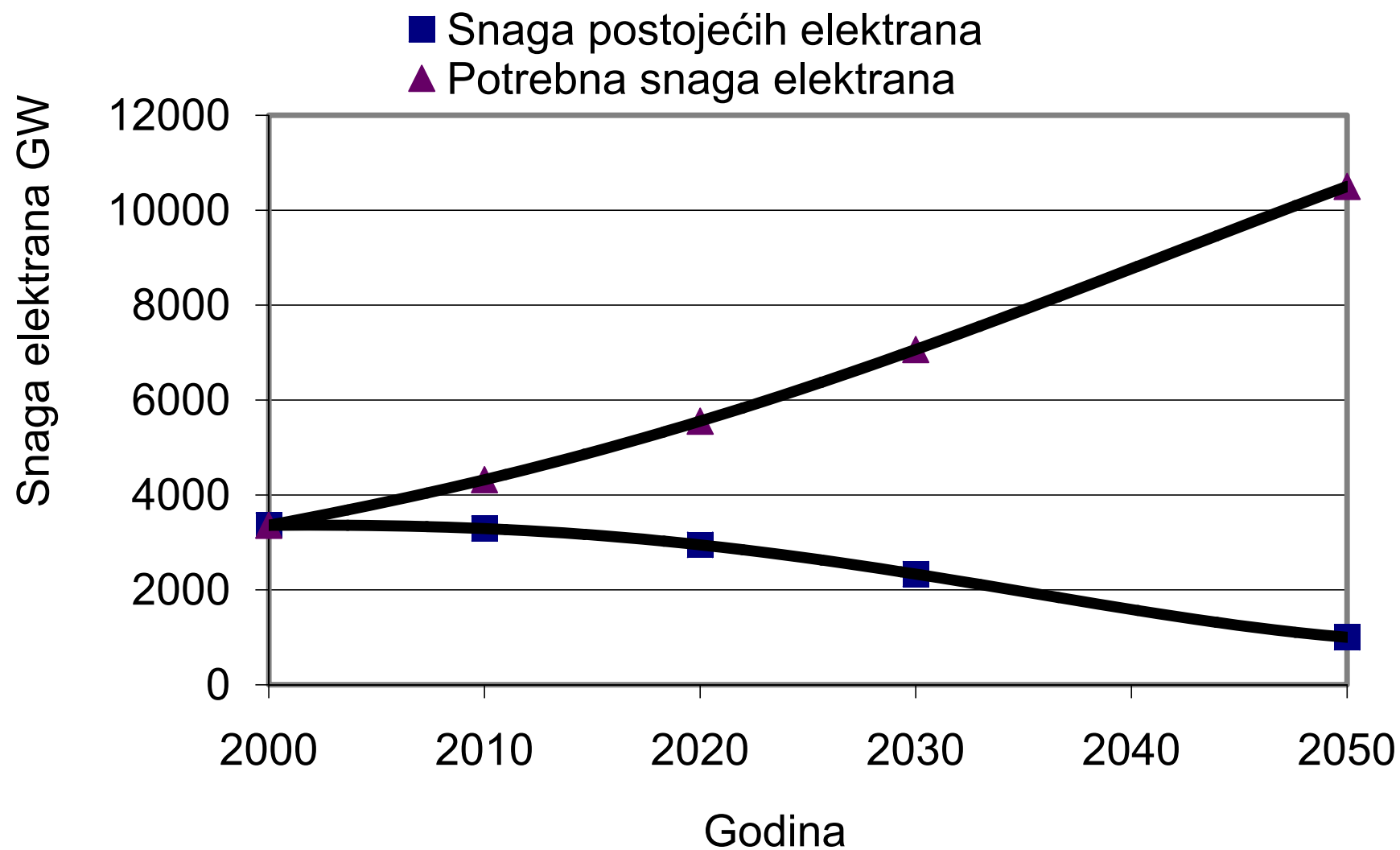




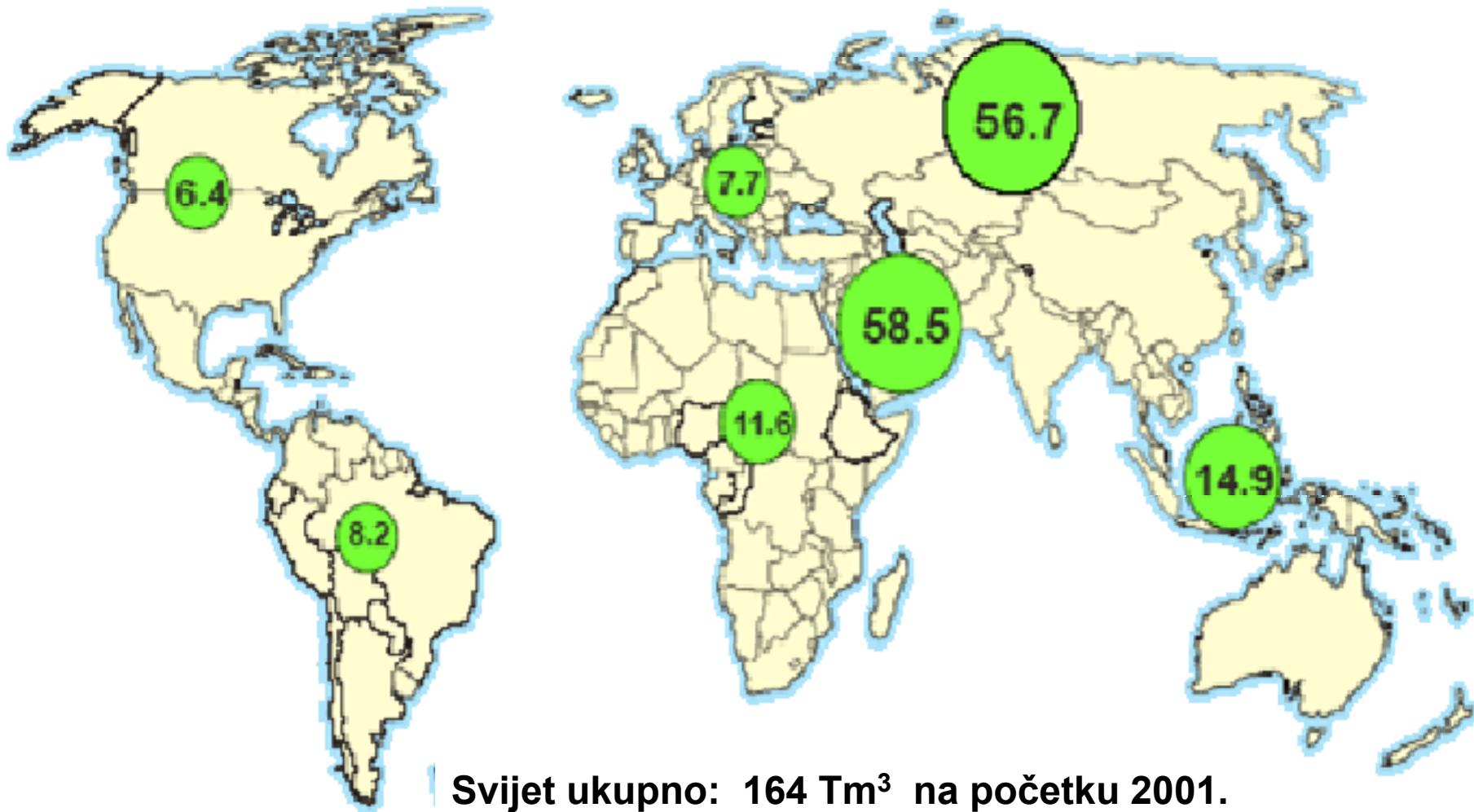
Potrošnja električne energije po stanovniku (kWh/god)



Snaga elektrana u svijetu



Dokazane svjetske rezerve prirodnog plina



Prednosti i nedostaci različitih energetske opcije

	+	-
• prirodni plin	niže emisije po kWh	opskrba
• ugljen	opskrba	okoliš
• NE	okoliš, opskrba	proliferacija stav javnosti
• obnovljivi	okoliš, opskrba	gustoća energije nepredvidivost

Stav javnosti prema energetici



NIMBY - Not In My Back Yard

BANANA - Build Absolutely Nothing Anywhere Near Anybody

TANSTAAFL - There Ain't No Such Thing As A Free Lunch

- ozbiljno pitanje
- važno:
 - informiranje,
 - politika,
 - mediji,
 - znanje.

**WE SCARE
BECAUSE WE CARE**



2008.



Energetika i okoliš

50

Zaključak

- sve ljudske djelatnosti utječu na okoliš
- elektroenergetski objekti su 'točkasti' pa pružaju dobru mogućnost smanjenja tih utjecaja
- da bi se energetske tehnologije i korišteni energenti mogli međusobno usporediti, potreban je zajednički nazivnik
- koncept eksternog troška je danas široko prihvaćen
- prema kvantitativnim pokazateljima, najpovoljniji po okoliš su VE i NE
- nema idealne energetske opcije