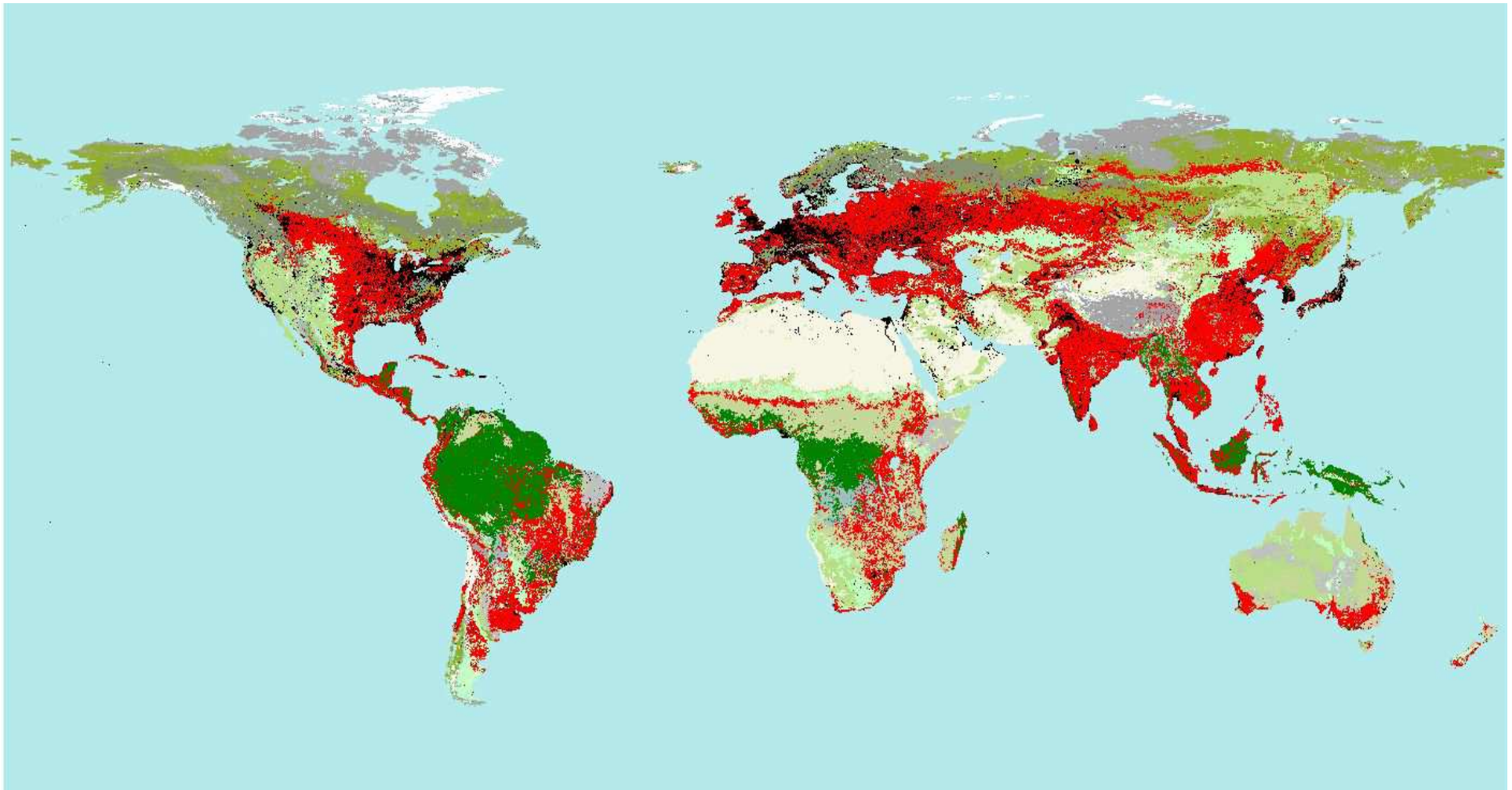


# Posebnosti urbane klime in okolja



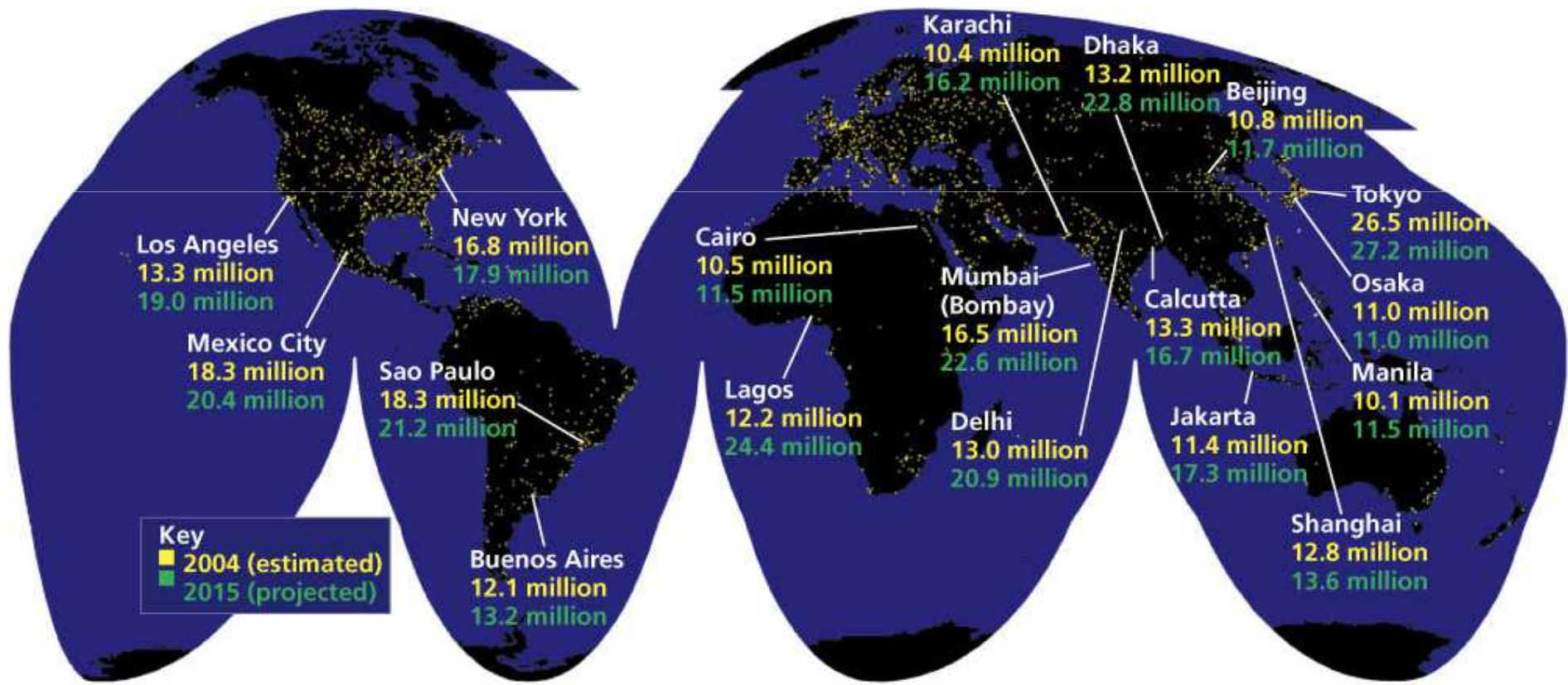
43 % kopnega –  
dominira kmetijstvo

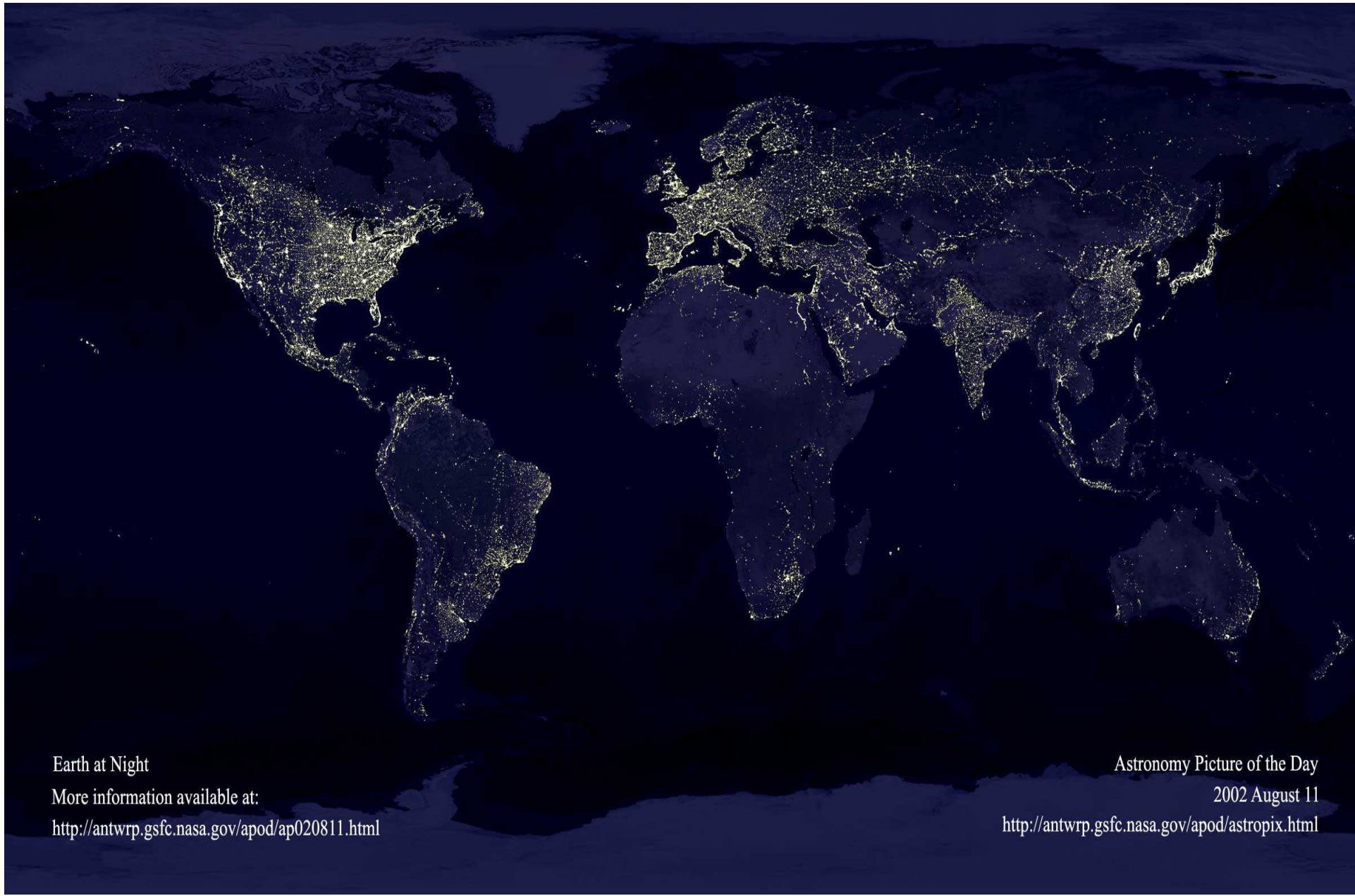
3 – 6 % kopnega –  
pozidano urbano okolje



# Vsebina poglavja

- Zakaj znanje o spremembah okolja v mestih





Earth at Night

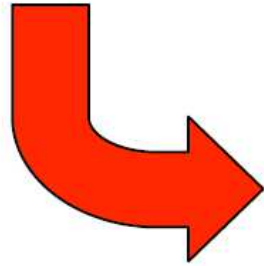
More information available at:

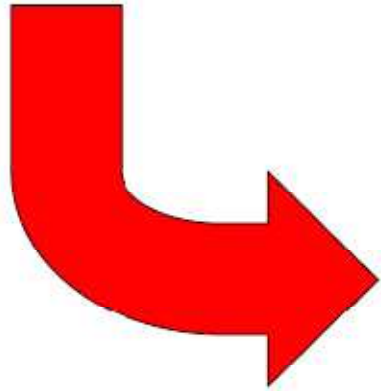
<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap020811.html>

Astronomy Picture of the Day

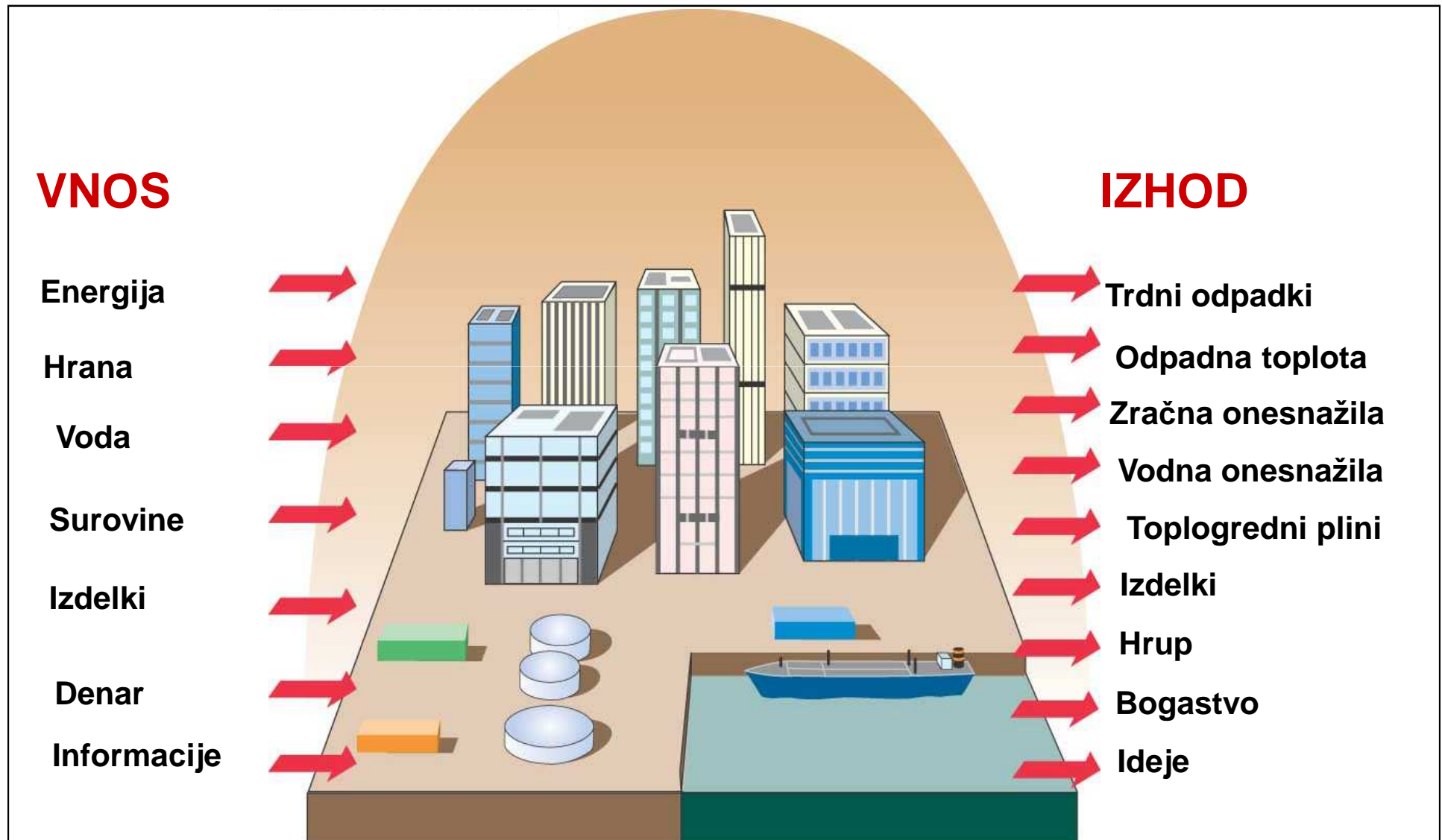
2002 August 11

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html>





# Mesta: Vnosi in izhodi sistem ni sonaraven niti trajen



**Dnevni vnosi**

Daily inputs

**Dnevni izhod**

Daily outputs

ZDA  
Mesto z 1  
milijonom  
prebivalcev

**Voda**  
625,000  
ton



Water  
568 million kilograms  
(625,000 tons)

**Gorivo**  
9500 ton



Fuel  
8.6 million kilograms  
(9,500 tons)

**Hrana**  
2000 ton



Food  
1.8 million kilograms  
(2,000 tons)

**Odplake**  
500,000  
ton



Sewage  
454 million kilograms  
(500,000 tons)

**Zračni  
polutanti**  
950 ton



Air pollutants  
864,000 kilograms  
(950 tons)

**Odpadki**  
9500 ton



Refuse  
8.6 million kilograms  
(9,500 tons)



# Okoljski problemi v mestih

- Onesnaževanje zraka
- Spremenjena energijska bilanca (toplotno onesnaževanje - mestni toplotni otok)
- Spremenjena vodna bilanca (slabšanje kakovosti vode, mestne poplave, pomankanje vode)
- Degradacija tal
- Fragmentacija in izguba biodiverzitete
- Slabšanje človekovega zdravja

# Primerjava mestne klime z okolico:

- Povprečna letna T zraka je za 0.5-1.5°C višja; v jasnih dneh tudi do 2-6 °C
- Letna količina padavin je večja, a manj je snega
- Večja vlažnost
- Večja hrapavost površja
- Učinki “vetrovnih tunelov”

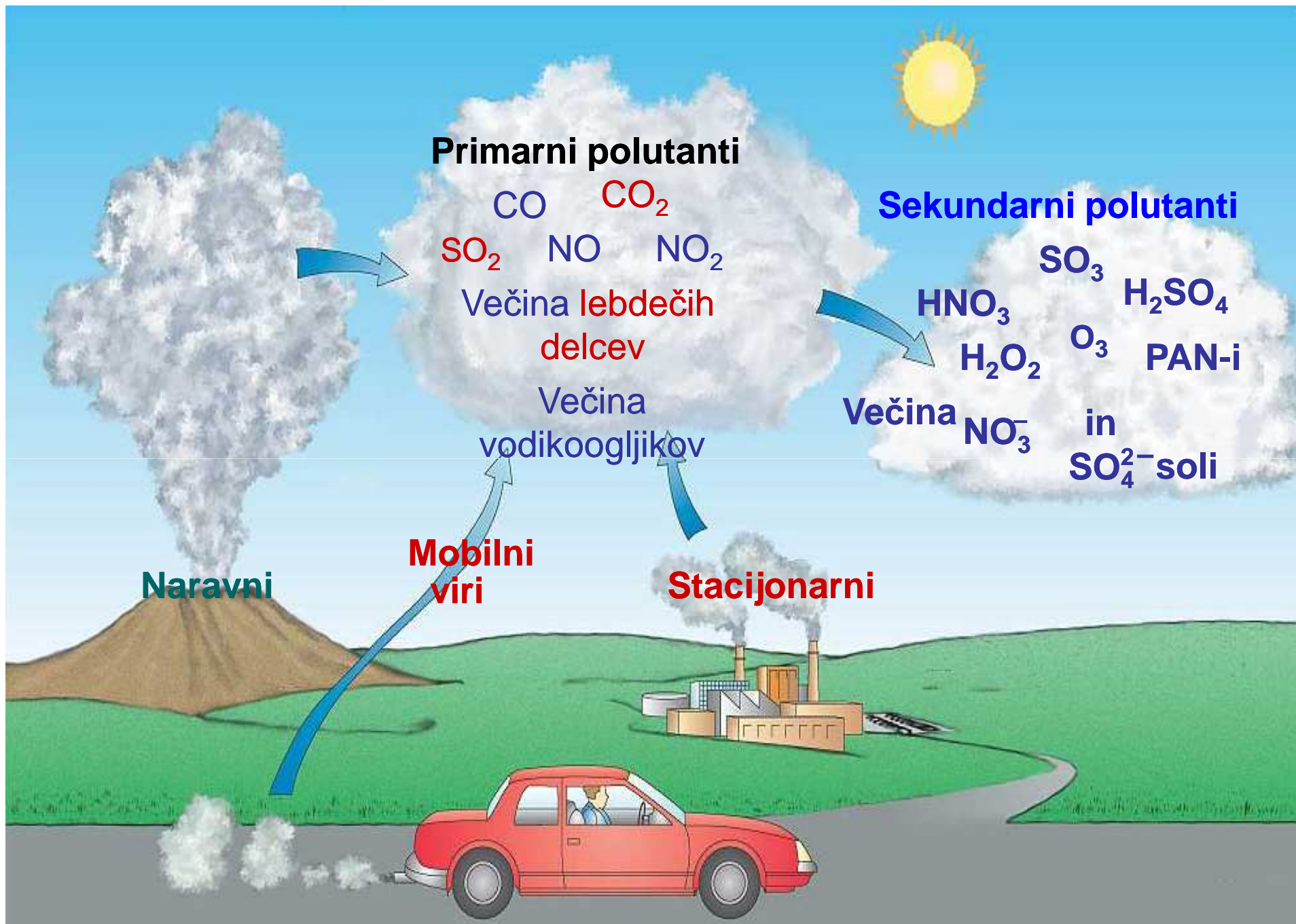
## Spremembe vrednosti meteoroloških spremenljivk v velikih mestih

<b>SESTAVA ZRAKA</b>	<i>ogljikov dioksid</i>	2 krat več
	<i>žveplov dioksid</i>	200 krat več
	<i>dušikovi oksidi</i>	10 krat več
	<i>ogljikov monoksid</i>	200 krat več
	<i>skupni vodikooogljiki</i>	20 krat več
	<i>razni trdni delci (prah,saje)</i>	3 do 7 krat več
<b>SONČNO SEVANJE</b>	<i>globalno obsevanje</i>	15 do 20% manj
	<i>ultraviolično sevanje</i>	30% manj pozimi
	<i>trajanje obsevanja</i>	5 do 15 % manj
<b>TEMPERATURA</b>	<i>povprečna letna</i>	0.5 do 1 višja
	<i>povprečna minimalna pozimi</i>	1 do 2 višja
<b>RELATIVNA VLAGA</b>	<i>povprečna</i>	2 do 3 % nižja
<b>HITROST VETRA</b>	<i>povprečna letna</i>	za 20 do 30 % nižja
	<i>število brezveterij</i>	od 5 do 20 % več
<b>DNEVI Z MEGLO</b>	<i>pozimi</i>	za 100 % več
	<i>poleti</i>	za 30% več
<b>OBLAČNOST</b>	<i>količina</i>	od 5 do 10% več
<b>PADAVINE</b>	<i>količina</i>	od 5 do 10% več
	<i>deževni dnevi</i>	10% več
	<i>sneženje</i>	5% manj

- Onesnažila delimo v dve skupini
  - **Primarni polutanti:** emisije direktno v zrak
  - **Sekundarni polutanti:** so rezultat ene ali večih nadaljnih kemijskih reakcij (transformacij)

## Običajni polutanti:

- $\text{NO}_x$   $\text{SO}_x$
- CO  $\text{CO}_2$
- PAN – peroksi acetil nitrat
- Ozon
- Aldehidi
- VOCs – volatile organic compounds
- Lebdeči in ostali delci – urbana “prst”



# Sprememba sestave zraka v velikih mestih

## SESTAVA ZRAKA

<i>ogljikov dioksid</i>	2 krat več
<i>žveplov dioksid</i>	200 krat več
<i>dušikovi oksidi</i>	10 krat več
<i>ogljikov monoksid</i>	200 krat več
<i>skupni vodikooogljiki</i>	20 krat več
<i>razni trdni delci (prah,saje)</i>	3 do 7 krat več

# Onesnaženje zraka v mestih

Dihati zrak v Mexico City-u = pokaditi 3 zavožke cigaret na dan

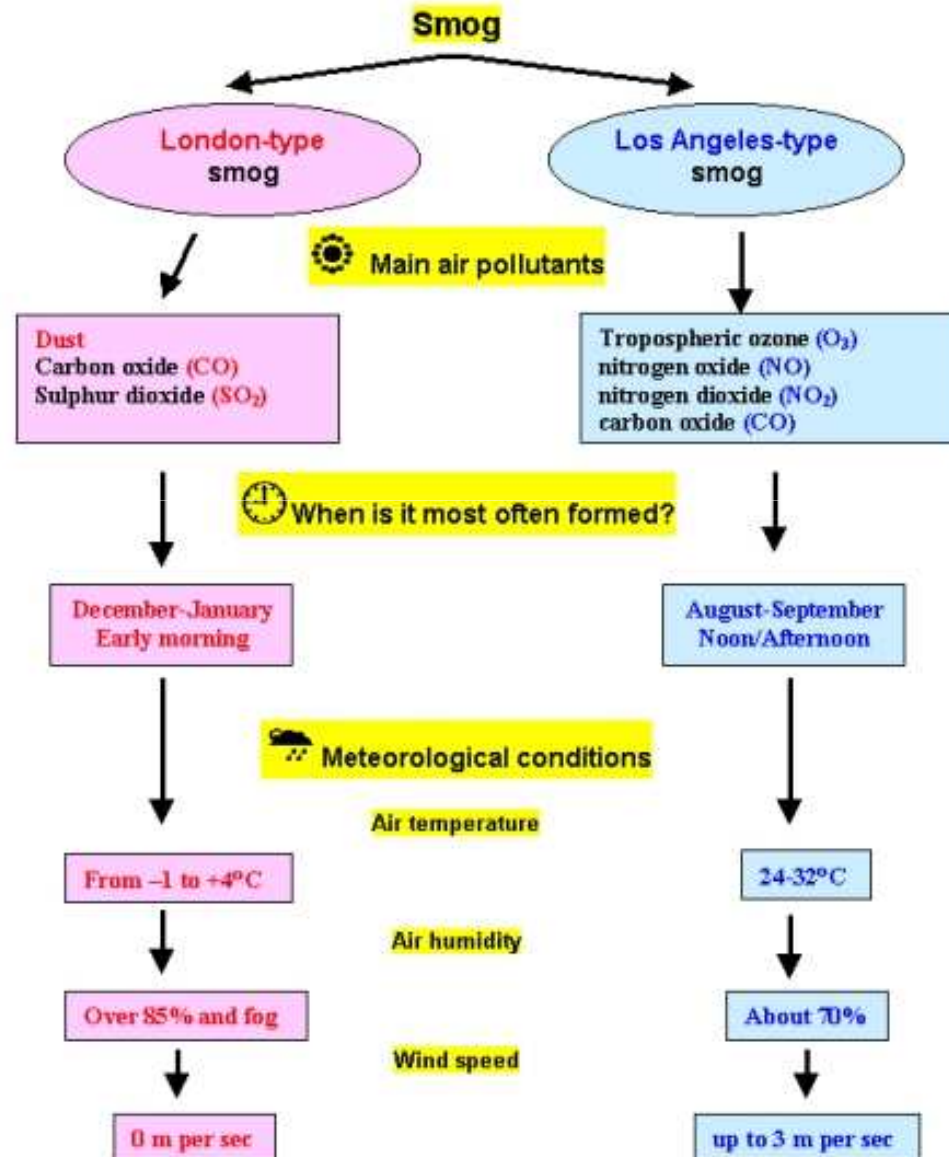


**Mexico City, z vulkanom  
Popokatépetl**



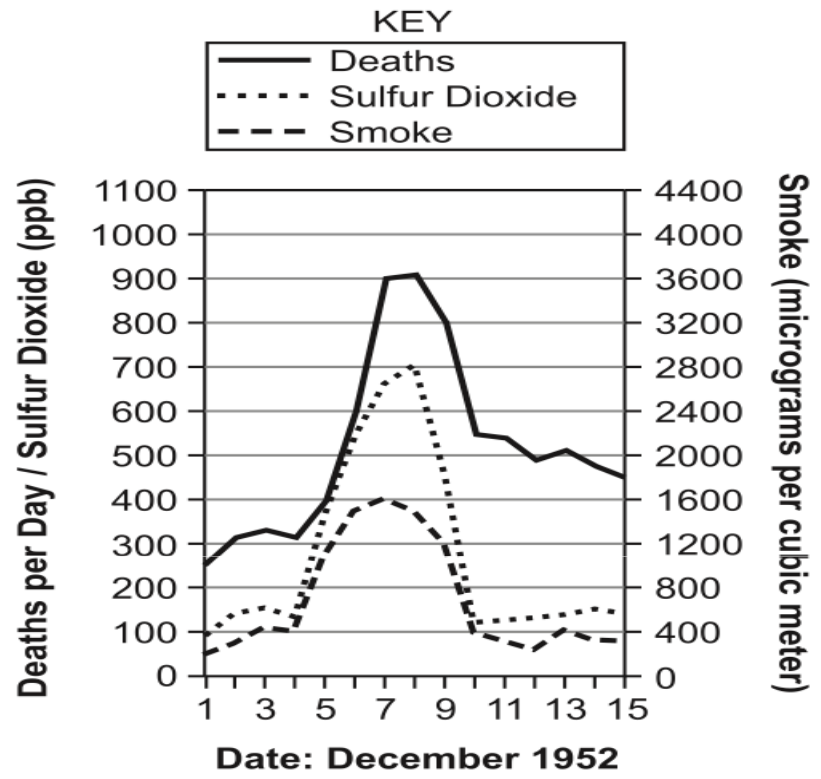
# Kaj je smog in kdaj nastane ?

**Smoke + fog = smog**

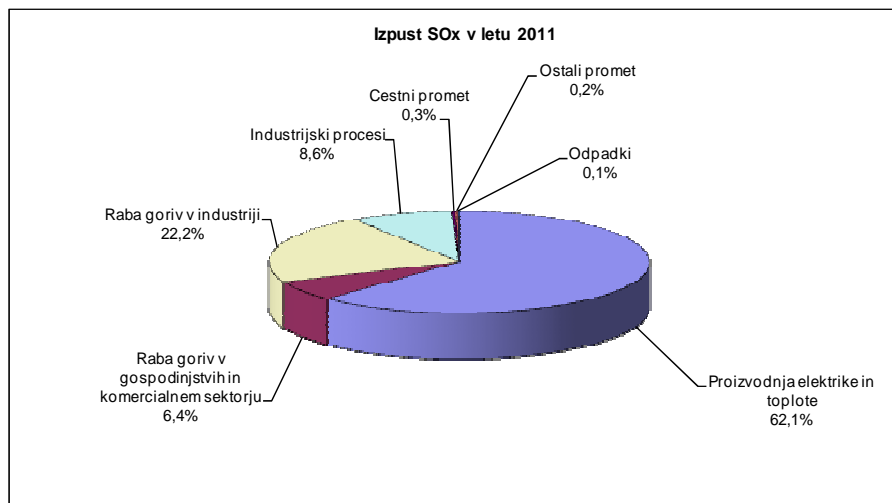
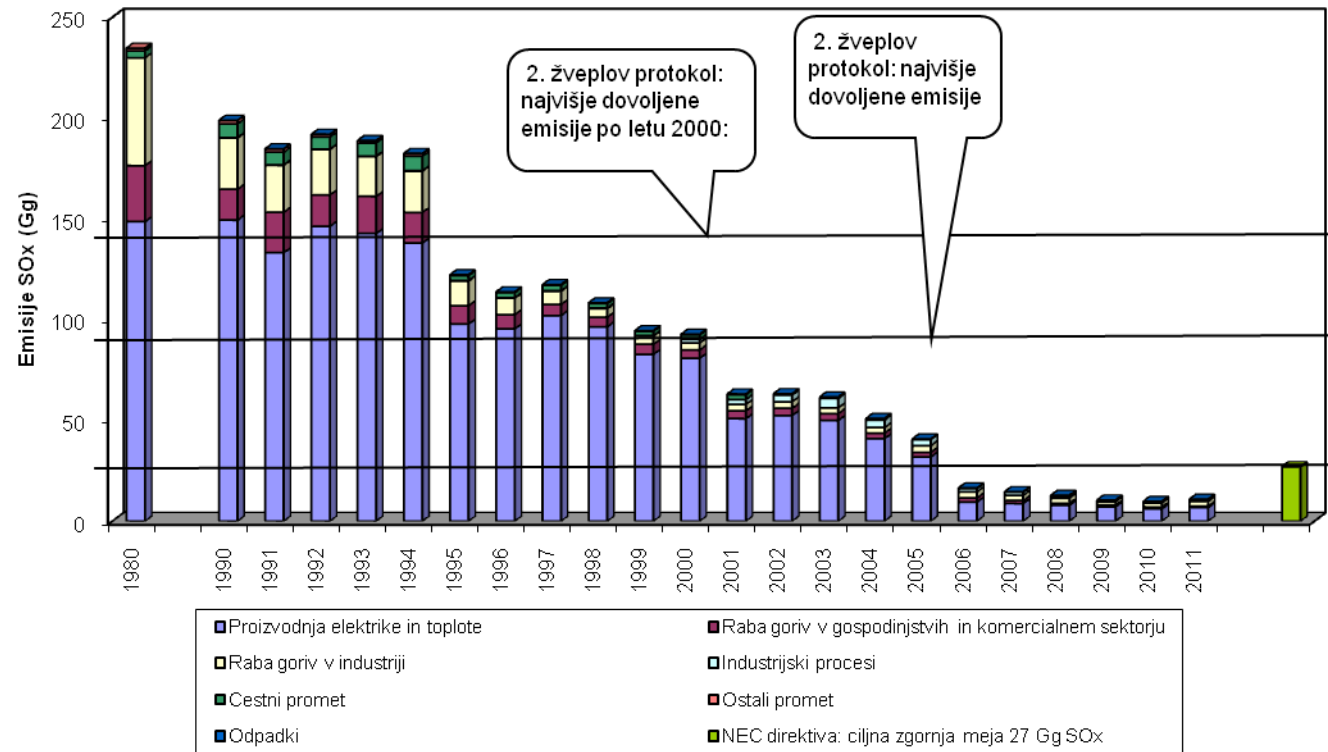




# Pollutants and human deaths during the London smog disaster of 1952



# Izpusti SOx v Sloveniji



## Izpusti SOx:

1980: 234,5 Gg

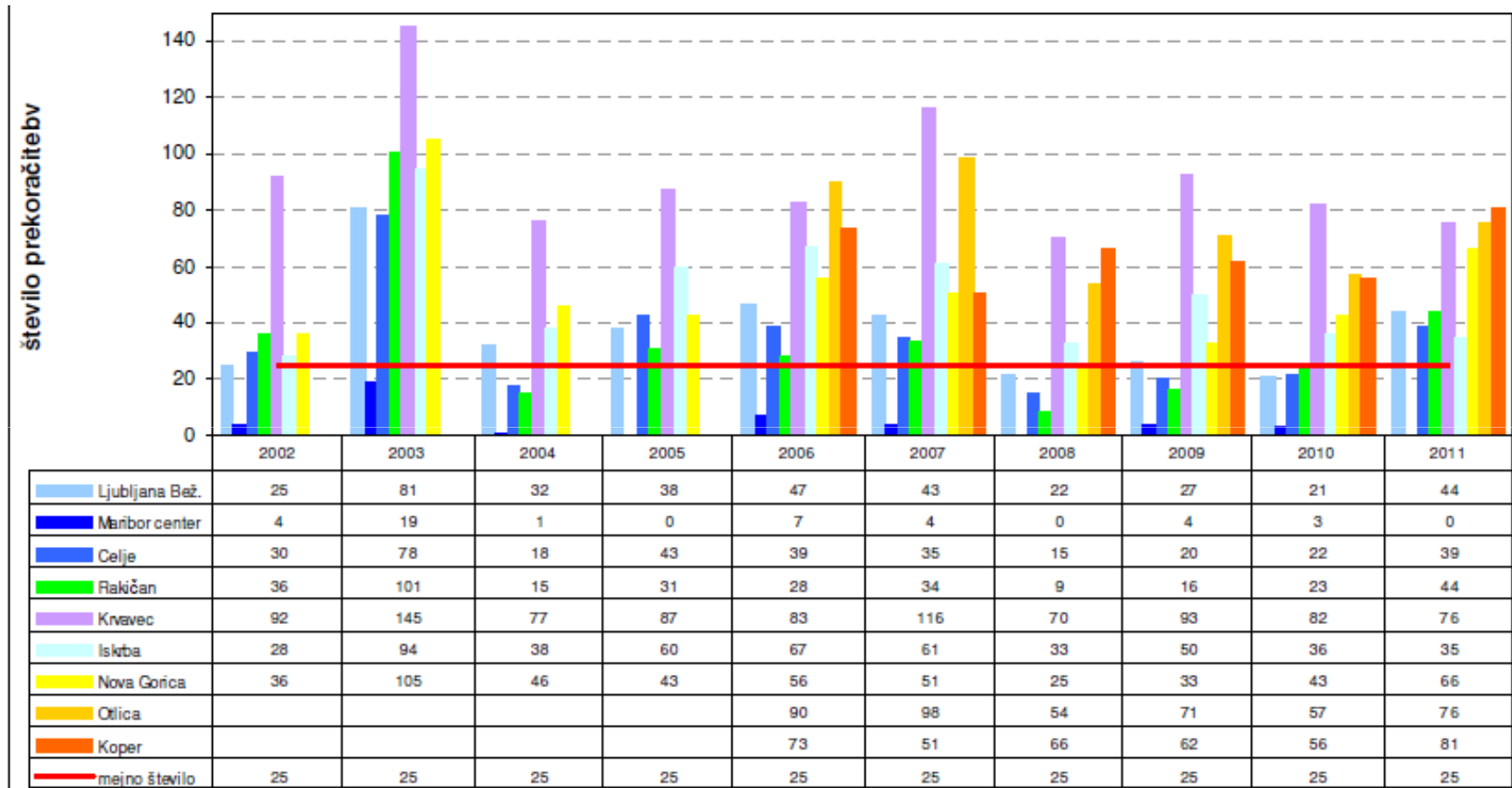
2011: 10,9 Gg

znižanje izpustov za 95 %

	Obm.	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>
Murska S.-Rakičan	SI1	1	1			4	4
Celje	SI2	1	1		1	4	4
Trbovlje	SI2	1	1			1	4
Hrastnik	SI2	1				1	
Zagorje	SI2	1					4
Šoštanj	SI2	2					
Topolšica	SI2	1					
Veliki Vrh	SI2	2					
Zavodnje	SI2	1	1	1		4	
Velenje	SI2	1				4	
Graška Gora	SI2	1					
Pesje	SI2	1					3
Škale	SI2	1	1	1			3
Kovk	SI2	1	1	1		4	
Dobovec	SI2	1					
Kum	SI2	1					
Ravenska Vas	SI2	1					
Prapretno	SI2						3
EIS Celje	SI2						4
Sv.Mohor EIS TEB	SI2	1	1	1		4	
Krvavec	SI3				1	4	
Iskrba	SI3	1	1			4	3
Nova Gorica	SI4	1	1		1	4	4
Koper	SI4		1			4	3
Otlica	SI4					4	
Morsko (Anhovo)	SI4						3
Gor. Polje (Anhovo)	SI4						3
Ljubljana Bežigrad	SIL	1	2		1	4	4
Vnajnarje OMS Lj	SI3	1	1	1		4	3
Maribor	SIM	1	3		1		4
Maribor-Tabor	SIM						4
MO Maribor-Pohorje	SIM					4	

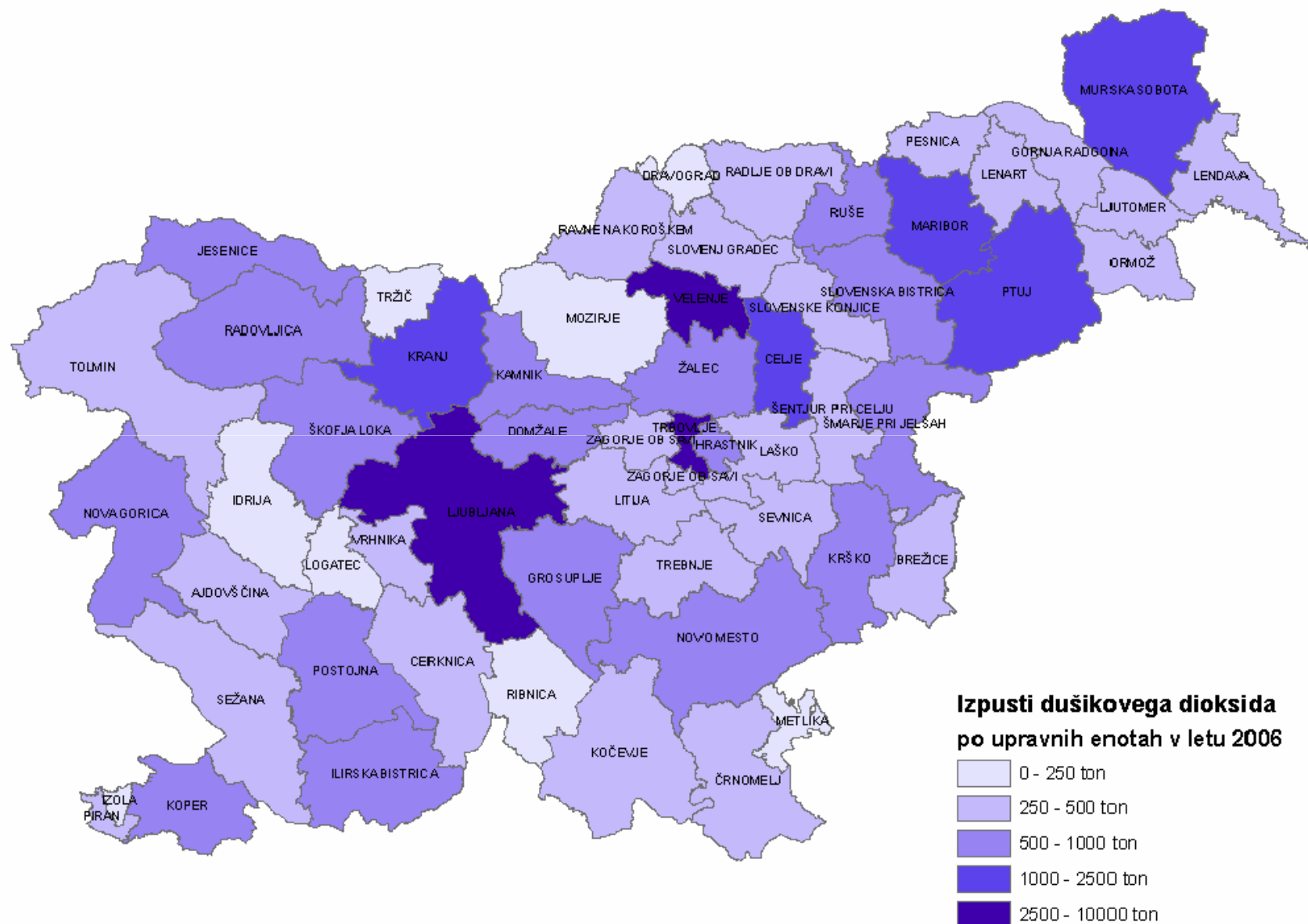
Ocena ravni  
onesnaženosti  
zunanjega zraka

Pod spodnjim ocenjevalnim pragom	1
Med spodnjim in zgornjim ocenjevalnim pragom	2
Med zgornjim ocenjevalnim pragom in mejno/ciljno vrednostjo	3
Nad mejno/ciljno vrednostjo	4



Slika 6: Število prekoračitev ciljne 8-urne koncentracije ozona za obdobje 2002 – 2011

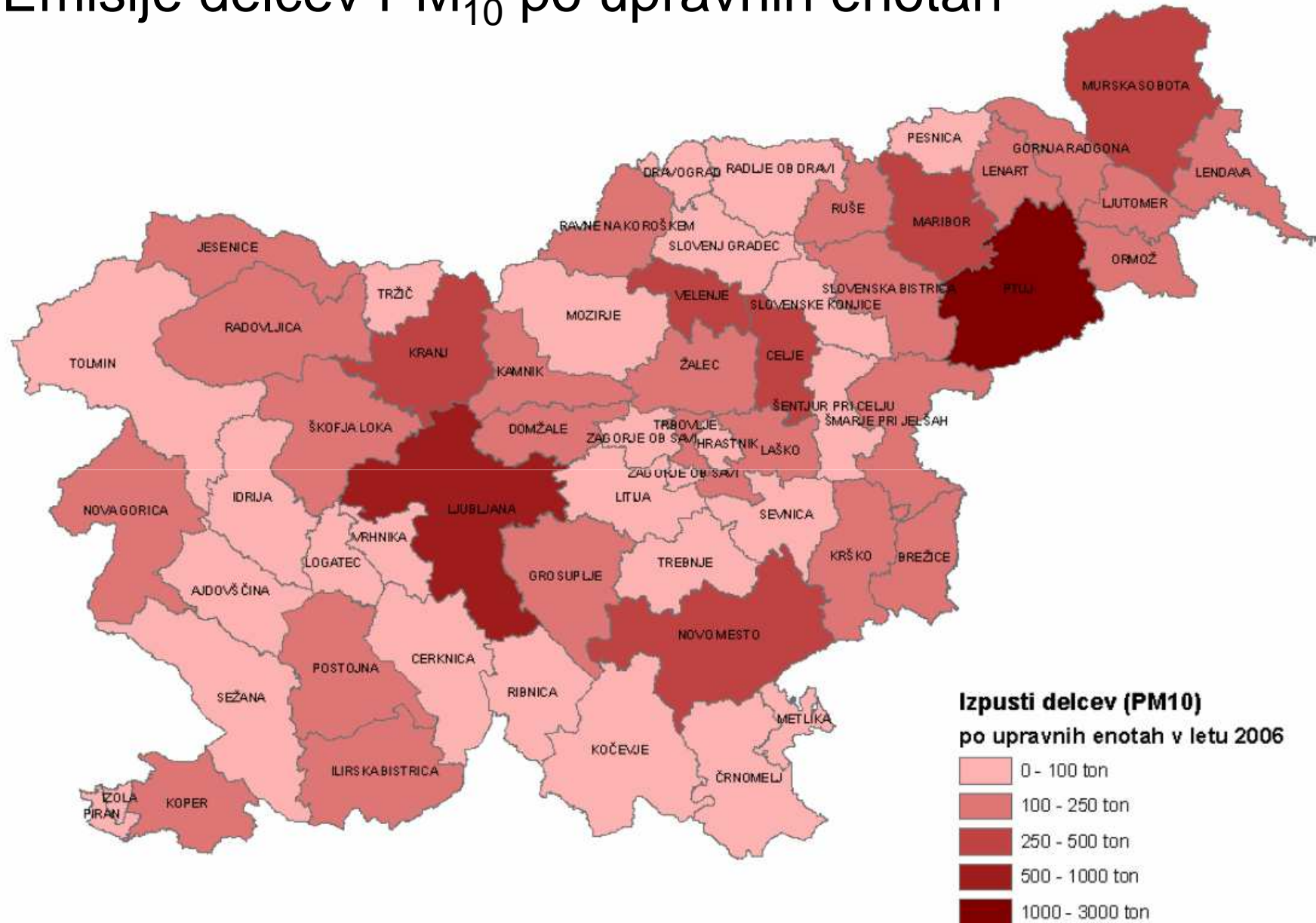
# Izpusti dušikovega dioksida po upravnih enotah



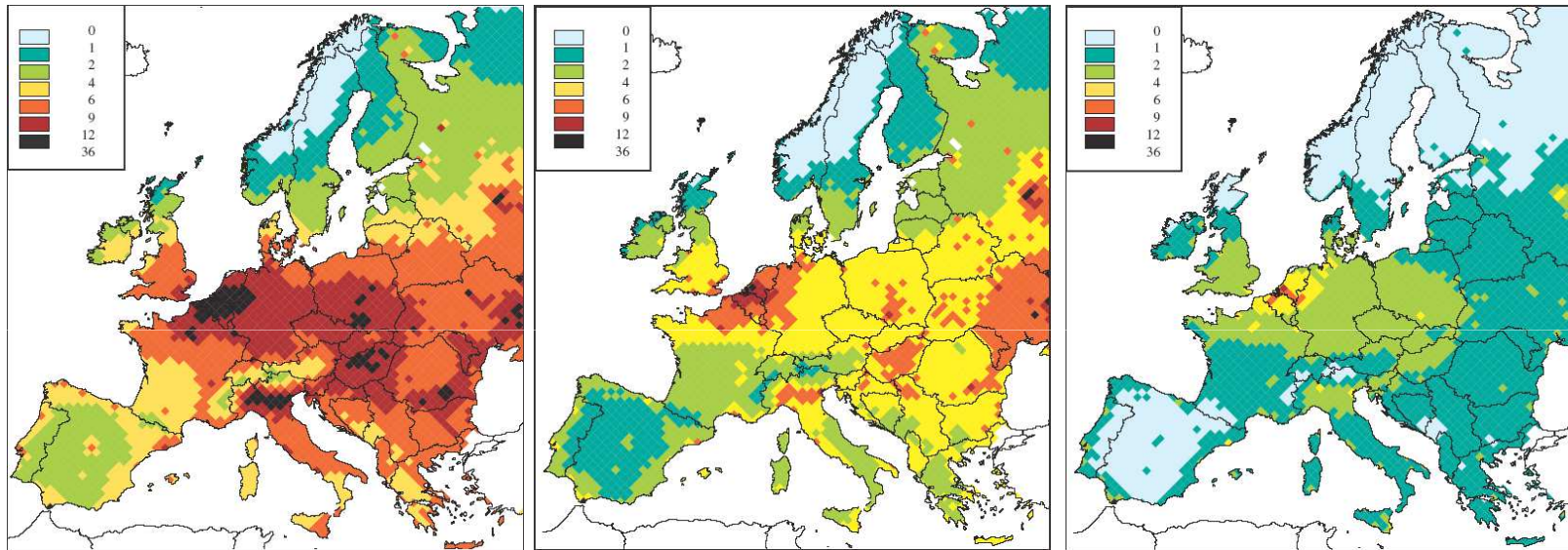


Viri delcev

# Emisije delcev PM<sub>10</sub> po upravnih enotah



# Skrajšanje pričakovane dolžine življenja zaradi malih delcev [meseči]



2000

2020

2020

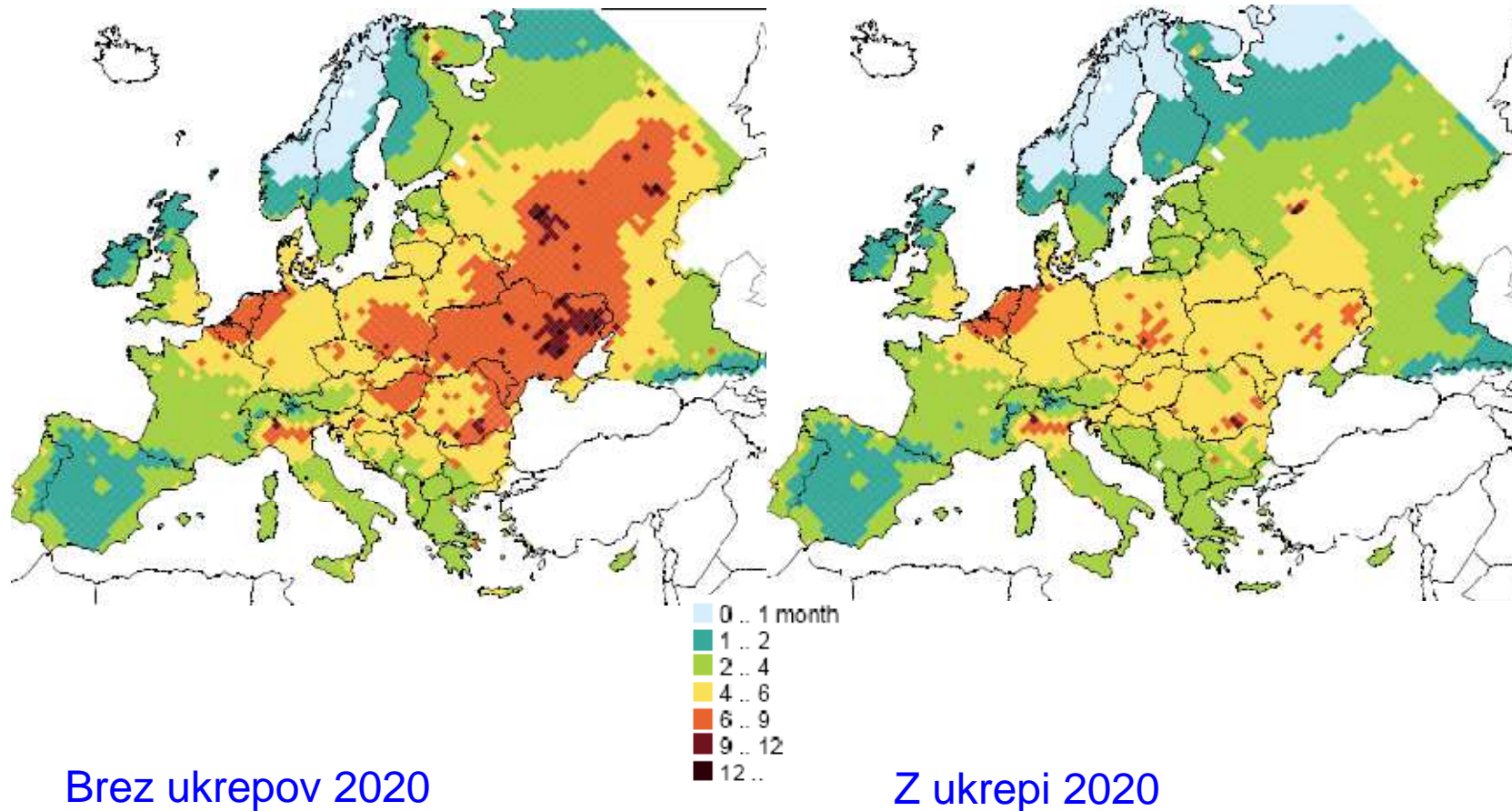
Zdajšnja zakonodaja

Maksimalna zaostritev

antropogeni PM2.5



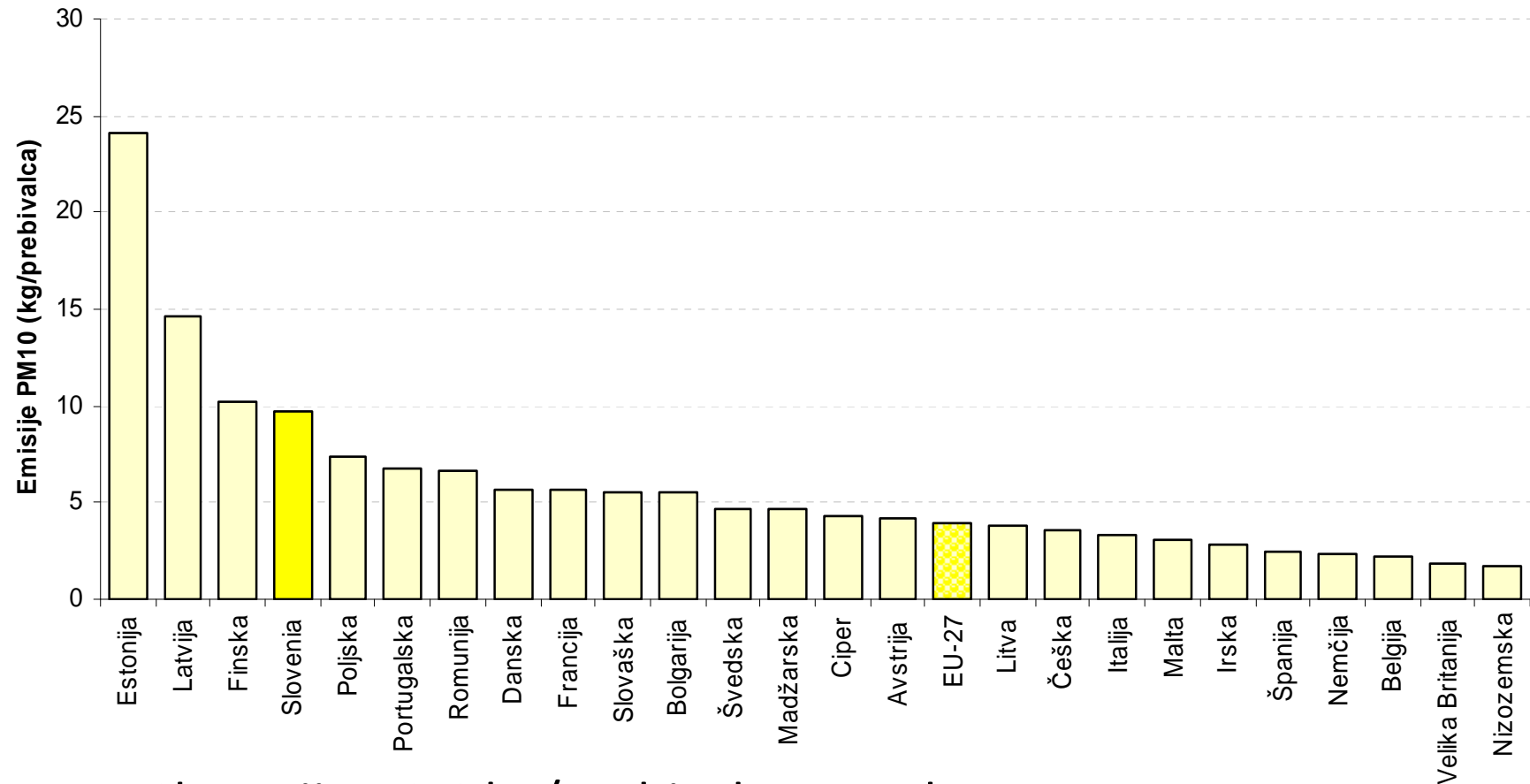
# Statistično zmanjšanje pričakovane življenske dobe zaradi antropogenih delcev PM2.5



**Tabela 5:** Število prekoračitev mejne (dopustne pred letom 2005) dnevne koncentracije delcev PM<sub>10</sub> (μg/m<sup>3</sup>) (prekoračena dovoljena letna vsota je označena rdeče)

Merilno mesto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Ljubljana Bež.	36	64	71	70	47	46	36	30	43	63
Ljubljana BF	/	/	/	/	/	/	/	25	32	51
Ljubljana center	/	/	/	/	/	/	101	112	74	94
Maribor center	66	129	102	101	108	91	54	35	47	64
Kranj	/	/	/	/	/	/	/	/	37	55
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	60	69
Celje	58	100	62	97	59	48	37	42	58	73
Trbovlje	52	88	48	157	86	81	72	48	64	68
Zagorje	48	79	82	143	106	99	109	56	68	75
Hrastnik									30	51
M. S.-Rakičan	33	58	19	65	54	37	42	30	52	71
Nova Gorica	24	18	33	37	47	40	33	24	25	28
Koper	/	/	/	/	40	19	11	2	15	21
Žerjav	/	/	/	/	/	/	/	/	29	79
Iskrba	/	/	/	5	5	0	0	5	5	3
Morsko	/	/	/	/	/	18	16	14	5	13
Gorenje Polje	/	/	/	/	/	16	24	16	13	18
Maribor Vrbanski p.	38	42	51	111	132	94	52	24	38	25
Vnajnarje	/	/	/	/	20	10	/	7	2	12
Pesje	/	17	11	23	24	14	9	12	10	16
Škale	/	4	8	15	19	11	12	13	12	20
Prapretno	/	/	19	15	33	36	25	20	29	49

# Izpusti primarnih delcev PM10 na prebivalca za države EU-27 za leto 2010



Slovenija z 9,6 kg/prebivalca zaseda 4. mesto



Primeri  
ukrepov za  
zmanjšanje  
onesnaženosti  
zraka z delci

# URBANA MIKROKLIMA

## Spremenjena energijska bilanca v mestu:

- Zmanjšano sončno obsevanje (aerosol)
- Večji tok zaznavne toplote (gretje zraka)
- Manjša evapotranspiracija
- Povečan konduktivni tok toplote v tla
- Manjši toplotni tokovi v vegetaciji

# Spremembe vrednosti meteoroloških spremenljivk v velikih mestih

## SONČNO SEVANJE

*globalno obsevanje  
ultraviolečno sevanje  
trajanje obsevanja*

15 do 20% manj  
30% manj pozimi  
5 do 15 % manj

## TEMPERATURA

*povprečna letna  
povprečna minimalna pozimi*

0.5 do 1 višja  
1 do 2 višja

## RELATIVNA

## VLAGA

*povprečna*

2 do 3 % nižja

## HITROST

## VETRA

*povprečna letna  
število brezveterij*

za 20 do 30 % nižja  
od 5 do 20 % več

## DNEVI Z

## MEGLO

*pozimi  
poleti*

za 100 % več  
za 30% več

## OBLAČNOST

*količina*

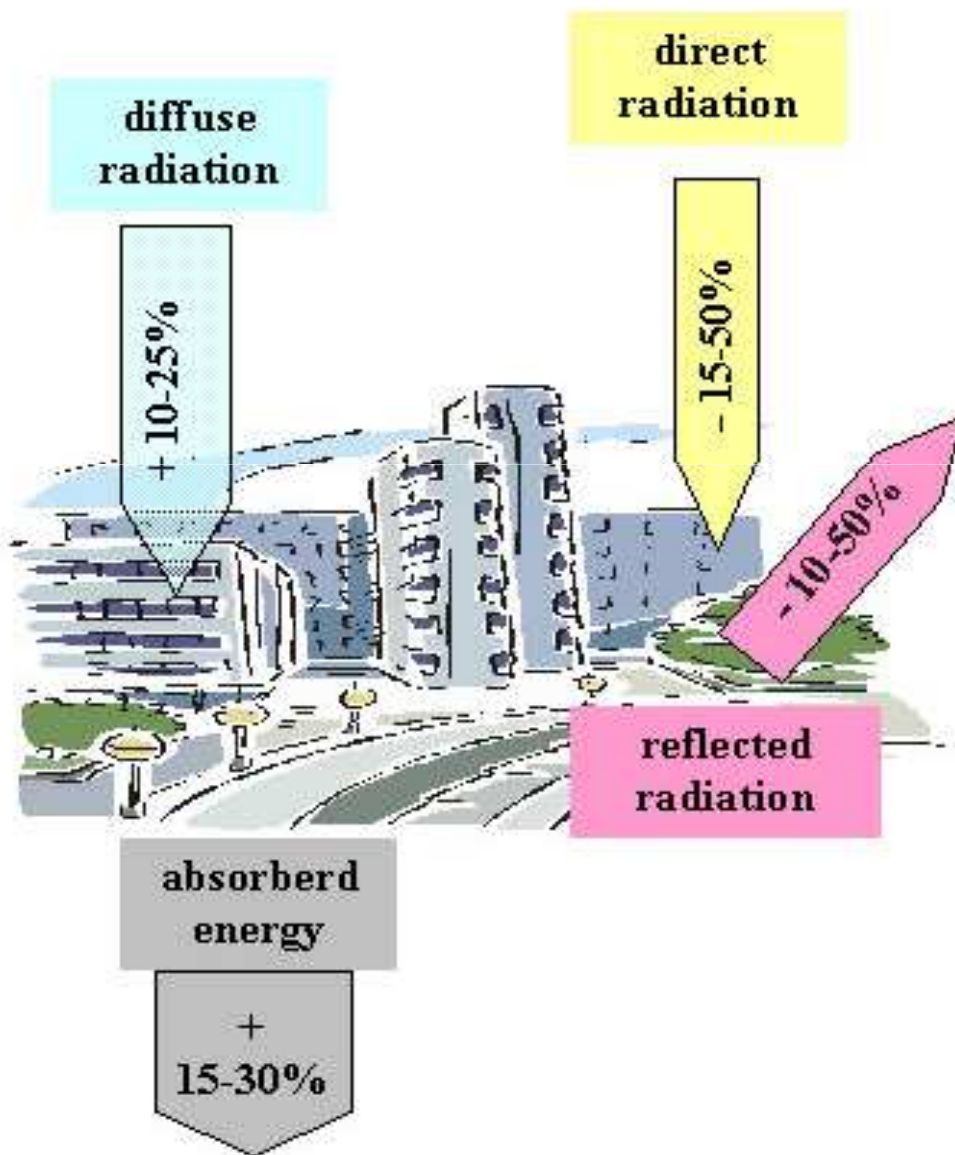
od 5 do 10% več

## PADAVINE

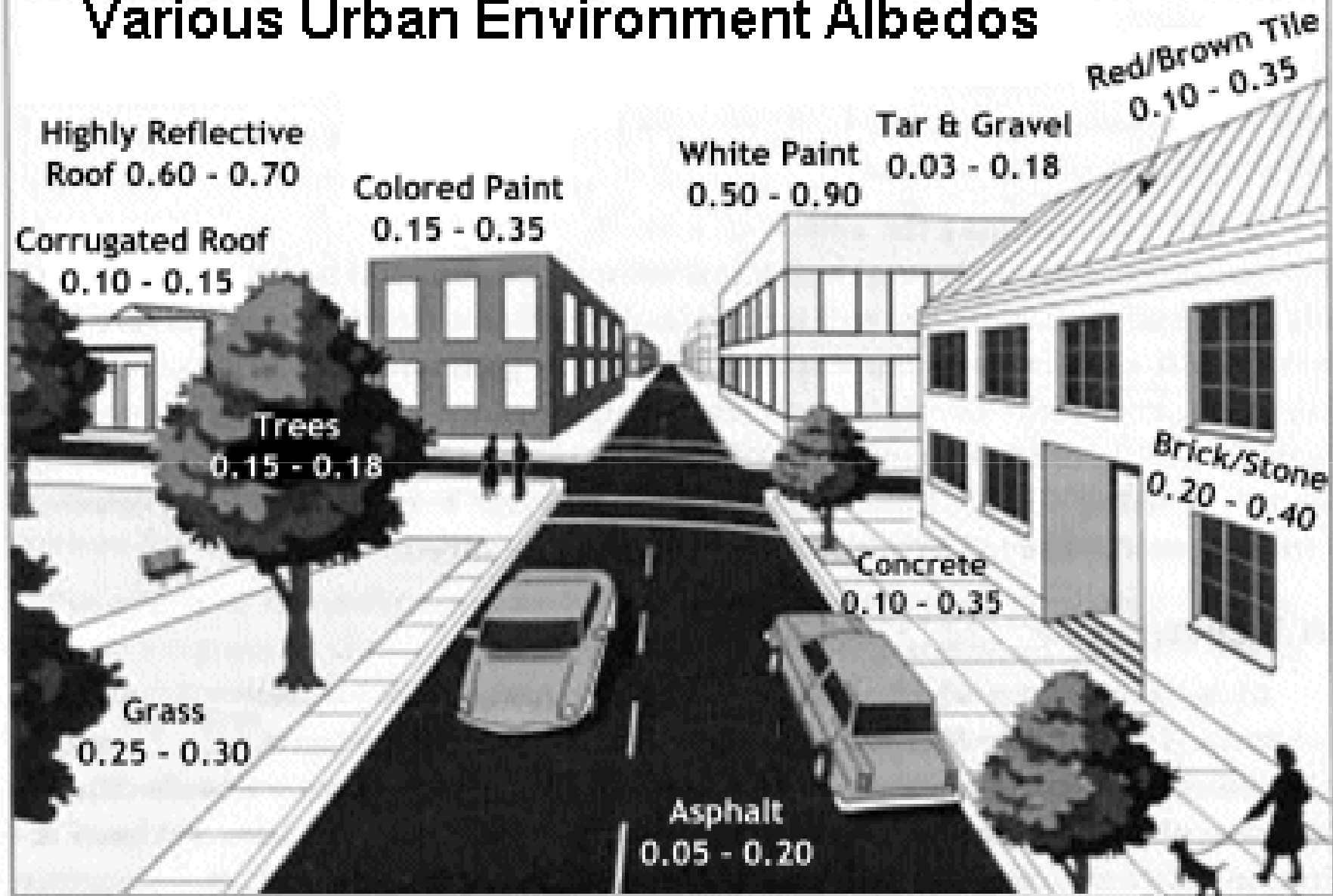
*količina  
deževni dnevi  
sneženje*

od 5 do 10% več  
10% več  
5% manj

# Spremenjena bilanca KV sončnega sevanja v mestu v primerjavi z okolico

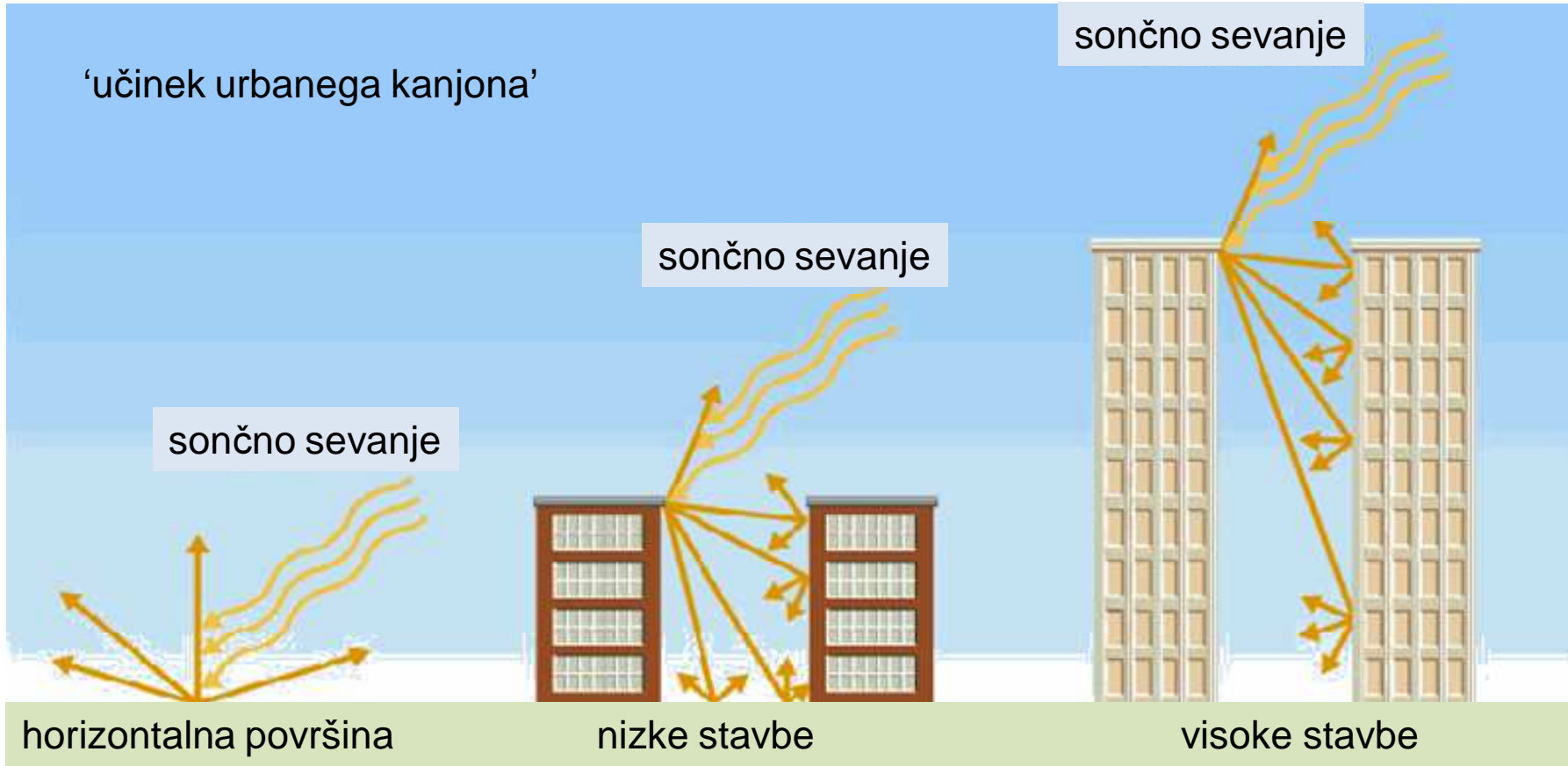


# Various Urban Environment Albedos

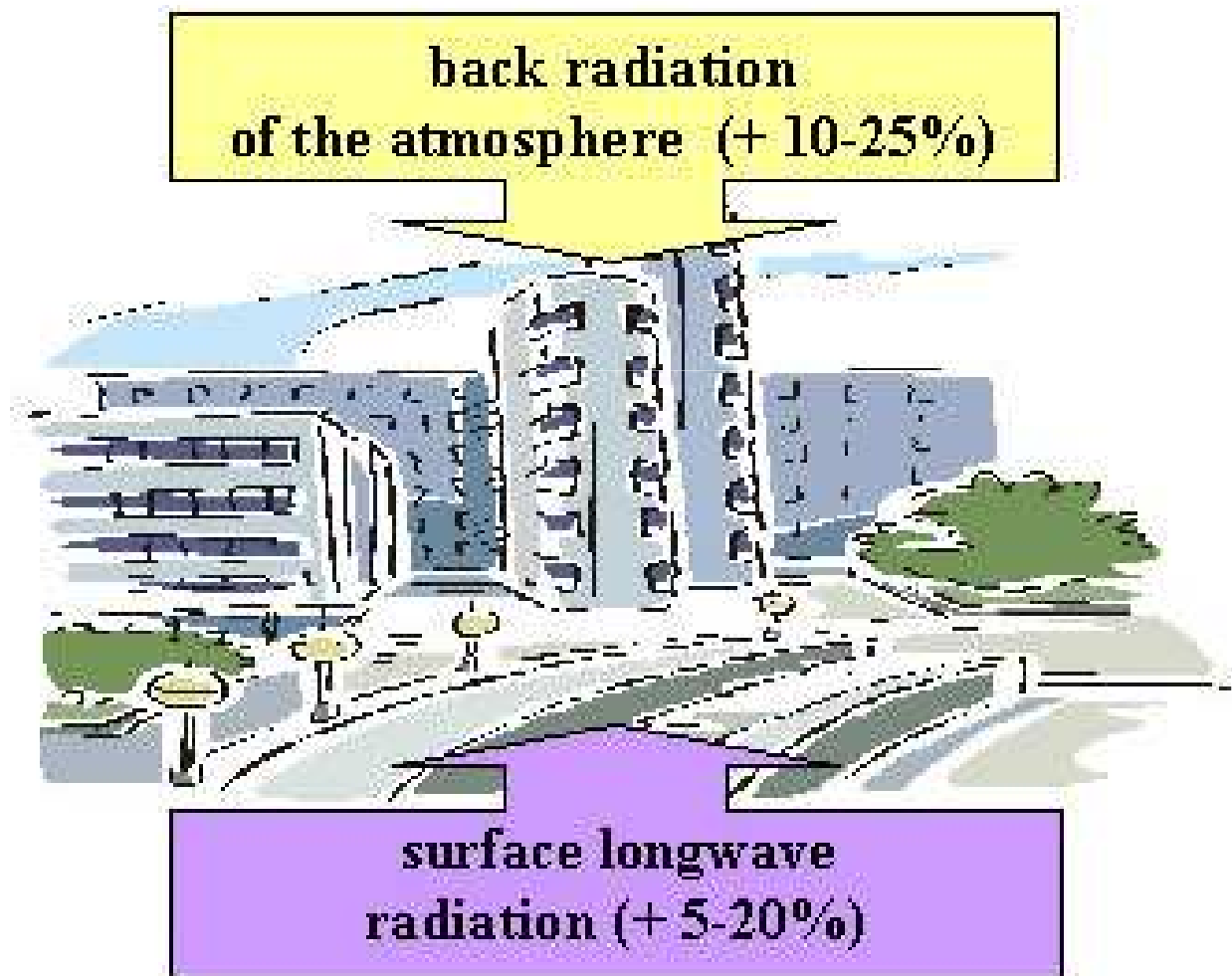




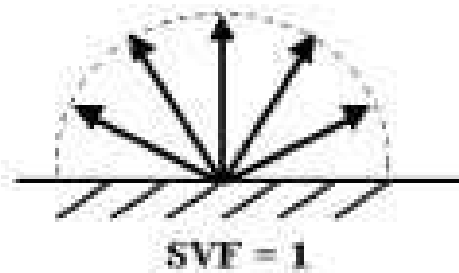




Spremenjena bilanca DV sevanja (tal in atmosfere) v mestu v primerjavi z okolico



# Urbana geometrija: modificira tako prejeta KV sevanje kot oddano DV sevanje

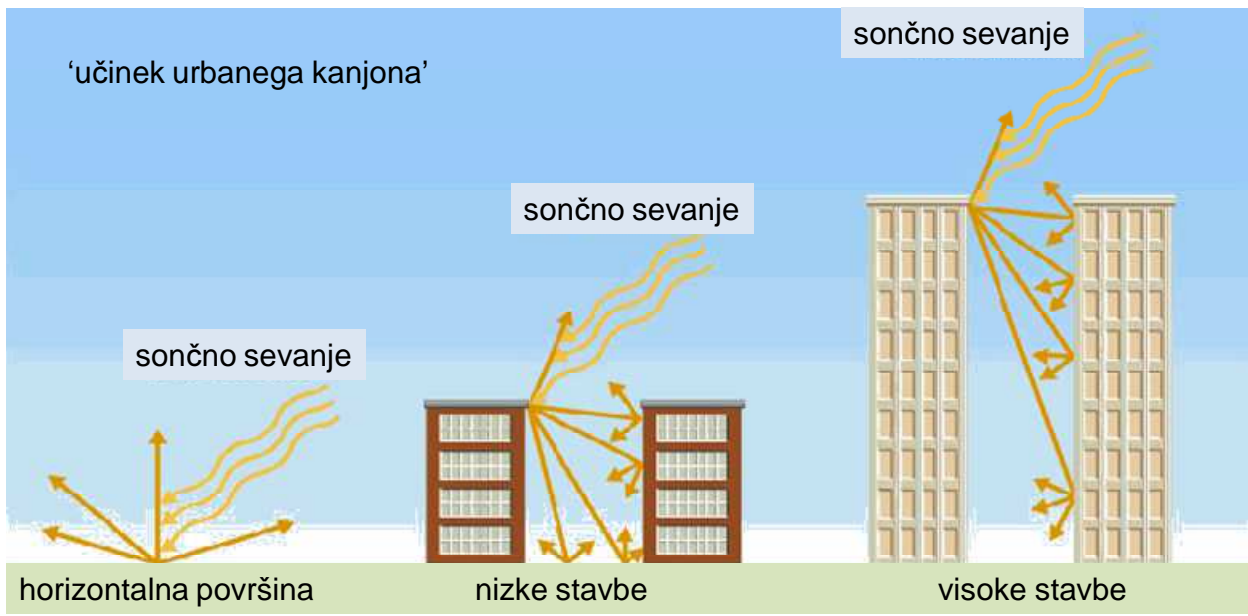


Dolgovalovno sevanje

Manj DV sevanja uspe uiti iz mestnega kanjona

- Na prostem SVF skoraj 1
- V spodnjem primeru blizu 0,2





<http://www.worldofstock.com/stock-photos/TNY2109.php>



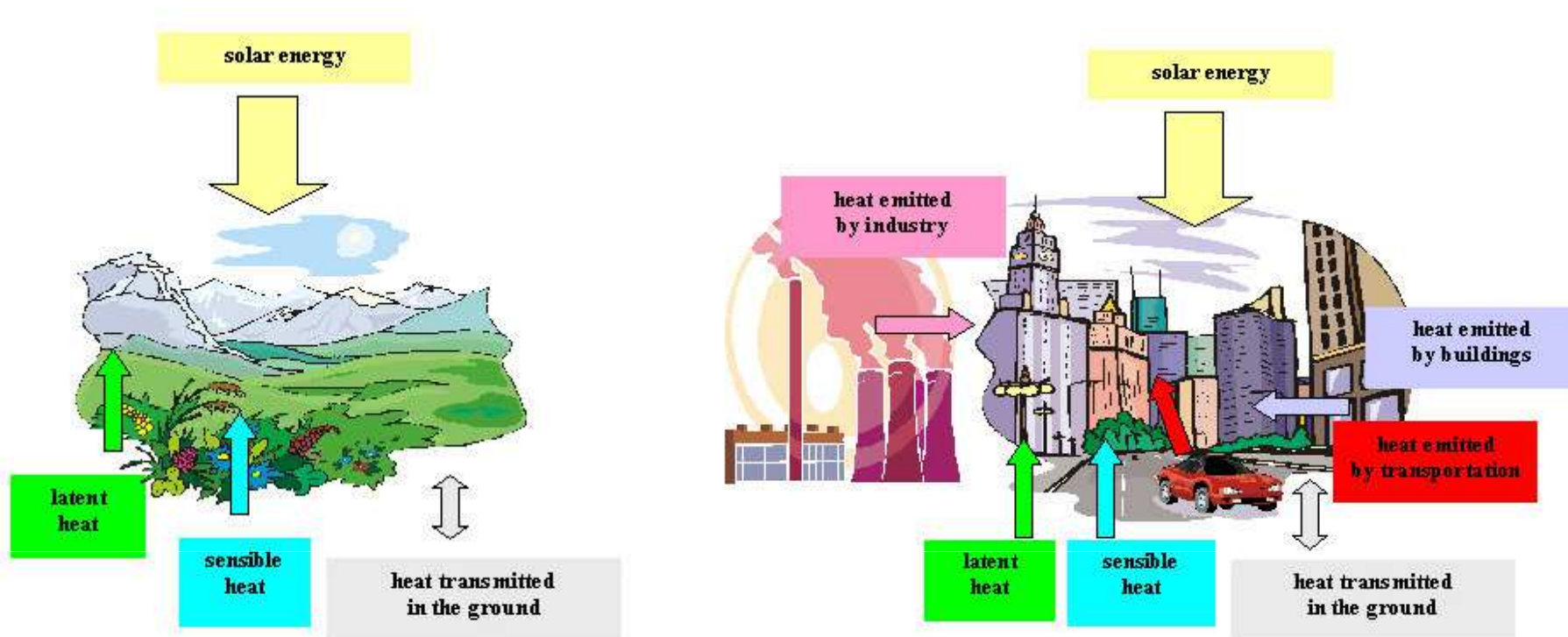
<http://www.trekearth.com/gallery/Europe/Malta/South/Malta/Valletta/photo1021505.html>



<http://brokensidewalk.com/2009/04/07/alley-canyons/>



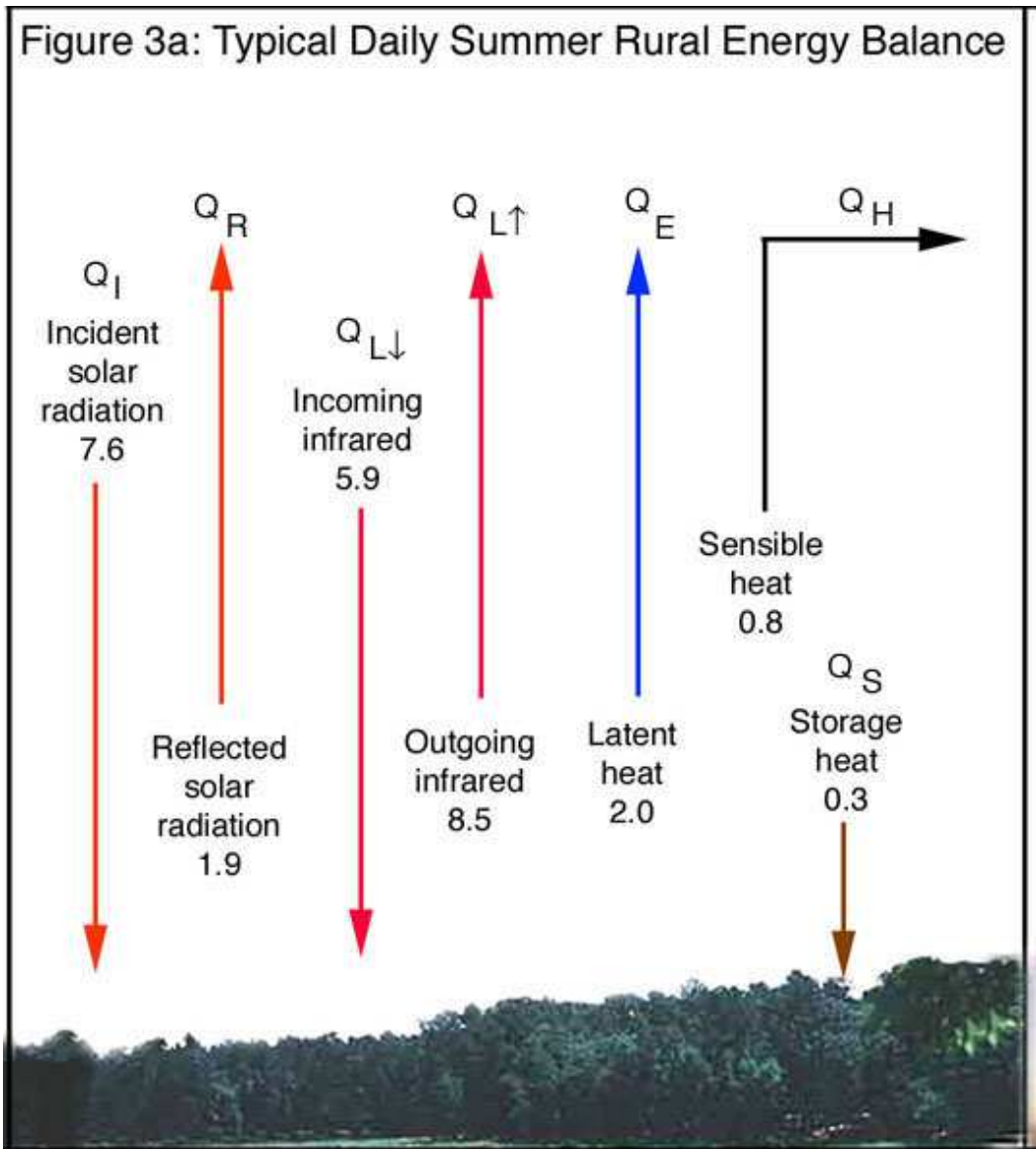
- Vpliv na:
- temperaturo
  - veter
  - onesnaženje zraka



Enačba energijske bilance prizemne plasti (3- dim)

$$Q_{RN} + Q_G + Q_H + Q_E + Q_S = 0$$

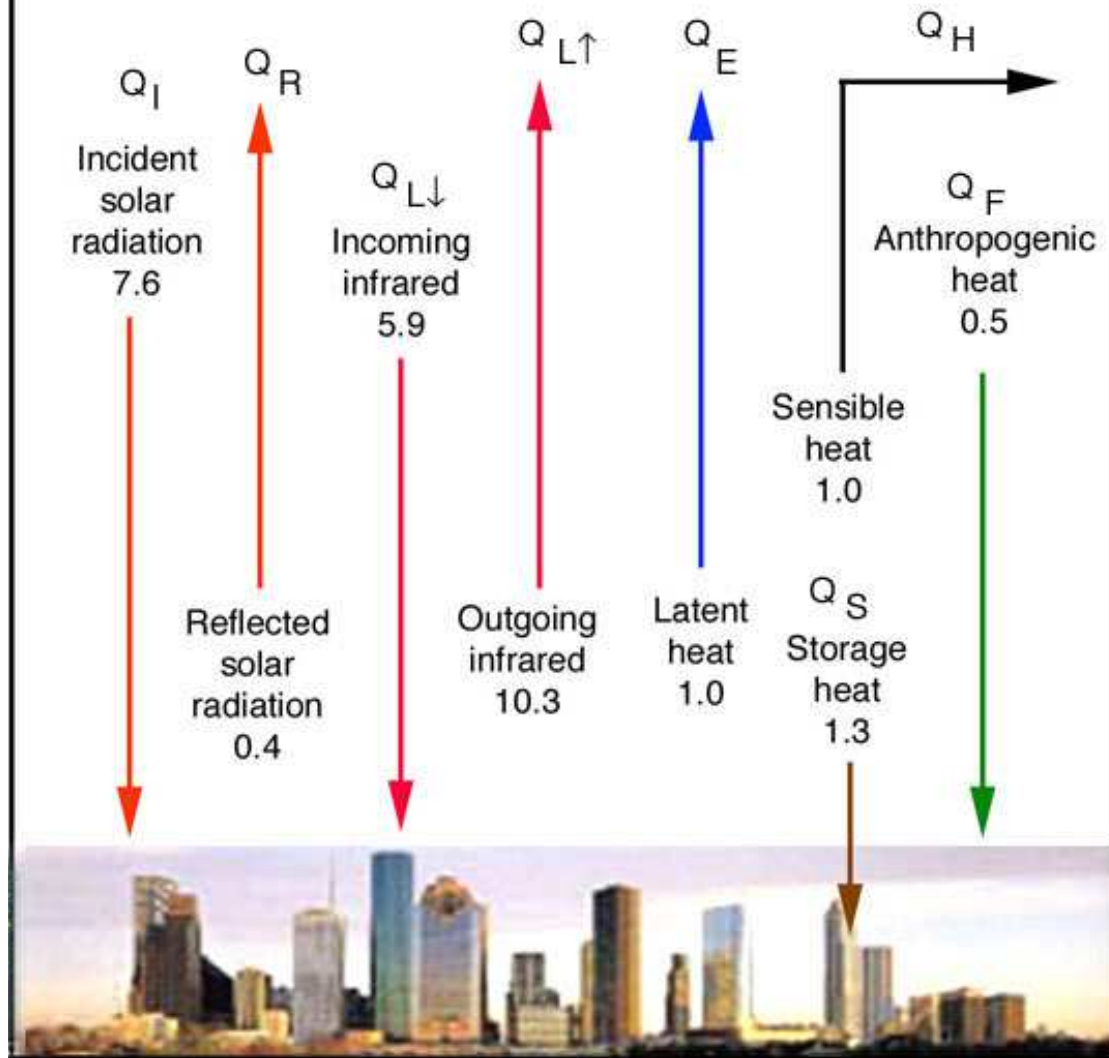
neto sevanje    kondukcija    zaznavna toplota    latentna toplota    vskladiščena toplota



Vse komponente v kWh/m<sup>2</sup>dan



Figure 3b: Typical Daily Summer Urban Energy Balance



Vse komponente v kWh/m<sup>2</sup>dan

Figure 3a: Typical Daily Summer Rural Energy Balance

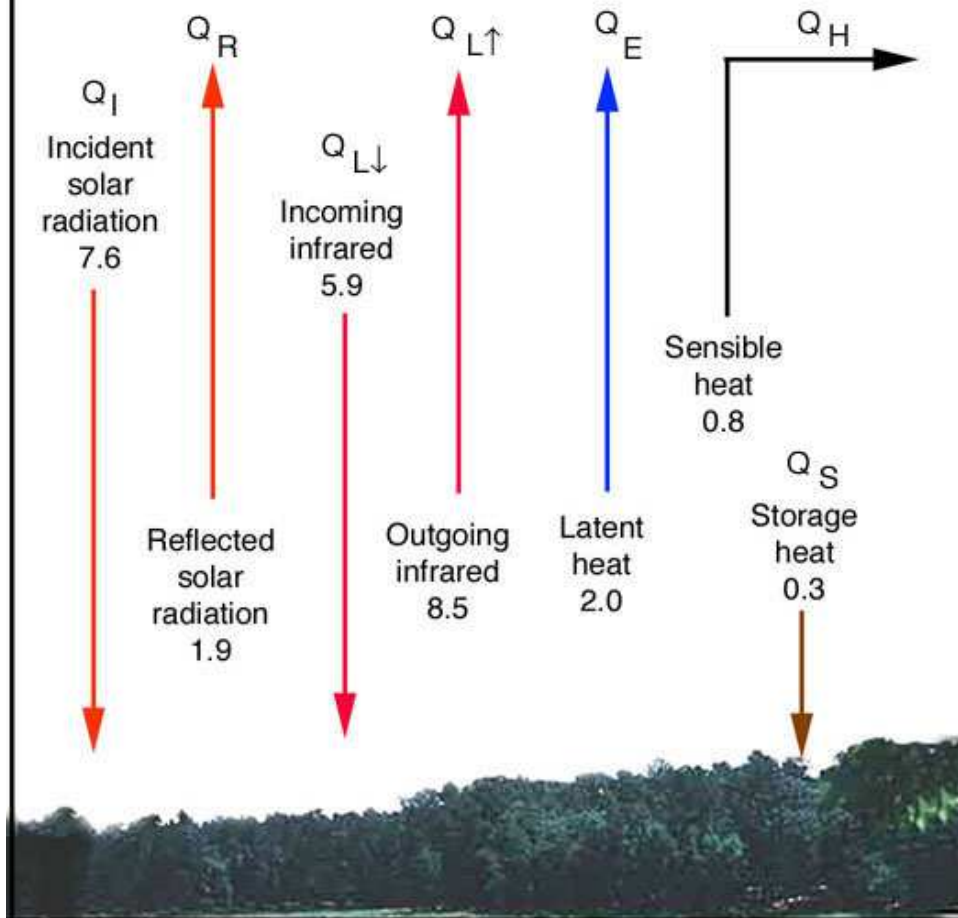
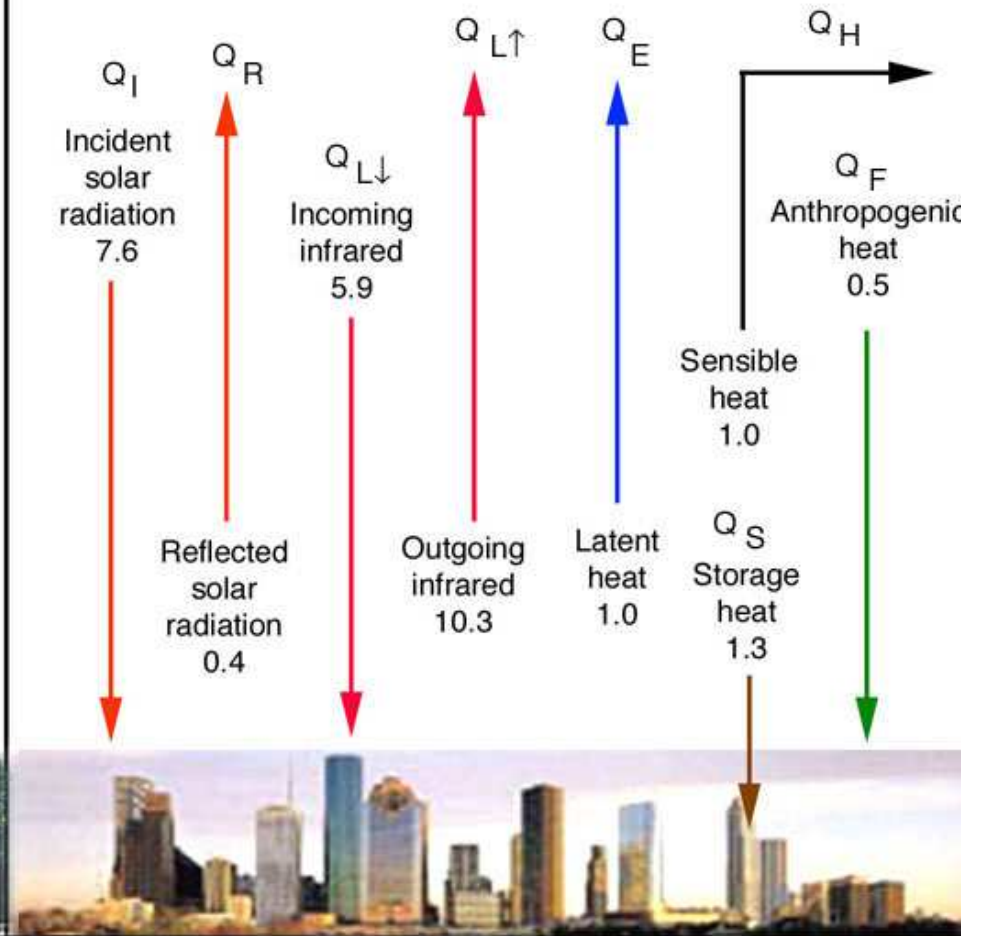


Figure 3b: Typical Daily Summer Urban Energy Balance



Vse komponente v kWh/m²dan

vpadno KV sevanje    odbito KV sevanje    prejeta DV sevanje atm.    oddano DV sevanje podage

$$Q_{RN} = Q_I - Q_R + Q_{L\downarrow} - Q_{L\uparrow}$$

$Q_G = f$  (tipa tal oz. vegetacije, temp. gradienta)  
 $Q_H = f$  (stabilnosti PPZ, temp. gradienta)  
 $Q_E = f$  (stabilnosti PPZ, gradienta vlage)  
 $Q_S = f$  (lastnosti vegetacije v PPZ)  
 v naravi jo lahko zanemarimo



Enačba energijske bilance prizemne plasti (3- dim) v naravi

$$Q_{RN} + Q_G + Q_H + Q_E + Q_S = 0$$

neto sevanje    kondukcija    zaznavna toplota    latentna toplota    vskladiščena toplota(≈0)

vpadno KV sevanje    odbito KV sevanje    prejeta DV sevanje atm.    oddano DV sevanje podage

$$Q_{RN} = Q_I - Q_R + Q_{L\downarrow} - Q_{L\uparrow}$$

$$Q_G = f(\text{tipa tal, temp. gradienta})$$

$$Q_H = f(\text{stabilnosti PPZ, temp. gradienta})$$

$$Q_E = f(\text{stabilnosti PPZ, gradienta vlage})$$

$$Q_S = f(\text{lastnosti stavb, ulic, arhitekture})$$

v mestu je **veliko večja** kot v naravi



Enačba energijske bilance prizemne plasti (3- dim) **v mestu**

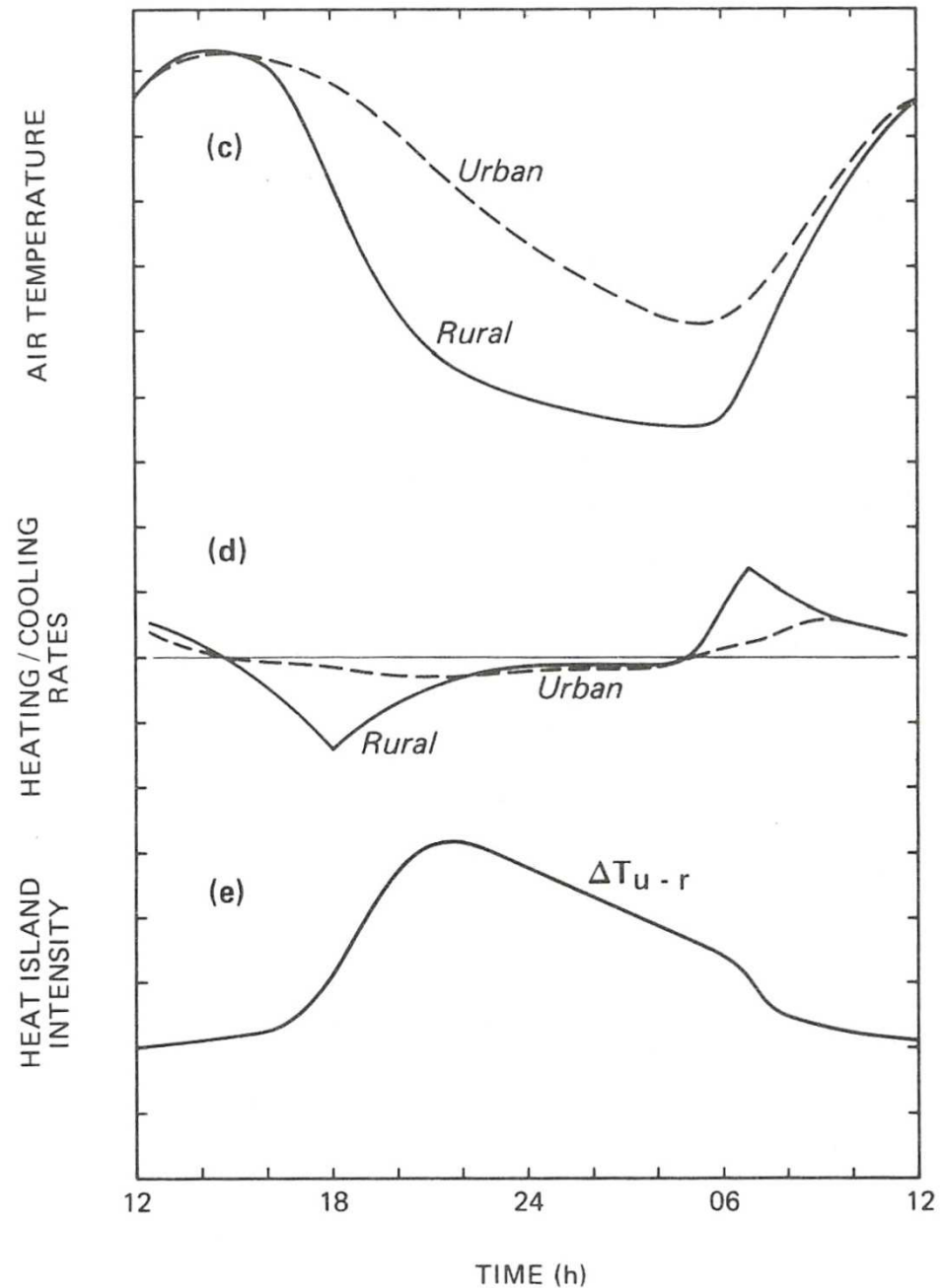
$$Q_{RN} + Q_F + Q_G + Q_H + Q_E + Q_S = 0$$

neto sevanje    antropogeni viri toplote    kondukcija    zaznavna toplota    latentna toplota    vskladiščena toplota

	Populacija milijonov	št. oseb na m <sup>2</sup>	Antropogena produkcija toplote (kWh/m <sup>2</sup> dan) $Q_F$
New York	7,3	0.00853	2.30
Los Angeles	3,3	0.00267	0.72
Chicago	2,8	0.00441	1.19
Houston	1,6	0.00109	0.29

# Temperaturne razlike med mestom in okolico

- Ponoči mesto toplejše kot okolica
- Dinamika ogrevanja in hlajenja je v mestu počasnejša
- Največje razlike dobimo med 18. in 6. uro zjutraj



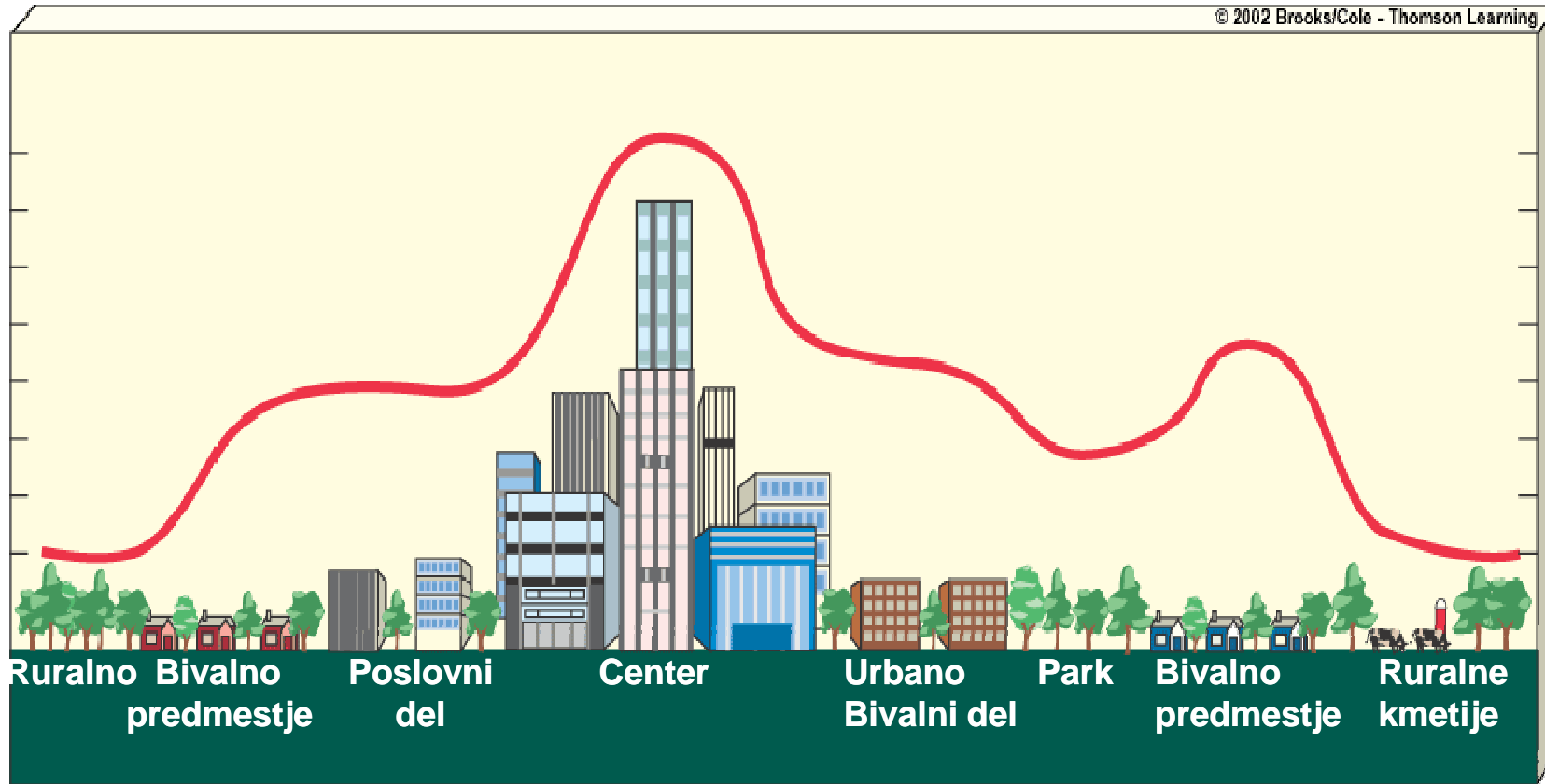
## Spremembe vrednosti meteoroloških spremenljivk v velikih mestih

<b>SONČNO SEVANJE</b>	<i>globalno obsevanje</i>	15 do 20% manj
	<i>ultraviolečno sevanje</i>	30% manj pozimi
	<i>trajanje obsevanja</i>	5 do 15 % manj
<b>TEMPERATURA</b>	<i>povprečna letna</i>	0.5 do 1 višja
	<i>povprečna minimalna pozimi</i>	1 do 2 višja
<b>RELATIVNA VLAGA</b>	<i>povprečna</i>	2 do 3 % nižja
<b>HITROST VETRA</b>	<i>povprečna letna</i>	za 20 do 30 % nižja
	<i>število brezveterij</i>	od 5 do 20 % več
<b>DNEVI Z MEGLO</b>	<i>pozimi</i>	za 100 % več
	<i>poleti</i>	za 30% več
<b>OBLAČNOST</b>	<i>količina</i>	od 5 do 10% več
<b>PADAVINE</b>	<i>količina</i>	od 5 do 10% več
	<i>deževni dnevi</i>	10% več
	<i>sneženje</i>	5% manj

# Mestni toplotni otok

© 2002 Brooks/Cole - Thomson Learning

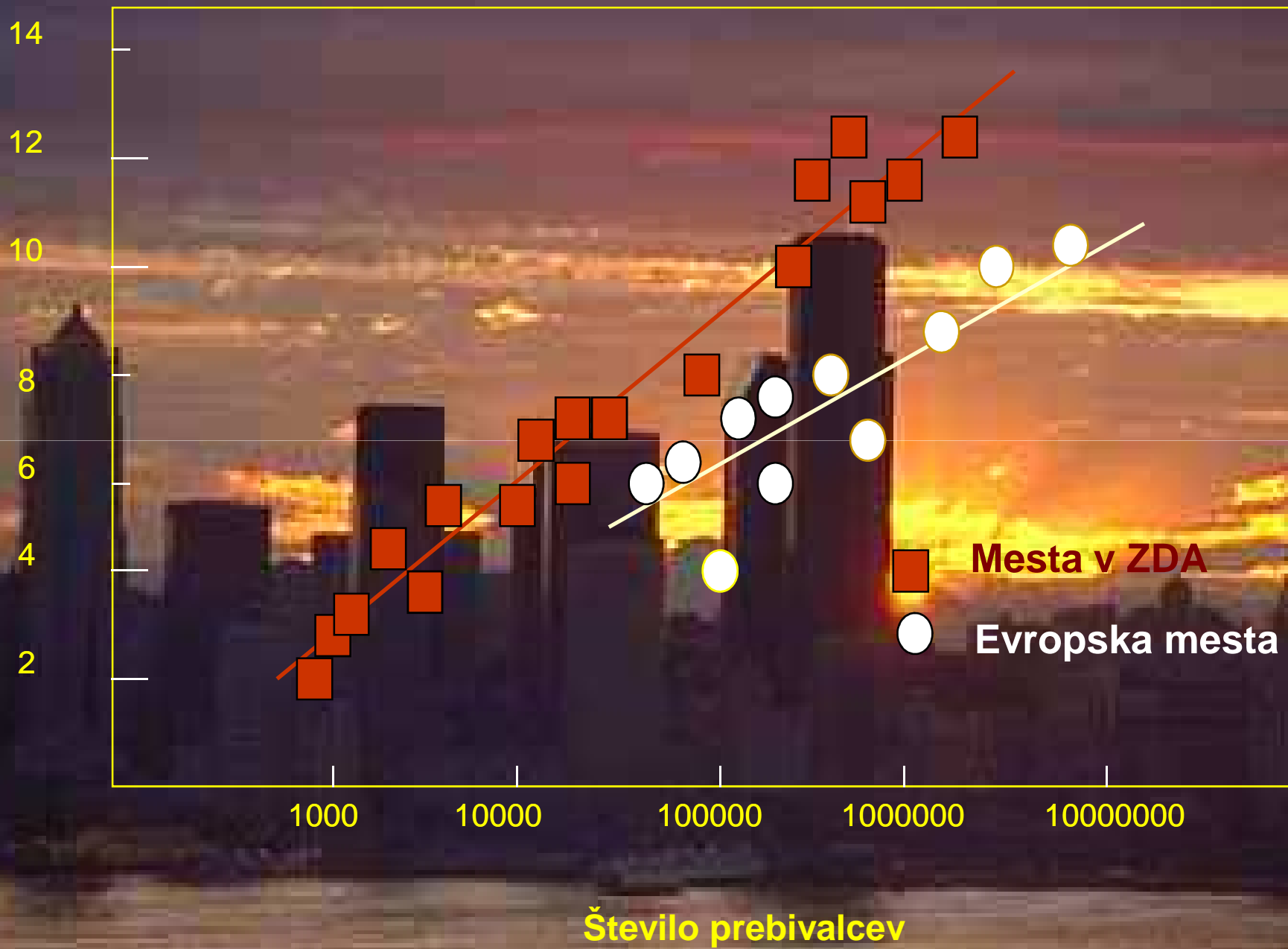
Temperatura pozno popoldan (°C)

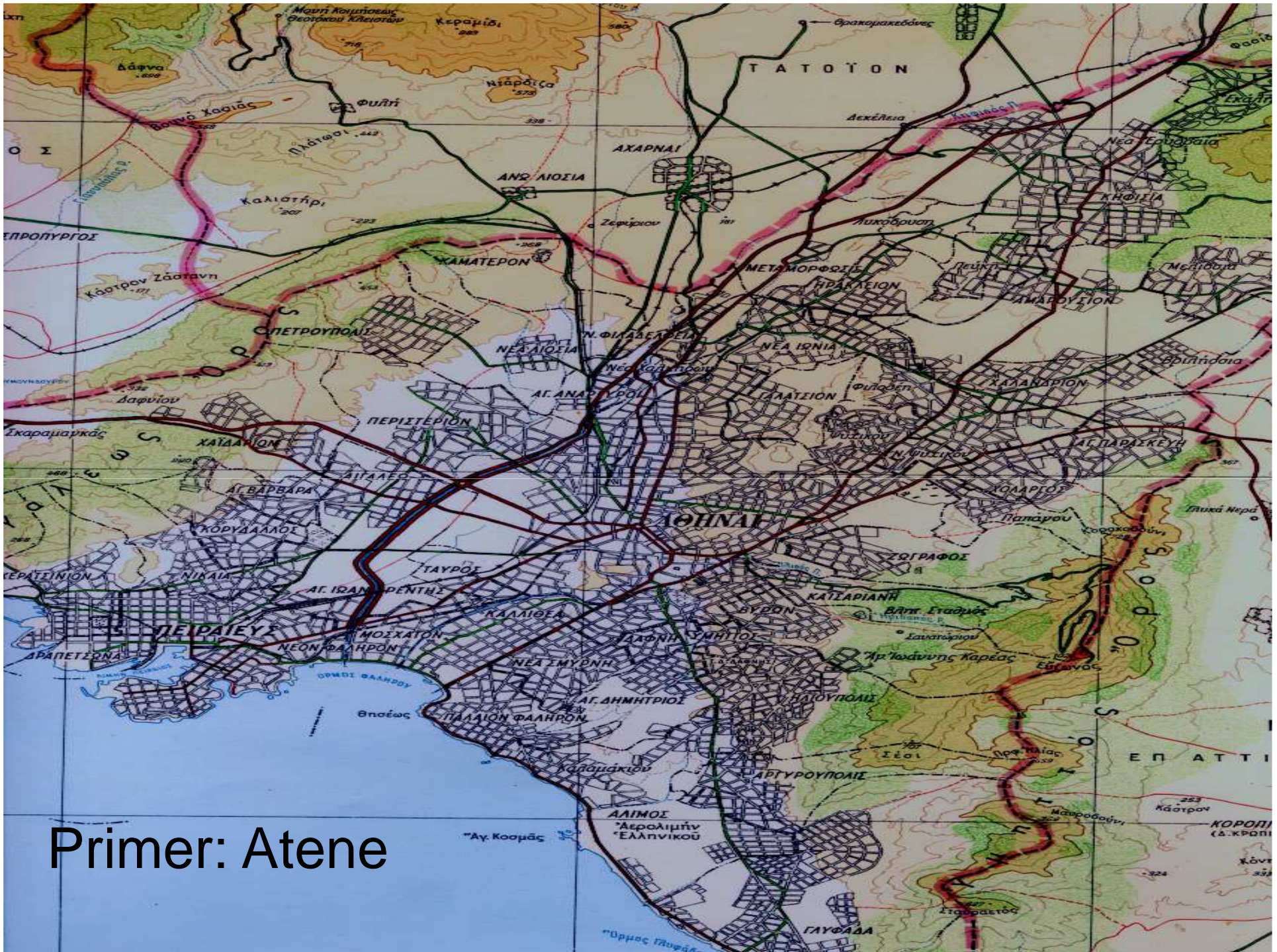


Temperatura pozno popoldan (°C)

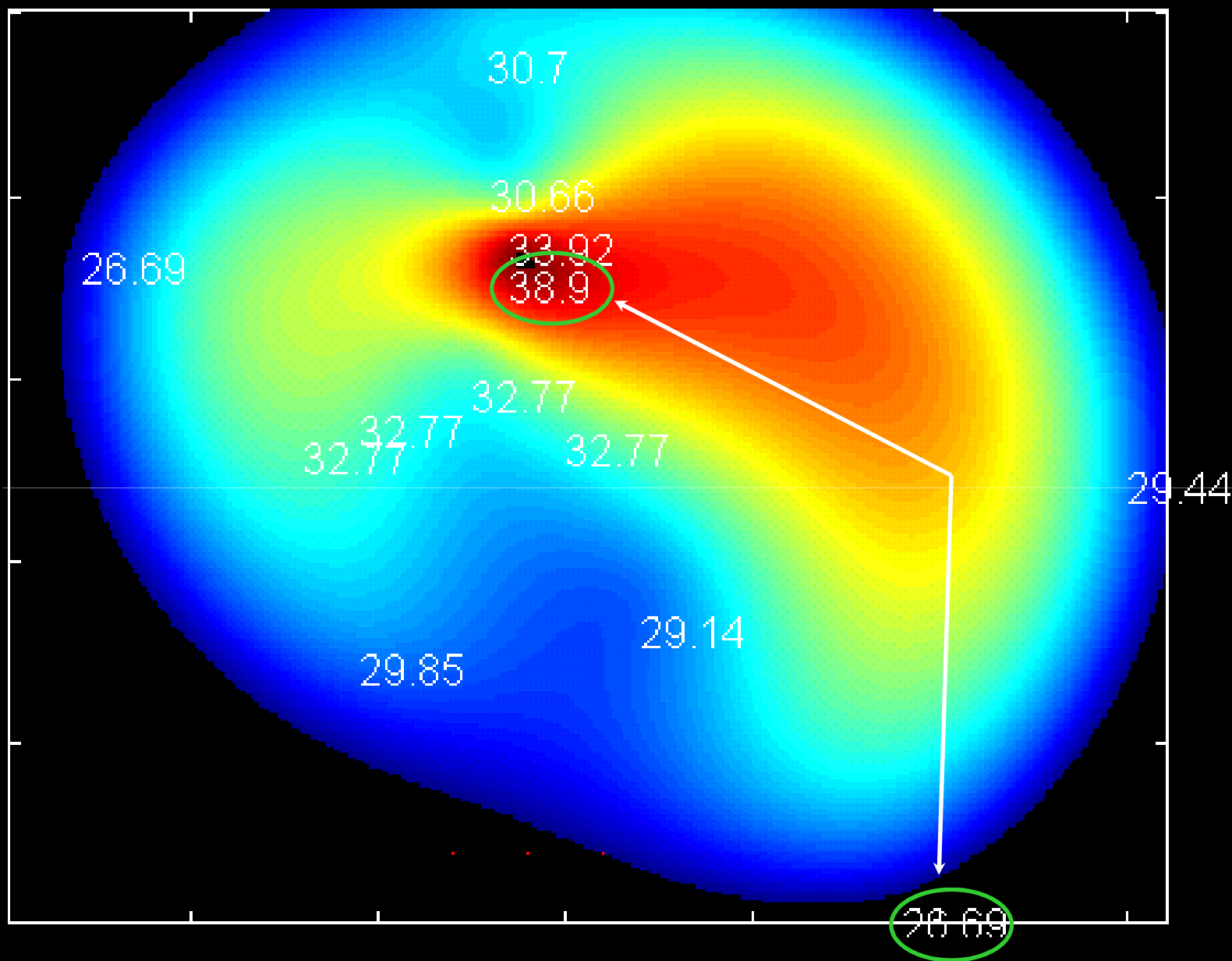


# Največji dvig temperature v mestu v primerjavi z okolico





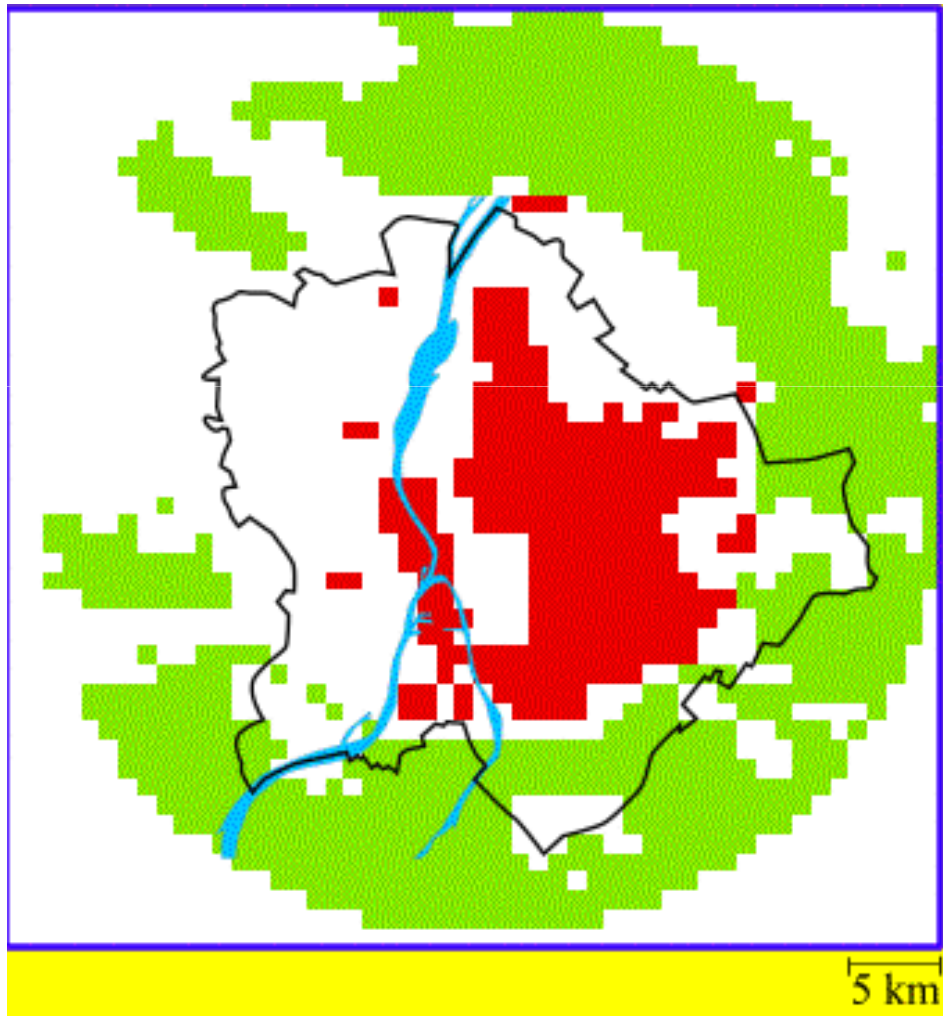
Primer: Atene



Toplotni otok v Atenah

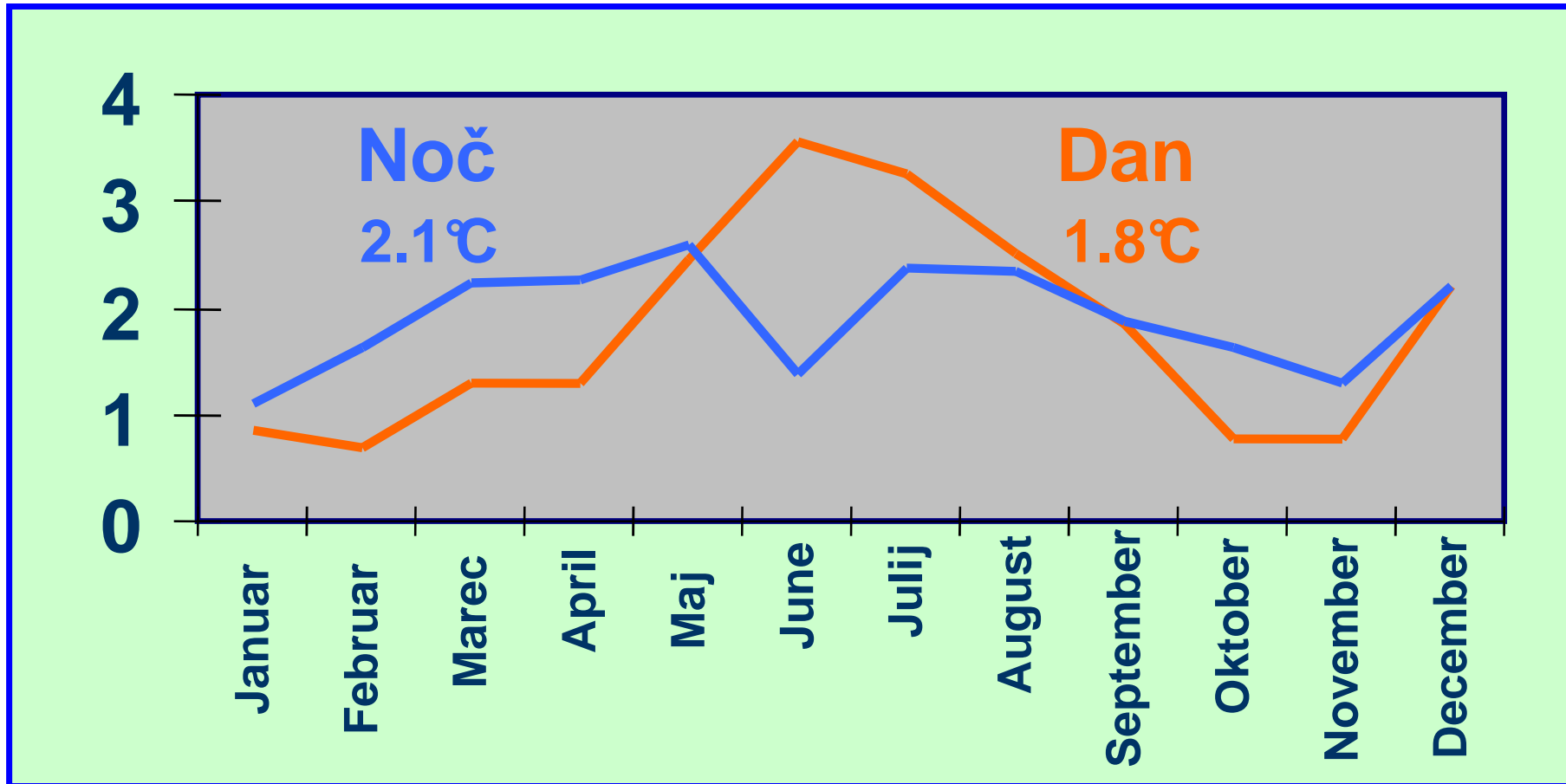
# Primer Budimpešte





Rdeče – mestno jedro  
Zeleno - okolica

# Letni hod učinka mestnega toplotnega otoka v Budimpešti (satelitske meritve)



- Večji učinek podnevi kot ponoči
- Največji junija (3.6°C)

# Empirične enačbe

za intenziteto mestnega toplotnega otoka

$$\Delta T = P^{0,25} / (4 u)^{0,5} \quad (\text{za jasno vreme, popoldan})$$

$\Delta T$  (v K)

**P** populacija, število prebivalcev v mestu

**u** hitrost vetra (v m/s)

(na 10 m višine v neurbani okolici)

# COSMO 06: Physical (scale) modelling - outdoor



1:5



1:50





# Empirične enačbe za intenziteto toplotnega otoka

- *Oke*:  $\Delta T = P^{0.25} / (4 \times u)^{0.5}$
- *Bornstein*  $\Delta T = 2.8 - 0.1 \times N - 0.38 \times u - 0.02 \times T + 0.03 \times q$   
Oblačnost (N), hitrost vetra (u), Temperatura (T), specifična vlaga (q)
- *Summers*  $\Delta T = (2r \times \theta T / \theta z \times Q_F) / (\rho \times c_p \times u)$

r      razdalja od roba do centra mesta

$\theta T / \theta z$  sprememba potencialne temperature z višino z

$Q_F$  antropogeni viri na enoto površine

$\rho$     gostota zraka

$c_p$    sp. toplota

u      hitrost vetra

# Kako omiliti MTO

- Boljši gradbeni materiali
  - Svetle barve in visoko emisivni materiali za zidove
- Bpljše planiranje mest
  - Povečan “Sky View”
  - Več dolgih širokih stavb in manj visokih ozkih
- Vegetacija na stenah
- Pravilna ventilacija stavb
- Izboljšave mestnih vodnih površin in tokov
- Izklapljanje klimatskih naprav



[http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Green\\_City.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Green_City.jpg)



# Zelene strehe so hladnejše

Figure 4: Temperature Differences between a Green and Conventional Roof



On a typical day, the Chicago City Hall green roof measures almost 80°F (40°C) cooler than the neighboring conventional roof.

# Zelene strehe

- Prednosti
  - povečana Evapotranspiracija
  - Manjši stroški za hlajenje
  - Več sence



# Zelene strehe

- Intenzivne
  - Debel sloj zemlje
    - do pol metra
    - Drevesa, rastlinje
- Ekstenzivne
  - Preprostejše
    - 15 cm ali manj
    - Trava, manjše rastline



# Značilnosti mestne hidrologije

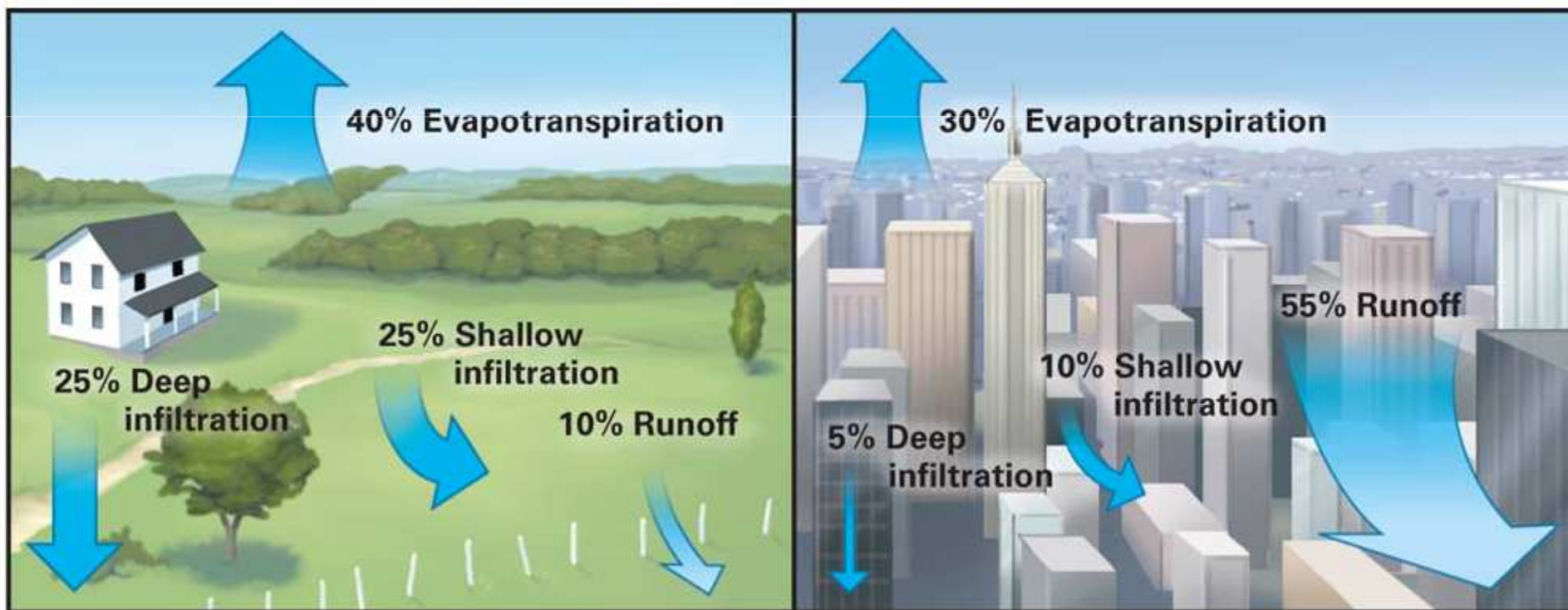
- Večji površinski odtok
- Večje onesnaženje površinskih voda
- Povečano poplavljanje
- Manjši pretoki
- Nižja ET
- Manj vskadiščene vode v tleh in rastlinah
- Slabše obnavljanje podtalnice
- Slabša kvaliteta vode

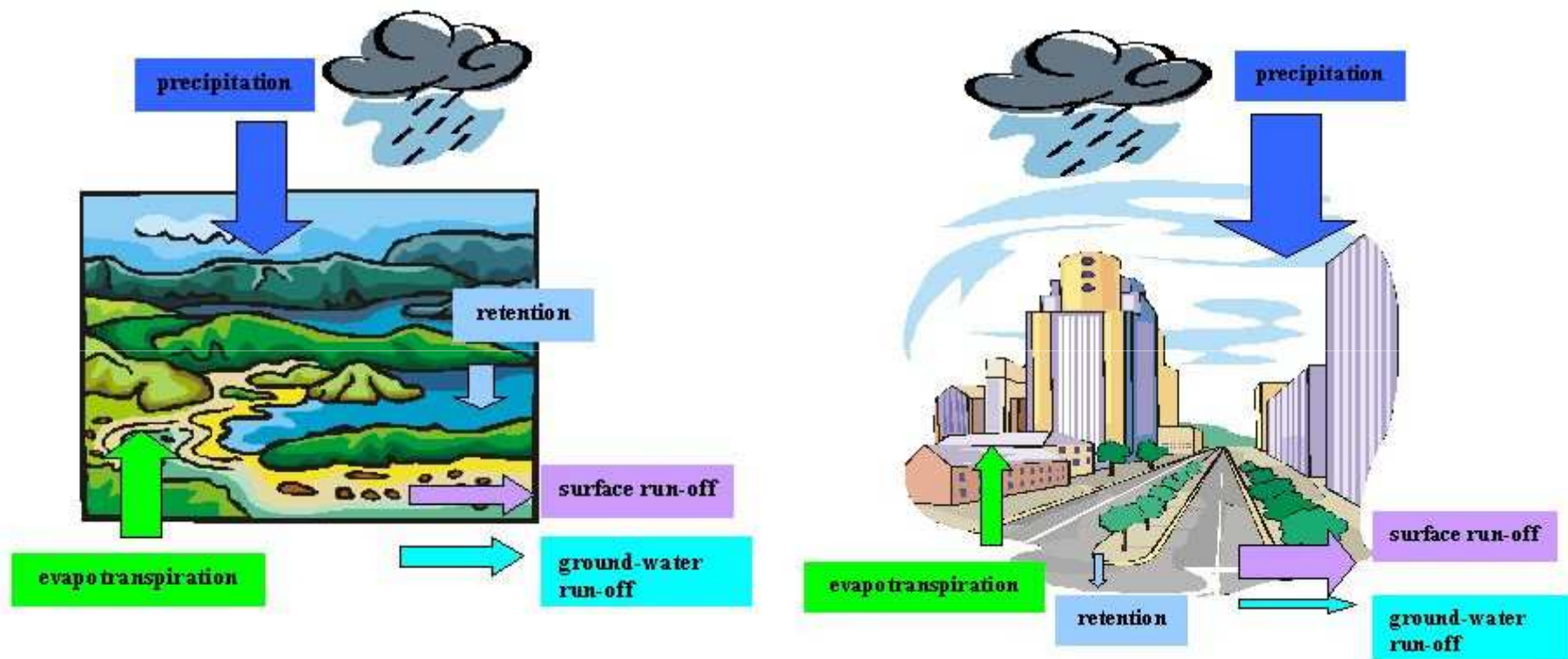




Zakaj so mesta toplejša:  
tudi zaradi spremenjene vodne bilance

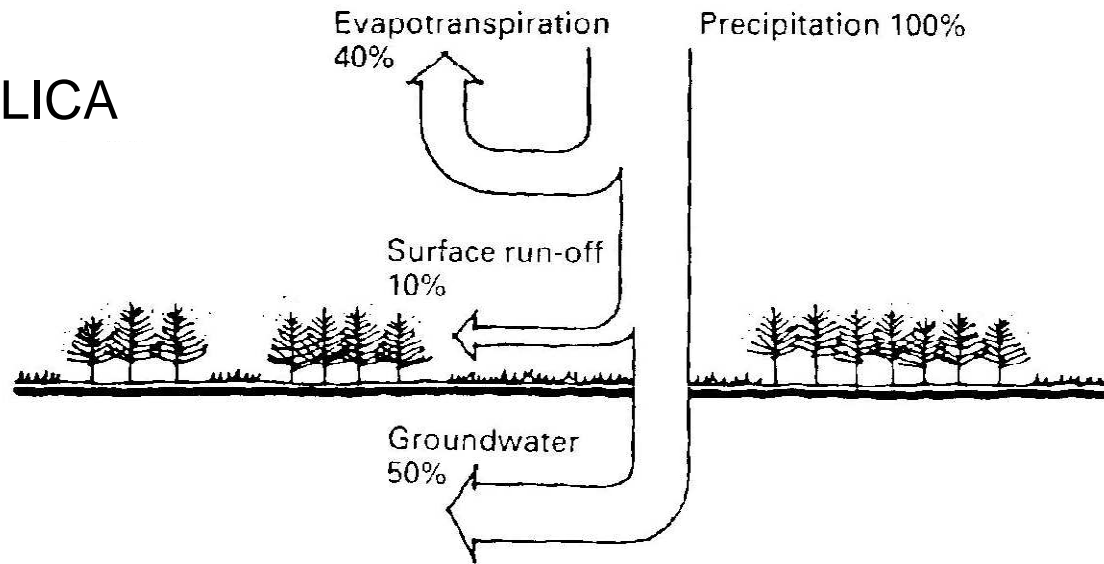
## Zmanjšana evapotranspiracija



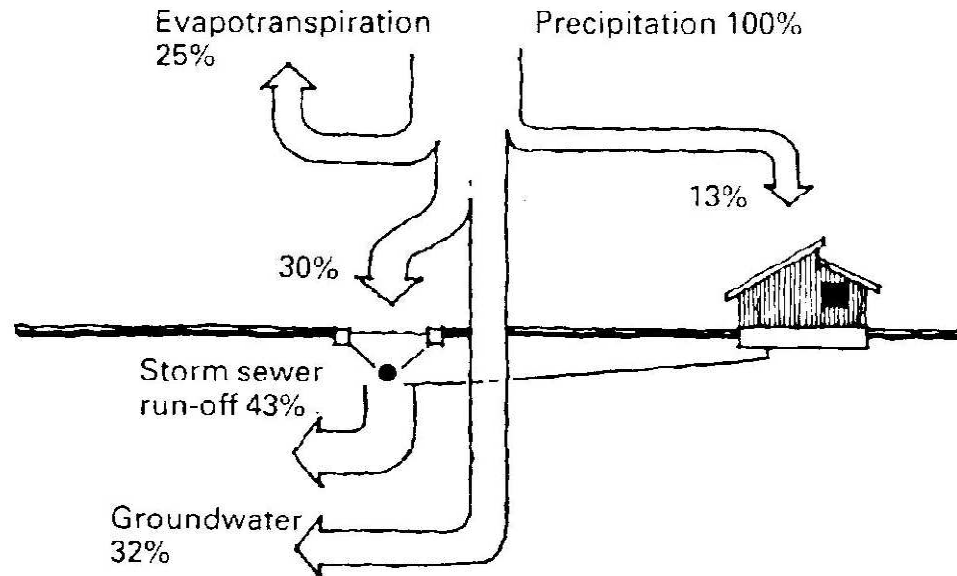


Velikost puščic opisuje spremembe!!!

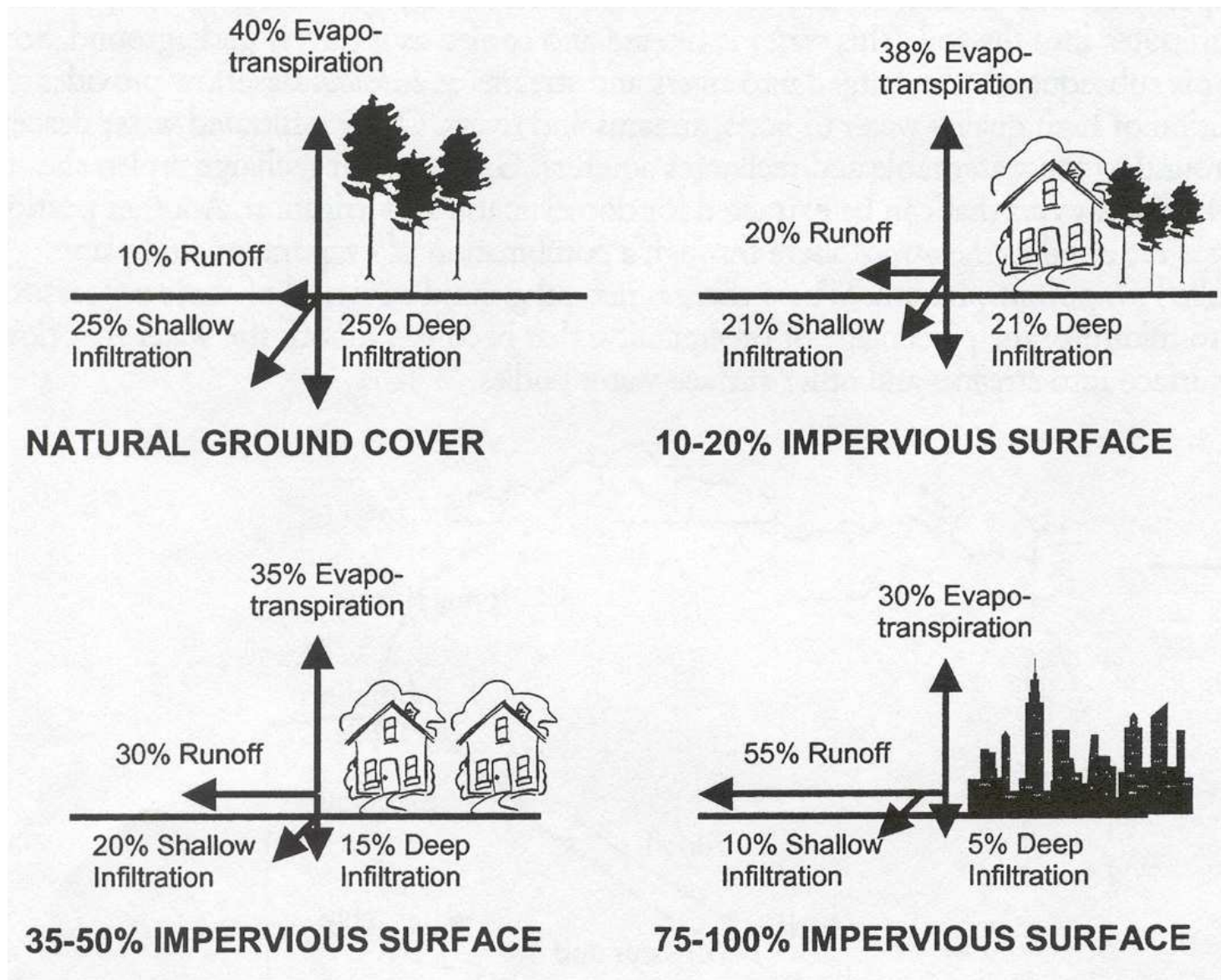
# OKOLICA



# MESTO



# Za infiltracijo so pomembne lastnosti tal





# Kako izboljšati vodno bilanco v mestu

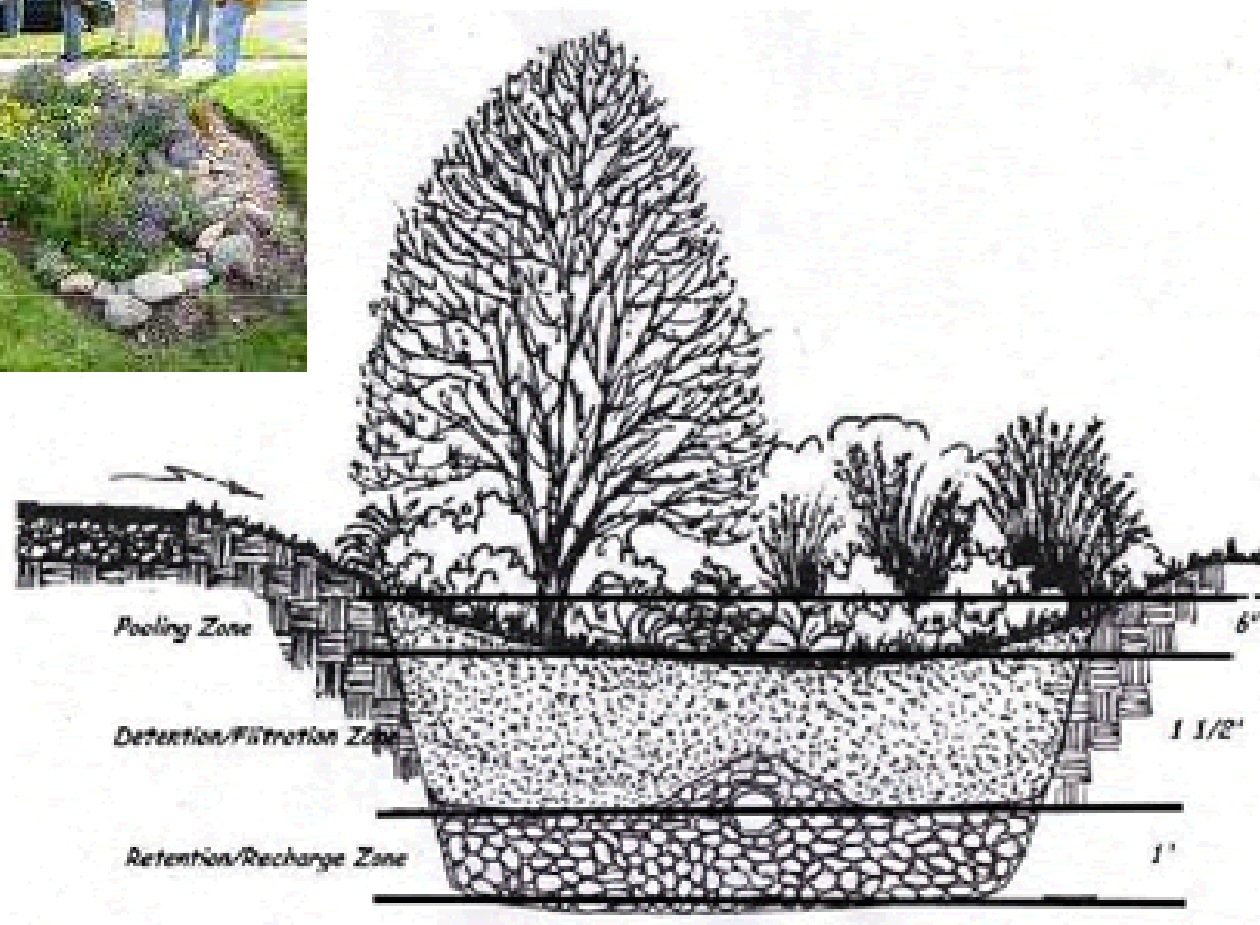


# Retenzijske površine



# „Dežni“ vrtovi

- [http://www.ci.des-moines.ia.us/departments/PR/rain\\_gardens.htm](http://www.ci.des-moines.ia.us/departments/PR/rain_gardens.htm)





# Zelene strehe

