

**MODELIRANJE UTJECAJA FRAKCIJE LEBDEĆIH ČESTICA PM_{2.5} NA
SMRTNOST STNOVNIŠTVA ZAGREBA I RH**

Krešimir Šega i Ivan Bešlić

Jedinica za higijenu rada

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

The Air Quality Health Impact Assessment Tool (AirQ)



je specijalizirani program koji korisniku omogućava procjenu mogućeg utjecaja na zdravlje ljudi kao posljedicu izloženosti određenom onečišćenju zraka u određenom gradskom području tijekom određenog razdoblja.

Mortalitet – broj smrti ili stopa smrtnosti
(n.pr. na populaciju od 100.000) u određenom razdoblju.

Primjeri korišteni u programu:

- Ukupna smrtnost (svi uzorci smrti isključujući nesreće)
- Ukupna smrtnost (svi uzorci smrti isključujući nesreće) za pojedine dobne skupine
- Kardiovaskularna smrtnost
- Respiratorna smrtnost, itd.

MORBIDITET -

Broj ili stopa pojavljivanja zdravstvenog učinka u određenom razdoblju

Kronični učinci:

Bolnički prijam zbog respiratorne bolesti;

Bolnički prijam zbog respiratorne bolesti za pojedinu dobnu skupinu;

Bolnički prijam zbog astme za pojedinu dobnu skupinu;

Bolnički prijam zbog kardiovaskularne bolesti

Bolnički prijam zbog respiratorne bolesti za pojedinu dobnu skupinu;

itd.

Akutni učinci:

Infarkt miokarda;

Akutni bronhitis;

Astmatički napadaji u djece;

Astmatički napadaji u odraslih;

itd.

Pri proračunu je moguće odabrati **samo jedan** zdravstveni učinak.

Proračun je moguć za sljedeća onečišćenja zraka:

- Ukupne lebdeće čestice (TSP);
- Dim (BS);
- Frakcije lebdećih čestica PM_{10} i $PM_{2.5}$;
- Sumporov dioksid (SO_2);
- Dušikov dioksid (NO_2);
- Ozon O_3 (1-satni prosjek);
- Ozon O_3 (8-satni prosjek);
- Olovo (Pb);
- Benzo(a)piren (BaP),
- itd.

Korisnik može u svrhu proračuna zdravstvenih učinaka odabrati **samo jednu vrstu onečišćenja zraka** te unijeti podatke o izloženosti u program.

Izloženost se procijenjuje na osnovi **imisijskih koncentracija** izmjerenih **na jednoj ili više mjernih postaja** postojeće mjerne mreže u **urbanoj sredini** kroz **određeno razdoblje**.

Kvantifikacija zdravstvenog učinka se računa na osnovi koncepta **pripadajuće proporcije rizika** za promatranu populaciju.

Pripadajuća proporcija rizika (AP), jest dio zdravstvenog učinka kojeg možemo pripisati izloženosti promatrane populacije (pretpostavljajući uzročnu povezanost izloženosti i zdravstvenog učinka bez značajnih utjecaja ometajućih faktora) kroz određeno razdoblje.

$$A_P = \frac{\sum_c ((RR(c) - 1) \cdot p(c))}{\sum_c RR(c) \cdot p(c)}$$

RR(c) – relativni rizik zdravstvenog učinka za razinu koncentracije **c** **p(c)** – proporcija populacije izložena danoj koncentraciji **c**

Relativni rizik (**RR**) pojedinog zdravstvenog učinka se dobiva kao rezultat epidemioloških istraživanja na promatranoj populaciji.
Kada to nije moguće, koristimo vrijednosti **RR** koje predlaže **SZO**.

Znajući ili češće pretpostavljajući izvjesnu **osnovnu učestalost pojavljivanja promatranog zdravstvenog učinka (I)** u populaciji tada **učestalost pripisanu izloženosti (I_E)** izračunavamo kao:

$$I_E = I \cdot A_P$$

Za populaciju N izračunavamo **broj slučajeva pripisanih izloženosti (N_E)**:

$$N_E = I_E \cdot N$$

Posljedično, učestalost pojave promatranog zdravstvenog učinka u neizloženoj populaciji (I_{NE}) se izračunava kao :

$$I_{NE} = I - I_E = I \cdot (1 - A_P)$$

Uz ukupan broj pripisani slučajeva, program izračunava i razdiobu broja slučajeva ovisno o razini izloženosti (koncentraciji onečišćenja).

Znajući iznos relativnog rizika za pojedinu razinu koncentracije te pretpostavljenu učestalost pojave zdravstvenog učinka u neizloženoj populaciji, moguće je izračunati dodatnu učestalost ($I_+(c)$) i dodatni broj slučajeva ($N_+(c)$) za svaku razinu izloženosti(c):

$$I_+(c) = (RR(c) - 1) \cdot p(c) \cdot I_{NE}$$

$$N_+(c) = I_+(c) \cdot N$$

Svi prethodni proračuni se baziraju na pretpostavci da je **RR** procijenjen bez utjecaja ometajućih faktora.

Ukoliko koristimo granice pouzdanosti za **RR** tada je moguće odrediti i granice pouzdanosti za procjenu pripadajuće proporcije **AP** i raspon broja dodatnih slučajeva **$N_+(c)$** u populaciji, pripisanih određenoj razini izloženosti.

Procjena izloženosti populacije preko izmjerene kakvoće zraka

Procjena izloženosti populacije iz podataka o kakvoći zraka:

- Samo jedna mjerna postaja
- Odabrane mjerne postaje u gradu
- Sve mjerne postaje

Izračunavaju se vremenski srednjaci koncentracija (dnevni ili godišnji). Ti se podaci koriste kao pokazatelj za izloženost cijele populacije:

jedna populacija – jedna srednja vrijednost za promatrano razdoblje.

Izračunava se razdioba izloženosti populacije ili profil izloženosti (kao broj osoba x jedinica vremena) za pojedino onečišćenje.

Za praćenje zdravstvenih učinaka na osnovu kratkoročnih podataka o razinama onečišćenja potrebne su sljedeći podaci:

Za TSP, BS, PM₁₀, PM_{2.5} i SO₂:

Broj dana u kojima je srdenja dnevna koncentracija ($\mu\text{g m}^{-3}$) padala u jedan od sljedećih intervala:

Intervali po $10 \mu\text{g m}^{-3}$

<10, 10 - 19, 20 - 29, 30 - 39, 40 - 49, 50 - 59, 60 - 69, 70 - 79, 80 - 89, 90 - 99, 100 -109, 110 - 119, 120 - 129, 130 - 139, 140 - 149, 150 - 159, 160 -169, 170 - 179, 180 -189, 190 -199, 200 - 249, 250 - 299, 300 - 349, 350 - 399, <400;

Statistički parametri:

Godišnja i sezonska srednja vrijednost dnevnih prosjeka;

Godišnji 98. Percentil dnevnih prosjeka;

Godišnji i sezonski maksimum dnevnih prosjeka

Za kvantifikaciju zdravstvenih učinaka korisnik može koristiti dvije mogućnosti:

1. Koristiti ponuđene (SZO) vrijednosti za **osnovnu učestalost pojavljivanja promatranog zdravstvenog učinka i *RR* (95% CI)**. U tom su slučaju razine neodređenosti rangirane u kategorije na osnovi provedenih epidemioloških istraživanja popisanih u prilogu programa.
2. Zamijeniti ponuđene vrijednosti (SZO) s vrijednostima **osnovne učestalosti pojavljivanja promatranog zdravstvenog učinka i *RR*** baziranim na vlastitim epidemiološkim studijama . U tom slučaju program automatski za razinu neodređenosti upisuje “**nepoznato**”.

Potrebno je odabrati vrijednost **praga izloženosti**. Program računa utjecaj izloženosti samo za koncentracije više od odabranog praga.

Izračunavaju se sljedeći parametri:

- Postotak osoba-dana (% Person*Days)
- Kumulativni postotak osoba-dana (Cum %)
- Iznos RR (za ½ zadanog intervala koncentracija)
- Broj dodatnih ishoda (# Cases)
- Postotak dodatnih ishoda (% Cases)
- Kumulativni postotak dodatnih ishoda (Cum.%)
- Kumulativni postotak dodatnih ishoda na 100.000 stanovnika (Cum # per 100.00)

Rezultati se prikazuju tablično i grafički.

Validacija mjernih postaja

Za određivanje 1-satnog prosjeka iz rezultata dobivenih iz manjih razdoblja obuhvat podataka mora biti $\geq 75\%$

Za određivanje 8-satnog pomičnog prosjeka iz satnih vrijednosti potrebno je barem 18 sati valjanih rezultata $\geq 75\%$)

Za određivanje 24-satnog prosjeka iz rezultata dobivenih iz manjih razdoblja obuhvat podataka mora biti $\geq 50\%$

Za određivanje sezonskog ili godišnjeg prosjeka iz dnevnih prosjeka obuhvat podataka mora biti $\geq 50\%$

Uvjeti korištenja (SZO) Air Quality Health Impact Assessment Tool

Vremenska pokrivenost rezultata

Godina – *kalendarska godina* (1. siječanj – 31. prosinac).

Sezone:

zima – [siječanj, ..., ožujak] + [listopad, ..., prosinac]

Ljeto – [travanj, ..., rujanj]

Omjer između broja valjanih podataka po sezonama ne smije biti veći od 2 (odnosno manji od 0,5)

Šega, Krešimir; Bešlić, Ivan. HEALTH IMPACT ASSESSMENT OF BLACK SMOKE AND AIRBORNE PARTICULATES ON ZAGREB POPULATION // Air pollution and environmental health ; from science to action: the challenge of particulate matter / Haguenoer, J.M. ; Rambaud, J.M. (ur.), Lille : APPA, 2006. 160

Šega, Krešimir; Bešlić, Ivan. HEALTH IMPACTS ASSESSMENT OF BLACK SMOKE AND AIRBORNE PARTICULATES ON ZAGREB POPULATION. NEWSLETTER WHO collaborating centre for air quality management and air pollution control. (2006) , 38; 2-6

Year	Number of cases in 100 000 /#			Attributable proportion /%		
			Total mortality			
2000	32,2	23,8	40,5	3,18	2,35	3,99
2001	31,7	23,5	39,9	3,14	2,32	3,95
2002	31,6	23,4	39,7	3,12	2,31	3,92
2003	34,7	25,7	43,6	3,43	2,54	4,30
2004	26,5	19,6	33,3	2,98	2,21	3,75
2005/1	36,4	27,0	45,7	3,60	2,66	4,51
2005/5	41,9	31,0	52,5	4,13	3,06	5,18

Table 5 Health impact of PM2.5 particle size fraction during the period 2000 – 2004, number of additional cases (population size 100 000) and attributable proportions together with their 95% uncertainty limits

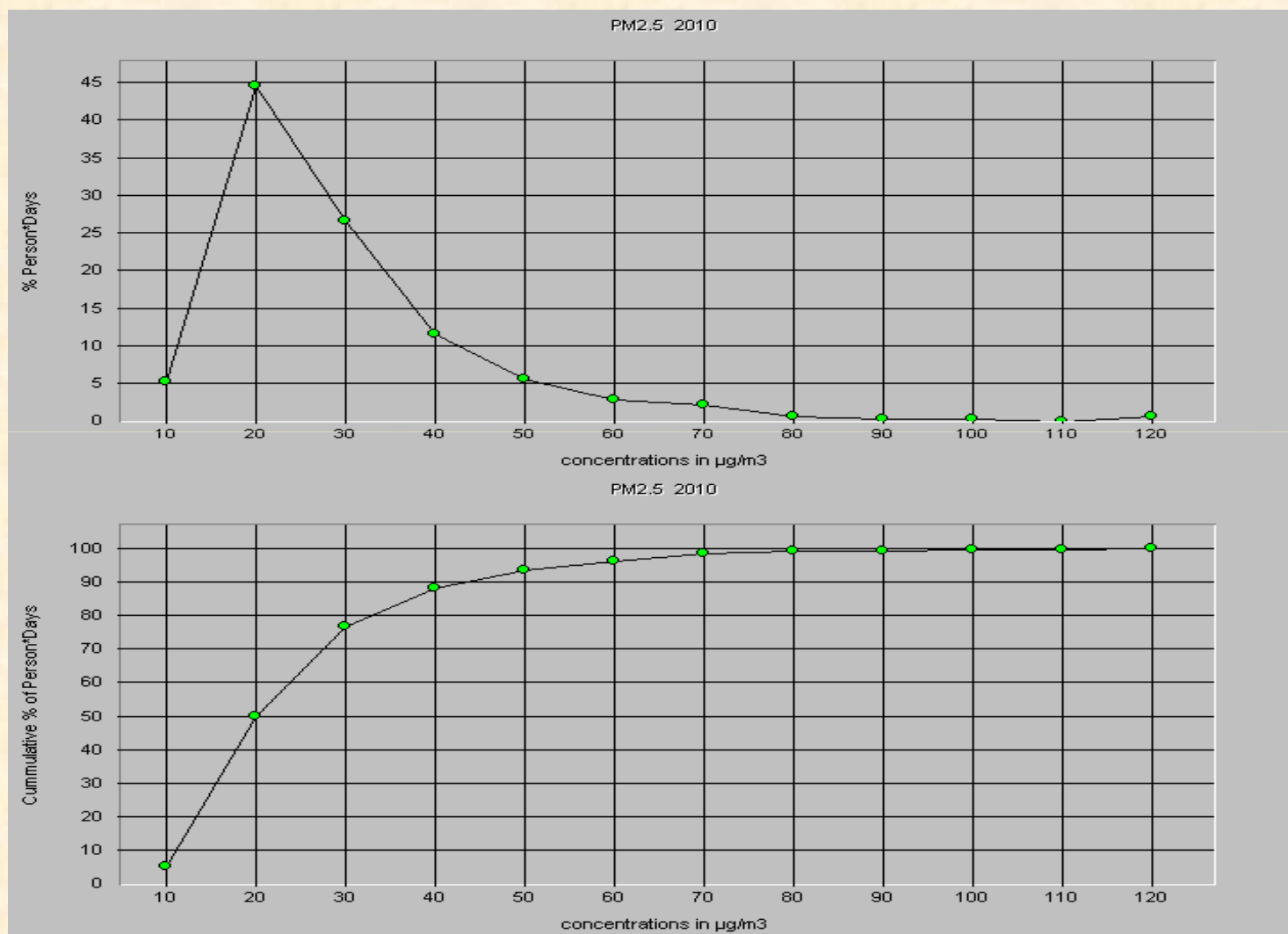
Proračun je rađen za razdoblje 2006. – 2010.

Korišteni su setovi srednjih dnevnih koncentracija izmjenjenih na mjernim postajama:

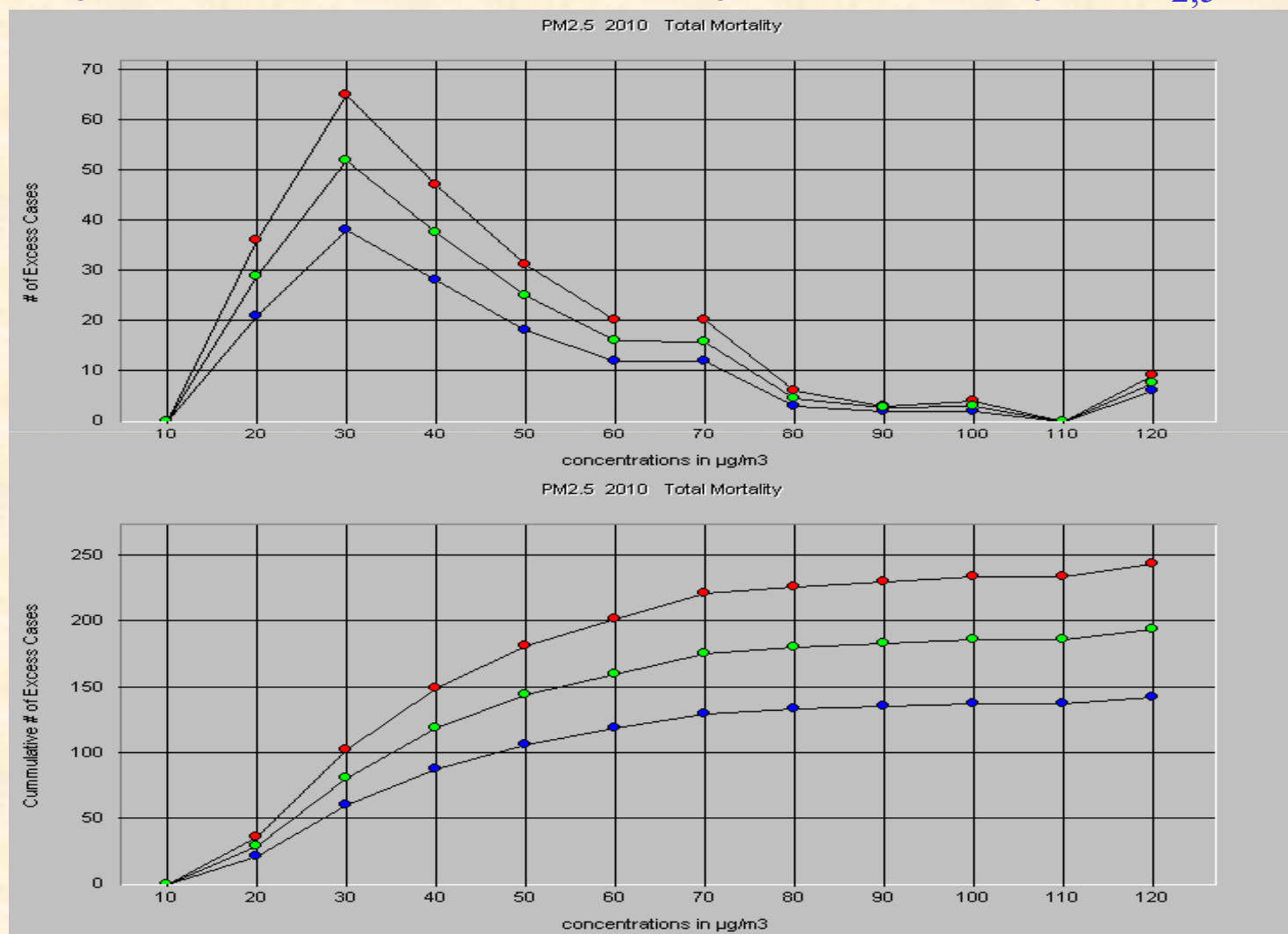
- Ksaverska cesta
- Đorđićeva ulica
- Dom zdravlja Siget

Na slikama su prikazani rezultati proračuna za 2010. godinu

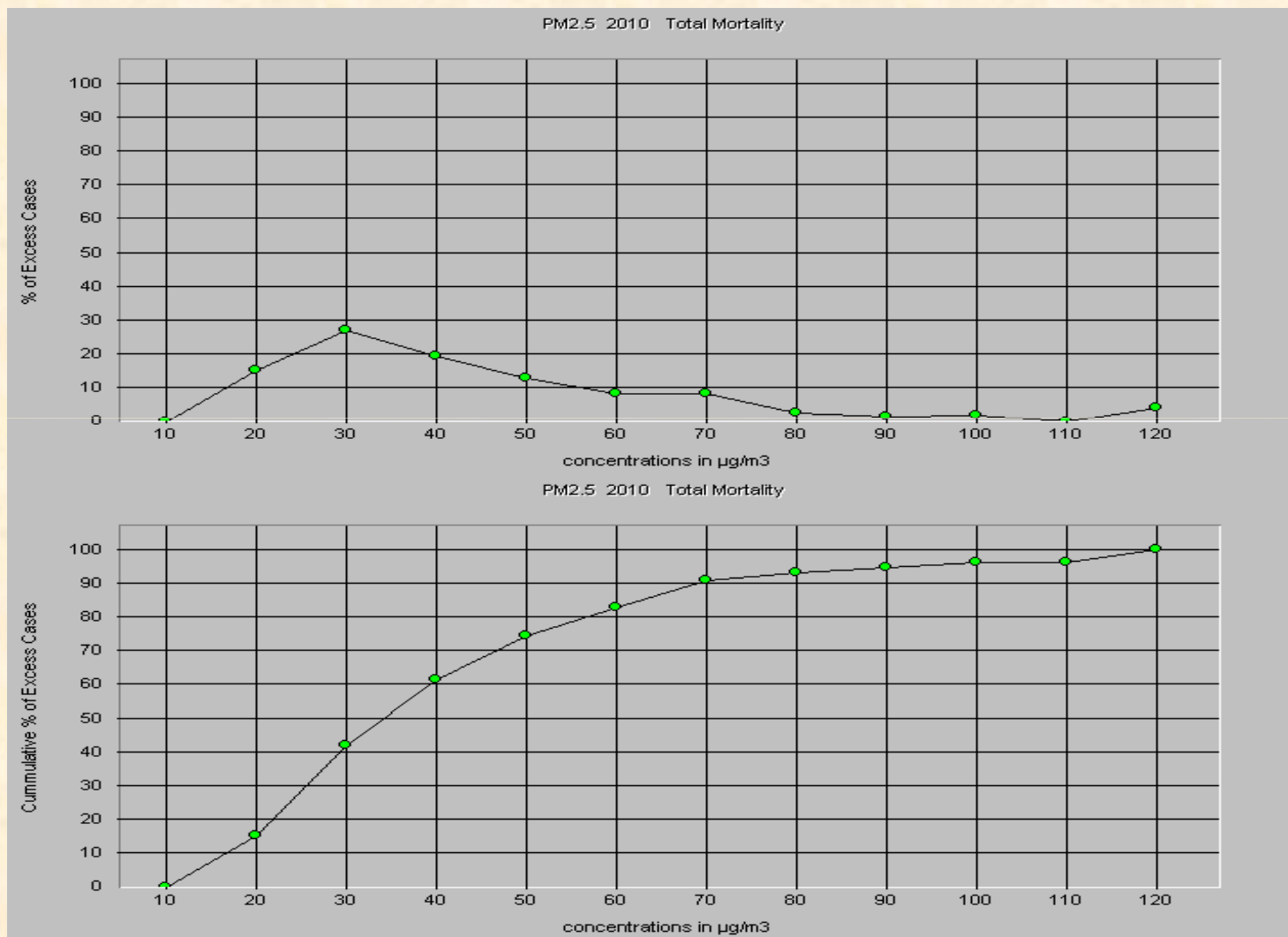
Postotak broja osoba-dan kao funkcija koncentracije PM_{2,5}



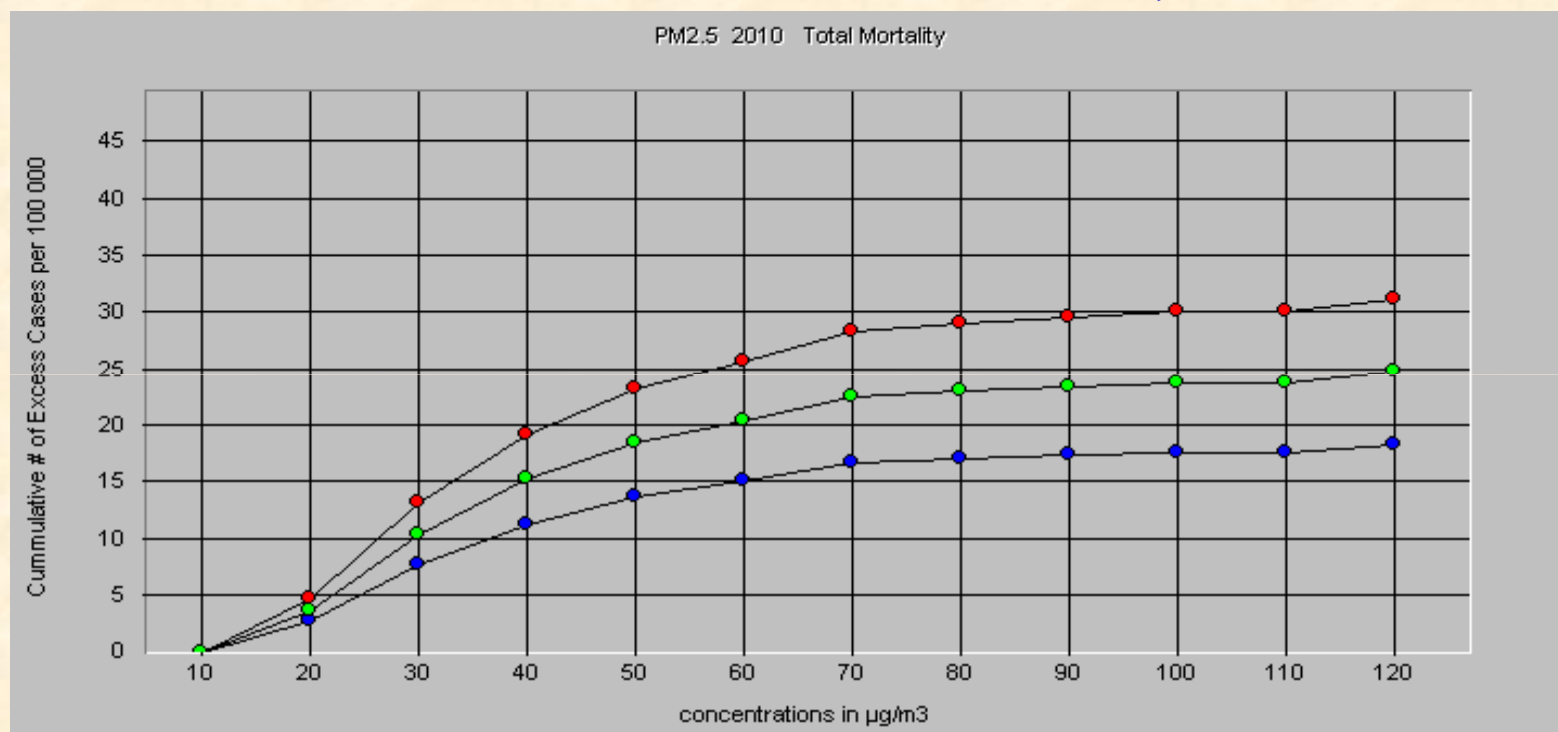
Broj dodatnih ishoda kao funkcija koncentracije PM_{2,5}



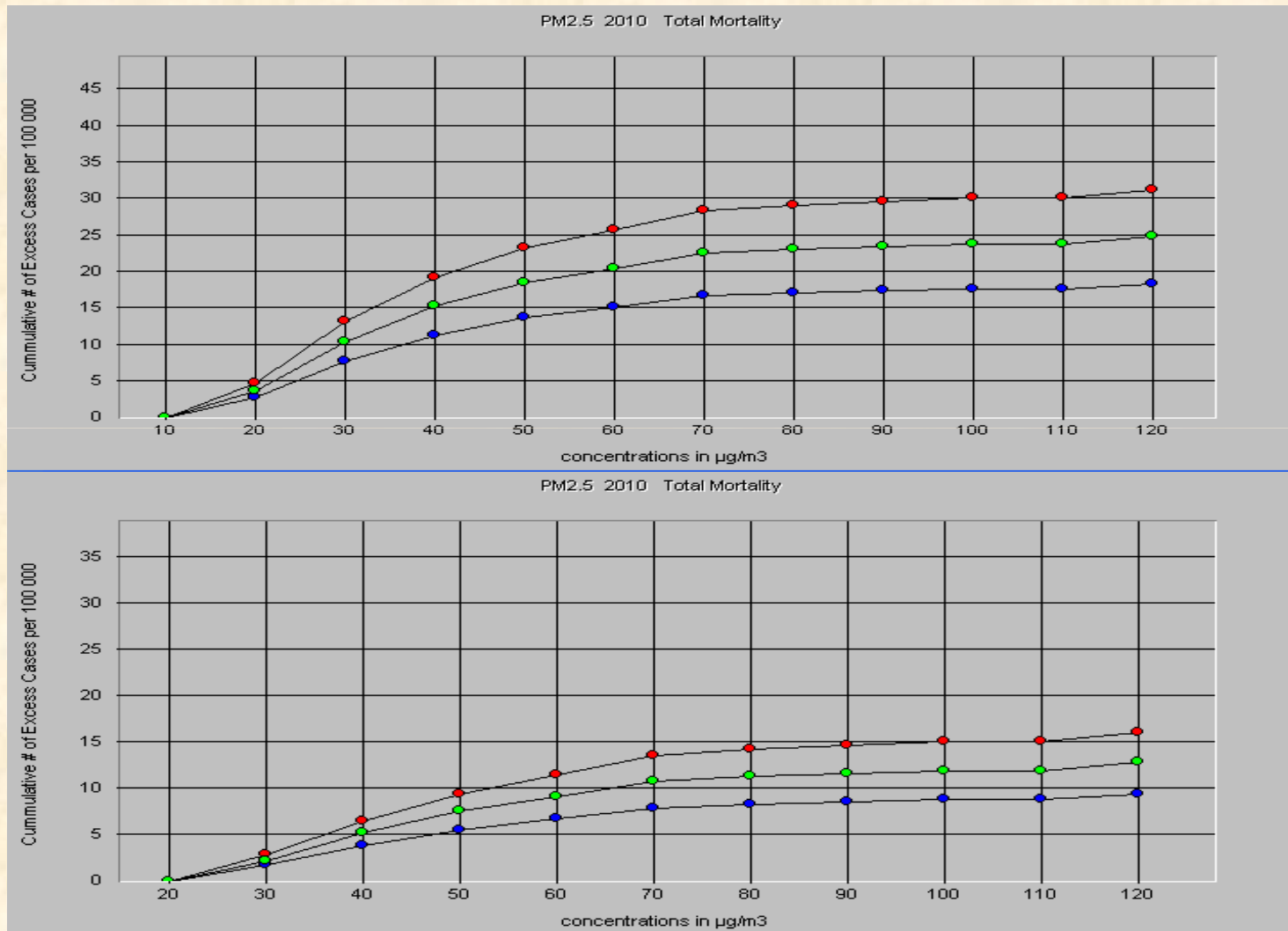
Postotak broja dodatnih ishoda kao funkcija koncentracije PM_{2,5}



Kumulativni postotak broja dodatnih ishoda kao funkcija koncentracije PM_{2,5}



Kumulativni postotak broja dodatnih ishoda na 100.000 stanovnika za dvije različite razine praga izloženosti ($10 \mu\text{g m}^{-3}$ i $20 \mu\text{g m}^{-3}$) kao funkcija koncentracije $\text{PM}_{2,5}$



Pripadajuća proporcija, kumulativni postotak broja dodatnih ishoda i kumulativni postotak broja dodatnih ishoda na 100.000 stanovnika za dvije različite razine praga izloženosti ($10 \mu\text{g m}^{-3}$ i $20 \mu\text{g m}^{-3}$) kao funkcija koncentracije $\text{PM}_{2,5}$

Prag [$\mu\text{g m}^{-3}$] Godina	AP [%]		(Cum #)		(Cum # /100.000)	
	10	20	10	20	10	20
2006.	2,9	1,9	257	159	32,9	20,4
2007.	2,2	1,3	192	103	24,6	13,2
2008.	3,2	2,3	286	187	36,6	23,9
2009.	2,7	1,6	239	135	30,6	17,3
2010.	2,2	1,2	193	100	24,8	12,8

LIFE TABLES MODULE

Life-tables

Enter LT data

(to get HELP on life-tables, select it from menu on life-table screen)

Modul “**tablica života**” (smrtnost se za svaku pojedinu dob prikazuje odvojeno. Korisna jer prikazuje dobru procjenu očekivanog trajanja života.) izračunava učestalost zdravstvenih učinaka na osnovu dugotrajnih promjena izloženosti onečišćenju zraka.

Temeljna pretpostavka postupka je **primjena procjene relativnog rizika i funkcije izloženost - odziv** dobivene epidemiološkim studijama u ciljanoj populaciji.

Promatrane dobne strukture stanovništva i podaci dobno-specifične smrtnosti koriste se za izračunavanje broja preživjelih i broj smrtnih slučajeva u svakoj starosnoj kategoriji tijekom narednih godina.

Razlika između funkcija preživljavanja populacije u opasnosti zbog povećanog onečišćenja i bez opasnosti omogućava izračun različitih parametara od utjecaja.

Prikazuju se sljedeći parametri:

- Smanjevanje očekivanog trajanja života za pojedinu dobnu skupinu
- Potencijalni gubitak očekivanog trajanja života s obzirom na smrti u prvoj godini
- Potencijalno izgubljene godine života kroz izučavano razdoblje

Iz tablica života mogu se po završenom proračunu uzeti različiti drugi parametri potrebni za daljnja istraživanja.

Program izračunava promjene funkcije preživljavanja uzrokovane utjecajem onečišćenja zraka s obzirom na:

- ukupnu smrtnost
- kardiovaskularnu smrtnost
- rak pluća
- kombinaciju kardiovaskularne smrtnosti i raka pluća

U proračun je moguće je uključiti predviđene promjene u vremenu:

- promjene nataliteta
- ponderiranje preživljavanja za pojedine dobne skupine
- ponderiranje preživljavanja u vremenu

Onečišćenja zraka za koja pri proračunu koristimo **dugoročne pokazatelje koncentracija** su:

- PM.2.5
- PM10
- BS
- TSP

Pri proračunu se koriste koeficijenti rizika dobiveni:

- vlastitim istraživanjima
- Vrijednosti koeficijenata predložene od SZO*

* Koeficijenti rizika za PM2.5 od “American Cancer Society cohort study”

Obavezno se popunjavaju sljedeća polja na **Infos** predlošku:

- izbor vrste onečišćenja zraka
- srednja godišnja vrijednost koncentracije u $\mu\text{g m}^{-3}$
- početna godina proračuna

Preostala polja na predlošku služe u svrhu **informiranja** i **dokumentiranja** za budućnost:

Država, aglomeracija, godina mjerenja onečišćenja, veličina izložene populacije, obuhvat podataka, statistički prikazi koncentracije onečišćenja (osim godišnjeg srednjaka), broj mjernih postaja

Ukoliko je profil izloženosti procijenjen iz podataka izmjerenih na više mjernih postaja, mogu se inijeti dodatni statistički parametri za postaju s najvišom i postaju s najnižom izmjerenom vrijednošću koncentracija, poput srednjih godišnjih, srednjih sezonskih koncentracija i vrijednosti 98. percentila

Vremenska pokrivenost rezultata

Godina – *kalendarska godina* (1. siječanj – 31. prosinac).

Sezone:

zima – [siječanj, ..., ožujak] + [listopad, ..., prosinac]

Ljeto – [travanj, ..., rujan]

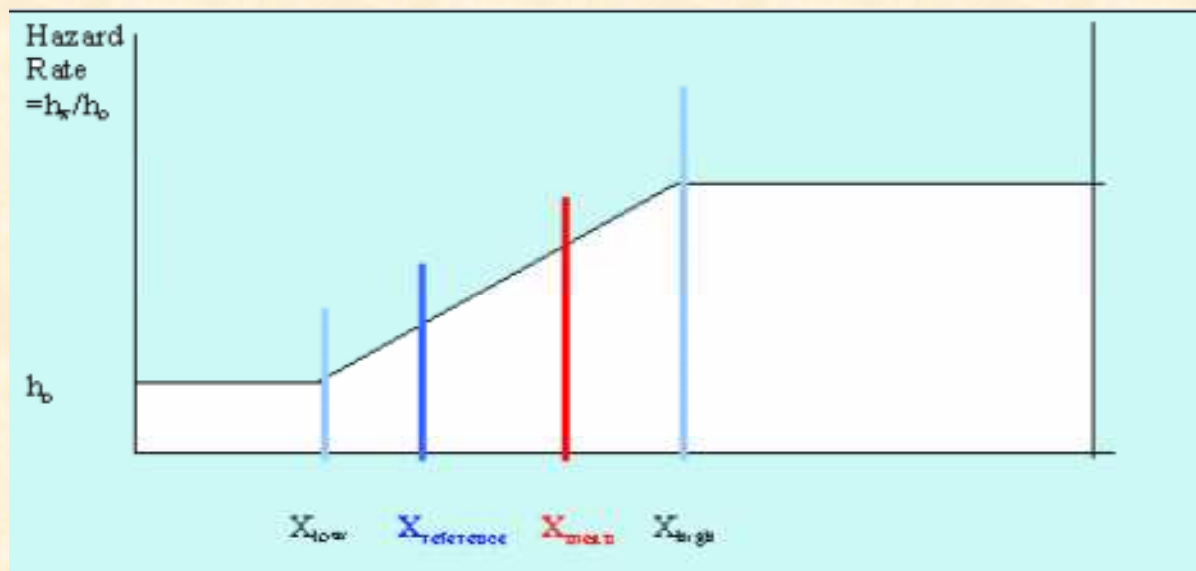
Unos podataka:

Podaci se unose u tri ***data entry sheets*** i to za: muškarce, žene i ukupnu populaciju

Podaci o veličini populacije i mortalitetu se unose za dobne skupine

Dobne skupine za sve tri grupacije moraju biti identične

[X_{low} -X_{high}] je raspon koncentracija unutar kojeg su vrijednosti **RR znanstveno utvrđene**. SZO predlaže sljedeće vrijednosti za PM_{2.5}:
X_{low} = 7.5 μg m⁻³ ; X_{high} = 80 μg m⁻³



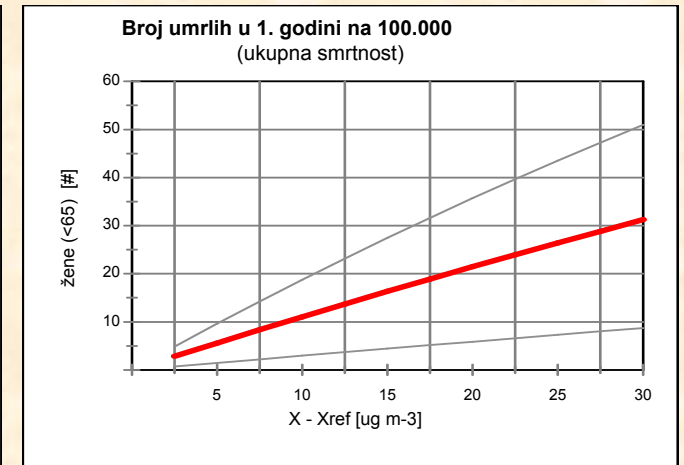
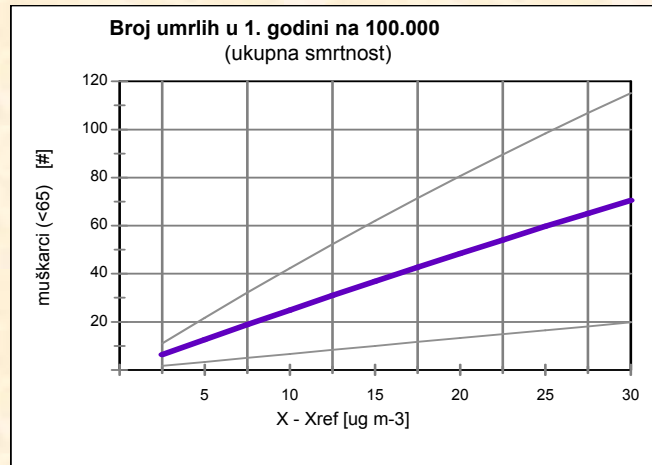
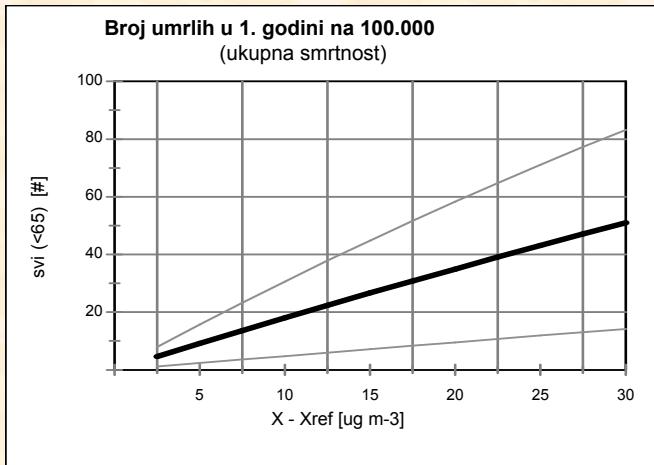
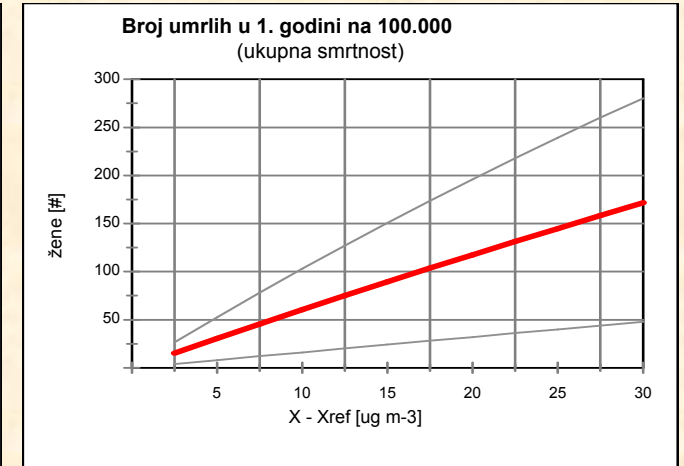
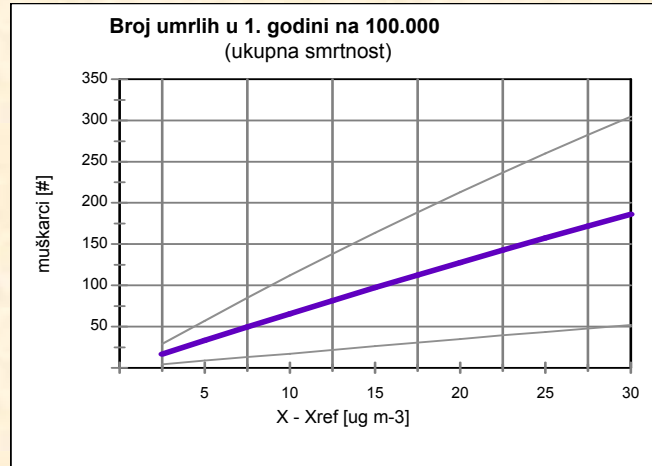
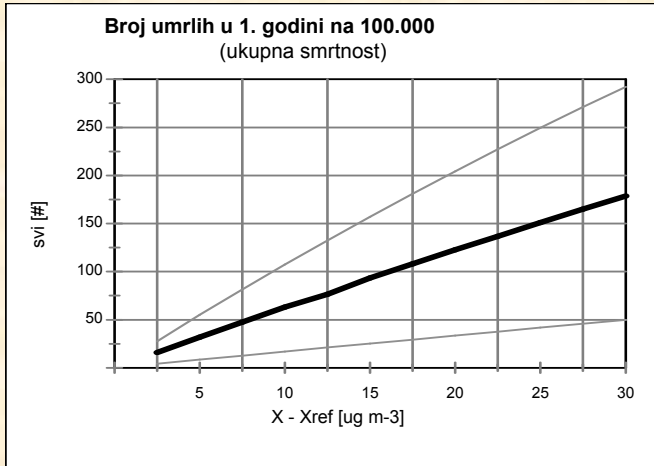
Program AirQ pretpostavlja izostanak zdravstvenih učinaka pri koncentracijama nižim od X_{low} te izjednačavanje učinaka (dosizanje plafona) pri koncentracijama iznad X_{high} .

Vrijednosti **RR** i **β** (SZO) su određene na osnovu epidemioloških istraživanja

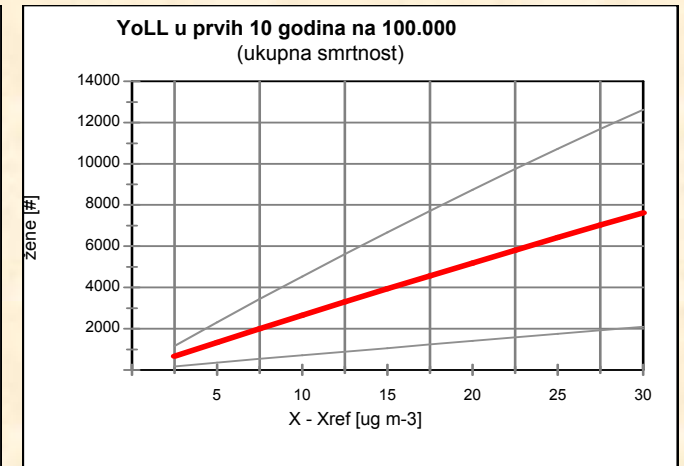
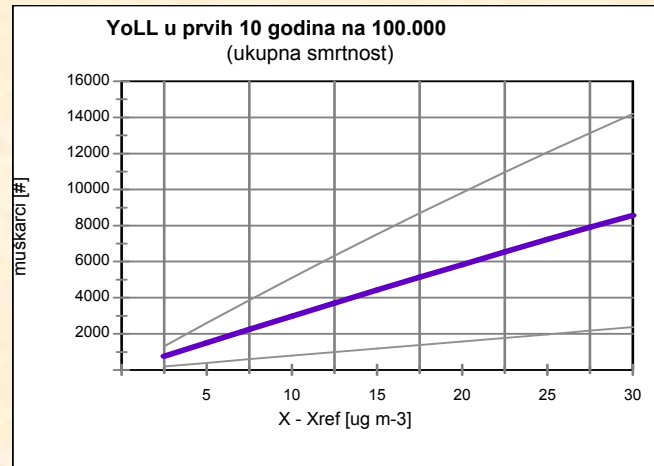
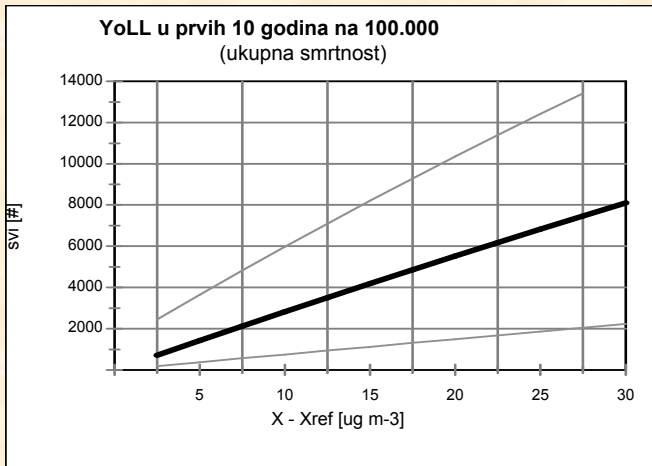
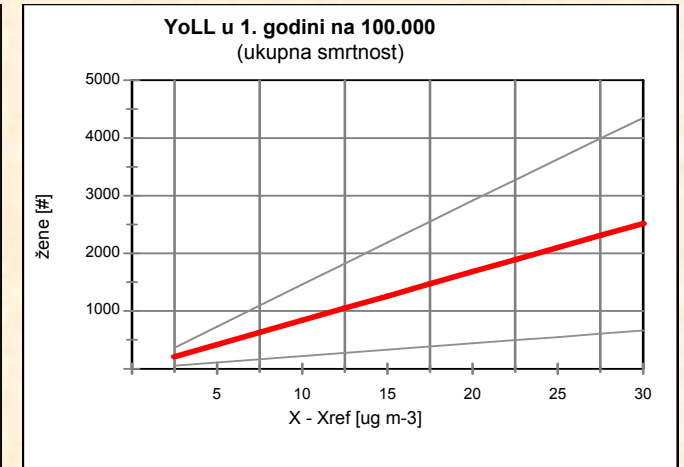
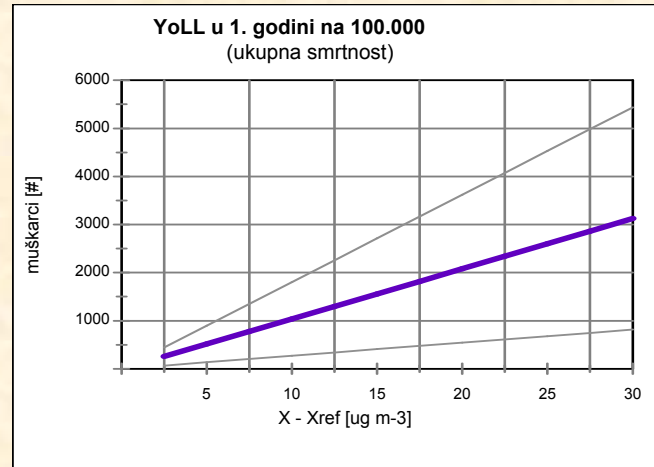
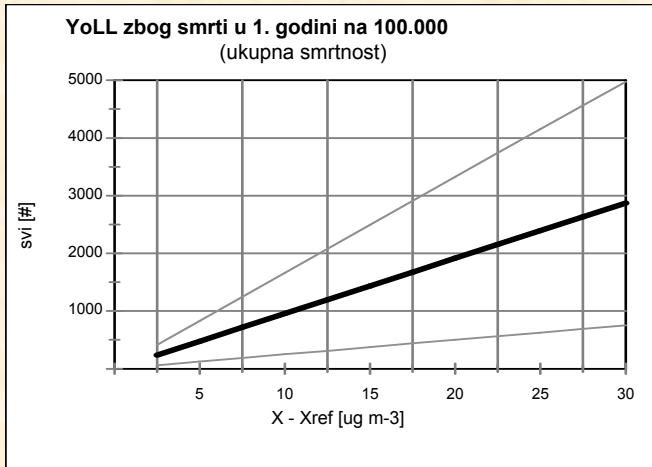
(Pope et all (2002))

- Koriste se za populacijske skupine dobi > 30 godina starosti (za populacijske skupine dobi < 30 godina RR =1)
- Vrijednosti RR i β vrijede za cjelokupnu populaciju, neovisno o spolu.

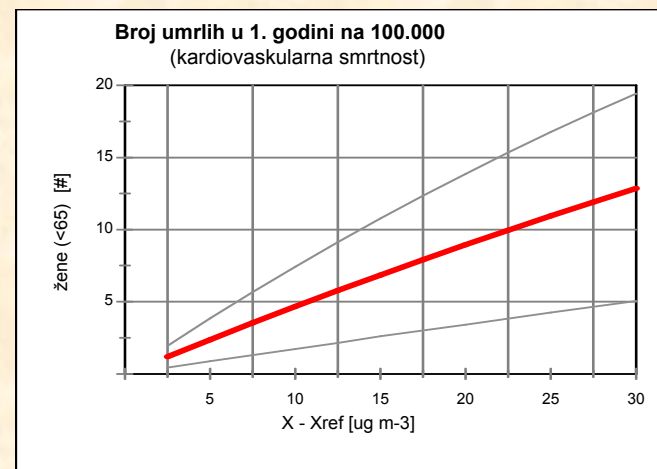
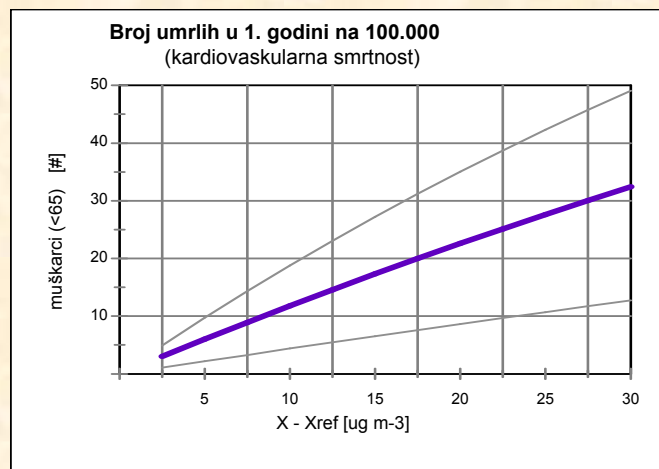
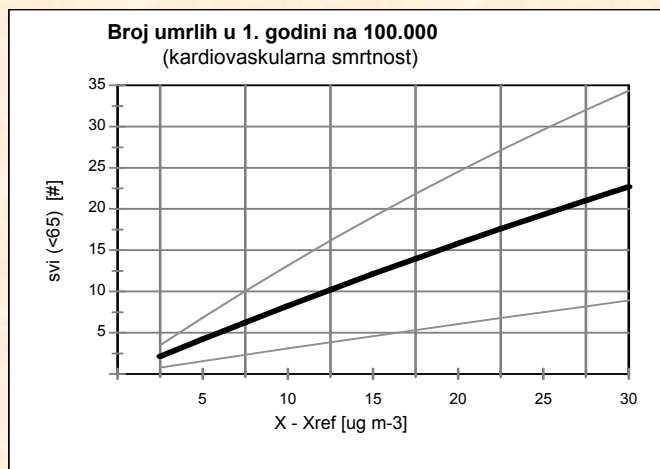
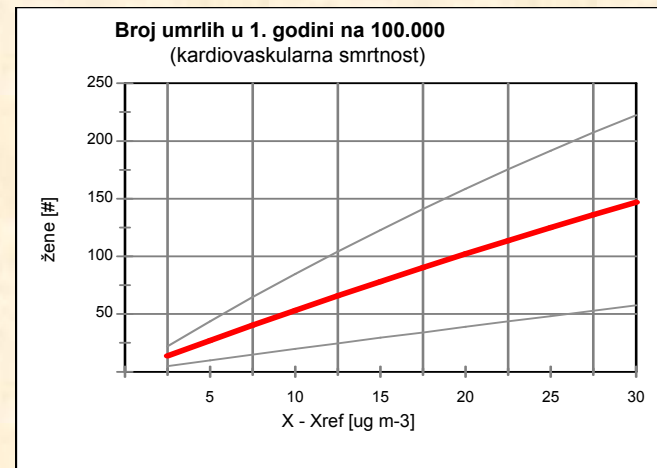
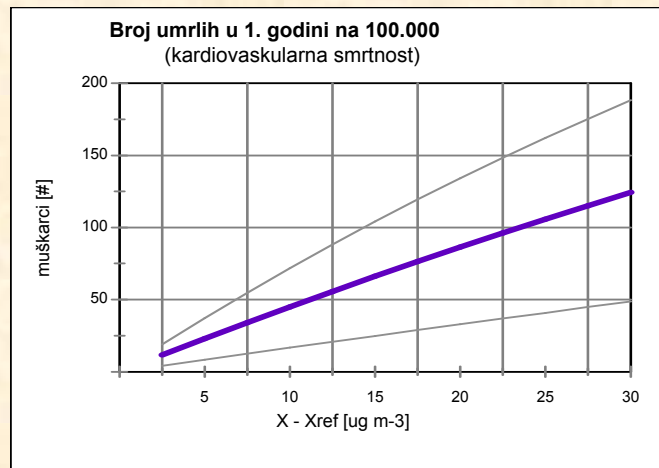
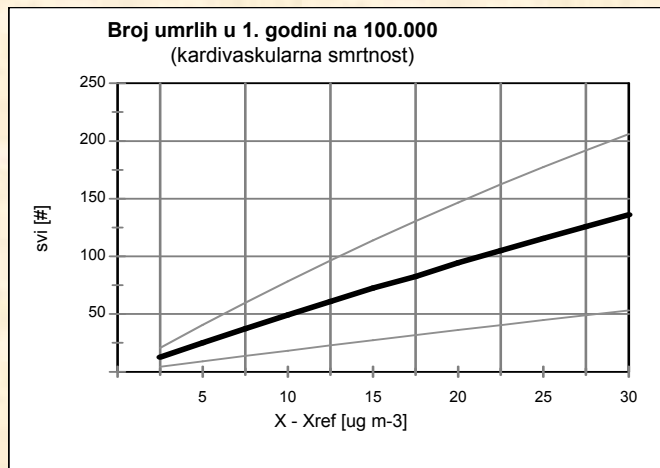
Svi uzroci - smrtnost



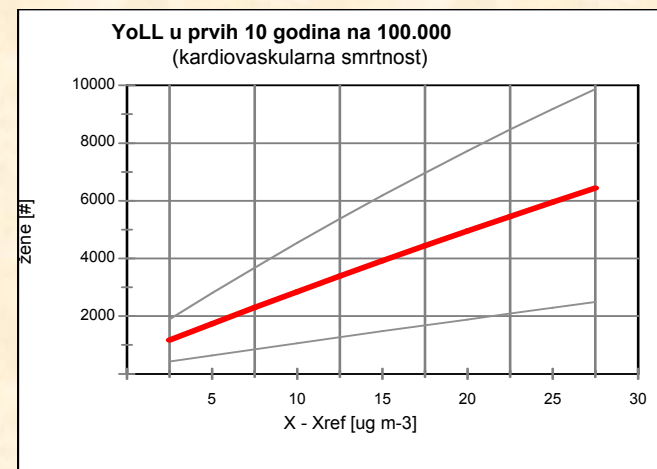
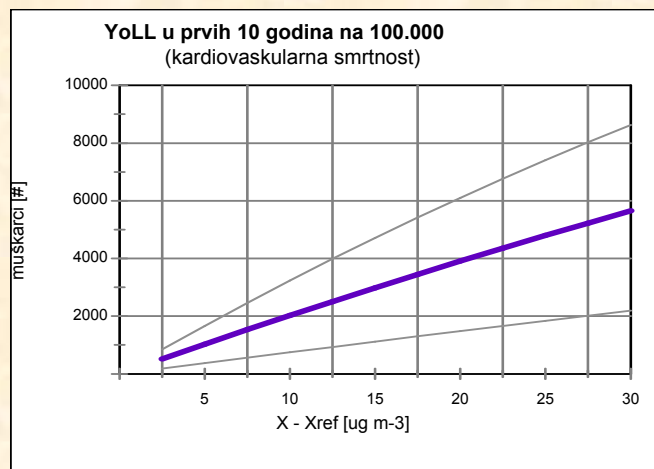
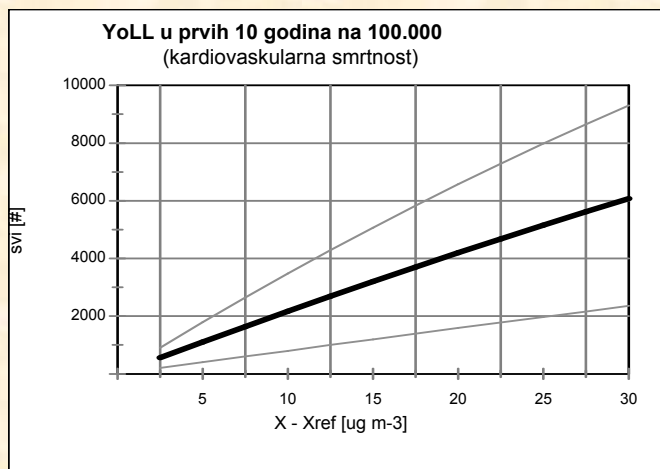
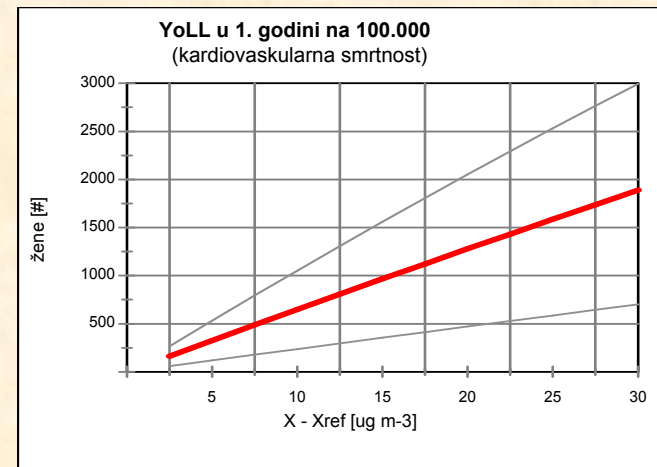
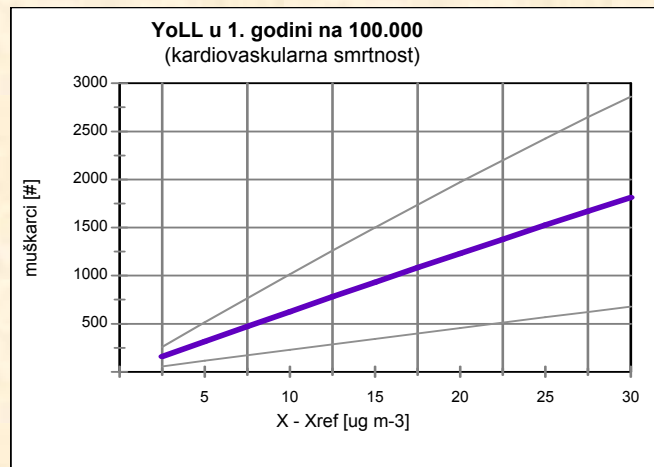
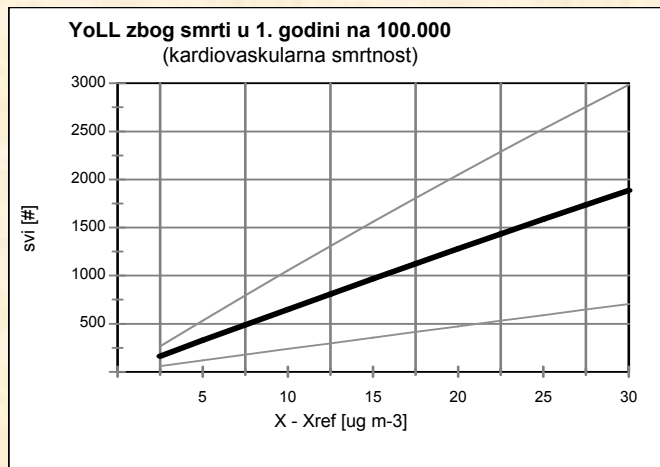
Svi uzroci - smrtnost



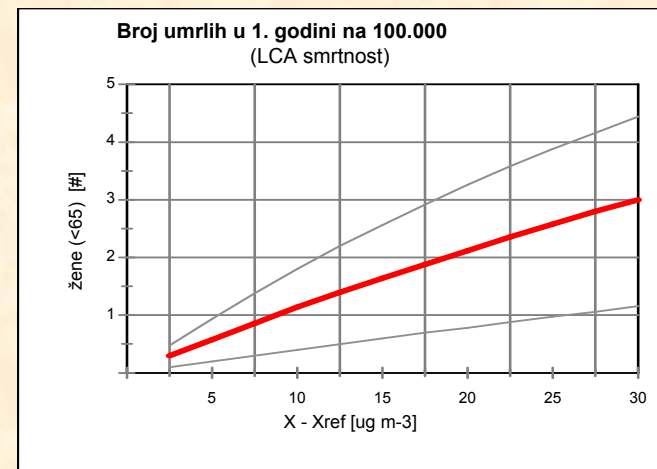
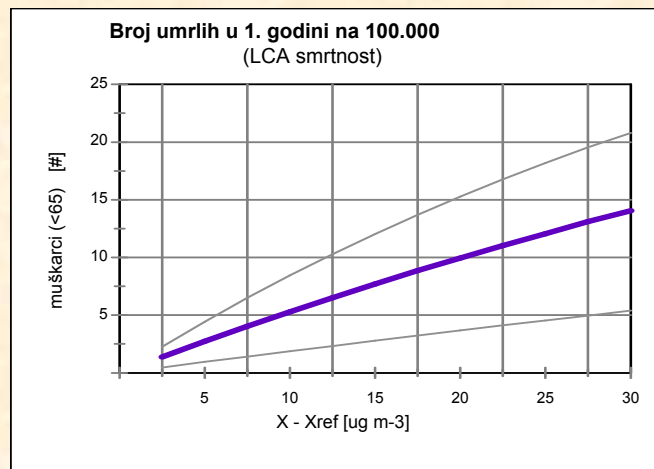
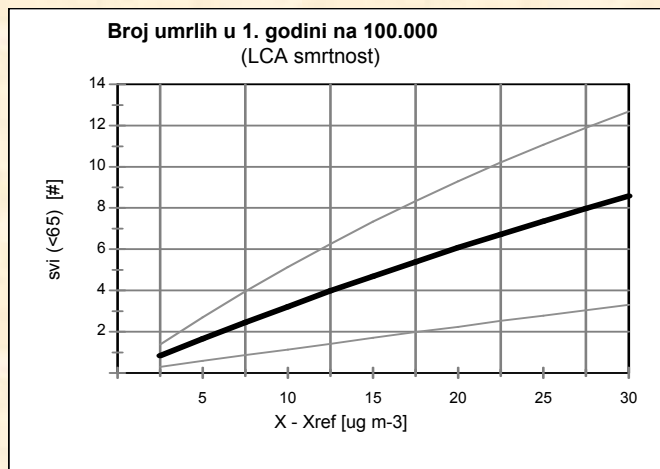
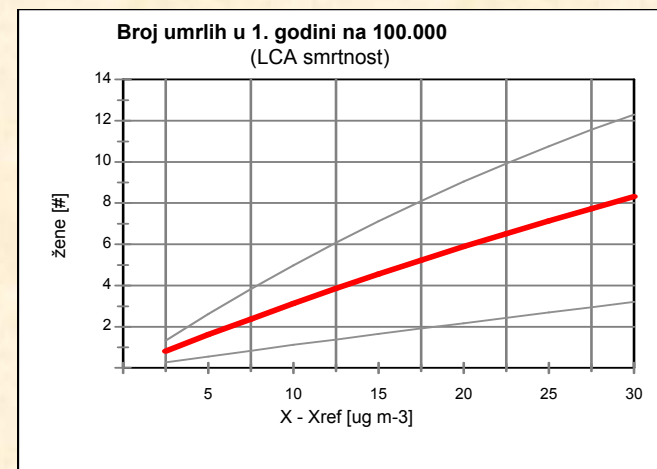
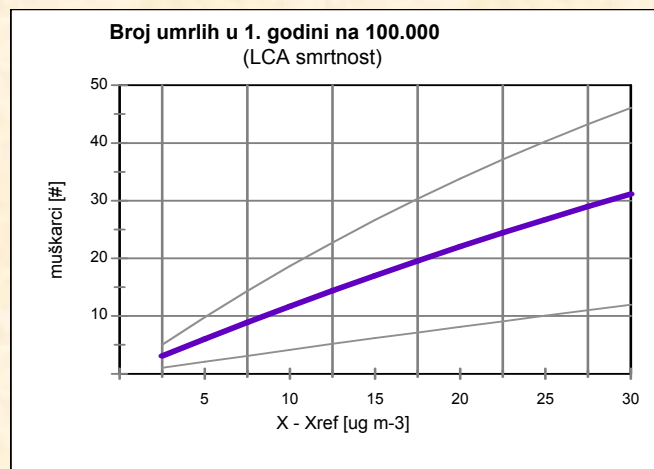
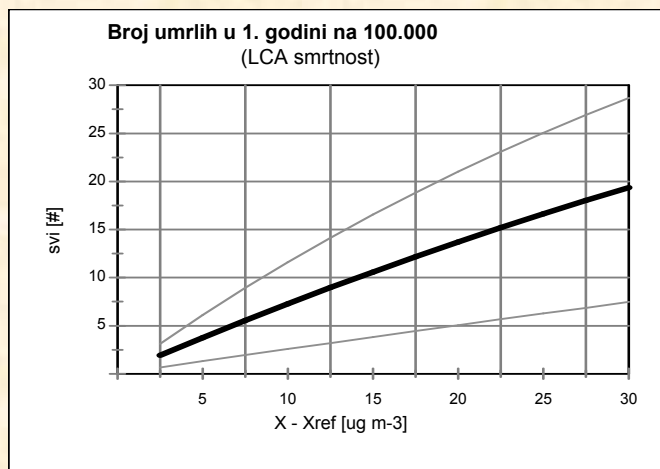
Kardiovaskularna smrtnost



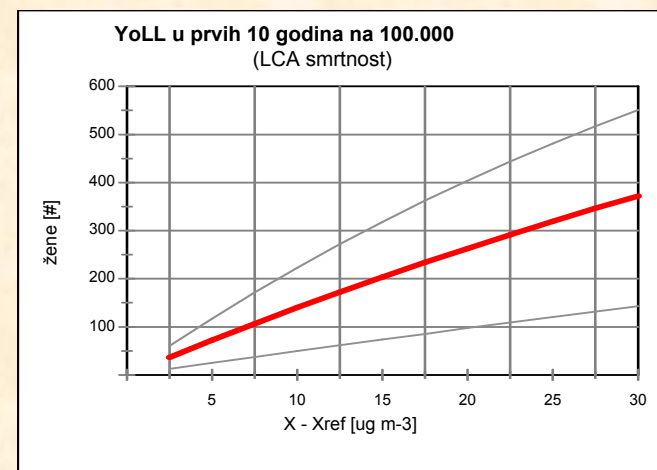
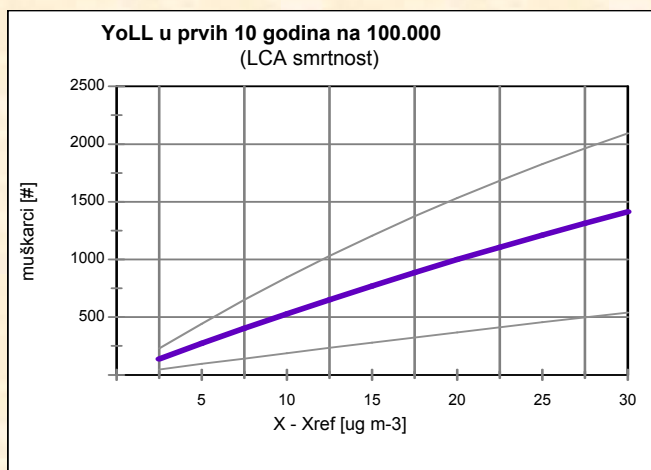
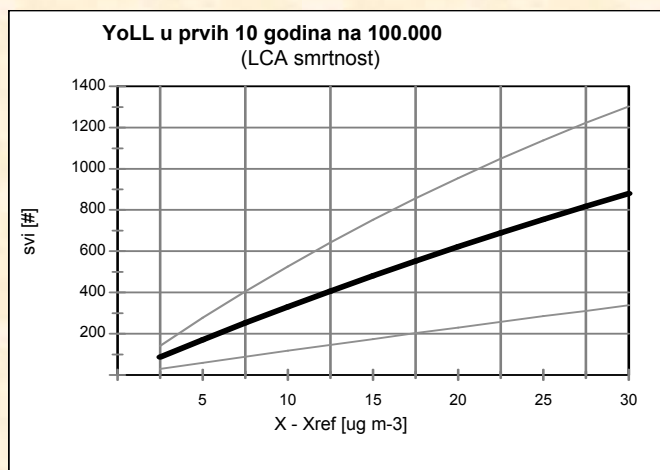
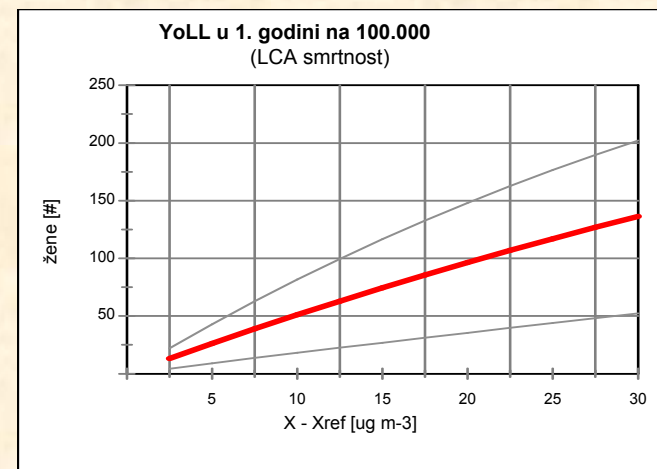
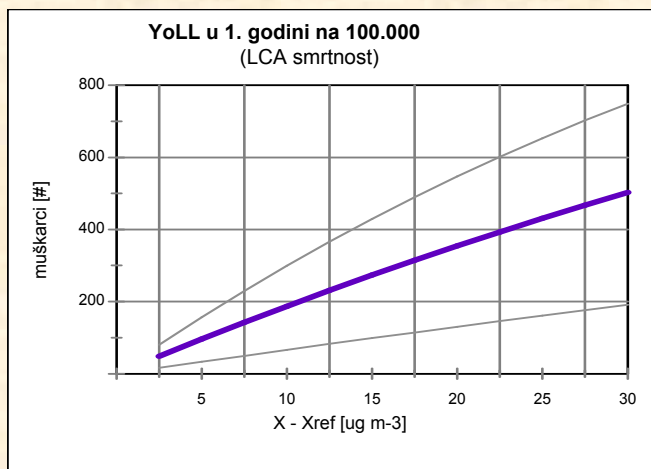
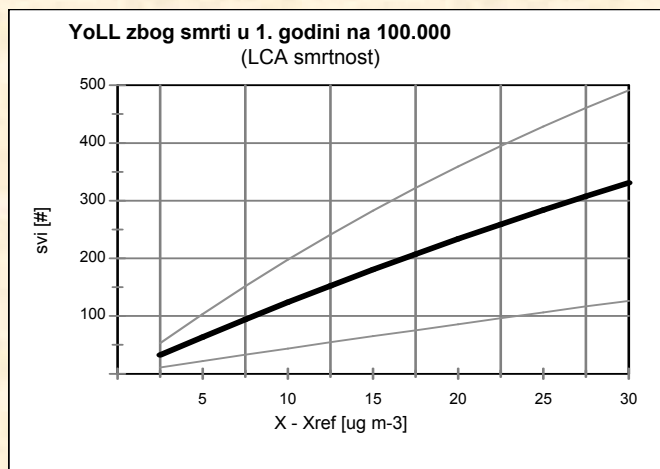
Kardiovaskularna smrtnost



Rak pluća - smrtnost



Rak pluća - smrtnost



EU Direktiva 50 iz 2008. godine, a time i naše zakonodavstvo postavlja dvije odvojene kategorije vrijednosti koncentracija:

Granične vrijednosti srednjih godišnjih koncentracija (sve lokacije):

25 $\mu\text{g m}^{-3}$ (2015.);

20 $\mu\text{g m}^{-3}$ (2020. - odluka 2013.);

Vrijednosti pokazatelja prosječne izloženosti (AEI - prosjek prethodne tri godine izmjerene na mjernim mjestima smještenim u gradskoj sredini bez značaje industrije, prometa i drugih onečišćivača – urban background):

- ciljna 25 $\mu\text{g m}^{-3}$ (2010.);

- obvezujuća 20 $\mu\text{g m}^{-3}$ (2015.);

**Srednje godišnje koncentracije PM_{2,5} frakcije lebdećih
čestica u Zagrebu [$\mu\text{g m}^{-3}$]**

Mjerno mjesto

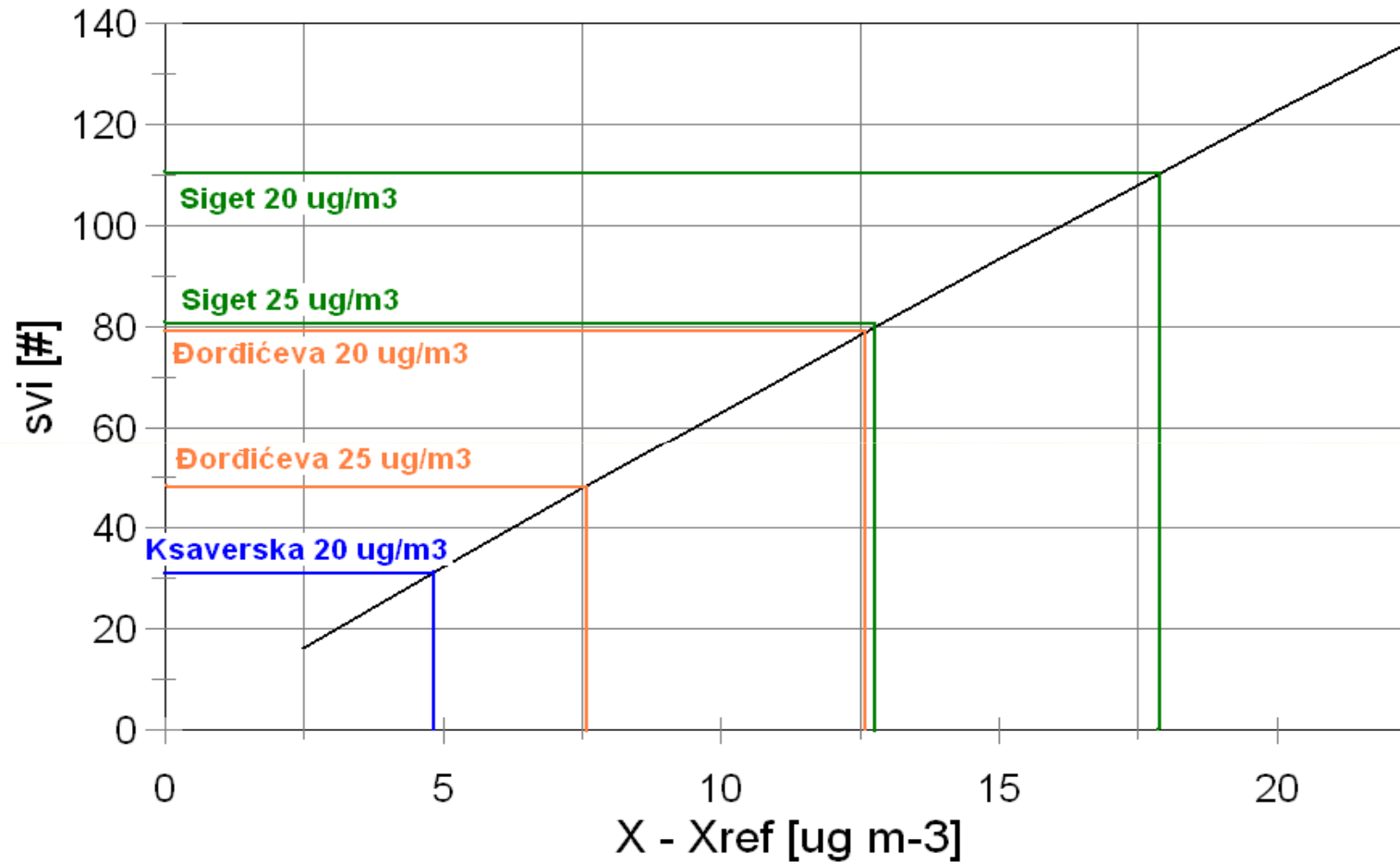
Godina	IMI	DOR	CRN	PES	SIG
1999.	30,4				
2000.	27,6				
2001.	27,4				
2002.	27,0				
2003.	30,1				
2004.	26,1				
2005.	29,4	40,1	36,8	38,4	44,4
2006.	27,1	43,4	42,7	43,2	43,1
2007.	21,1	26,1	23,8	26,2	29,9
2008.	23,8	40,8			41,4
2009.	25,4	29,8			31,4
2010.	25,0	27,3			40,7

**Pokazatelj prosječne izloženosti (AEI) PM_{2,5} frakciji lebdećih
čestica u Zagrebu [$\mu\text{g m}^{-3}$]**

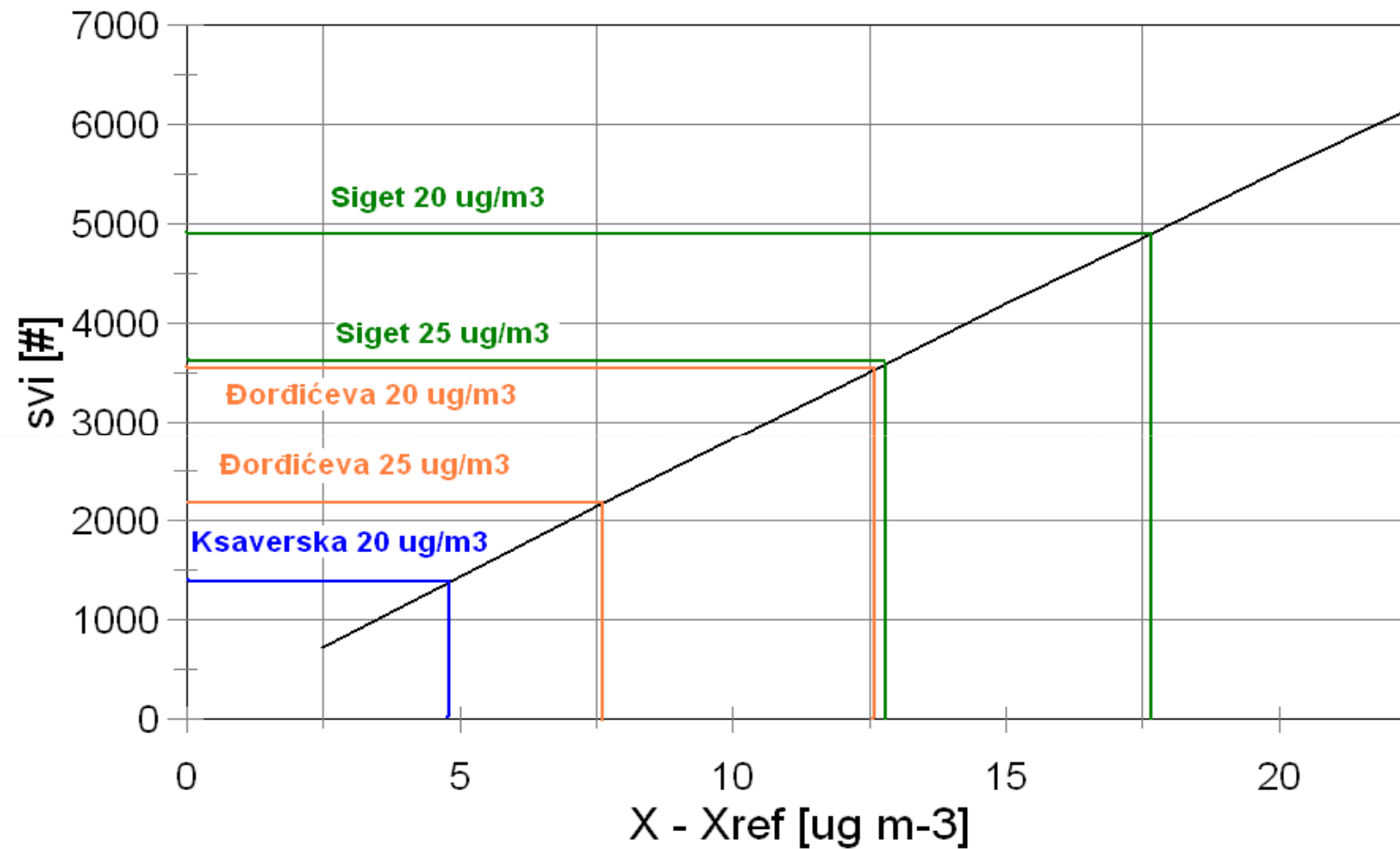
Mjerno mjesto

Godina	IMI	DOR	CRN	PES	SIG
2001.	28,5				
2002.	27,3				
2003.	28,2				
2004.	27,7				
2005.	28,6				
2006.	27,6				
2007.	25,9	36,5	34,4	35,9	39,1
2008.	24,0	36,8			38,1
2009.	23,4	32,2			34,2
2010.	24,7	32,6			37,8

Broj umrlih u 1. godini na 100.000 (ukupna smrtnost)



YoLL u prvih 10 godina na 100.000 (ukupna smrtnost)



Zaključci

Povezanost izloženosti lebdećim česticama i posljedičnih zdravstvenih učinaka veća je za frakciju PM_{2,5} u odnosu na druge frakcije (TSP, PM₁₀, BS).

Prema dosadašnjim saznanjima zadovoljavajući su proračuni zdravstvenih učinaka mogući samo za smrtnost (ukupna smrtnost, kardiovaskularna smrtnost, smrti uzrokovane rakom pluća)

Proračuni koriste godišnje razdiobe dnevnih srednjaka koncentracija (short-term exposure) ili samo godišnje srednjake u kombinaciji s tablicama života (long-term exposure)

U oba tipa proračuna potrebno je postaviti prag koncentracije, odnosno referentnu vrijednost. Dogovorno se pretpostavlja da ispod te razine koncentracije zdravstveni učinci ne postoje, odnosno da su ili beznačajni ili neminovni (sanacija nemoguća ili neisplativa).

- **Zdravstveno-znanstveni pristup: teži referentnoj vrijednosti koja predstavlja prag pojave učinaka (ukoliko prag postoji). Danas pretpostavljena vrijednost iznosi 7,5-8,5 $\mu\text{g m}^{-3}$ i realno je nedostižna u većem dijelu Europe.**

- **Zakonsko-upravni pristup: zadovoljava se referentnim vrijednostima propisanim zakonskim propisima: granične, tolerantne, ciljne i obvezujuće vrijednosti koncentracija.**

Rezultati proračuna pokazuju da bi dosizanje navedenih razina koncentracija predstavljalo poboljšanje zdravstvenog stanja populacije te posljedično bilo korisno i u socijalno-ekonomskom smislu.