



KAKOVOST ZRAKA V PROSTORU

izr. prof. dr. Simon Muhič, univ. dipl. inž.

7. posvet Sekcije za okolje in energijo

Gospodarska zbornica Dolenjske in Bele krajine

Dolenjske Toplice, 08. 10. 2015

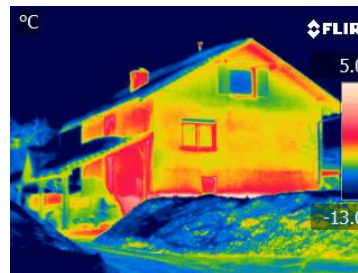
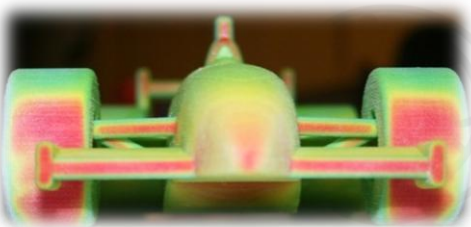
Vsebina



- ① Uvod
- ① Človek in toplotno ugodje
- ① Kakovost zraka
- ① Učinkovitost prezračevanja
- ① Učinkovita raba energije, obnovljivi viri energije in kakovost zraka
- ① Zaključek

Kratka predstavitev FTS

- ⊗ Akreditacija visoke šole: december 2005 (VITES)
- ⊗ Akreditacija programa 1. stopnje: december 2006
- ⊗ Akreditacija programa 2. stopnje: februar 2011
- ⊗ Koncesija za redni študij: december 2007
- ⊗ Preoblikovanje v fakulteto: december 2014 (FTS)



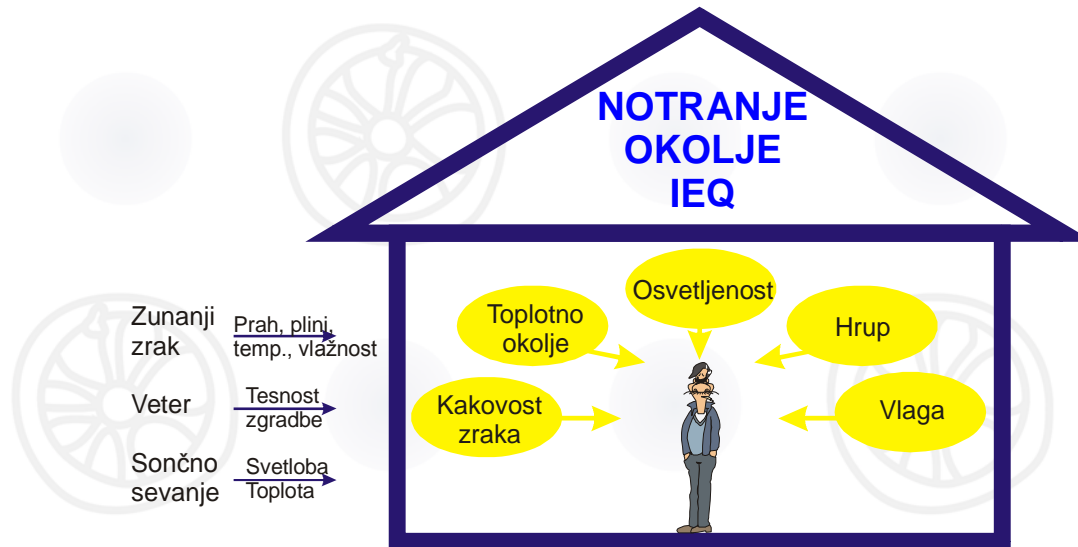
Človek in toplotno ugodje



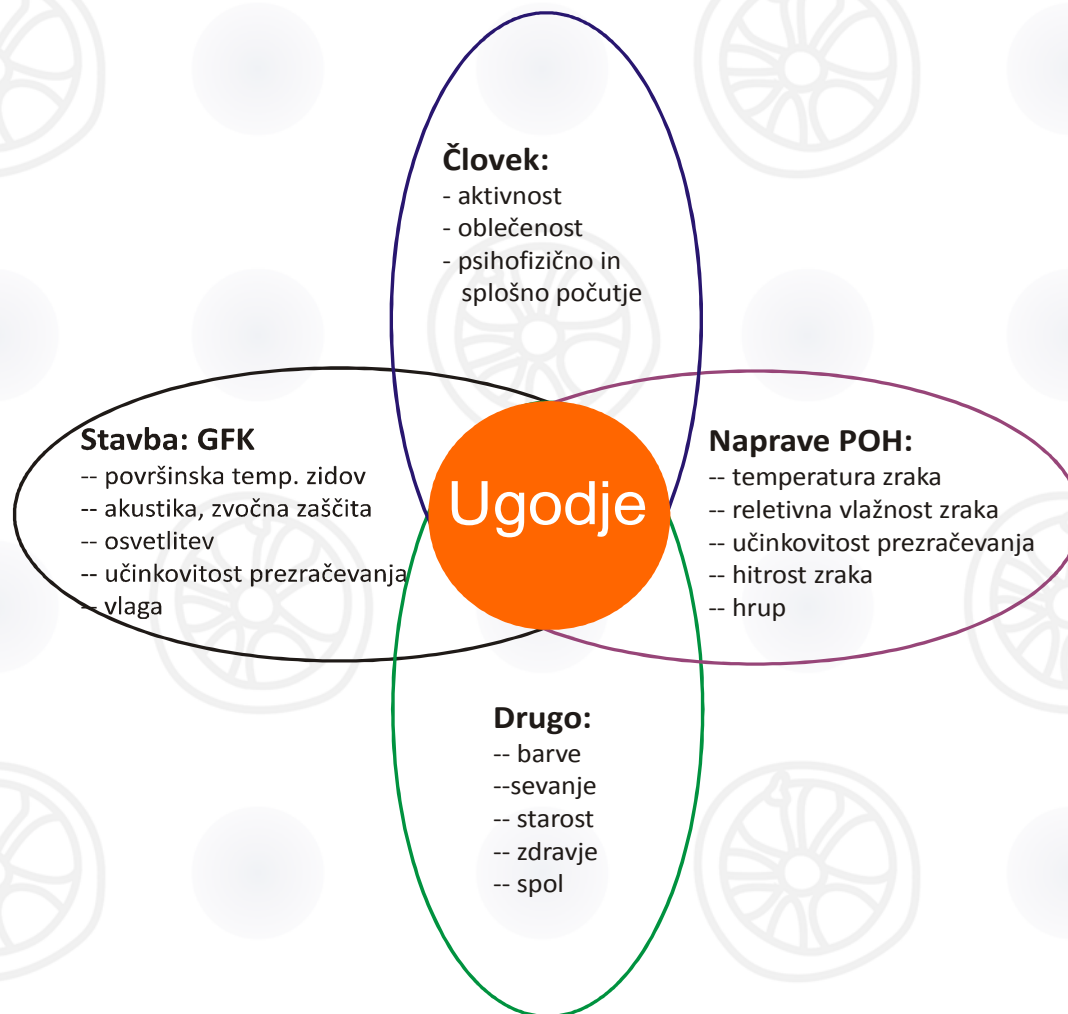
- ⊗ Osnovni namen ogrevalnih, prezračevalnih in klimatizirnih naprav je zagotoviti pogoje za toplotno ugodje človeka.
- ⊗ Kaj je toplotno ugodje? Toplotno ugodje je stanje, ki izraža zadovoljstvo človeka s toplotnim okoljem, kateremu je izpostavljen.
- ⊗ To je definicija s katero bi se najverjetneje strinjala velika večina ljudi, vendar je to hkrati tudi definicija, ki je ni moč enostavno prevesti v fizikalne parametre.

Toplotno ugodje

- Toplotno ugodje je namreč odvisno od mnogih parametrov (npr. kakovosti zraka, temperature okolja, oblečenosti, telesne konstitucije, zdravja, starosti, letnega časa, aktivnosti, osvetlitve, hrupa, prisotnosti vonjav v zraku, psihičnega stanja človeka itd.).



Dejavniki notranjega okolja in ugodja



Termoregulacija pri človeku



- ☉ Človeško telo ima lastnost, da pri različnih aktivnostih in pri različnih pogojih okolice vzdržuje približno konstantno telesno temperaturo.
- ☉ To se doseže s cirkulacijo krvi po telesu.
- ☉ Pri cirkulaciji se kri ohlaja in se ponovno ogreje v notranjih organih in tkivu človeka kot posledica postopnega zgorevanja beljakovin, maščob in ogljikovih hidratov, kar je omogočeno z vdihavanjem kisika.
- ☉ Za vzdrževanje konstantne temperature človeškega telesa je potrebna zelo natančna samoregulacija le-te, za katero skrbi center za toploto v možganih.
- ☉ Zaznavala za regulacijo temperature človeka so končiči živcev v koži, ki vplivajo na nastajanje toplote v notranjosti človeka (kemijska regulacija temperature) in delno na toploto, ki jo človek odda (fizikalna regulacija temperature).

Kakovost zraka



- ⊗ Raziskave kažejo, da velik del človeške populacije preživi v zaprtih prostorih večino svojega časa.
- ⊗ Zrak je zmes plinov. Čist, suh zrak blizu nivoja morja je sestavljen iz približno 21% kisika, 78% dušika, 1% argona in 0,03% ogljikovega dioksida (volumski odstotki).
- ⊗ Zrak vsebuje tudi delce vodika, neona, helija, ozona, kriptona in ksenona v odvisnosti od variabilne količine vodne pare in submikronsko majhnih delcev.

Kakovost zraka, nadaljevanje

- ⊗ Različne raziskave so pokazale, da je zrak v stavbah lahko do 20 krat bolj onesnažen, kot je zunanji zrak.
- ⊗ Na kakovost zraka v prostoru vplivajo številne snovi.
- ⊗ V zraku v stavbah je mogoče najti preko 900 različnih škodljivih snovi.
- ⊗ Nekatere najpomembnejše snovi, s katerimi se srečujemo pri reševanju problemov kakovosti zraka v prostoru, so:
 - ⊗ ogljikov dioksid, ogljikov monoksid, dušikovi oksidi, formaldehid, lebdeči trdni delci, cigaretni dim, hlapne organske spojine, radon ...
- ⊗ **ZRAK V STAVBAH JE VEDNO POVEZAN Z ZRAKOM IZ OKOLJA**

Sindrom bolne stavbe



- ⊗ Energetska kriza v začetku sedemdesetih let je botrovala k miselnosti, da je potrebno z energijo varčevati za vsako ceno.
- ⊗ Zmanjšale so se količine dovedenega svežega zraka, kar je zmanjšalo kakovost zraka v stavbah.
- ⊗ V nasprotju z zmanjševanjem količin svežega zraka v stavbah, se je pojavilo čedalje več izvorov onesnaženja zraka.
- ⊗ Pojem "sindrom bolne stavbe" (*sick building syndrome*) je sinonim za bivanjske pogoje pri katerih vsaj 20% ljudi, ki živijo ali delajo v takšni stavbi, poroča o bolezenskih znakih, ki so povezani z bivanjem v stavbi.

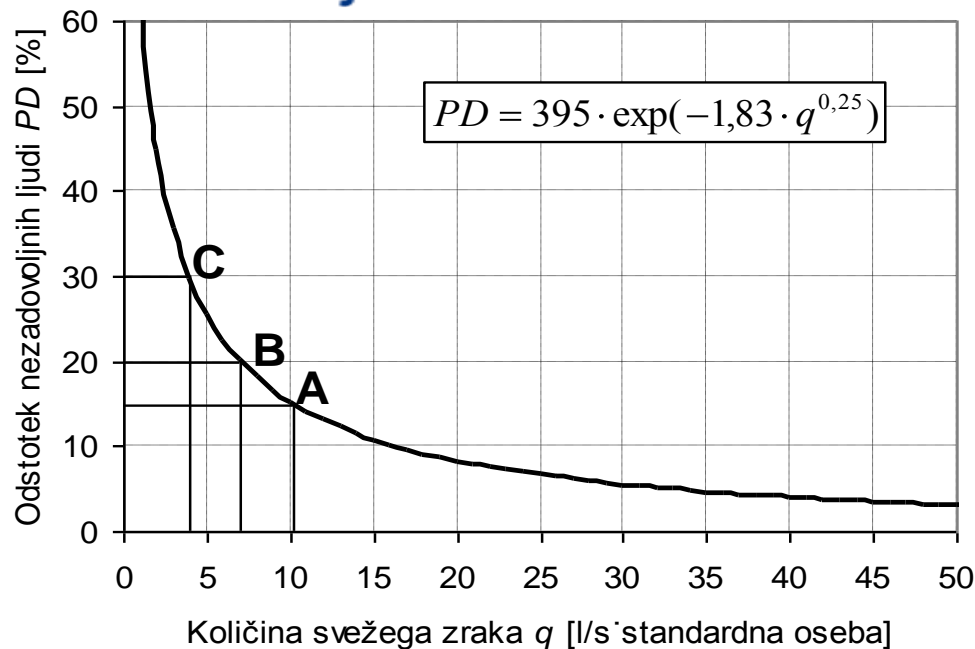
Človek in zaznava kakovosti zraka



- Človek zaznava kakovost zraka z dvema čutiloma, in sicer z vohalnim organom v nosni votlini, ki zaznava več sto tisoč različnih vonjav in z drugim čutilom, ki je občutljivo na podobno število kemičnih dražljajev in se nahaja v membrani sluznice nosu in oči.
- Občutek kakovosti zraka je kombinacija zaznav obeh organov.
- Občuteno kakovost zraka lahko izrazimo kot odstotek nezadovoljnih oseb, ki neposredno po vstopu v prostor začutijo zrak kot neprijeten.
- Kemična sestava zraka ne daje zanesljive informacije o kakovosti zraka v prostoru.

Vpliv količine svežega zraka

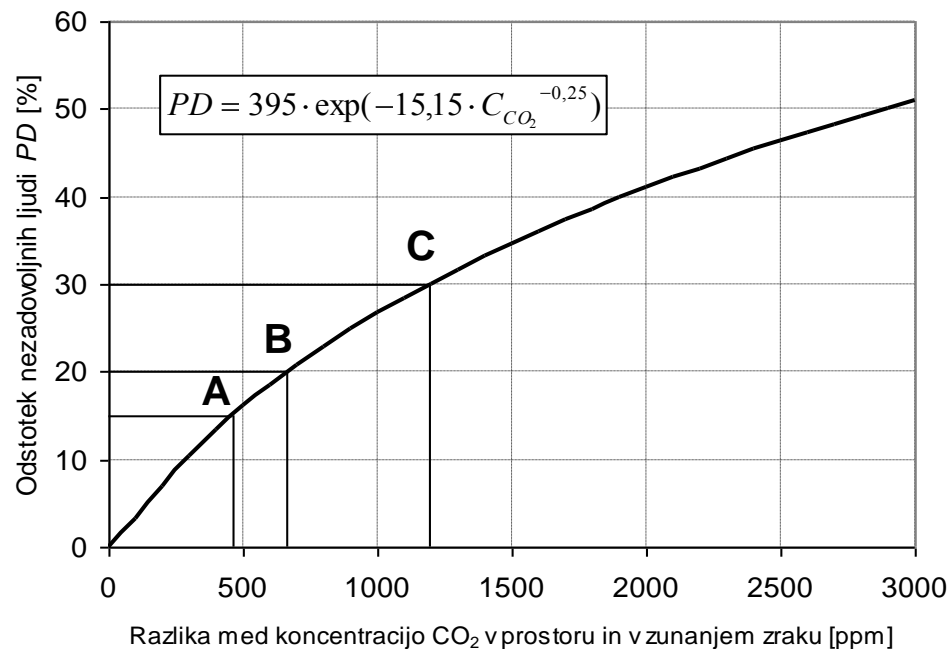
- Odstotek nezadovoljnih ljudi v odvisnosti od količine dovedenega svežega zraka q na eno standardno osebo za zrak, ki je onesnažen samo zaradi prisotnosti ljudi:



Vpliv CO₂ na občuteno kakovost zraka



- ⊗ Koncentracija CO₂ v prostoru je sorazmerno dober pokazatelj kakovosti zraka, vendar je nezanesljiva kot edino merilo za količino dovedenega svežega zraka v prostor:



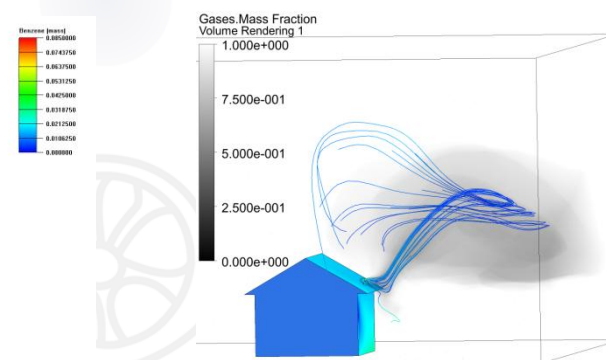
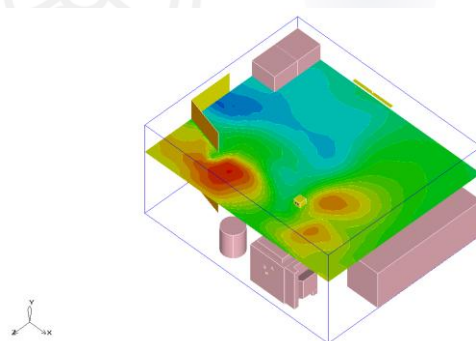
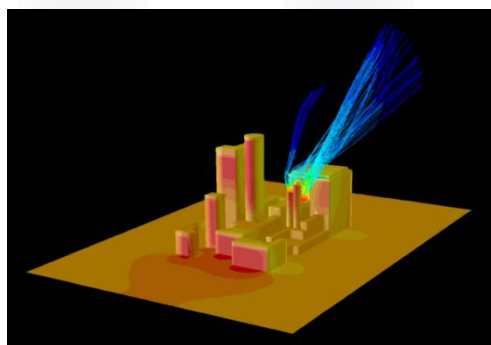
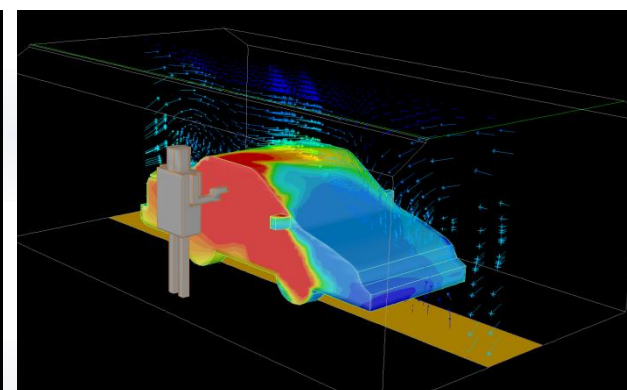
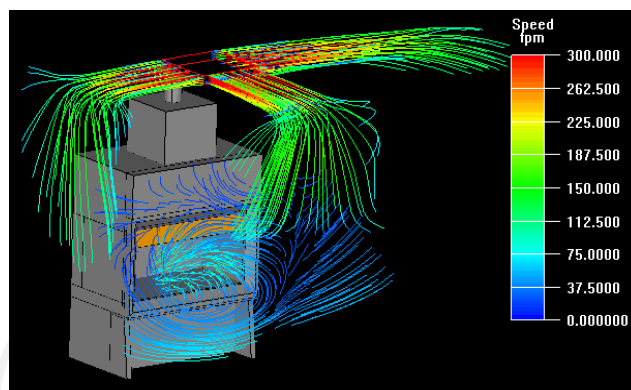
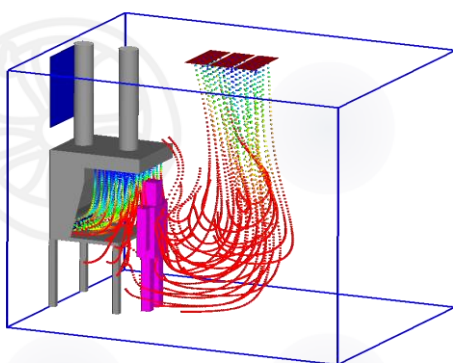
Vpliv drugih snovi



- ⊗ Na občutenje kakovosti zraka vplivajo tudi emisije različnih izvorov v prostoru.
- ⊗ Izvori emisij so lahko ljudje, materiali, človekove aktivnosti v prostoru, čistila, klimatizacijski sistemi itd.
- ⊗ Značilnost oseb, ki kadijo je, da povzročajo približno 6x večjo emisijo od standardne osebe tudi ko ne kadijo.
- ⊗ Za posamezne tipe stavb je ocenjena kar povprečna emisija na m^2 prostora, ki jo je potrebno upoštevati ob načrtovanju sistema.

Prašni delci v prostorskem zraku

- Na splošno imamo dva izvora prašnih delcev, in sicer prah lahko vstopa v prostor z zunanjim zrakom ali pa imamo izvor prašnih delcev v prostoru samem.



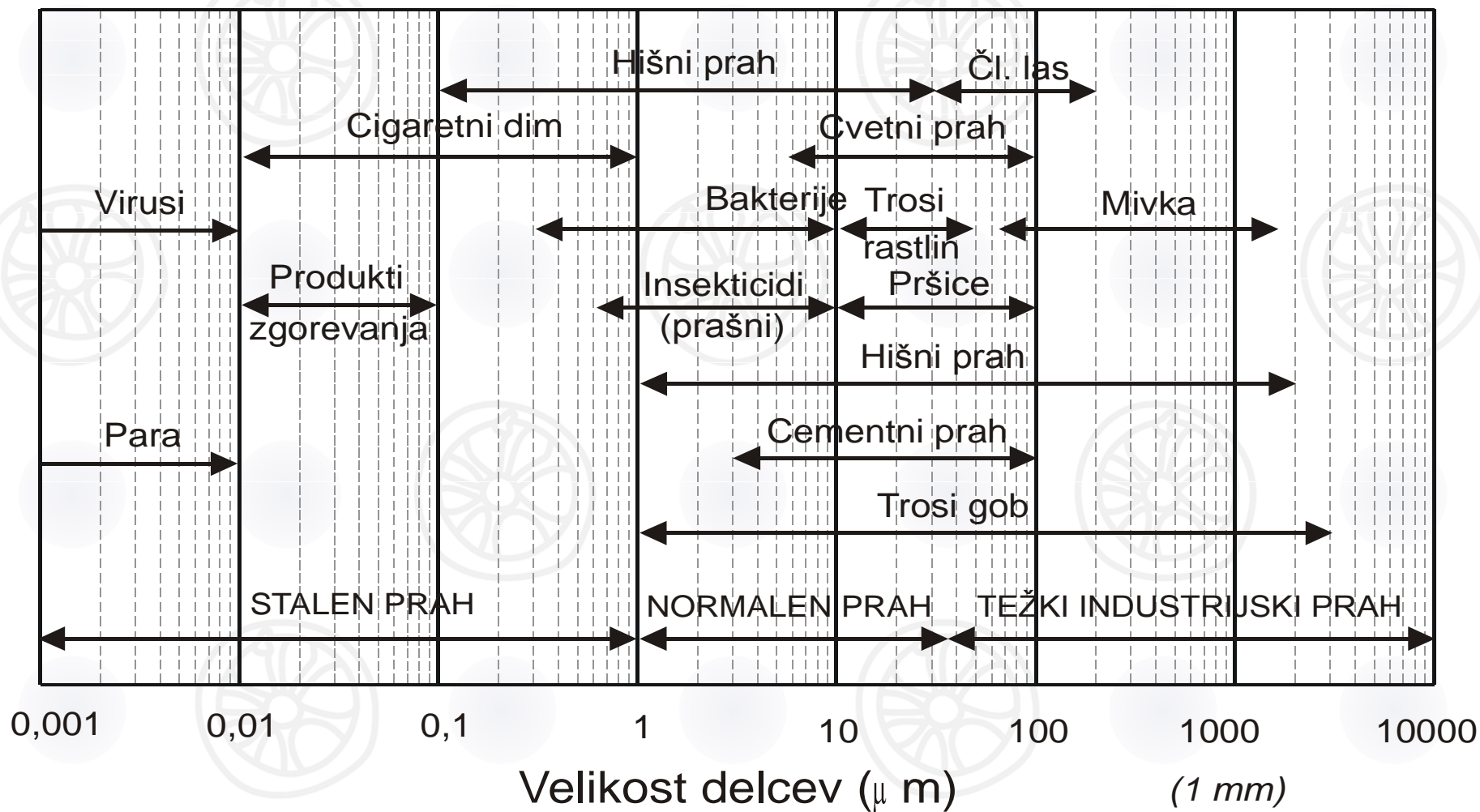
Vir: www.ansys.com in lastni arhiv

Velikost delcev in njihove lastnosti



- ⊗ Delci s premerom večjim od $75 \mu\text{m}$ se hitro posedejo, delci s premerom manj kot $50 \mu\text{m}$ (aerosoli) pa ostajajo v zraku daljši čas.
- ⊗ Aerosoli so kapljičasti ali trdni delci, ki kvazistabilno lebdiijo v zraku.
- ⊗ S hitrostjo, ki je obratno sorazmerna njihovi velikosti, se posedajo na površine v prostoru.
- ⊗ Submikronski delci (delci s premerom, manjšim od $1 \mu\text{m}$) so podvrženi zakonitostim Brownovega gibanja in se praktično ne posedajo zaradi vpliva gravitacije.

Velikosti tipičnih delcev



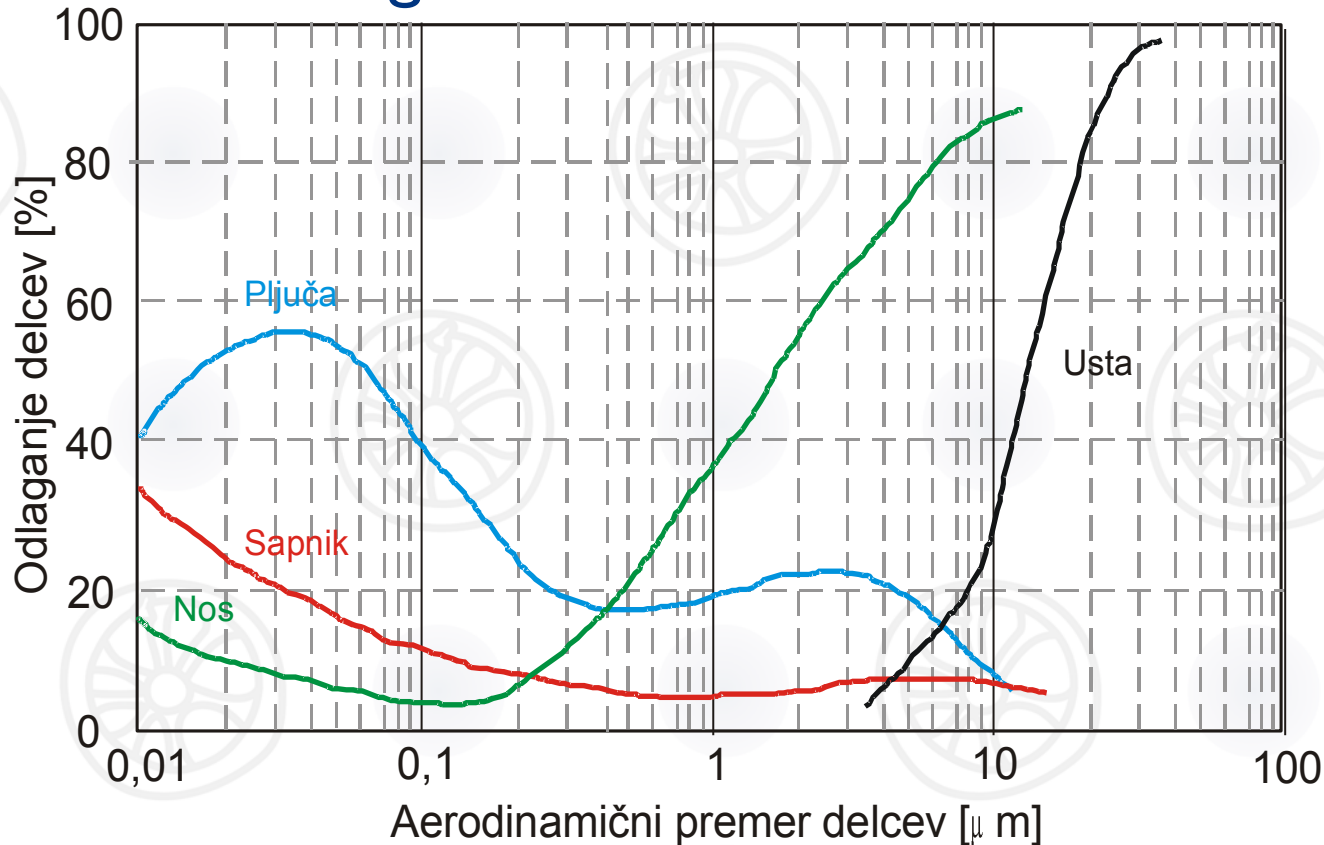
Odlaganje prašnih delcev v človeku



- ⊗ Prašni delci prodrejo z vdihavanjem v notranjost človeškega telesa.
- ⊗ Tam povzročijo vzdraženje in povečano občutljivost, ki v nekaterih primerih lahko vodita do kroničnih boleznih dihal.
- ⊗ Prašni delci v prostorskem zraku imajo izjemno veliko sposobnost prenosa bolezni med ljudmi, ki se nahajajo v istem prostoru.
- ⊗ Prašni delci so še posebej problematični za astmatične bolnike.

Slika odlaganja v človeških organih

- ⊗ Slika prikazuje približen potek odlaganja prašnih delcev v človeških organih.



Prašni delci




- ⊗ Na površini prašnih delcev lahko pride do adsorbcije hlapnih organskih spojin.
- ⊗ Če takšen delec prodre v dihalne organe in je snov toksična, potem je to zdravju škodljivo.
- ⊗ Prah je lahko tudi medij za razvoj mikroorganizmov, saj vsebuje dovolj hranljivih snovi za razvoj le-teh.
- ⊗ Stopnja hranljivosti prahu je odvisna od količine vlage v prostoru, pH faktorja, količine organskih snovi ter količin vodika, dušika in ogljika.

Učinkovitost prezračevanja prostorov

- 
 Zelo pomembna je učinkovitost prezračevanja oziroma učinkovitost izmenjave zraka.
- 
 Učinkovitost prezračevanja prostorov lahko merimo ali se poslužujemo numeričnih simulacij.

- 
 Kakovost zraka je neposredno definirana z učinkovitostjo prezračevanja in učinkovitostjo izmenjave zraka.


- 
 Če razdelimo molekule v prostoru v tri populacije (skupno notranjo, lokalno notranjo (v majhnem volumnu) ter zunanjo), potem jih lahko opišemo statistično v smislu frekvenčne porazdelitve starosti zraka, ki prikazujejo kako je celoten prostor porazdeljen med posamezne starosti zraka.

- 
 Starost zraka za posamezno točko v prostoru je definirana z relativno frekvenčno distribucijo na mestu $p - i_p$:

$$\overline{\tau}_p = \int_0^{\infty} i_p(\tau) \tau d\tau$$

oziroma za celoten prostor:

$$\langle \tau \rangle = \int_0^{\infty} \langle i_p(\tau) \rangle \tau d\tau$$

- 
 Frekvenčna porazdelitev se neposredno določi s pomočjo beleženja časovne odvisnosti sledilnega plina. Porazdelitev merjena v izhodnem kanalu (drugi statistični moment) pa da osnovo za izračun povprečne starosti zraka v celotnem prostoru.

Učinkovitost prezračevanja in izmenjave zraka



- Čas izmenjave zraka v prostoru (nominalna časovna konstanta):

$$\tau_n = \frac{V}{Q} \text{ [s]}$$

- Koncept starosti zraka**

- Notranja starost τ_i – čas od vstopa delčka zraka v prostor
- Rezidualna življenska doba τ_{rl} – preostanek časa, ki ga bo delček preživel v prostoru
- Zadrževalni čas τ_r – starost delca, ko izteka iz prostora

$$\tau_i + \tau_{rl} = \tau_r$$

- Učinkovitost izmenjave zraka v prostoru je definirana kot razmerje najkrajšega možnega časa, da se zamenja zrak τ_n in dejanskega povprečnega časa, da se izmenja zrak v prostoru τ_{exc}

$$\varepsilon_a = \frac{\tau_n}{\tau_{exc}} \cdot 100$$

Merilne metode starosti zraka



☉ Poznamo tri osnovne tehnike

- ☉ Metoda znižanja koncentracije sledilnega plina
- ☉ Pulzna metoda
- ☉ Metoda stalnega vbrizgavanja sledilnega plina

Določitev starosti zraka iz meritev s pomočjo metode znižanja koncentracije



- ⊗ V prostor vbrizgamo sledilni plin iz začetno meriti njegovo koncentracijo.
- ⊗ Po določenem času se meritev prekine (koncentracija se niža po eksponencialnem zakonu).
- ⊗ Starost zraka se izračuna na podlagi izmerjene časovno odvisne koncentracije sledilnega plina

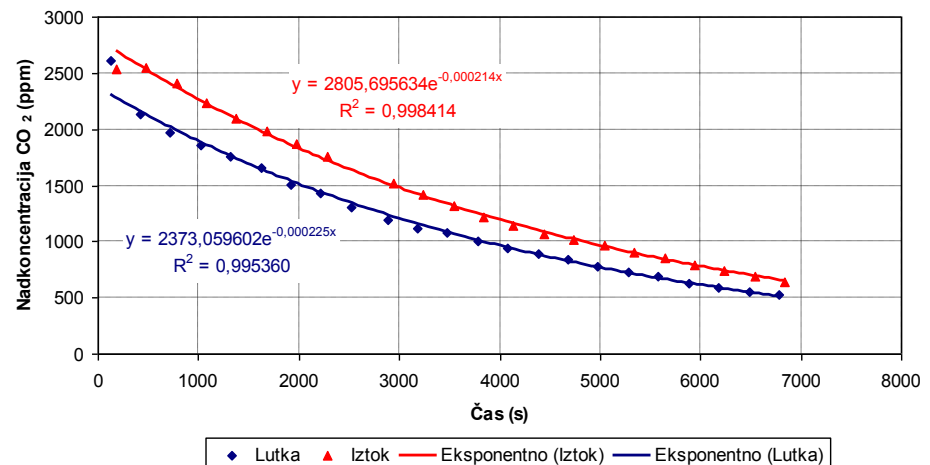
⊗ Izračunata se:

⊗ Prvi statistični moment:

$$\int C(t)dt$$

⊗ Drugi statistični moment:

$$\int t \cdot C(t)dt$$



Določitev učinkovitosti na podlagi meritev, nadaljevanje

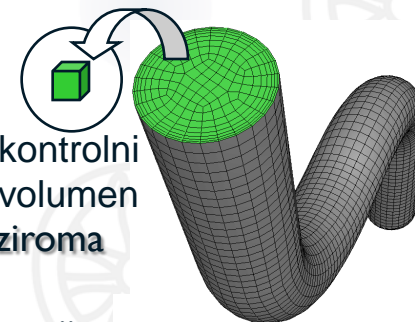


- ⊗ Na podlagi zadnjega dela meritve, ko se začne koncentracija zniževati po eksponencialnem zakonu, se določi regresijski krivulji za ta del.
- ⊗ Z numeričnim integriranjem se določi ostanek, ki se ga ustrezno upošteva.
- ⊗ Povprečna starost zraka v točki je enaka razmerju prvega statističnega momenta in začetne nadkoncentracije.
- ⊗ Povprečna starost zraka v prostoru je definirana kot razmerje drugega in prvega statističnega momenta.

Numerična določitev učinkovitosti prezračevanja



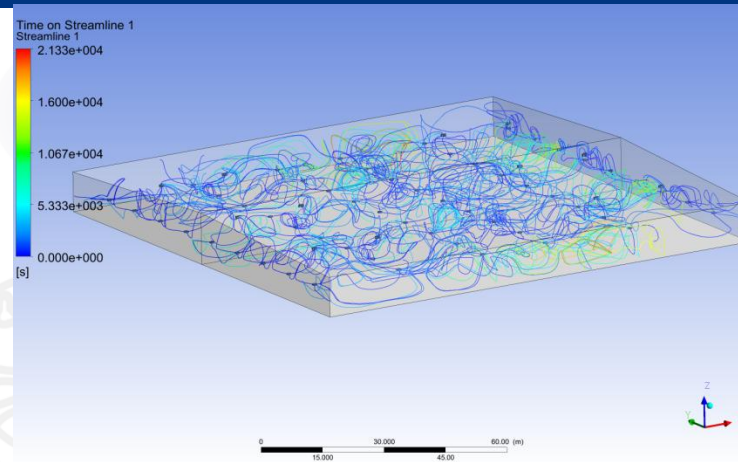
- ⊗ Simulacija numerične dinamike tekočin (CFD).
- ⊗ CFD - računalniška simulacija dinamike fluida (Computational Fluid Dynamics) je znanost predikcije toka fluida, prenosa toplote in snovi, kemijskih reakcij in drugih fizikalnih pojavov preko reševanja matematičnih enačb, ki popisujejo fizikalne zakone (zakon o ohranitvi mase, energije ...) z uporabo numeričnih procesov. Fizikalni zakoni, ki jih upoštevamo so:
 - ⊗ ohranitev mase, ohranitev gibalne količine, ohranitev energije ...
- ⊗ Rezultati CFD analiz so uporabni za inženirske aplikacije, kot na primer:
 - ⊗ Konceptualne študije novih konstrukcij
 - ⊗ Detajlni razvoj novih produktov
 - ⊗ Pri odpravljanju težav že ustvarjenih produktov
 - ⊗ Pri rekonstrukcijah
 - ⊗ Kjer eksperimentiranje ni možno
- ⊗ CFD solver-ji (npr. ANSYS FLUENT, CFX) navadno delujejo po metodi končnih volumnov:
 - ⊗ Domena je razdeljena na končno število volumnov oziroma celic, ki se ne prekrivajo
 - ⊗ Enačbe zakona ohranitve za maso, gibalno količino, energijo ...



Področje fluida v cevi je razdeljeno na končno število kontrolnih volumnov (mreža).

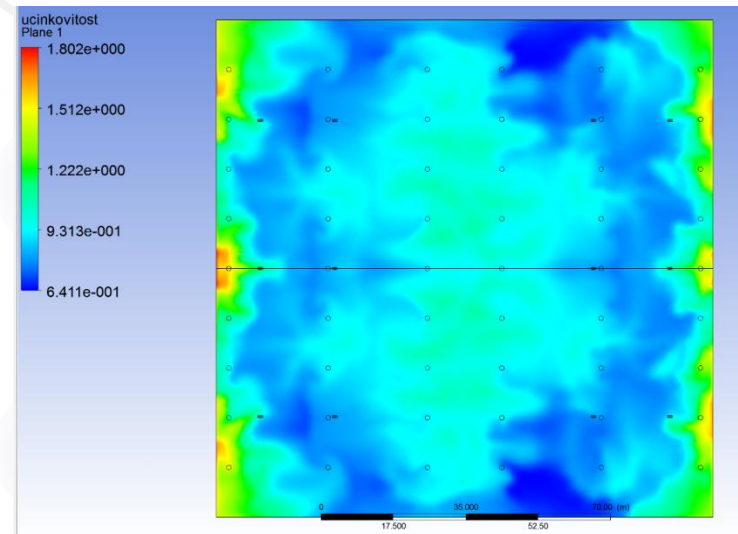
Numerična analiza prezračevanja večje proizvodne hale

⊗ Tokovnice:



⊗ Učinkovitost prezračevanja na višini 1,5 m:

Primerno prezračevanje je tam, kjer je učinkovitost višja od 0,95!



Učinkovita raba energije, obnovljivi viri energije in kakovost zraka?



- ⊗ **Prezračevanje je izredno pomembno, tako s stališča zagotavljanja ugodja uporabnika prostora in preprečevanja tveganja za zdravje ljudi, kakor s stališča rabe energije.**
- ⊗ **Tehnični predpisi in pravilniki: Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb Ur. l. RS, št. 42/2002, 105/2002, Evropske direktive (Direktiva 2002/91/EC in direktiva 2010/31/EC).**
- ⊗ **PURES 2010, 12. člen (prezračevanje):**
 1. Če ni mogoče izvesti naravnega prezračevanja za doseganje kakovosti zraka v prostorih v skladu s predpisi, ki urejajo prezračevanje in klimatizacijo stavb, se sme projektirati in izvesti sistem hibridnega ali mehanskega prezračevanja.
 2. Energijska učinkovitost prezračevalnega sistema se zagotavlja z izborom energijsko učinkovitih naprav in pripadajočih elementov, energijsko učinkovitim razvodom, najmanjšo še potrebno količino zraka, uravnoteženjem sistem ter regulacijo kakovosti zraka v stavbi, njenemu posameznemu delu ali prostoru.
 3. Vgrajeni mehanski ali hibridni sistemi prezračevanja stavb morajo zagotoviti učinkovito vračanje toplote zraka.

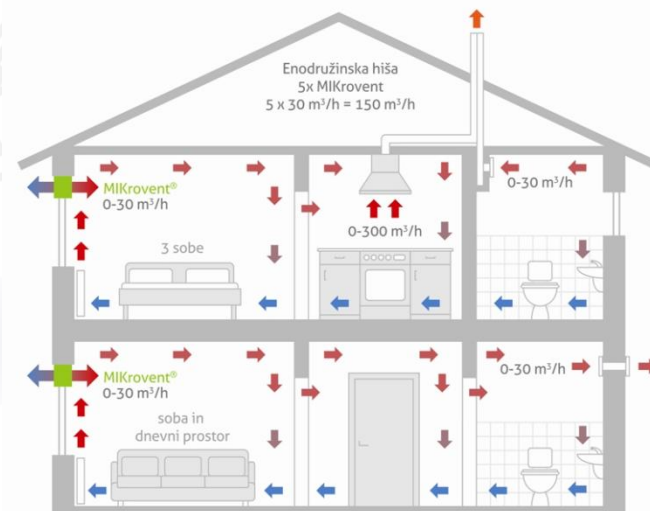
Naravno, mehansko prezračevanje



- ⊗ Naravno prezračevanje je posledica odpiranja oken in nekontroliranega vtoka ali vdiranja zunanjega zraka skozi porozno gradbeno konstrukcijo (okna in vrata, ki ne tesnijo, fiksne prezračevalne odprtine, rešetke ...).
- ⊗ Pri mehanskem prezračevanju vteka svež zrak v prostor in iz njega odteka onesnažen zrak v okolico s pomočjo mehanskega dela naprav.
- ⊗ Za učinkovito prezračevanje mora biti čim manj nekontroliranega prezračevanja skozi netesnosti gradbenih konstrukcij stavbe.

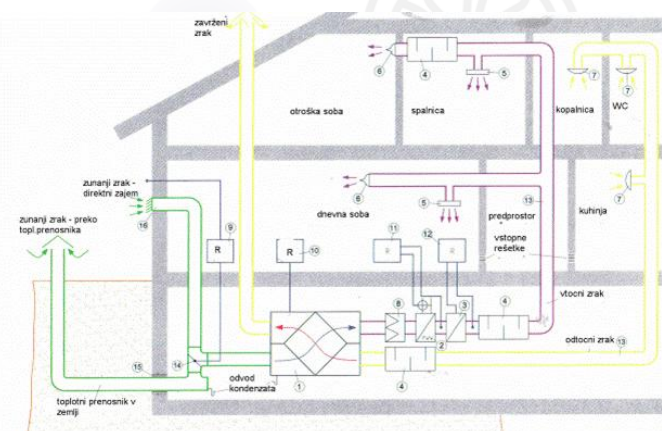
Mehansko prezračevanje

Decentralizirano oziroma lokalno:



Vir: www.mik-ce.si

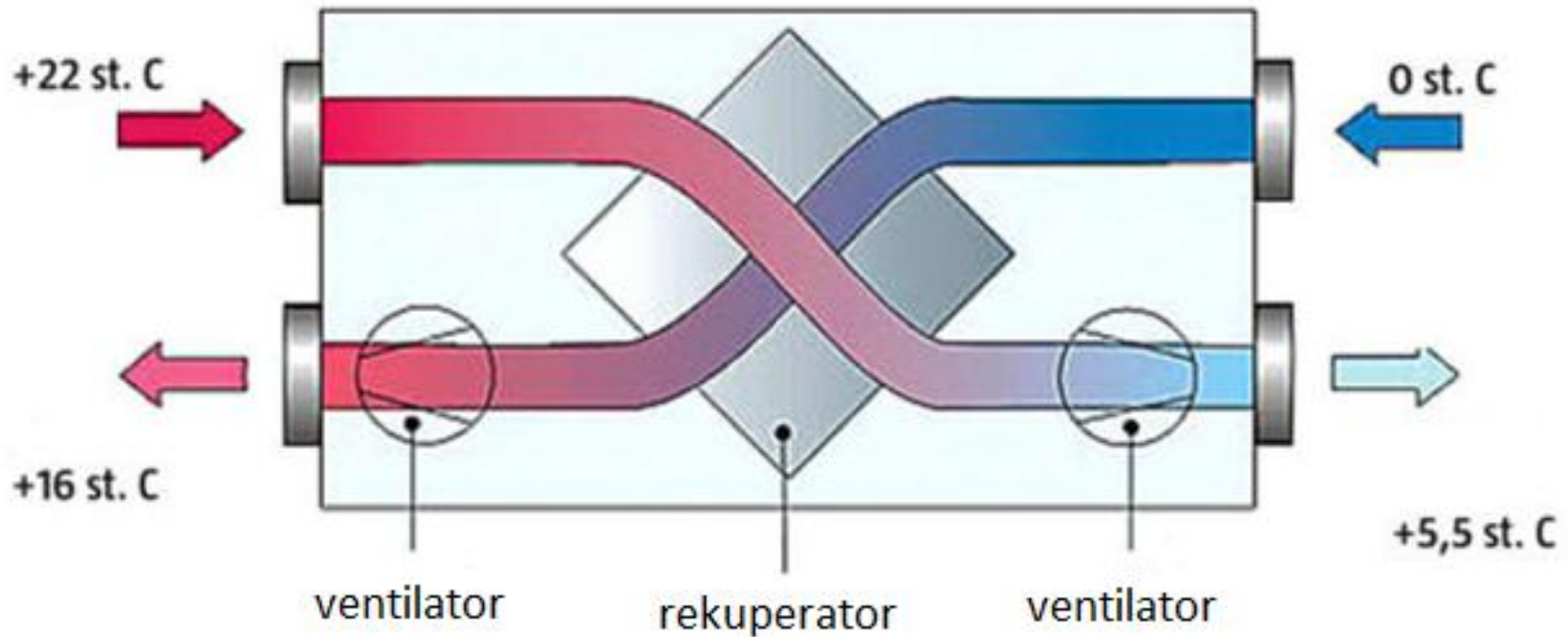
Centralizirano:



Vir: www.gcs.gi-zrmk.si

Rekuperacija toplote

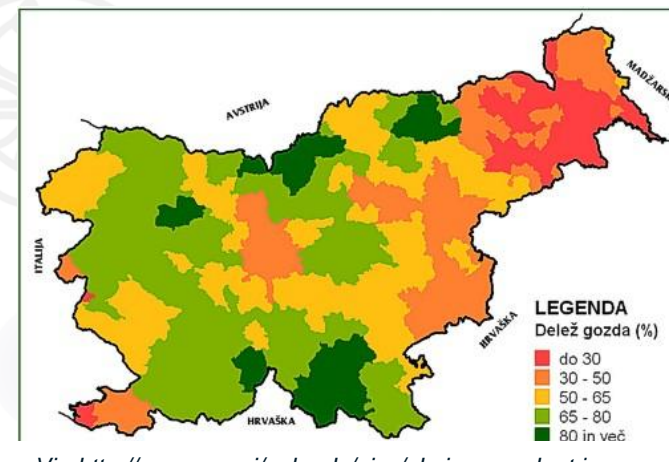
Izkoriščanje toplote notranjega zraka:



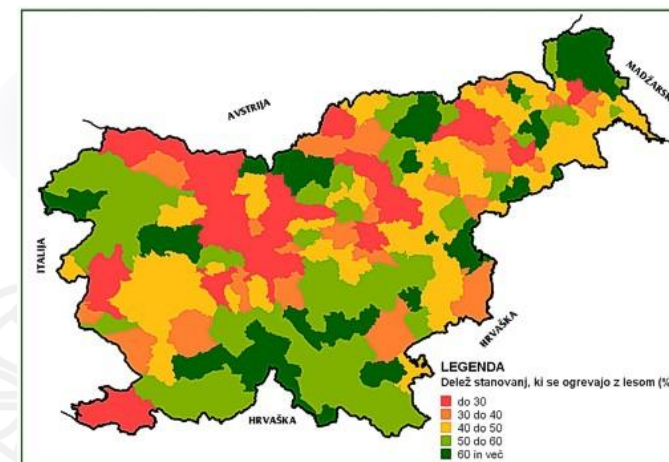
Vir: www.elektroonline.pl

Potencial izrabe lesne biomase

- ⊗ Slovenija je tretja najbolj gozdnata država v EU → 58,4% površine prekrivajo gozdovi → 0,57 ha gozdne površine oz. 164 m³ lesne zaloge na prebivalca.
- ⊗ Največ gozda imajo občine Črna na Koroškem, Osilnica, Lovrenc na Pohorju in Dolenjske Toplice. V teh občinah gozdovi pokrivajo več kot 85% ozemlja. Najmanj gozdov imajo v izrazito kmetijskih občinah kot so: Odranci, Markovci, Hajdina in Turnišče, kjer gozdovi pokrivajo manj kot 15%. Najmanj gozdov je v občini Odranci, kjer pokrivajo gozdovi manj kot 10% površine. Omenjena občina ima tudi absolutno najmanj gozda in je tudi najmanjša občina v Sloveniji.



Vir: http://www.zgs.si/uploads/pics/obcine_gozdnat.jpg



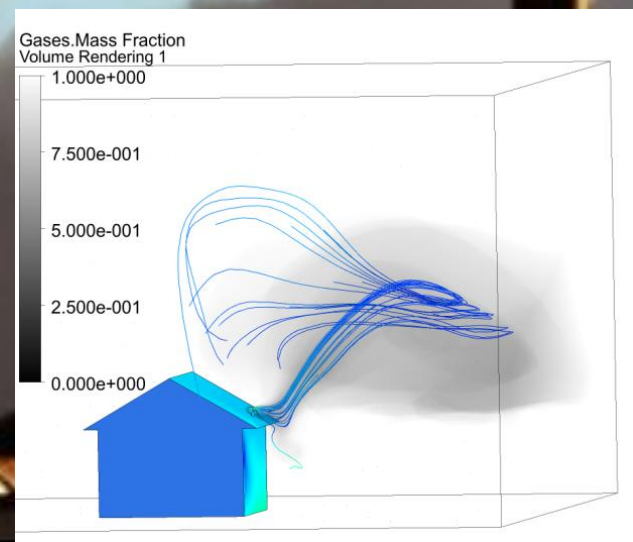
Vir: http://www.zgs.si/uploads/pics/obcine_stan.jpg

BIOMASA NI VEDNO OKOLJU PRIJAZEN VIR ENERGIJE



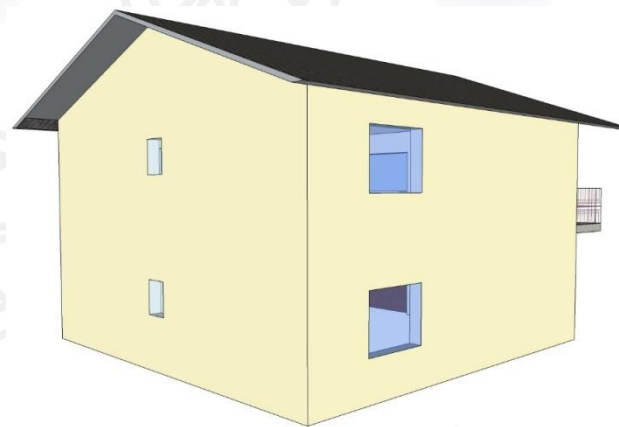
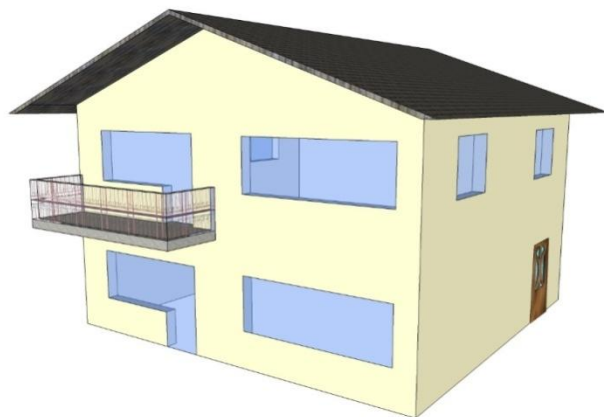
- ⦿ Biomasa je „CO₂ nevtralna“ vendar je kljub temu potrebno zagotoviti pravilno zgorevanje.
- ⦿ Zgorevanje biomase je vir prašnih delcev PM₁₀.
- ⦿ Bistvenega pomena za pravilno izrabo biomase je osveščanje ljudi.

Prikaz analize problematične postavitve dimnika ob hiši



Učinkovita raba energije

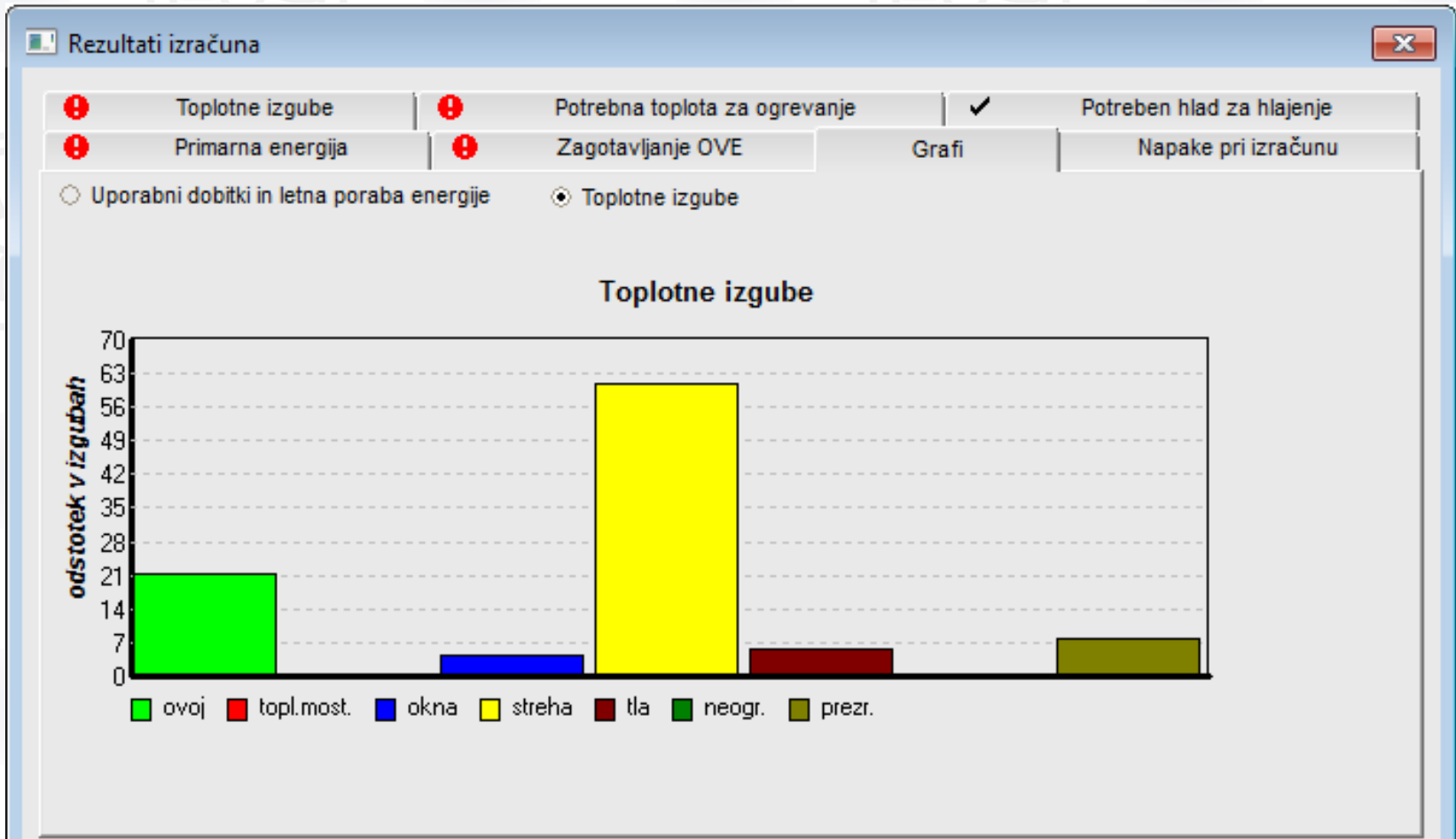
Tipična stavba, preračun po TSG:



Stanje toplotnega ovoja hiše:

- ⊗ toplotna prehodnost zunanjih sten: $U=1,240 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ⊗ toplotna prehodnost stropa: $U=4,013 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ⊗ toplotna prehodnost tal: $U=2,497 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ⊗ toplotna prehodnost oken: $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ⊗ priprava tople vode: z obstoječo napravo za ogrevanje na ELKO
- ⊗ dovedena letna energija za delovanje stavbe: $Q_p=86992,25 \text{ kWh}$
- ⊗ dovedena energija za ogrevanje in pripravo STV je $85496,6 \text{ kWh} \rightarrow 8482 \text{ I ELKO}$

Toplotne izgube



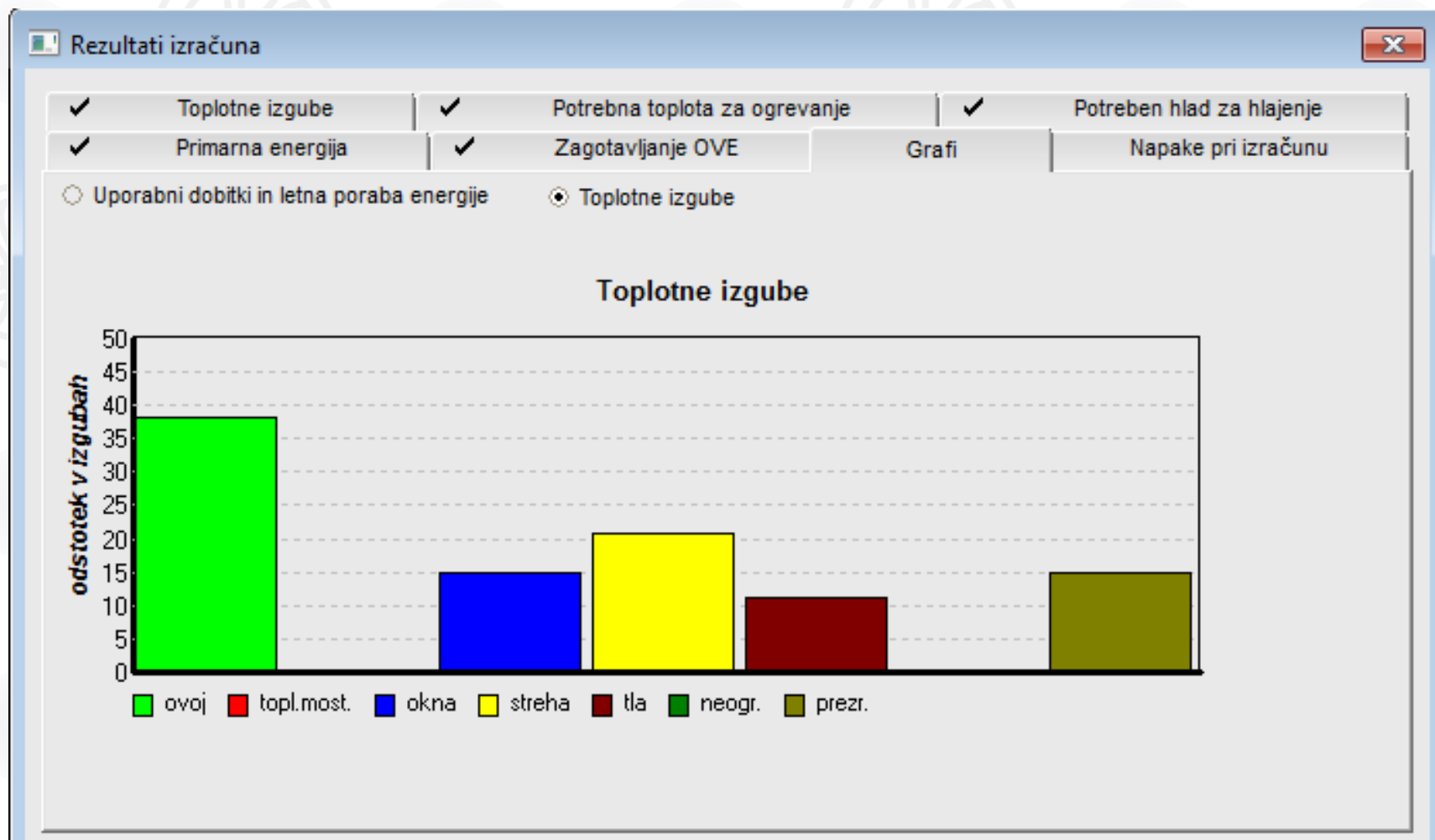
Sanirana stavba, brez prezračevanja



Stanje stavbe po celoviti sanaciji toplotnega ovoja:

- ⊗ Toplotna prehodnost zunanjih sten $U=0,276 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - ⊗ Dodali 10 cm toplotne izolacije
- ⊗ Toplotna prehodnost stropa $U=0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - ⊗ Dodali 20 cm toplotne izolacije
- ⊗ Toplotna prevodnost tal $U=0,350 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - ⊗ Dodali 8 cm toplotne izolacije
- ⊗ Toplotna prevodnost oken $U=1,16 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - ⊗ Dvoslojna PVC okna
- ⊗ Celoletna uporaba toplotne črpalke za pripravo STV
- ⊗ Dovedena letna energija za delovanje stavbe $Q_f = 173191 \text{ kWh}$
- ⊗ Dovedena letna energija za ogrevanje stavbe $Q_{f,h} = 10269 \text{ kWh} \rightarrow 1018 \text{ I ELKO}$
- ⊗ Letna raba električne energije za pripravo STV (TČ) $E_{TC} = 2110 \text{ kWh}$

Toplotne izgube sanirane stavbe



Zaključek



- ⊗ **Kakovost zraka je izziv, ki mu je potrebno posvetiti vso pozornost.**
- ⊗ **Ne smemo pozabiti, da je pogoj za kakovostno notranje okolje kakovostno zunanje okolje.**
- ⊗ **Zelo pomembna je učinkovitost prezračevanja.**
- ⊗ **Naša odgovornost je omogočiti sonaraven razvoj, uporabo obnovljivih virov energije, vendar je pri tem potrebno paziti na pravilno eksploatacijo obnovljivih virov energije.**