

KURS ZA ENERGETSKI AUDIT 1.3 TEORIJSKE OSNOVE

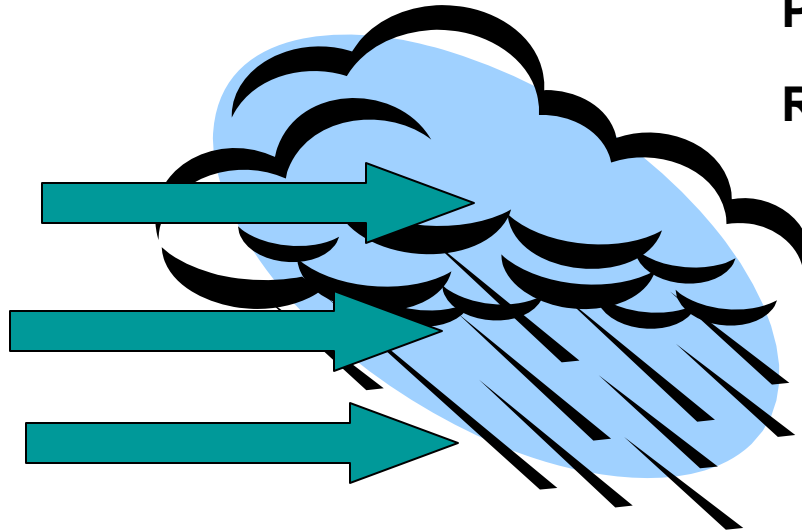
Pripremio: Dr Nenad Kažić

PROSTIRANJE MATERIJE

KONVEKCIJA JE PROSTIRANJE MATERIJE NA
NIVOU KRETANJA FLUIDNIH DJELIĆA
(STRUJANJE FLUIDA)

POKRETAČKA SILA:

RAZLIKA PRITISAKA Δp



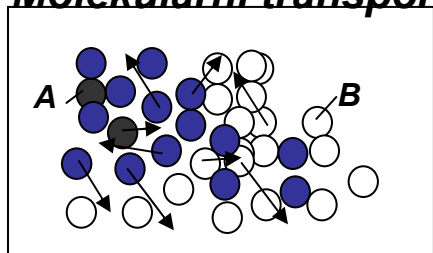
U ZGRADARSTVU SE JAVLJA KAO:

- INFILTRACIJA (prodor vazduha kroz procjepe)
- VENTILACIJA (prirodna ili prinudna)

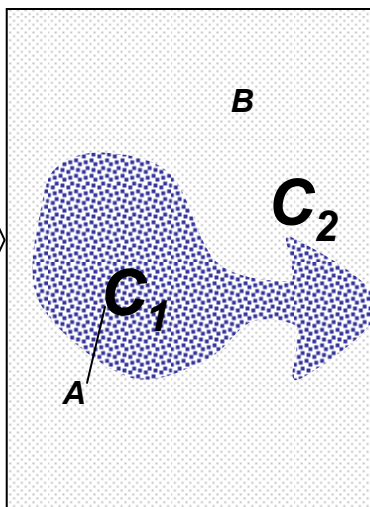
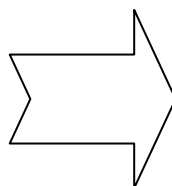
PROSTIRANJE MATERIJE

DIFUZIJA JE PROSTIRANJE MATERIJE NA MOLEKULARNOM NIVOU

Molekularni transport



Mikrosvijet



Makrosvijet

POKRETAČKA SILA:

RAZLIKA ΔC

C- Koncentracija

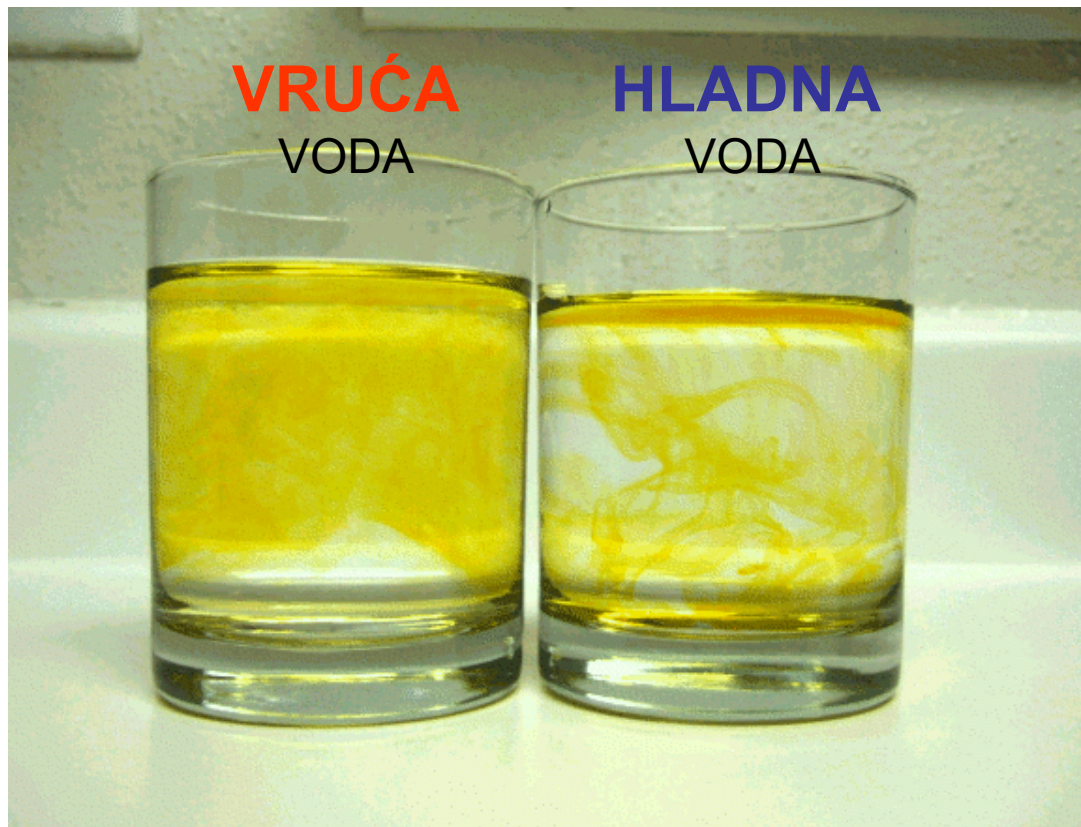
SMJER KRETANJA MATERIJE: OD VEĆE KA MANJOJ KONCENTRACIJI
ODNOSNO

OD VEĆEG KA MANJEM PRITISKU

U ZGRADARSTVU SE JAVLJA KAO
PROSTIRANJE VLAGE KROZ ZIDOVE.

PROSTIRANJE MATERIJE

DIFUZIJA JE INTEZIVNIJA ŠTO JE
TEMPERATURA VEĆA (BRŽI MOLEKULI)



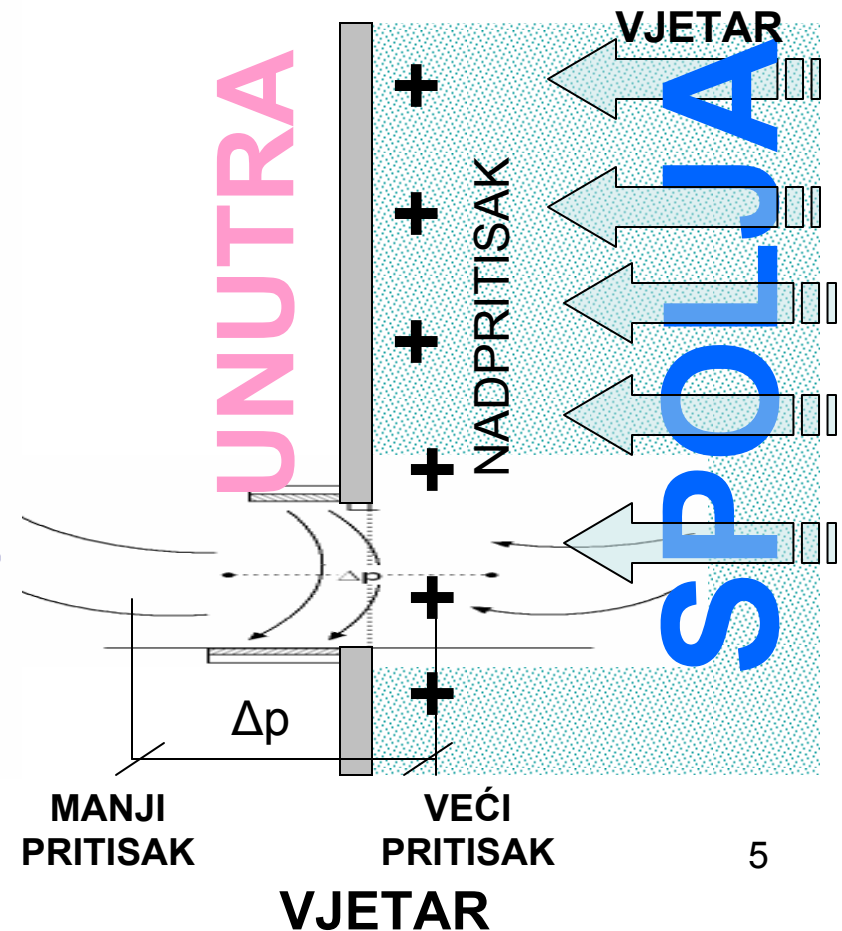
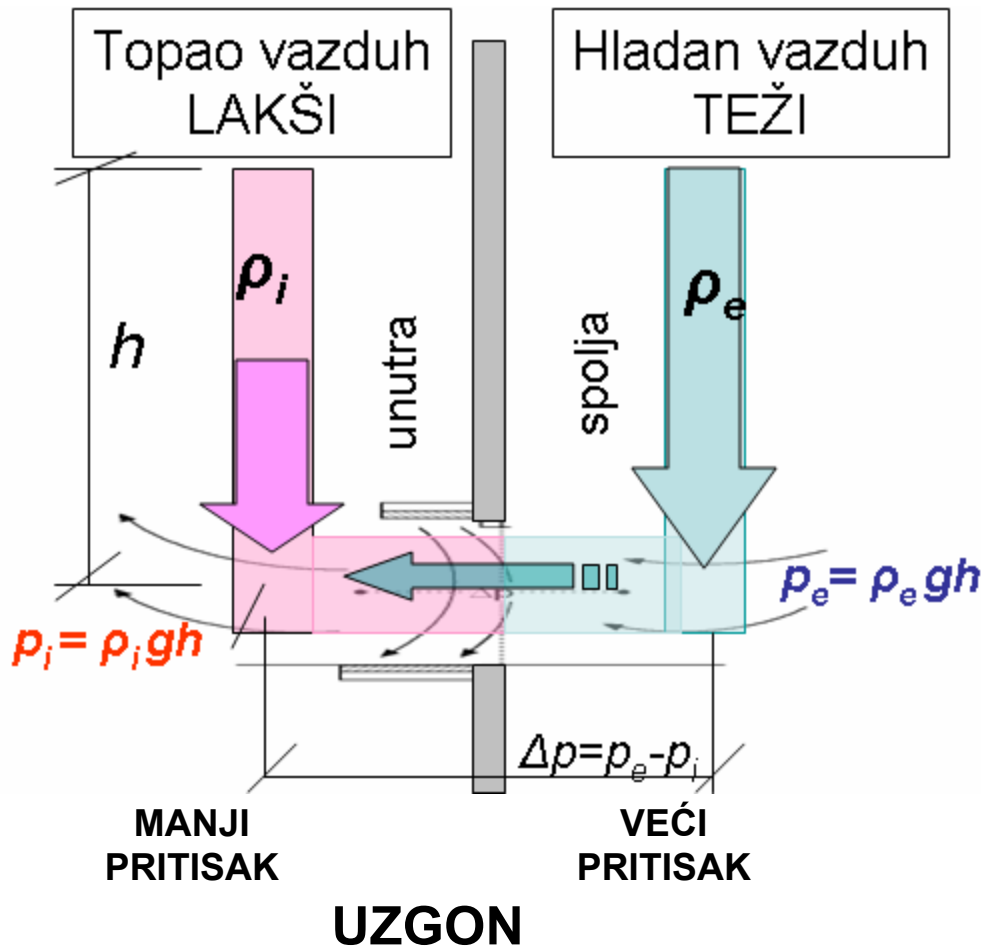
PROSTIRANJE MATERIJE

INFILTRACIJA-VENTILACIJA

PRIRODNA

$$\Delta p = \rho_e gh - \rho_i gh = (\rho_e - \rho_i) gh$$

Pokretačka sila je razlika pritisaka generisana razlikom u gustinama-uzgonom (toplo-hladno) i vjetrom.

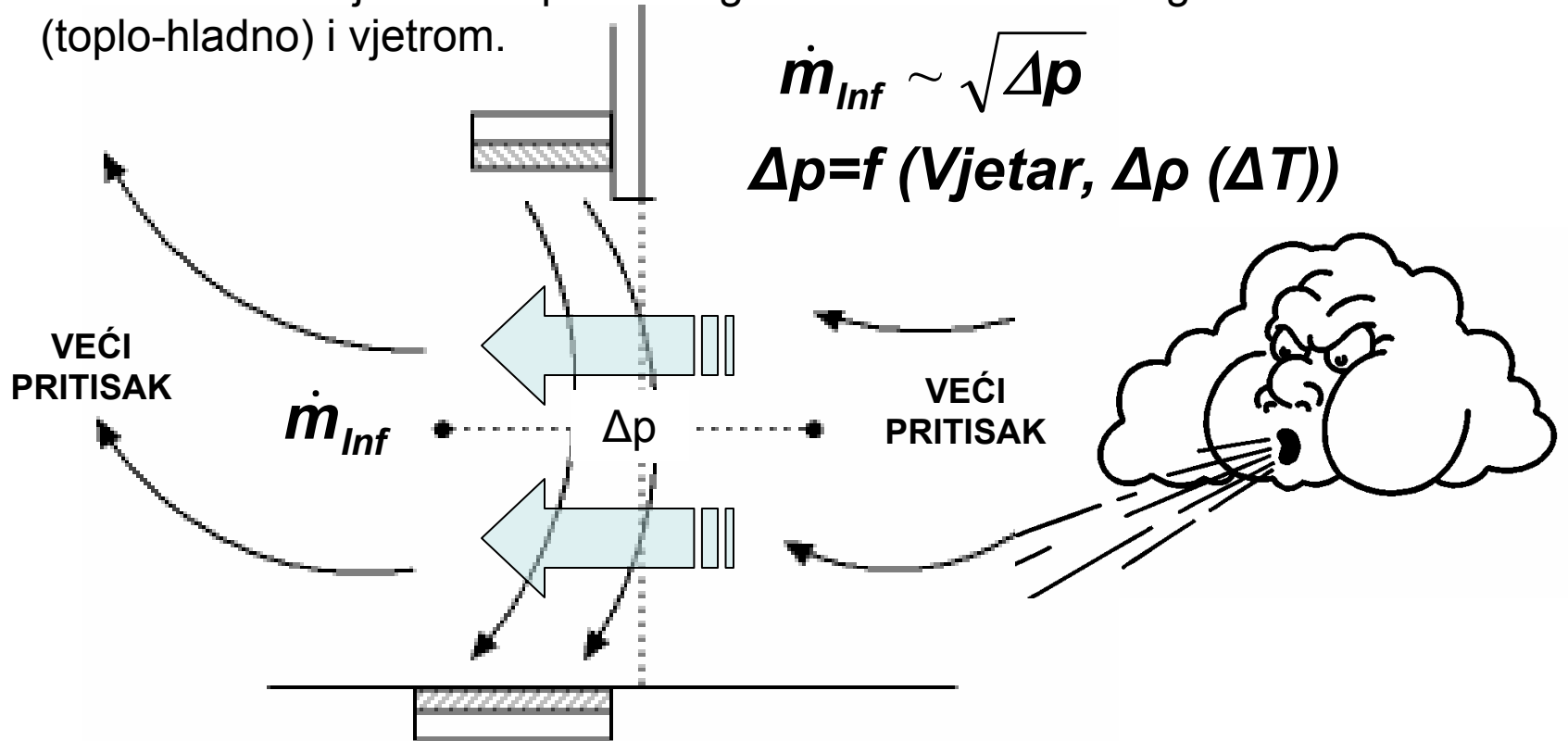


PROSTIRANJE MATERIJE

INFILTRACIJA-VENTILACIJA

PRIRODNA

Pokretačka sila je razlika pritisaka generisana razlikom u gustinama (toplo-hladno) i vjetrom.



INFILTRACIJA – Prodor vazduha kroz procjepe

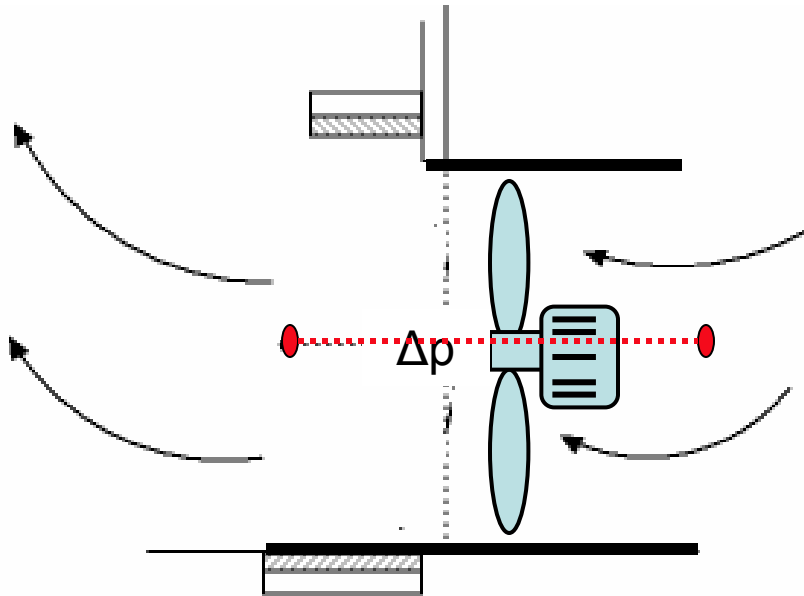
PROSTIRANJE MATERIJE

INFILTRACIJA-VENTILACIJA

PRINUDNA - MAŠINSKA

Pokretačka sila je generisana radom ventilatora

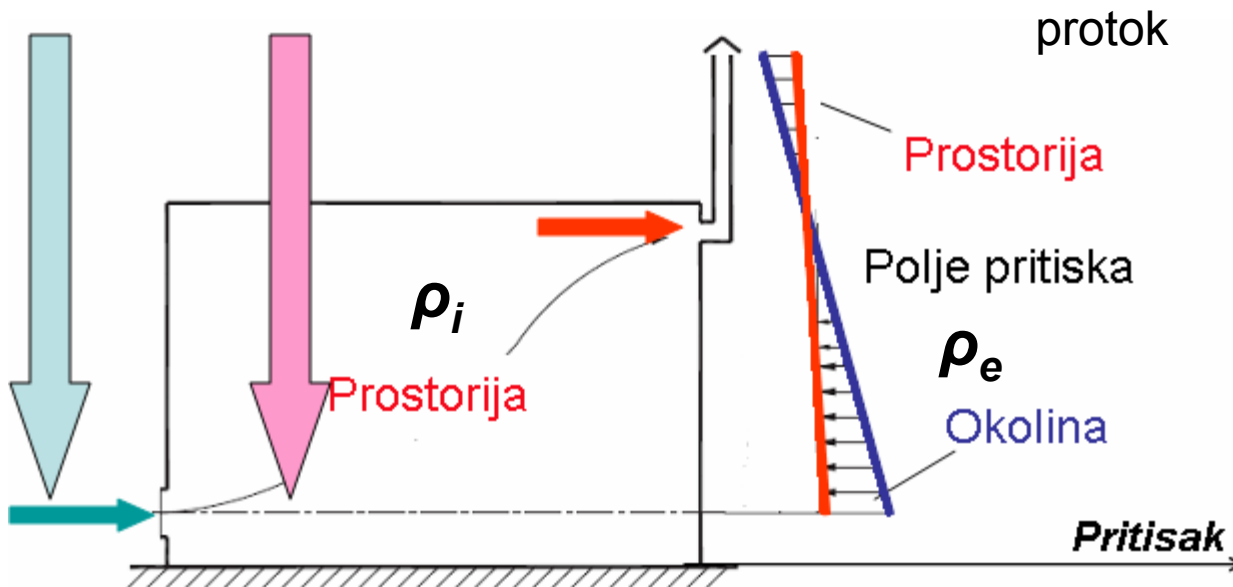
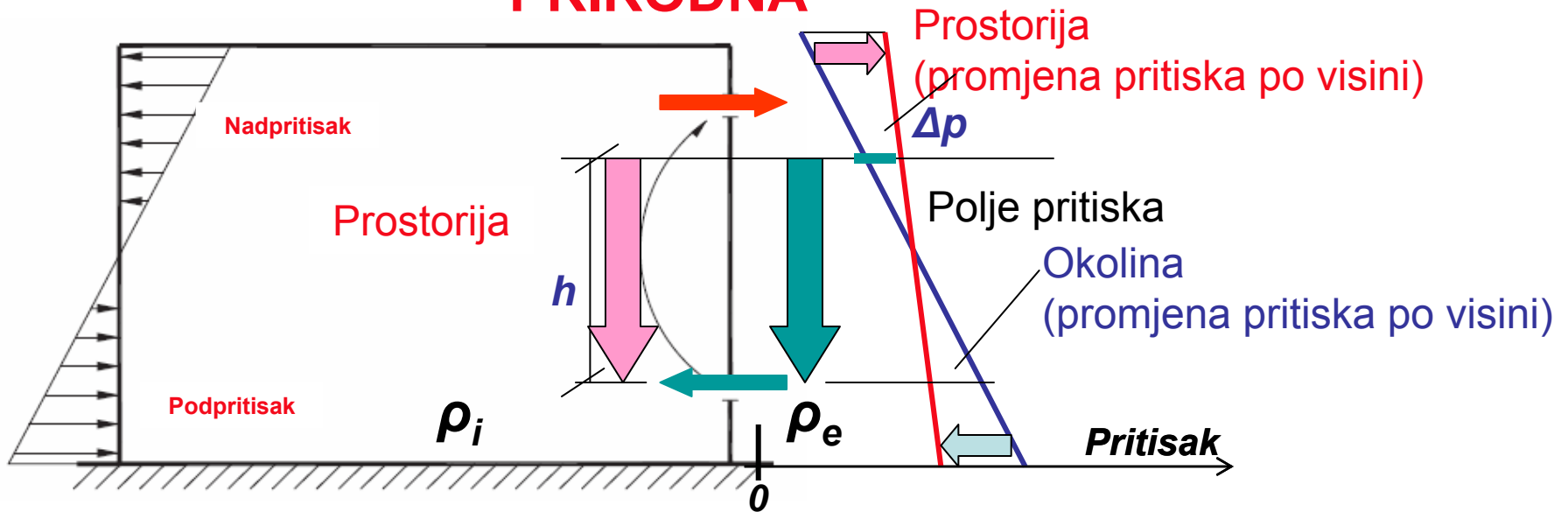
$$\Delta p = f(\text{Ventilator})$$



PROSTIRANJE MATERIJE

INFILTRACIJA-VENTILACIJA

PRIRODNA



USLOV

protok = protok

Polje pritiska u prostoriji se pomjera dok se ne uspostavi gornji uslov

PROSTIRANJE MATERIJE

INFILTRACIJA-VENTILACIJA

PRIRODNA

Broj izmjena na čas $n [h^{-1}]$: pokazuje koliko se puta izmijenio vazduh u prostoriji za 1 h

Položaj krila prozora i vrata	Broj izmjena (h ⁻¹)
Prozor zatvoren, vrata zatvorena	0 – 0,5
Prozor otklopljen, roletne drvene spuštene	0,3 – 1,5
Prozor otklopljen bez roletni	0,8 - 4
Prozor poluotvoren	5 - 10
Prozor potpuno otvoreni	9 - 15
Prozor i vrata potpuno otvoreni (poprečno provjetranje)	približno 40

Količina vazduha koja udje-izadje u prostoriju za 1 h:

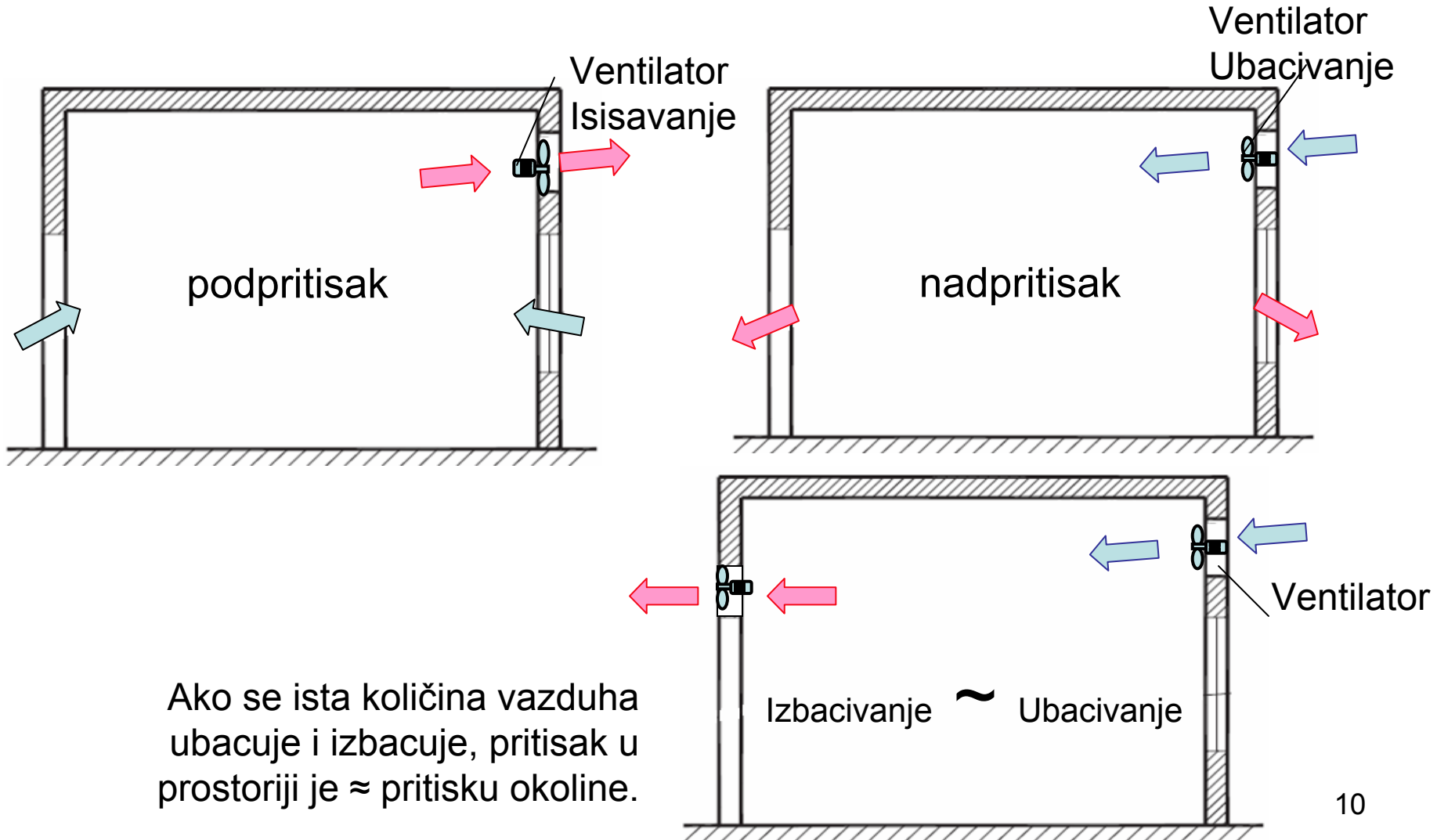
$$\dot{V}_h [m^3/h] = n V,$$

gdje je $V [m^3]$ zapremina prostorije.

PROSTIRANJE MATERIJE

INFILTRACIJA-VENTILACIJA

PRINUDNA - MAŠINSKA

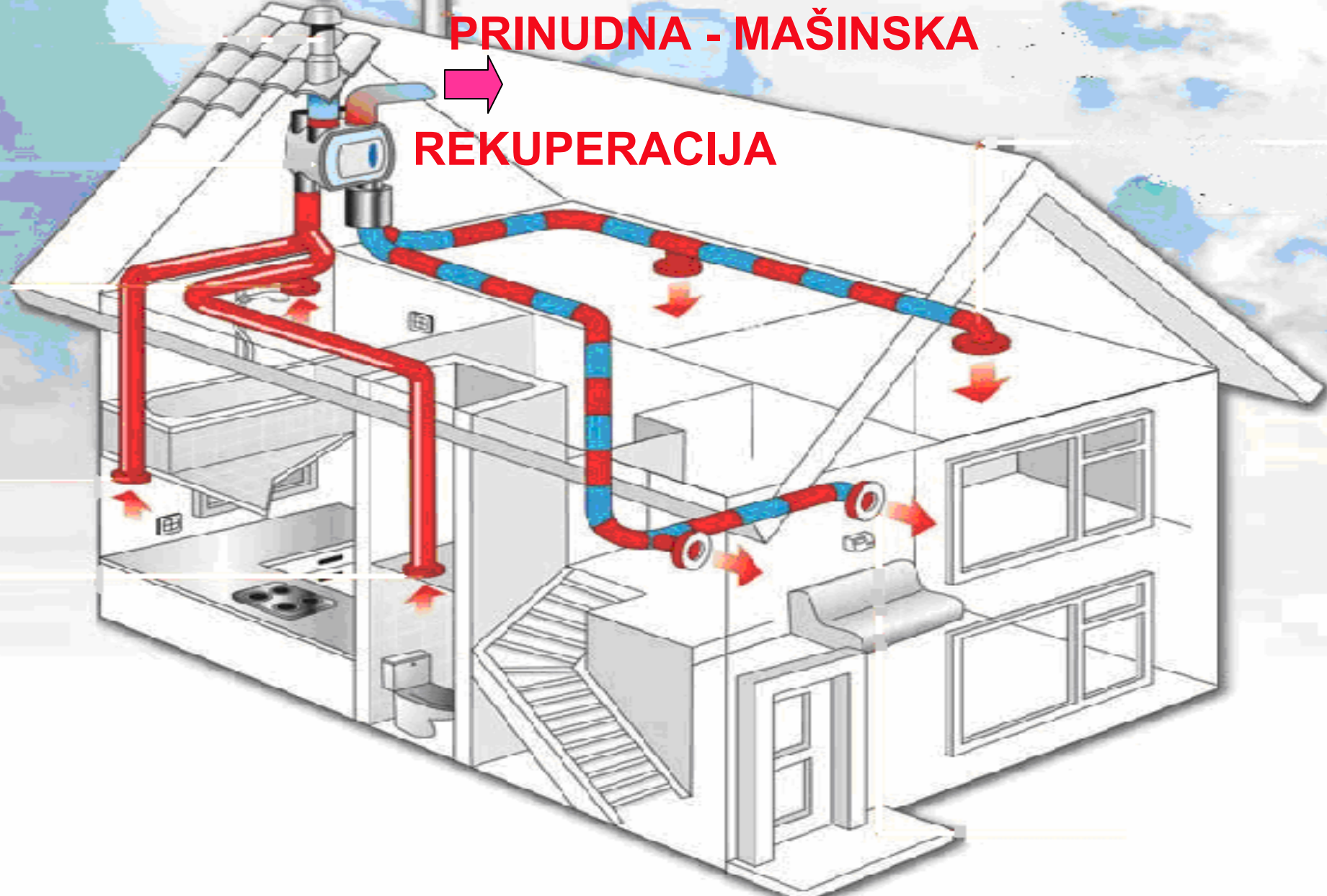


PROSTIRANJE MATERIJE

INFILTRACIJA-VENTILACIJA

PRINUDNA - MAŠINSKA

REKUPERACIJA



PROSTIRANJE MATERIJE

INFILTRACIJA-VENTILACIJA

Broj izmjena na čas $n [h^{-1}]$: pokazuje koliko se puta izmijenio vazduh u prostoriji za $1 h$

Vrsta prostora	Broj izmjena (h ⁻¹)
Prostorije za rad i boravak	3 - 5
Kuhinje	15 - 30
Spremišta za namirnice	10 - 30
Spavaonice	3 - 6
Kupaonice	4 - 8
Nužnici	4 - 9
Stepeništa	4 - 8
Pojedinačne garaže	3 - 6

Količina vazduha koja udje-izadje u prostoriju za $1 h$:

$$\dot{V}_h [m^3/h] = n V,$$

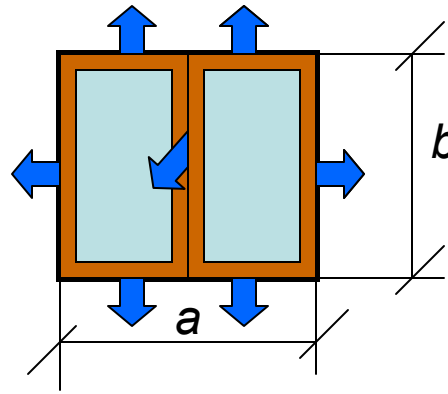
gdje je $V [m^3]$ zapremina prostorije.

PROSTIRANJE MATERIJE

INFILTRACIJA-VENTILACIJA



Propusnost fuga (koeficijent propusnosti k) se prema **EN 12207** označava kao ukupna propusnost, koja odgovara struji vazduha (m^3/h), koja pri $\Delta p=1 Pa$ prolazi kroz fugu dugačku $1 m$ između okvira i krila.



Dužina fuga $L=2a+3b$

Za prozore i prozorska vrata i prozore na krovnim površinama, propisana je propusnost fuga **klase 2** za objekte do 2 puna sprata i **klasa 3** za objekte sa više od dva sprata.

Koeficijent propusnosti fuga za prozore iznosi prema **EN 4108** za **klasu 2**

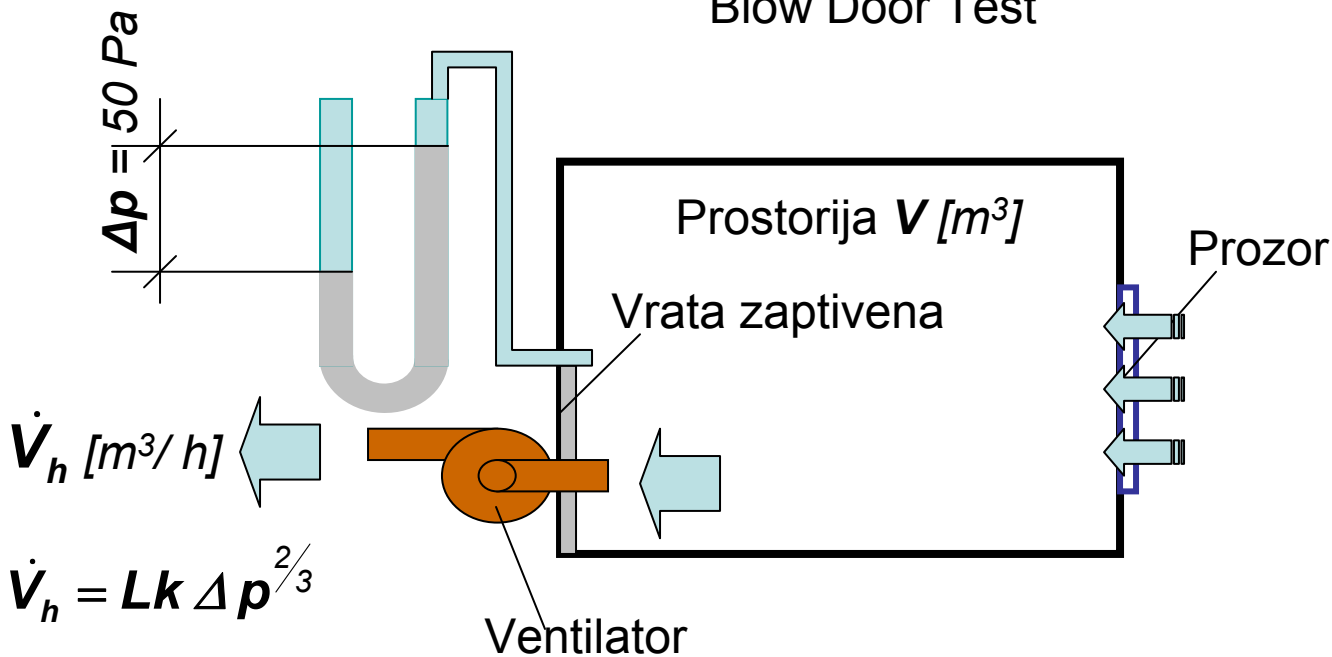
$k_2 = 2.0 m^3 / (mh Pa^{2/3})$ a za **klasu 3** $k_3 = 1.0 m^3 / (mh Pa^{2/3})$.

PROSTIRANJE MATERIJE

INFILTRACIJA-VENTILACIJA

Ispitivanje propustljivosti na vazduh

Blow Door Test



$$\dot{V}_h^{50} = n_{50} V$$

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_h^{50}}{V}$$

$$\dot{V}_h = Lk \Delta p^{2/3}$$

$$k = \dot{V}_h / (L \Delta p^{2/3})$$

$L [m]$, $\Delta p [Pa]$, $k [(m^3/h)/(m^2Pa^{2/3})]$

Mjeri se zapreminski protok u trenutku kad je razlika pritisaka izmedju unutrašnjosti prostorije i okoline $\Delta p = 50 \text{ Pa}$. Zatim se određuje broj izmjena vazduha n_{50} .

PROSTIRANJE MATERIJE

INFILTRACIJA-VENTILACIJA

Ispitivanje propustljivosti na vazduh

Blow Door Test

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_h^{50}}{V}$$

Predlog propisa:

$n_{50} \leq 1.5$ – Objekat sa mašinskom instalacijom,

$n_{50} \leq 3$ – Objekat bez mašinske instalacije,

Klasa propustljivosti stolarije se može odrediti prema izrazu: **$k = (\dot{V}_h / L) / \Delta p^{2/3}$**
gdje je **L** dužina fuga.

PROSTIRANJE MATERIJE INFILTRACIJA-VENTILACIJA

KOLIKO JE n AKO ZNAMO n_{50} ?

$$n = \frac{n_{50}}{10}$$

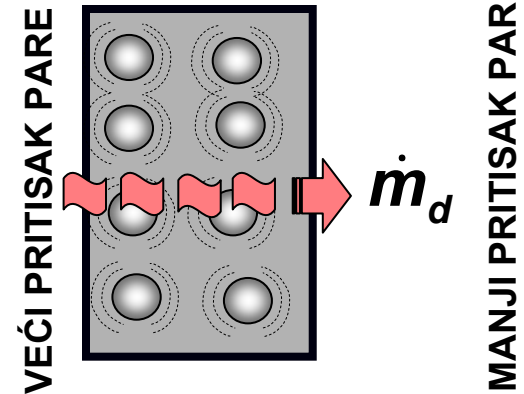
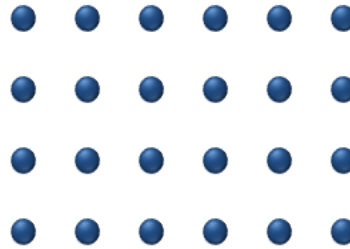
PROSTIRANJE MATERIJE

DIFUZIJA

PROSTIRANJE MATERIJE I PROSTIRANJE
TOPLOTE SU ANALOGNI PROCESI

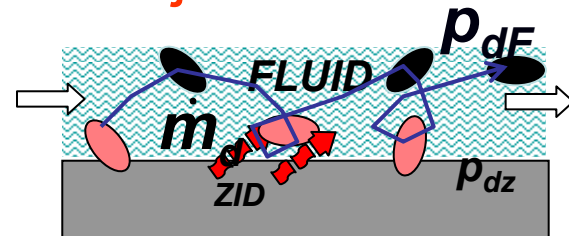
- Provođenje toplote – **Difuzija pare kroz zid**

Mehanizam difuzije je kontrolisan na molekularnom nivou.



- Konvekcija (toplota) – **Konvektivna difuzija**

Mehanizam konvektivne difuzije je kontrolisan na nivou fluidnih djelića.

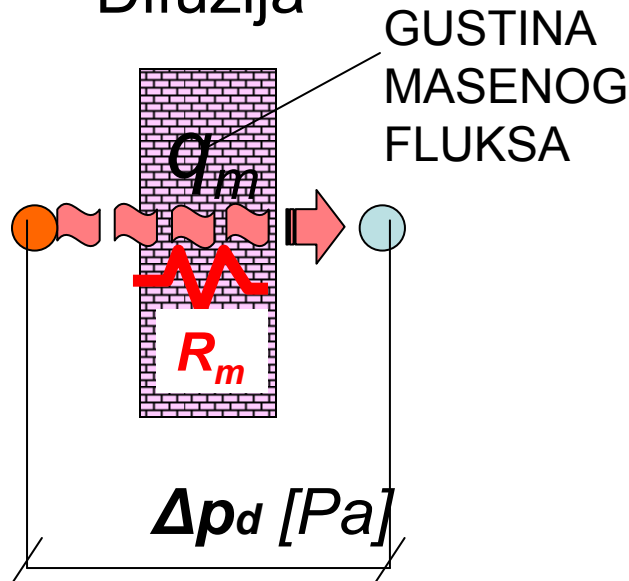


PROSTIRANJE MATERIJE

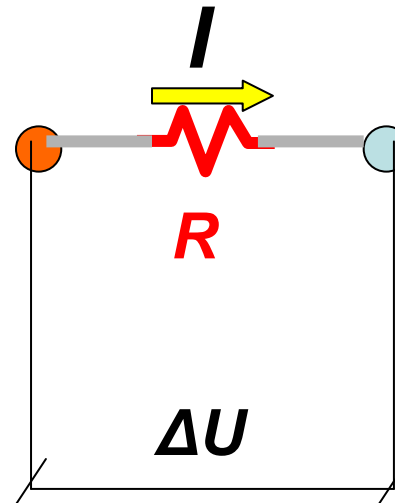
DIFUZIJA

Električna analogija

Difuzija



Električna struja



$$q_m [(kg/h)/m^2] \text{ (ili } g_z) = \frac{\Delta p_d}{R_m}$$

$$I = \frac{\Delta U}{R}$$

SMJER q_m :

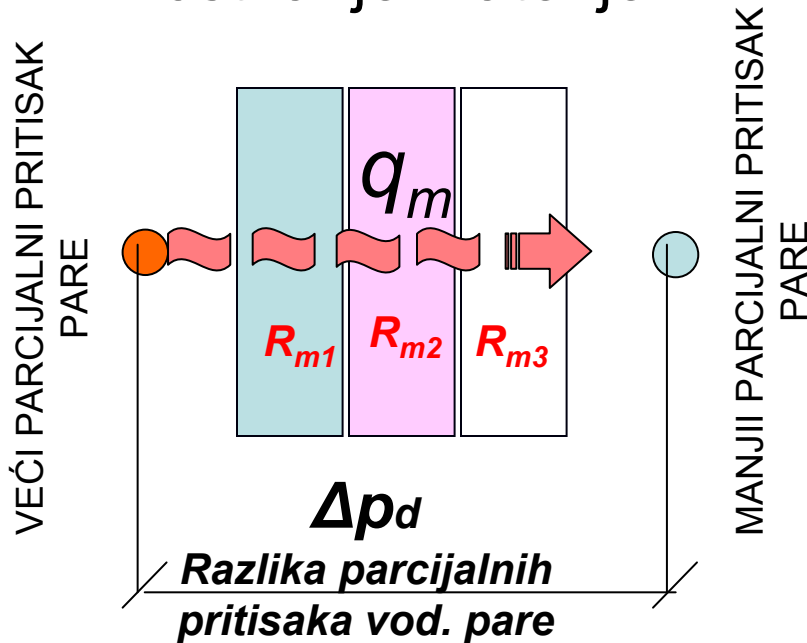
OD VEĆEG PARCIJALNOG KA MANJEM PARCIJANOM PRITISKU PARE

PROSTIRANJE MATERIJE

DIFUZIJA

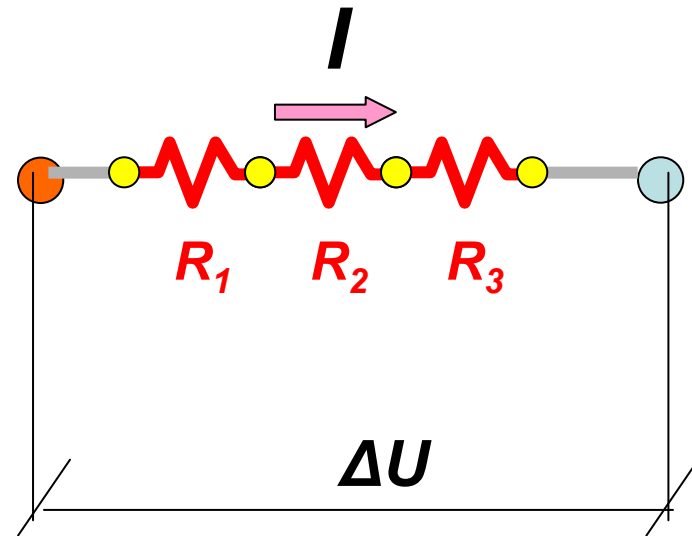
Električna analogija – redno vezani otpori

Prostiranje materije



$$q_m = \frac{\Delta p_d}{R_{m1} + R_{m2} + R_{m3}}$$

Električna struja



$$I = \frac{\Delta U}{R_1 + R_2 + R_3}$$

PROSTIRANJE MATERIJE

ANALOGOJA: PROLAZ TOPLOTE - DIFUZIJA

PROLAZ TOPLOTE

GUSTINA TOPLOTNOG FLUXA

$$q \left[\frac{W}{m^2} \right] = \frac{\Delta T_f}{R_q} = \frac{T_{f1} - T_{f2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

TOPLOTNI FLUX

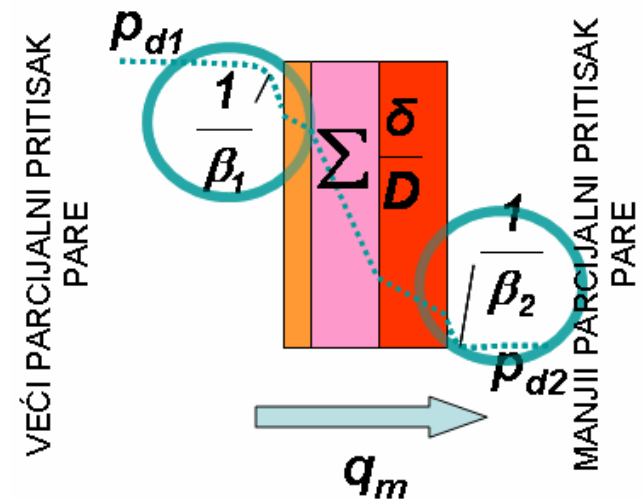
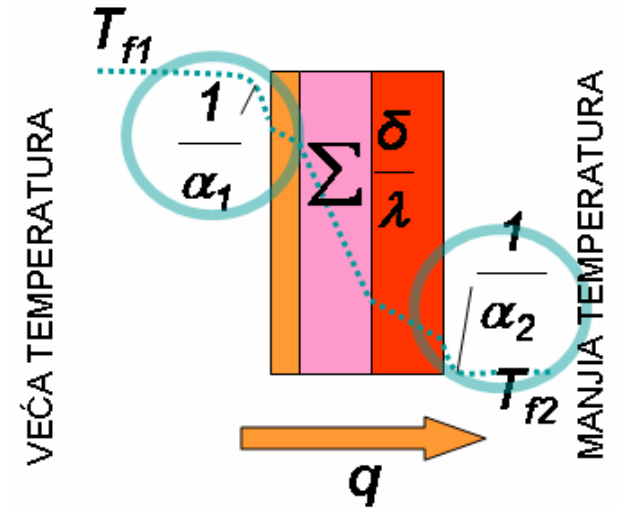
$$\dot{Q} [W] = Aq$$

DIFUZIJA

GUSTINA MASENOG FLUXA

$$q_m \left[\frac{kg/h}{m^2} \right] = \frac{\Delta p_d}{R_m} = \frac{p_{d1} - p_{d2}}{\frac{1}{\beta_1} + \sum \frac{\delta}{D} + \frac{1}{\beta_2}}$$

MASENI FLUX $\dot{m} [kg/h] (\text{ili } \Phi_m) = Aq_m$



PROSTIRANJE MATERIJE

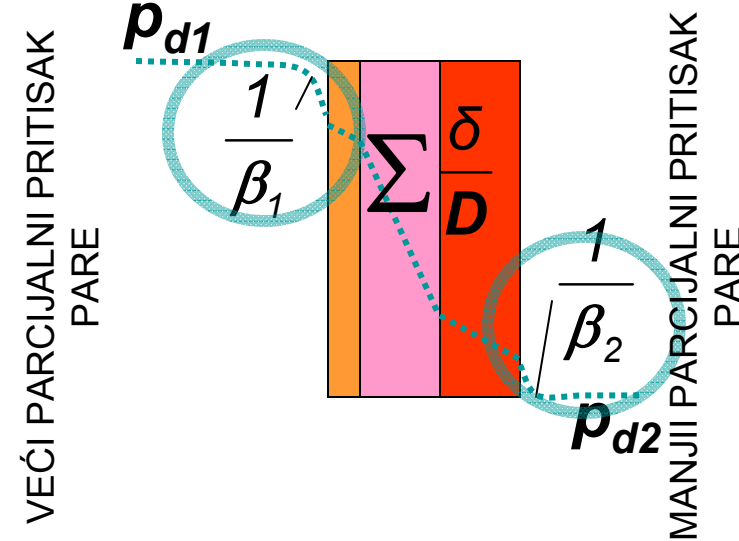
DIFUZIJA

GUSTINA MASENOG FLUXA

$$q_m \left[\frac{\text{kg/h}}{\text{m}^2} \right] = \frac{\Delta p_d}{R_m} = \frac{p_{d1} - p_{d2}}{\frac{1}{\beta_1} + \sum \frac{\delta}{D} + \frac{1}{\beta_2}}$$

MASENI FLUX

$$\dot{m} [\text{kg/h}] (\text{ili } \Phi_m) = A q_m$$



D [(kg/h)/mPa] (ili δ) – Koeficijent DIFUZIJSKE Provodljivosti

$$D = D_o / \mu$$

Referentni Koeficijent Difuzijske provodljivosti D_o (vodene pare u vazduhu)

$$D_o = 0.67 \cdot 10^{-6} [(kg/h)/mPa] = 0.67 [(gr/h)/m kPa]$$

μ [-] – Relativni otpor difuziji (pokazuje koliko puta neka sredina ima manju provodljivost od vazduha)

β [(kg/h)/(m²Pa)] koeficijent “prelaza” mase

PROSTIRANJE MATERIJE

DIFUZIJA

Koliki je koeficijent difuzijske provodljivosti

$$D = D_0 / \mu?$$

RELATIVNI OTPOR DIFUZIJI

μ [-]

∞

6-9

5-30

1600

7

5

Materijal

Staklo

Opeka

Beton

Bitum. (Ter) papir

Cementni malter

Krečni malter

p_{d1}

$$\frac{1}{\beta_1}$$

$$\sum \frac{\delta}{D}$$

$$\frac{1}{\beta_2}$$

p_{d2}

PROSTIRANJE MATERIJE

DIFUZIJA

Koliko je $1/\beta = ?$

Može se pokazati da je koeficijent prelaza mase:

$$\beta \approx \frac{3\alpha}{R_{H_2O} T} \left[(\text{kg} / \text{h}) / (\text{m}^2 \text{Pa}) \right]$$

gdje je

α [W/m²K] – Koeficijent prelaza toplote

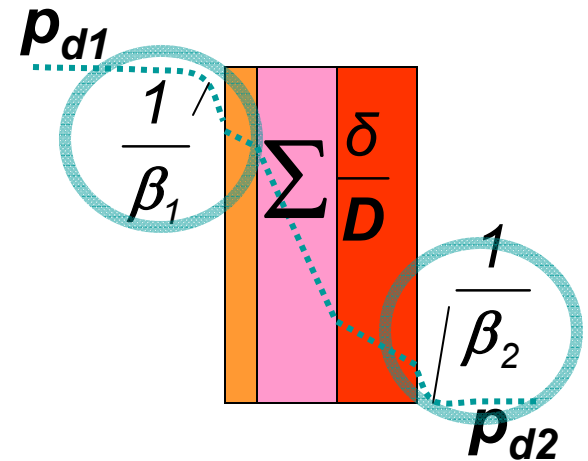
$R_{H_2O} = 8314 / M_{H_2O} = 8314 / 18$ – Gasna konstant H₂O.

Uporedimo red veličine $1/\beta$ i δ/D .

Za $\alpha \sim 10$ W/m²K, $T \sim 300$ K, $R_{H_2O} \sim 460$ J/kgK, $1/\beta \sim 1500$

$\delta \sim 0.1$ m, $D \sim D_0 = 0.67 \cdot 10^{-6}$ (kg/h)/mPa, $\delta/D \sim 1500 \cdot 10^2$

Očigledno je $1/\beta \ll \delta/D$ pa se može zanemariti.



PROSTIRANJE TOPLOTE I MATERIJE

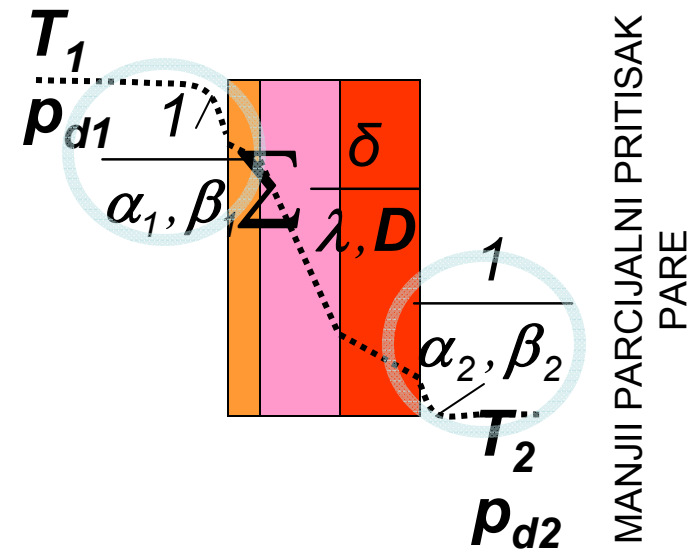
DIFUZIJA

PROLAZ TOPLOTE

$$\dot{Q} [W] = A q$$

$$q \left[\frac{W}{m^2} \right] = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{\Delta T}{\frac{1}{U}} = \frac{\Delta T}{R_q}$$

VEĆI PARCIJALNI PRITISAK
PARE



PROSTIRANJE TOPLOTE I MATERIJJE

DIFUZIJA

PROLAZ MATERIJJE - Vod. pare

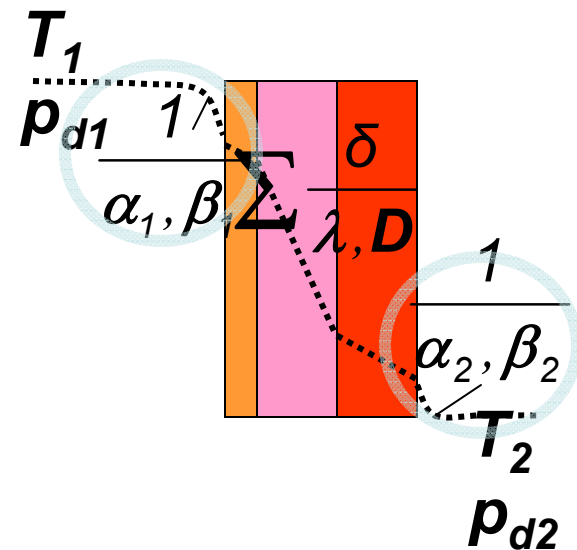
$$\dot{m} [\text{kg/h}] (\text{ili } \Phi_m) = A q_m$$

$$q_m \left[\frac{\text{kg/h}}{\text{m}^2} \right] = \frac{\rho_{d1} - \rho_{d2}}{\underbrace{\frac{1}{\beta_1}}_{\approx 0} + \sum \frac{\delta}{D} + \underbrace{\frac{1}{\beta_2}}_{\approx 0}} = \frac{\rho_{d1} - \rho_{d2}}{\sum \frac{\delta}{D}}$$

$$\sum \frac{\delta}{D} \approx \sum \frac{\delta}{D_0} = \frac{1}{D_0} \sum \delta \mu = \frac{1}{D_0} \sum r$$

$r [\text{m}] = \delta \mu$ – relativni otpor sloja difuziji

$$q_m \left[\frac{\text{kg/h}}{\text{m}^2} \right] = \frac{\rho_{d1} - \rho_{d2}}{\sum \frac{\delta}{D}} = D_0 \frac{\rho_{d1} - \rho_{d2}}{\sum \delta \mu} = D_0 \frac{\rho_{d1} - \rho_{d2}}{\sum r}$$



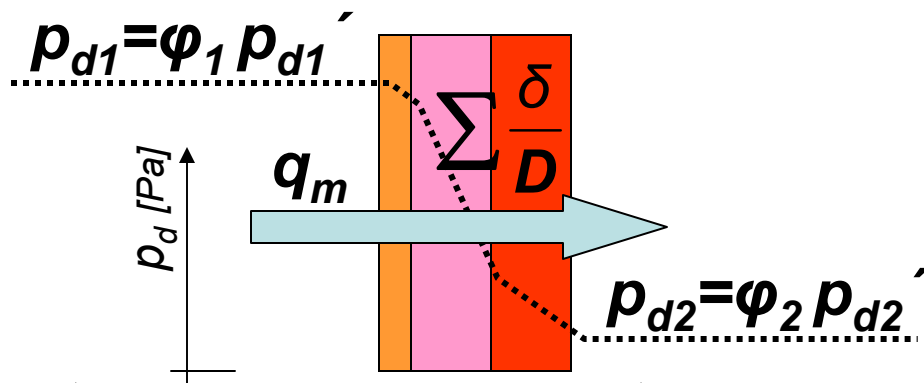
PROSTIRANJE TOPLOTE I MATERIJE

DIFUZIJA

PROLAZ MATERIJE - Vod. pare

$$\varphi = \frac{\text{Parcijalni pritisak vod. pare } (\mathbf{p}_d)}{\text{Parcijalni pritisak zasić. vod. pare } (\mathbf{p}'_d \text{ ili } \mathbf{p}_{d_s})}$$

$$\dot{m}[\text{kg/h}] (\text{ili } \Phi_m) = A q_m$$



$$g_z, q_m \left[\frac{\text{kg/h}}{\text{m}^2} \right] = 0.67 \cdot 10^{-6} \frac{\Delta p}{\sum \delta \mu} = 0.67 \cdot 10^{-6} \frac{\Delta p}{\sum r}$$

$$\Delta p [\text{Pa}], \delta [\text{m}], \mu [-]$$

r [m] = $\delta \mu$ – relativni otpor sloja difuziji

μ [-] – relativni otpor difuziji

δ [cm] – debljina sloja

PROSTIRANJE TOPLOTE I MATERIJE DIFUZIJA

ŠTA JE PROBLEM?

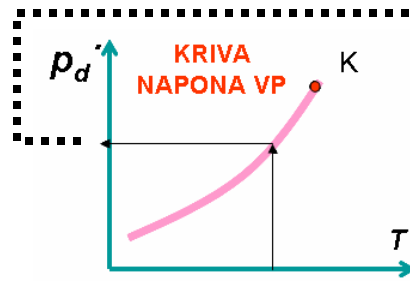
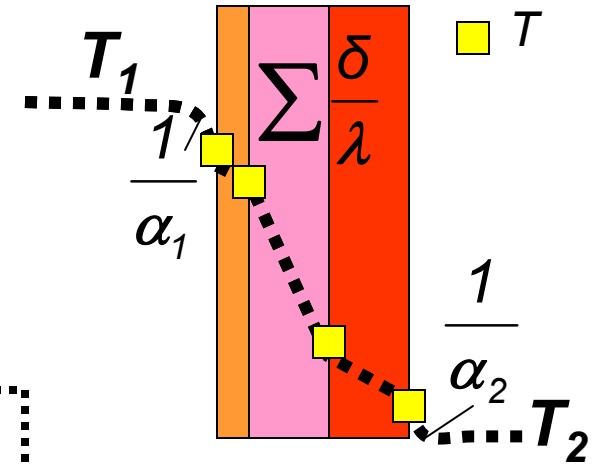
KONDENZACIJA VLAGE U (NA) ZIDU.

DO KONDENZACIJE DOLAZI AKO JE
TEMPERATURA U ZIDU MANJA OD
TEMPERATURE KONDENZACIJE PARE
(tačka rose) NA TOM MJESTU

PROSTIRANJE TOPLOTE I MATERIJE DIFUZIJA

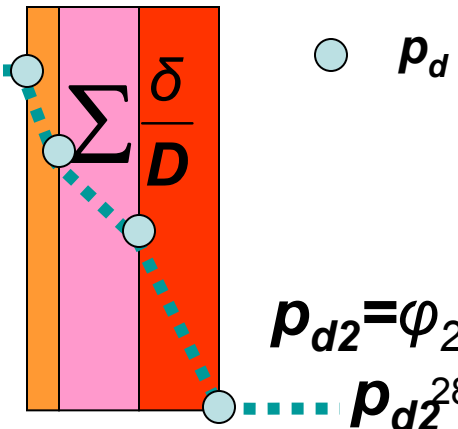
KAKO SE TO PROVJERAVA?

1. ODREDI SE TEMPERATURSKO
POLJE (T) U ZIDU



$$p_{d1} = \varphi_1 p_{d1}'$$

$$p_{d1}$$



$$p_{d2} = \varphi_2 p_{d2}'$$

$$p_{d2}^{28}$$

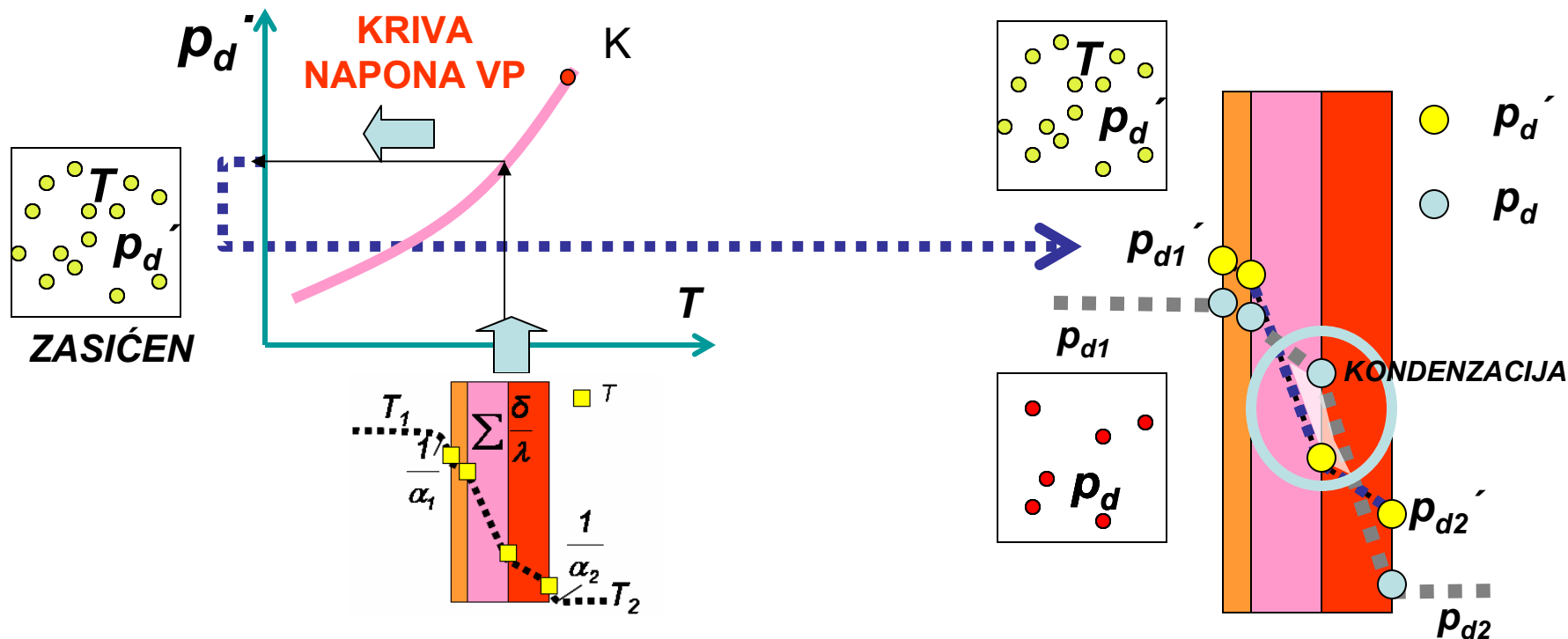
2. ODREDI SE POLJE PRITISKA
PARE (p_d) U ZIDU

(postupak analogan postupku odredjivanja
Temperaturskog polja u zidu)

PROSTIRANJE TOPLOTE I MATERIJE

DIFUZIJA

3. ODREDE SE PARCIJALNI PRITISCI ZASIĆENJA U ZIDU NA OSNOVU KRIVE NAPONA (Tabela zasićene vod. pare) ZA IZRAČUNATE TEMPERATURE NA POČETKU (tačka 1) : $p_d' = f(T)$



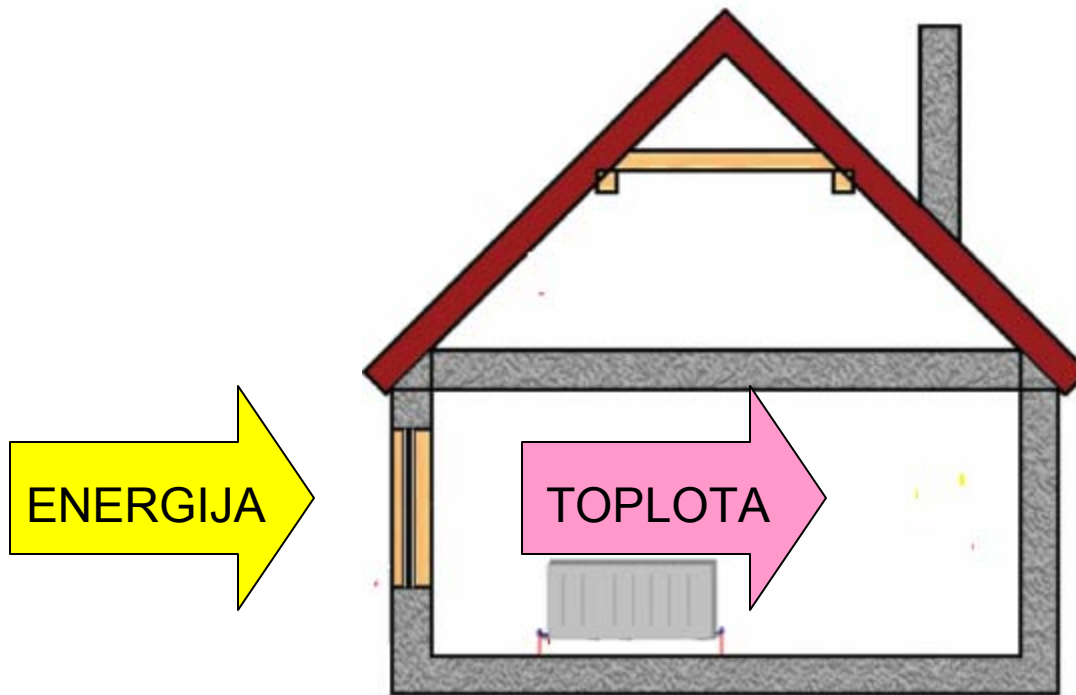
4. UPOREDE SE DOBIJENI PARC. PRITISCI ZASIĆENJA (tačka 3) SA PARC. PRITISCIMA U ZIDU

$p_d < p_d'$ – KONDENZACIJA,

$p_d > p_d'$ – NEMA KONDENZACIJE.

ENERGETSKI BILANS ZGRADE

Svi oblici energije završe kao toplota.



ZGRADA SE JAVLJA KAO “TRANSFORMATOR” KOJI SVU ENERGIJU PRETVARA U TOPLOTU

ENERGETSKI BILANS ZGRADE

Potrebna Energija (needed, n)

Potrebe objekta (izračunate) za odredjen period u *kWh*

Isporučena Energija (delivered, del)

Dovedena Energija na granice objekta u cilju zadovoljenja potreba u odredjenom periodu u *kWh*:

$$E_{del, i} = E_{n, i} / \eta_{sis, i}$$

Primarna Energija (primar, prim)

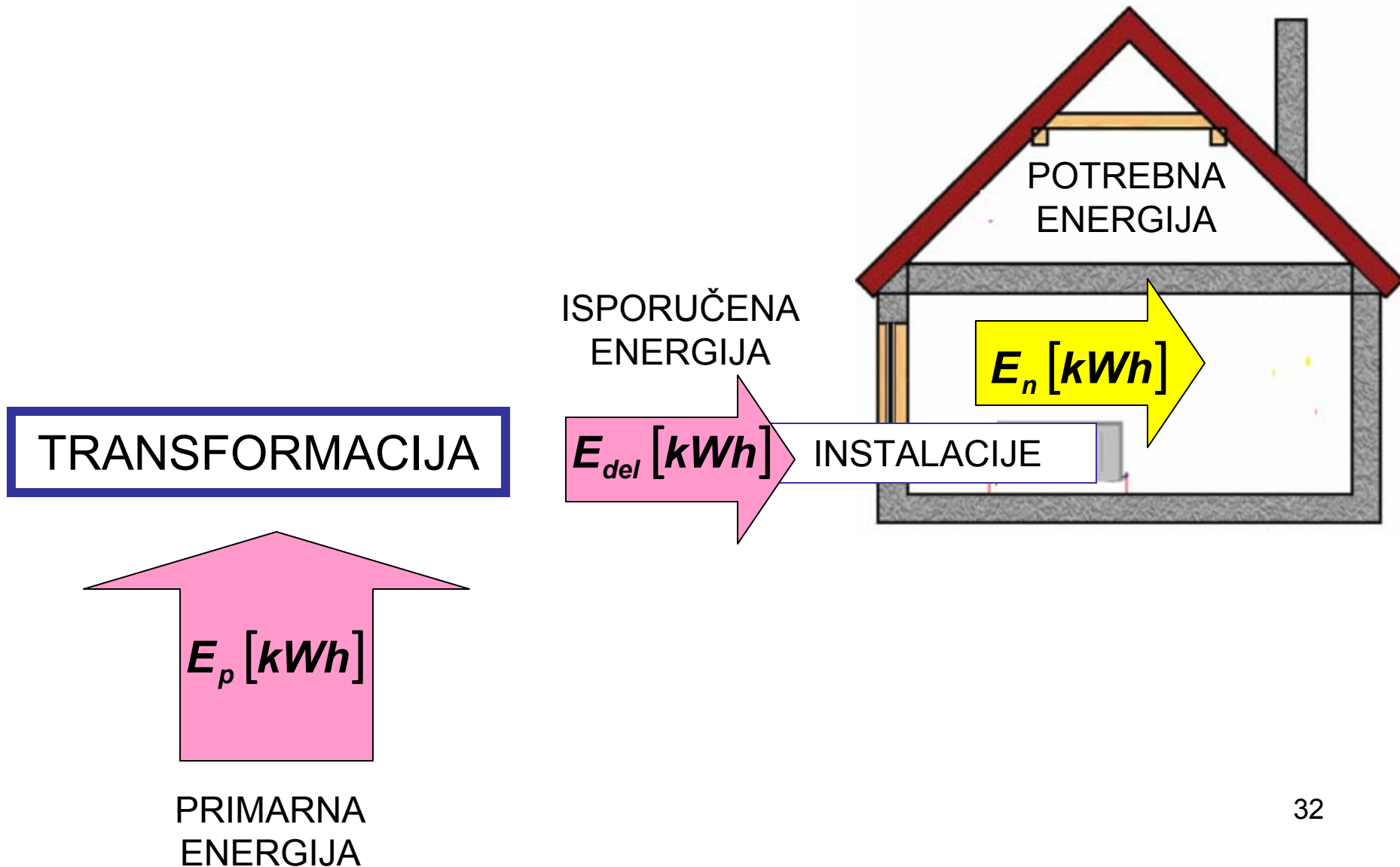
Izvorni oblik energije prije bilo kakve transformacije:

$$E_P = \sum (E_{Del} * f_P)$$

η_{sis} - Ukupni koeficijent efikasnosti sistema u objektu

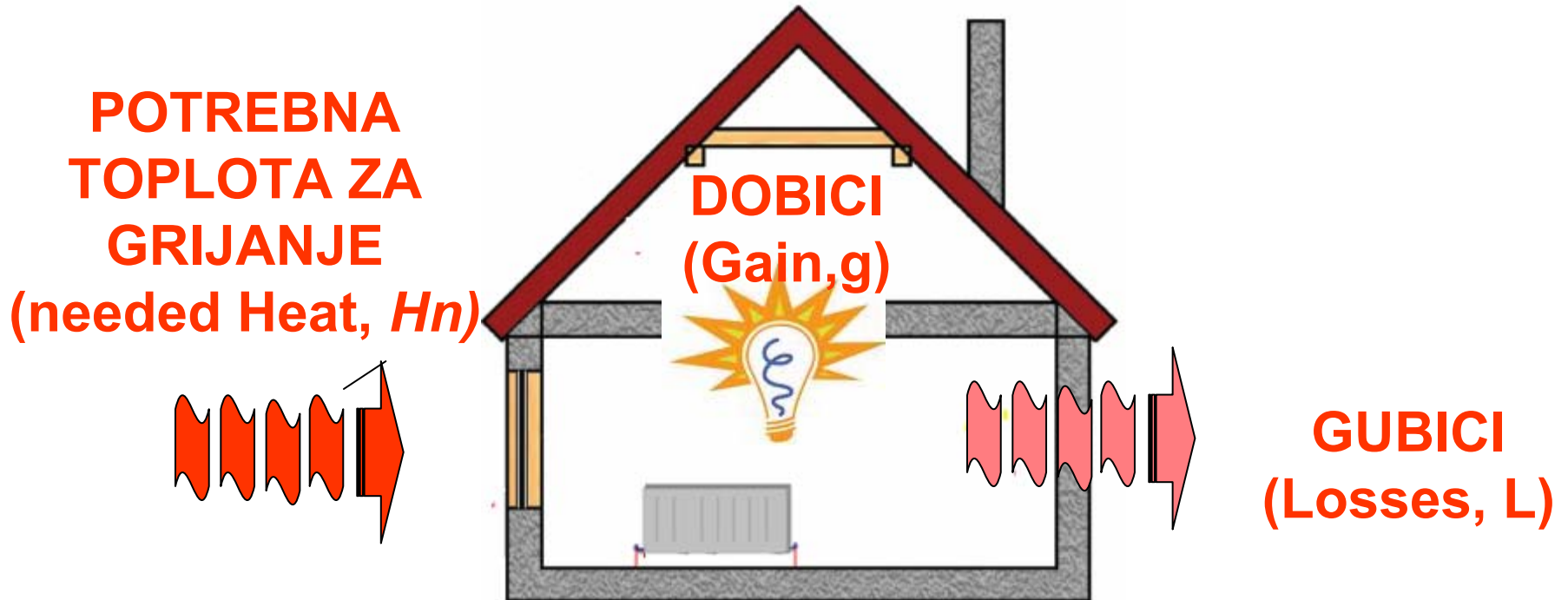
f_P - Koeficijent transformacije energije

ENERGETSKI BILANS ZGRADE



ENERGETSKI BILANS ZGRADE

$0 < \eta_g \leq 1$ – Koeficijent iskorišćenja toplotnih dobitaka definiše dio dobitaka koji “korisno” doprinose grijanju objekta.



POTREBNA TOPLOTA ZA GRIJANJE = GUBICI – DIO DOBITAKA

$$Q_{Hn} = Q_L - \eta_g Q_g$$

ENERGETSKI BILANS ZGRADE

GUBICI:

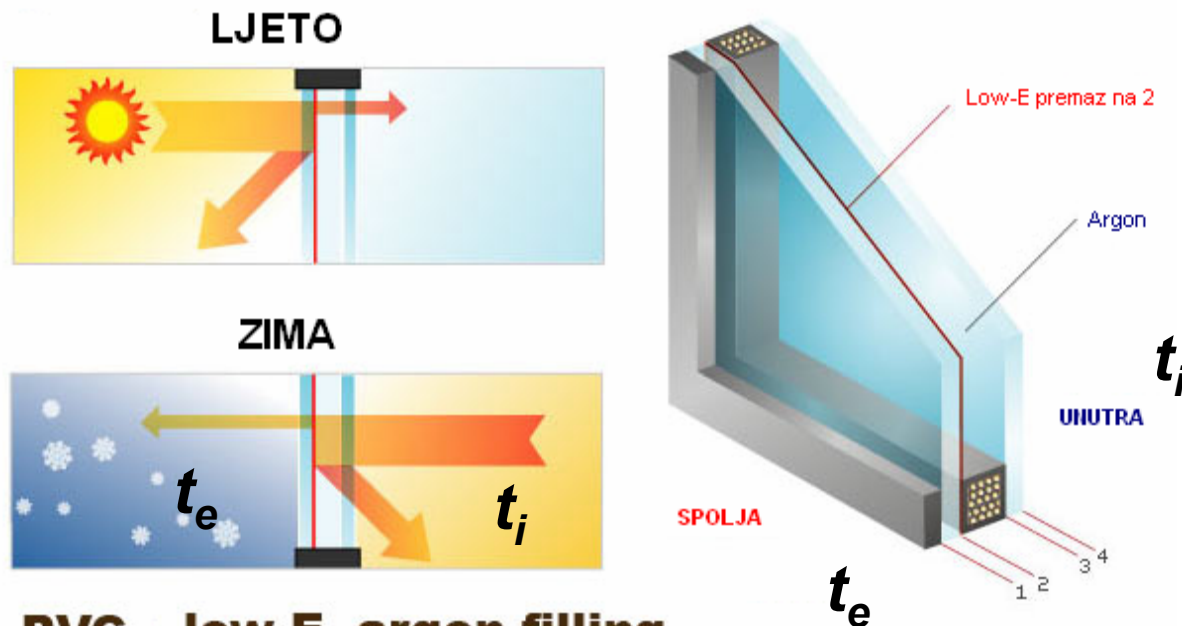
- a. Transmisioni (prolaz toplote kroz zidove, prozore)
- b. Ventilacioni-Infiltracioni
(ulazak svježeg zraka u objekat).

DOBICI:

- a. Spoljašnji (Solarni kroz providne površine)
- b. Unutrašnji (ljudi, uređaji, osvetljenje)

ENERGETSKI BILANS ZGRADE

PROZORI



PVC , low-E, argon filling
 $U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K} / R = 0,83 \text{ m}^2\text{K/W}$

~~**argon filling $U = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$**~~

Transmisioni
 GUBICI

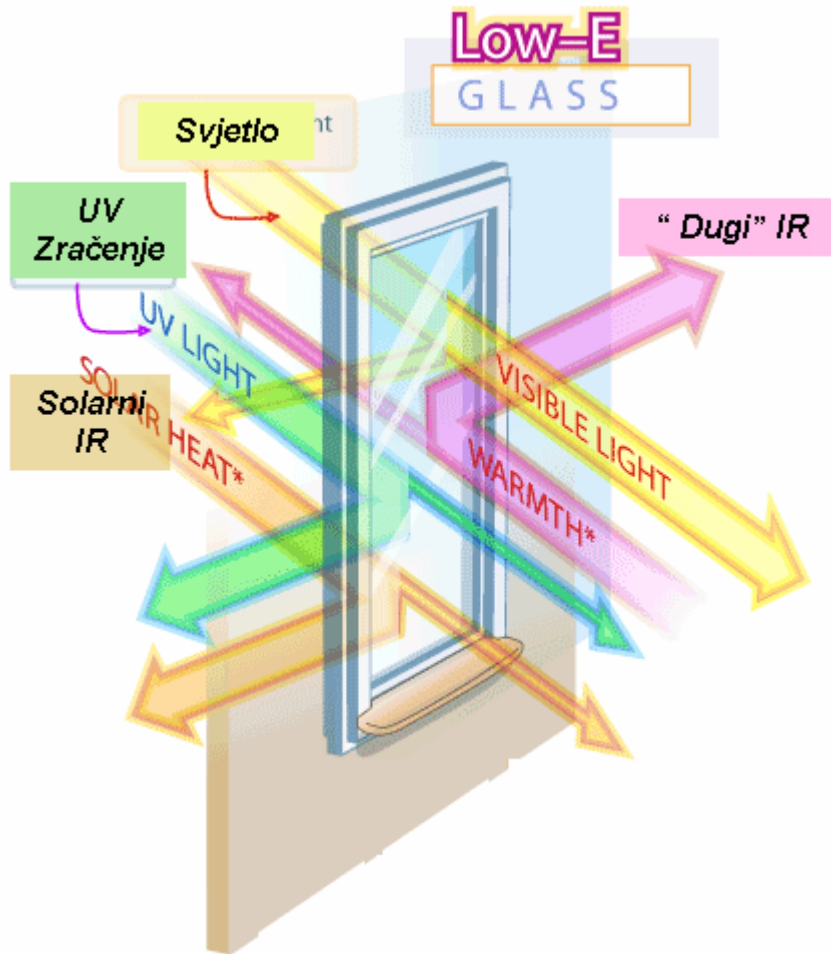
$$\dot{Q}_{tr_w} [W] = A_w U (t_i - t_e)$$

DOBICI

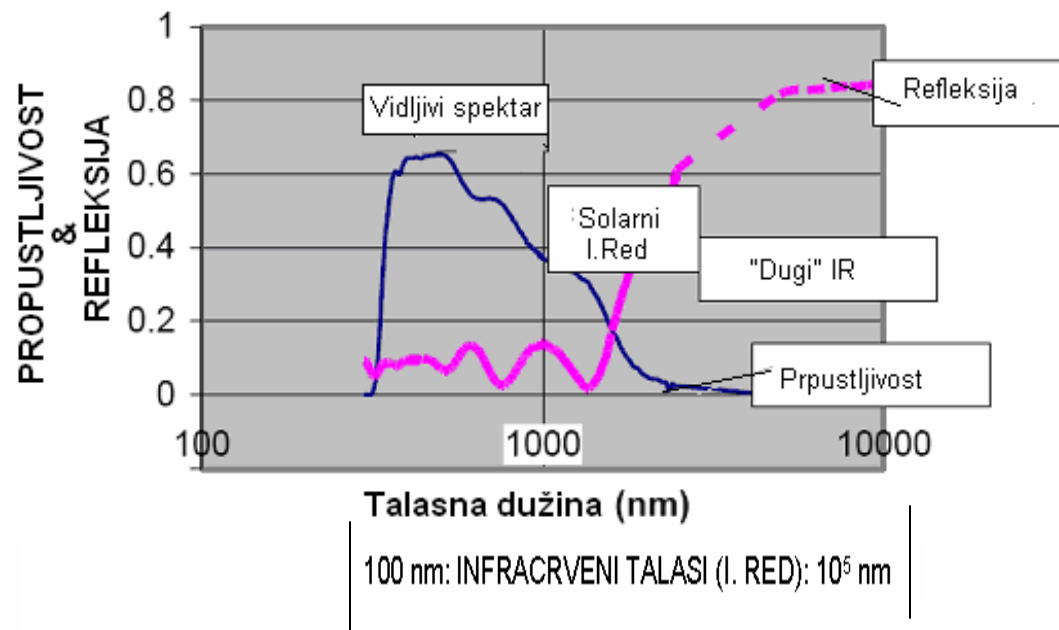
$$\dot{Q}_{Sol} [W] = A_w g_{tot} I_{Sol}$$

ENERGETSKI BILANS ZGRADE

PROZORI

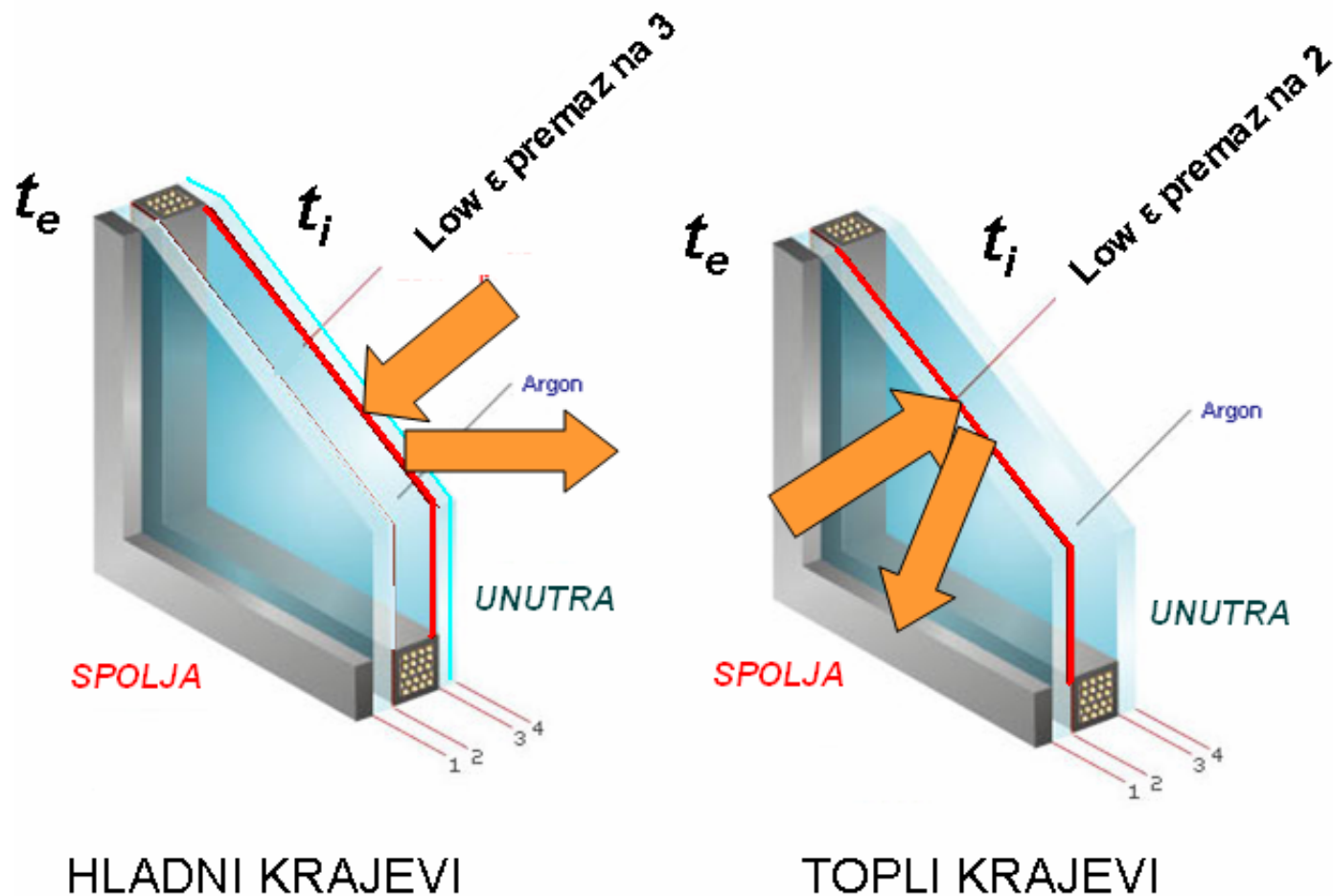


PROPUSTLJIVOST & REFLEKSIJA
Low E Staklo

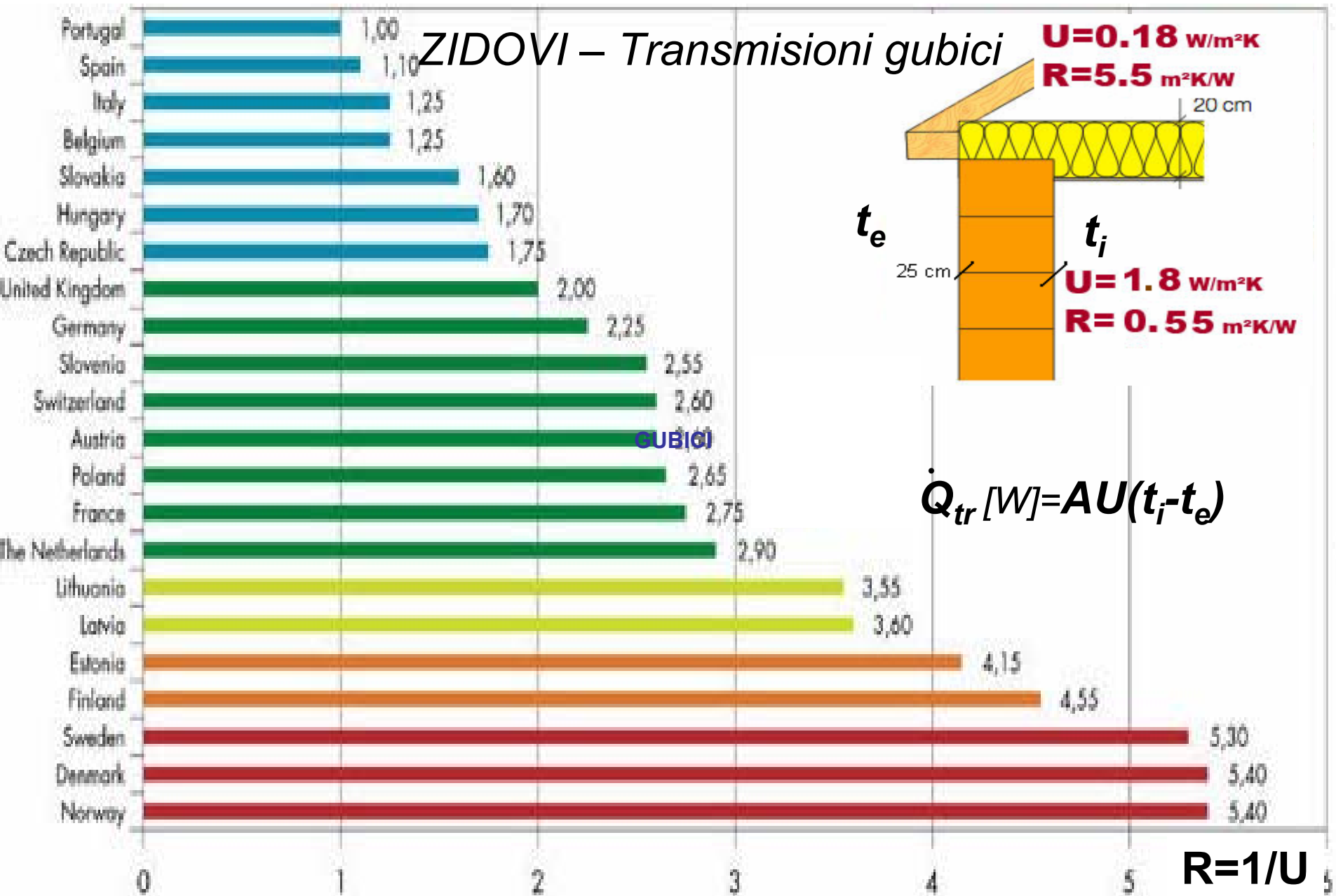


ENERGETSKI BILANS ZGRADE

PROZORI



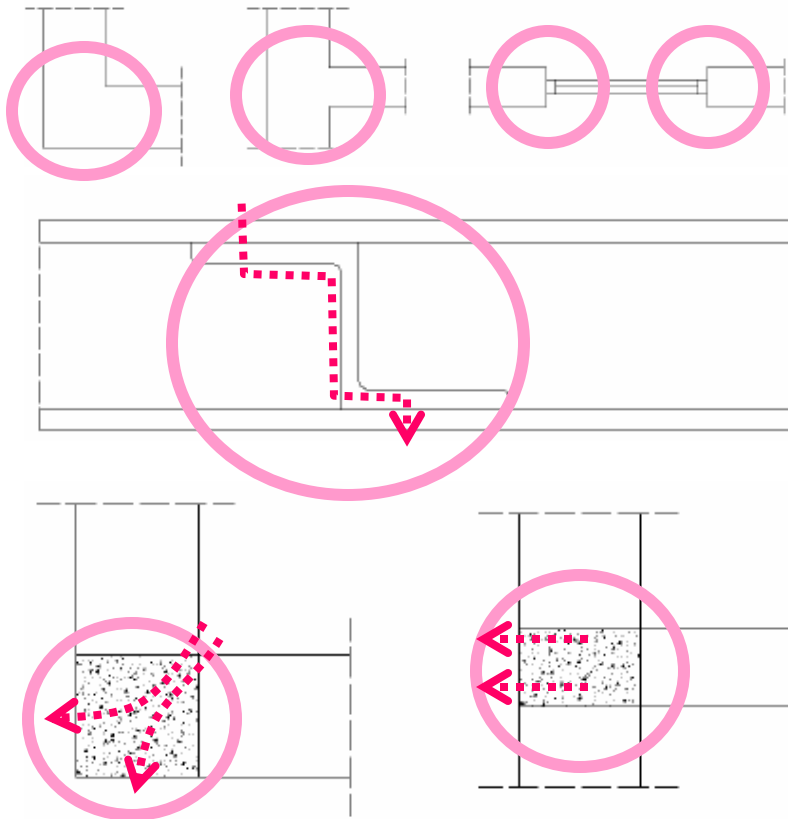
ENERGETSKI BILANS ZGRADE



ENERGETSKI BILANS ZGRADE

ZIDOVI – Transmisioni gubici

TOPLOTNI MOSTOVI- THERMAL BRIDGE



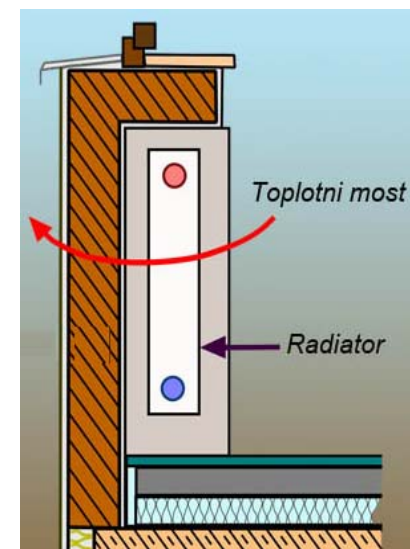
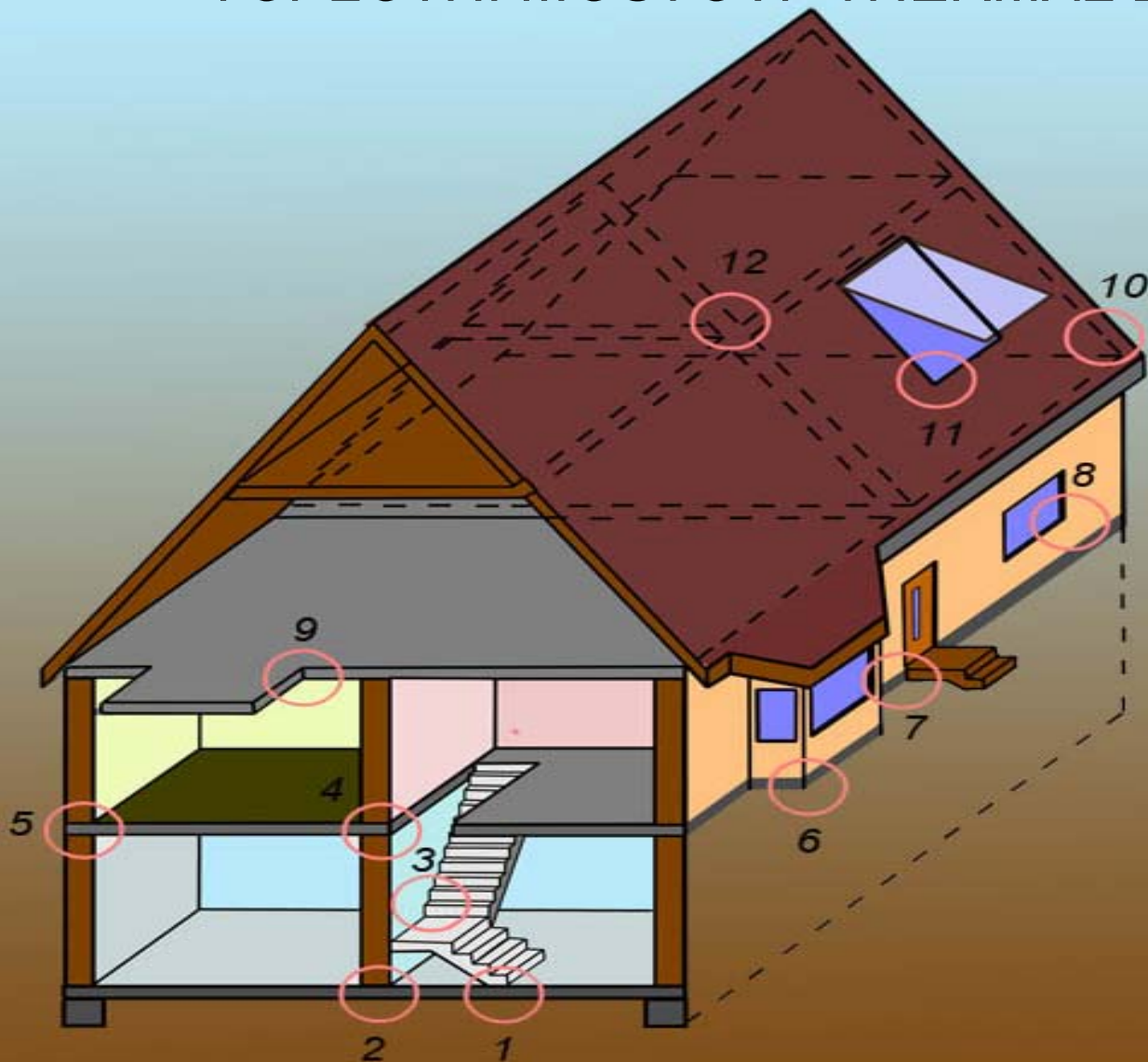
TOPLOTNI MOSTOVI PREDSTAVLJAJU MJESTA GDJE JE NARUŠENA 1D GEOMETRIJA, TJ. GEOMETRIJA PARALELNIH RAVNI.

Toplotni mostovi predstavljaju “PREČICE” pri prostiranju toplote. Dakle dodatne gubitke (10-15%) i potencijalnu opasnost od KONDENZACIJE pare u zidu.

ENERGETSKI BILANS ZGRADE

ZIDOVI – Transmisioni gubici

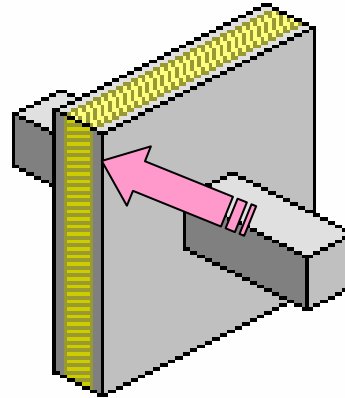
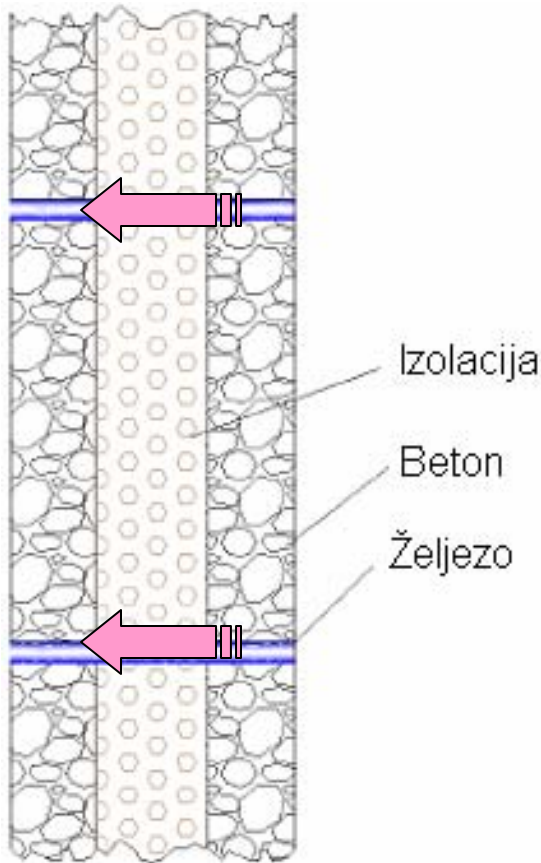
TOPLOTNI MOSTOVI- THERMAL BRIDGE



ENERGETSKI BILANS ZGRADE

ZIDOVI – Transmisioni gubici

TOPLOTNI MOSTOVI-TAČKASTI



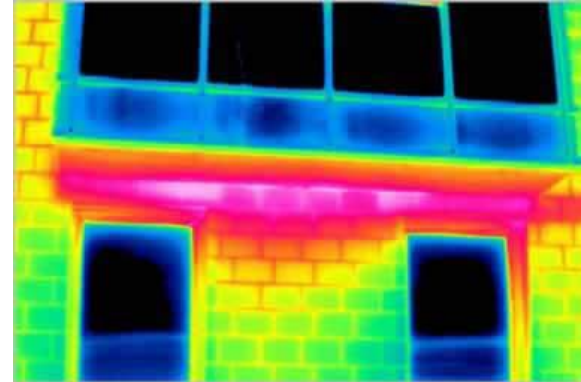
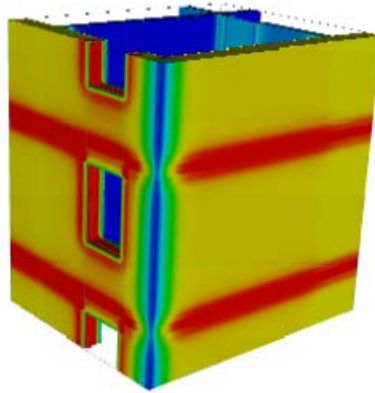
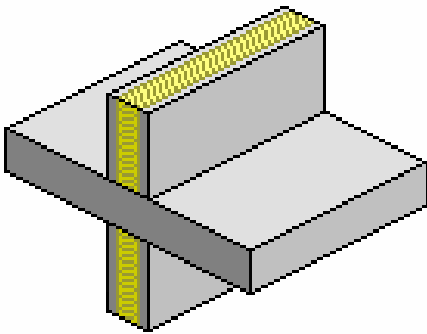
Prodor metala, greda itd. kroz izolaciju mijenja njene termičke osobije. Zato se uvodi korekcija.

Površine se uzimaju kao težinski faktori

ENERGETSKI BILANS ZGRADE

ZIDOVI – Transmisioni gubici

TOPLOTNI MOSTOVI - LINIJSKI



EFEKTIVNI KOEFICIJENT PROLAZA TOPLOTE FASADE U_e (tj k_e) se odredjuje na osnovu standardnih U (k) uz korekciju uticaja toplotnih mostova.

$$U_e(k_e) [W / m^2 K] = (\sum AU(k) + \sum L\psi) / \sum A$$

L [m] dužina toplotnih mostova

ψ [W/mK] – linijski koeficijent toplotnih gubitaka

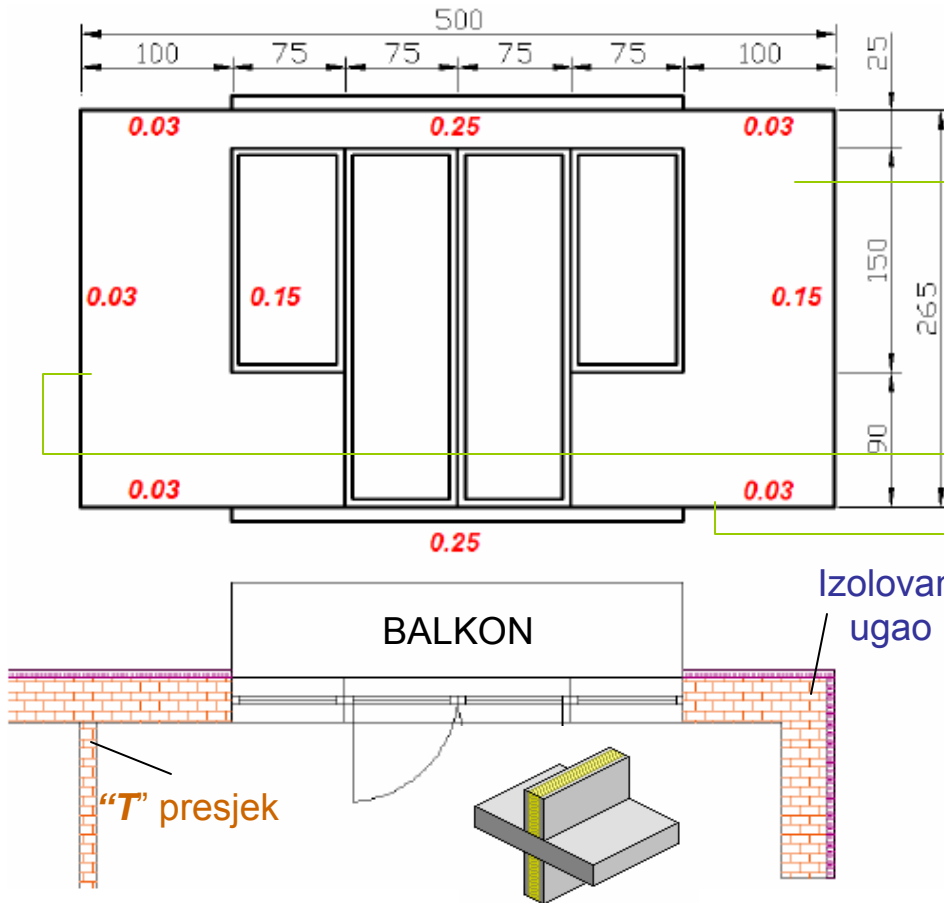
Toplotni mostovi sa spoljnom linijskom toplotnom provodnošću

$$\psi_e > 0.2 W/mK$$

ENERGETSKI BILANS ZGRADE

ZIDOVI – Transmisioni gubici

TOPLOTNI MOSTOVI- THERMAL BRIDGE



Spolja izolovan zid

$$U_{WL} = 0.65 \text{ W/m}^2\text{K}, A_{WL} = 7.4 \text{ m}^2$$

Prozor

$$U_w = 3 \text{ W/m}^2\text{K}, A_w = 5.85 \text{ m}^2$$

Izolovani ugao

$$\Psi_c = 0.15 \text{ W/mK}, L_U = 2.65 \text{ m}$$

Izolovani presjek "T"

$$\Psi_T = 0.03 \text{ W/mK}, L_T = 2.65 \text{ m}$$

Prozor-obim

$$\Psi_w = 0.15 \text{ W/mK}, L_w = 7.8 \text{ m}$$

Presjek Zid-Pod, Tavanica

$$\Psi_F = 0.03 \text{ W/mK}, L_F = 4 \text{ m}$$

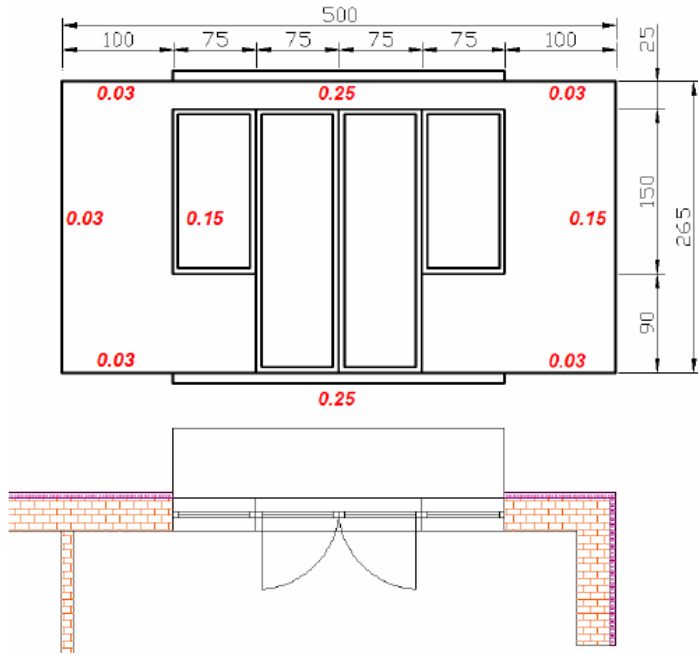
Balkon

$$\Psi_F = 0.25 \text{ W/mK}, L_B = 6 \text{ m}$$

ENERGETSKI BILANS ZGRADE

ZIDOVI – Transmisioni gubici

TOPLOTNI MOSTOVI- THERMAL BRIDGE



Spola izolovan zid

$$U_{WL} = 0.65 \text{ W/m}^2\text{K}, A_{WL} = 7.4 \text{ m}^2$$

Prozor

$$U_w = 3 \text{ W/m}^2 \text{ K}, A_w = 5.85 \text{ m}^2$$

Izolovani ugao

$$\Psi_c = 0.15 \text{ W/mK}, L_U = 2.65 \text{ m}$$

Izolovani presjek "T"

$$\Psi_T = 0.03 \text{ W/mK}, L_T = 2.65 \text{ m}$$

Prozor-obim

$$\Psi_w = 0.15 \text{ W/mK}, L_W = 7.8 \text{ m}$$

Presjek Zid-Pod, Tavanica

$$\Psi_F = 0.03 \text{ W/mK}, L_F = 4 \text{ m}$$

Balkon

$$\Psi_B = 0.25 \text{ W/mK}, L_B = 6 \text{ m}$$

EFEKTIVNI KOEFICIJENAT PROLAZA TOPLOTE FASADE

$$U_e = U_{WL} A_{WL} / A + U_w A_w / A + (L_c \Psi_c + L_T \Psi_T + L_W \Psi_W + L_F \Psi_F + L_B \Psi_B) / A$$

$$U_e = 0.65 * (7.4 / 13.25) + 3 * (5.85 / 13.25) + (2.65 * 0.15 + 2.65 * 0.03 + 7.8 * 0.15 + 4 * 0.03 + 6 * 0.25) / 13.25$$

$$U_e = 1.57 + 0.25$$

$$U_e = 1.82 \text{ W/m}^2\text{K}$$

ENERGETSKI BILANS ZGRADE

ZIDOVI – Transmisioni gubici

TOPLOTNI MOSTOVI - THERMAL BRIDGE

EFEKTIVNI KOEFICIJENAT PROLAZA
TOPLOTE FASADE

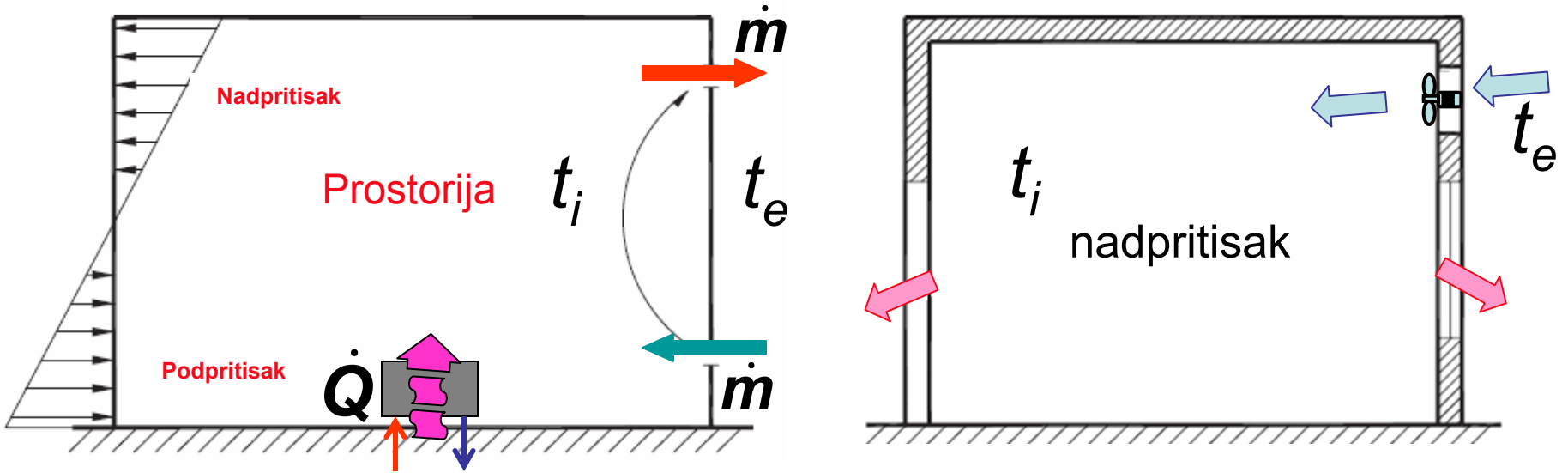
ALTERNATIVA: UTICAJ TOPLOTNIH MOSTOVA SE UZIMA TAKO ŠTO SE UVEĆAVA KOEFICIJENAT PROLAZA TOPLOTE ZIDOVA

Predlog

U_{WLM} (srednje U zidova)	≥ 0.8	$\geq 0.4, < 0.8$	< 0.4
ΔU_{TB} (dodatak)	0	0.05	0.08

ENERGETSKI BILANS ZGRADE

b. Ventilacioni (infiltracioni) gubici



$$\dot{Q} + \cancel{\dot{m}(i + \frac{w^2}{2} + gz)_i} \equiv \cancel{P} + \cancel{\dot{m}(i + \frac{w^2}{2} + gz)_e}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}(i_i - i_e) = \dot{m} c_p (t_i - t_e) = \rho \dot{V} c_p (t_i - t_e)$$

$$\rho \approx 1.2 \text{ kg/m}^3$$

$$c_p = 1000 \text{ J/kgK}$$

$$i = c_p t \text{ [J/kg]}$$

$$\dot{m} = nV\rho/3600 \text{ [kg/s]}$$

$$\dot{Q}_V [\text{W}] = nV \rho c_p (t_i - t_e) / 3600$$

$$\dot{Q}_V [\text{W}] = nV (t_i - t_e) / 3$$



ENERGETSKI BILANS ZGRADE

**Unutrašnji DOBICI:
Ljudi, Uredjaji, Rasvjeta**



Ljudi, Uredjaji, Rasvjeta u objektu predstavljaju
Izvore toplote koja se najčešće izražava u **W/m^2** .

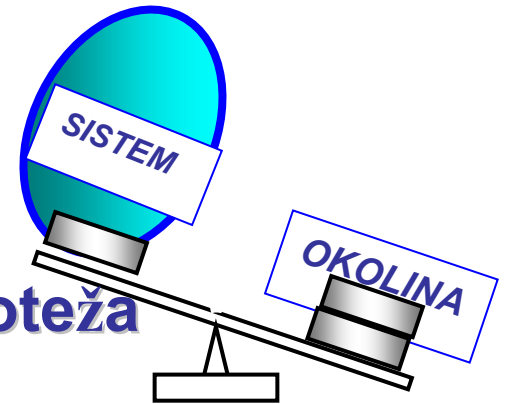
Ovako specificirani dobici se određuju tako što se
ukupna snaga efektivna (snaga u pogonu, ne instalisana),
svede na **m^2** kondicioniranog prostora.

II Zakon Termodinamike

Ovaj zakon je jedan od najvažnijih u prirodi.
On definiše smjer dogadjaja-procesa.

Pitanje: **Šta pokreće svijet?**

Odgovor: **Pokretačka sila procesa neravnoteža**

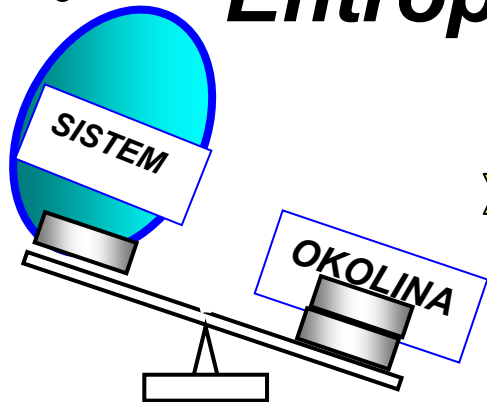


Pitanje: **U kom smjeru idu procesi?**

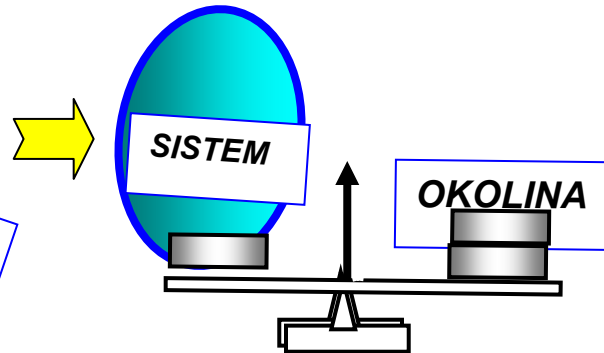
Odgovor: **Sistem prepušten sam sebi (izolovan), teži da zauzme stanje termodinamičke ravnoteže.**

II Zakon Termodinamike

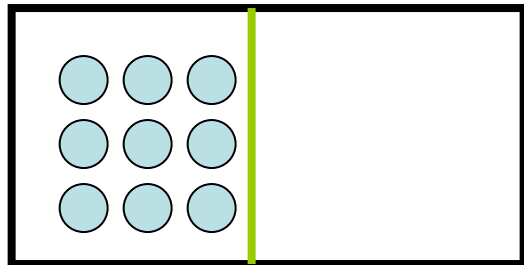
- **Entropija $S[J]$, $s [J/kg]$**



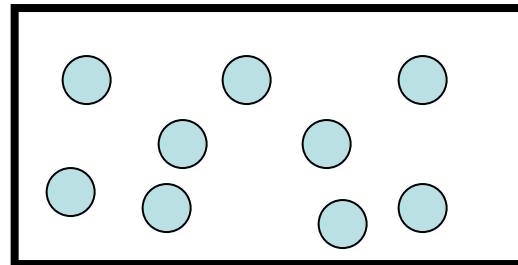
Neravnoteža



Ravnoteža



Uredjen sistem
Potencijal

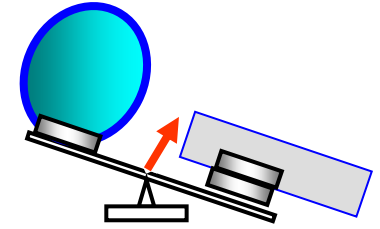


Neuredjen sistem
Nema potencijal

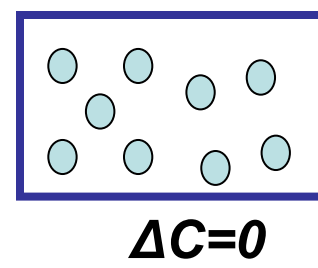
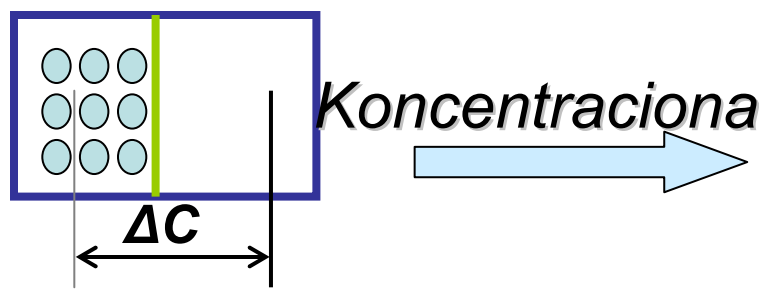
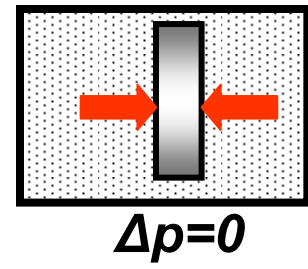
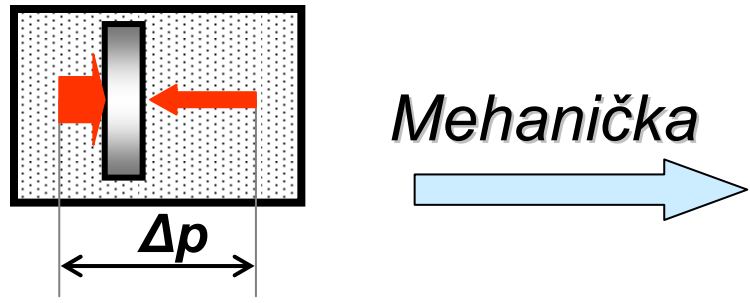
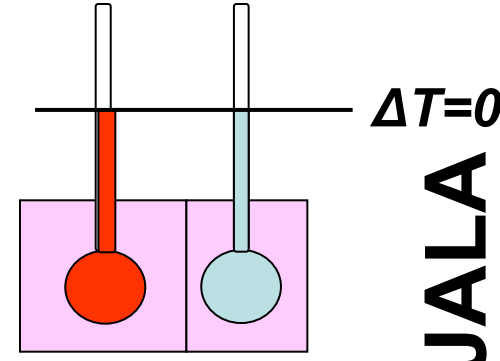
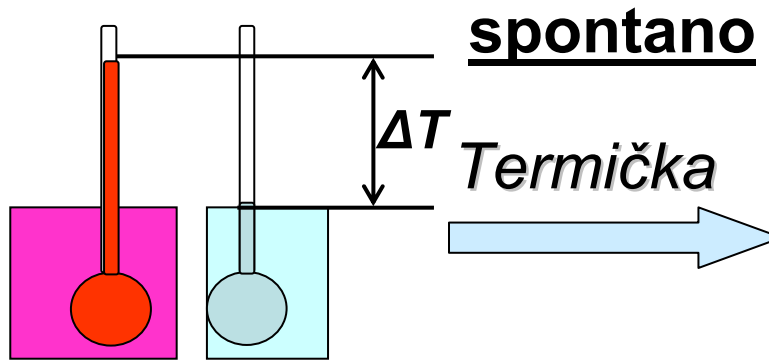
MAXIMALNA ENTROPIJA

Entropija je mjera neuredjenosti (mjera ravnoteže, mjera "ne" potencijala)

II Zakon Termodinamike



Neravnoteža
POTENCIJAL



ΔT=0
NEMA POTENCIJALA

Ravnoteža

II Zakon Termodinamike

Procesi spontano teku u smjeru

kvarenja uredjenosti,

odnosno

povećanja neuredjenosti,

odnosno

smanjenja potencijala,

odnosno

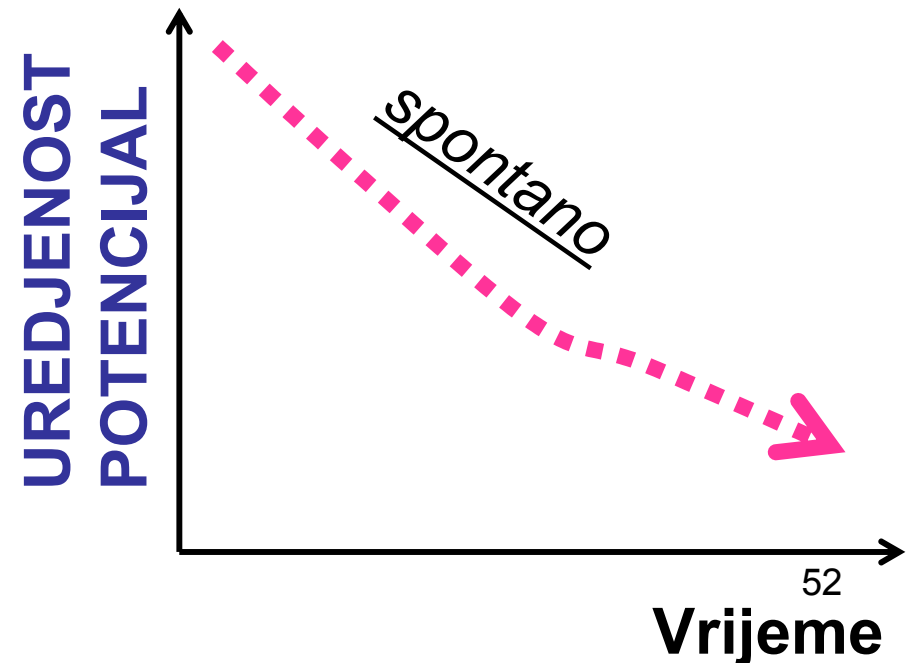
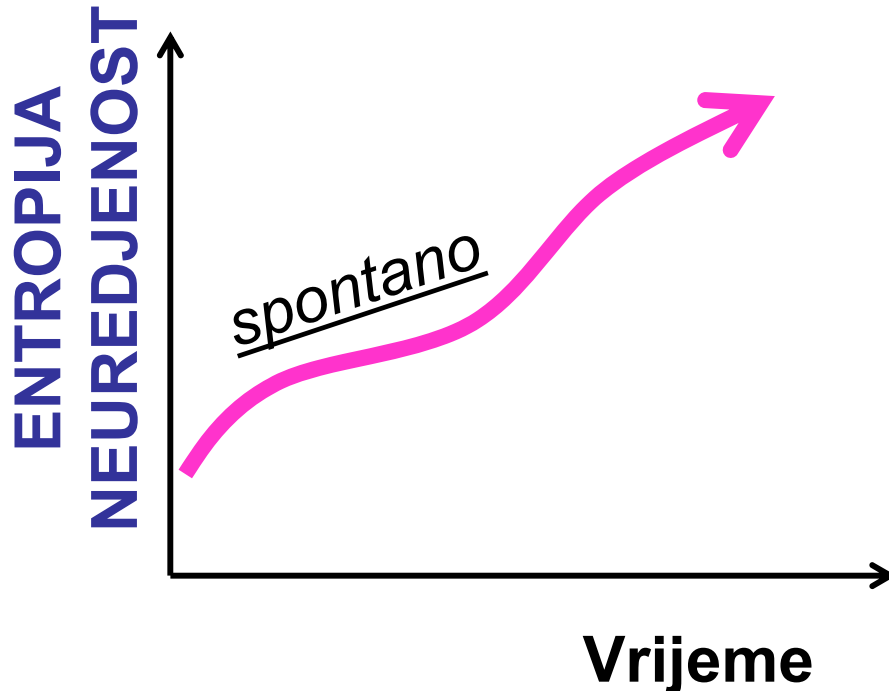
povećanja entropije

izolovanog sistema.

II Zakon Termodinamike

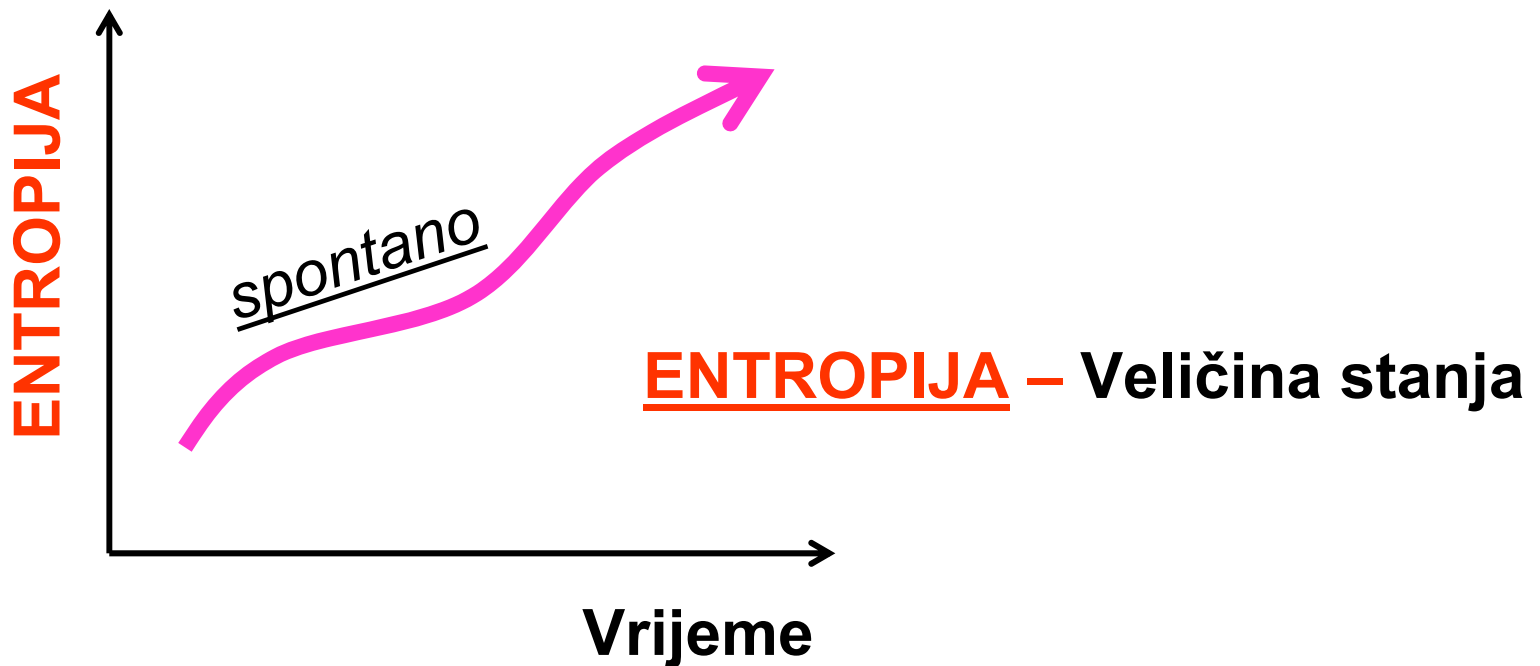
ENTROPIJA – Mjera NEUREDJENOSTI
Mjera BLIZINE RAVNOTEŽE
Mjera SMANJENJA POTENCIJALA

Procesi **spontano** teku u smjeru **povećanja ENTROPIJE** izolovanog sistema.



II Zakon Termodinamike

Procesi spontano teku u smjeru povećanja ENTROPIJE izolovanog sistema.



II Zakon Termodinamike

Pitanje:

DA LI POSTOJE PROMJENE KOD KOJIH SE NE KVARI UREDJENOST SISTEMA, ODNOSNO NEMA PORASTA ENTROPIJE?

Odgovor: POSTOJE KAO FIKCIJA tkzv. “POVRATNE” PROMJENE.

II Zakon Termodinamike

Pitanje: Koje su promjene najbolje?

Odgovor: Najbolje su “povratne” promjene.

Pitanje: Zašto?

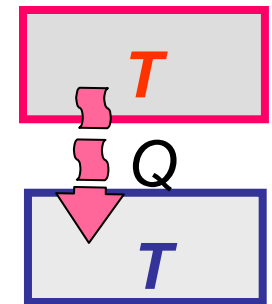
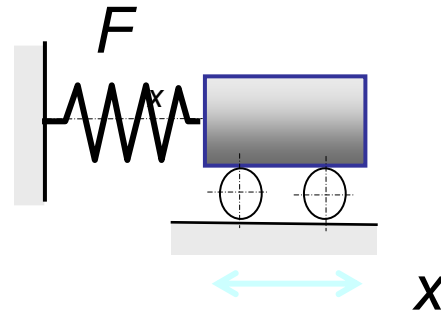
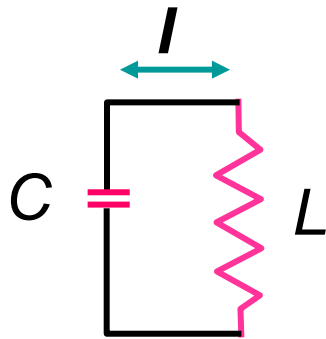
Odgovor: Zato što se ne uništava potencijal neravnoteže, odnosno ostaje očuvan.

II ZAKON TERMODINAMIKE

Povratne i nepovratne promjene

POVRATNE PROMJENE-NE POSTOJE. Po definiciji to su one promjene kod kojih se ne smanjuje potencijal.

- NEMA TRENJA
- RAZMJENA TOPLOTE SE ODVIJA PRI ZANEMARLJIVOJ RAZLICI TEMPERATURA



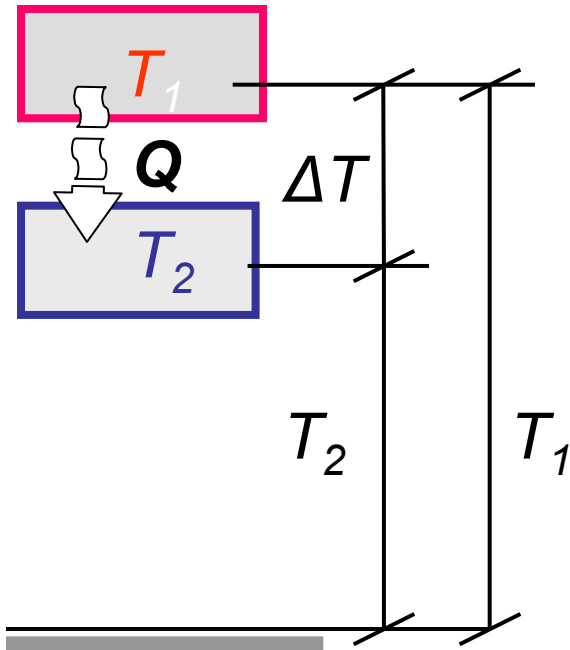
NEPOVRATNE PROMJENE: TO SU STVARNE PROMJENE

II ZAKON TERMODINAMIKE

EFIKASNOST

Zašto su povratne promjene najbolje?

Spoljna nepovratnost



•Gdje god u procesu **dezorganizovana energija** transferom (toplota) predje sa veće na manju temperaturu, nepovratno se gubi jedan dio potencijala. Naime, sada je **dezorganizovana** energija sa potencijala T_1 , toplotom prebačena na potencijal T_2 , koji je manji.

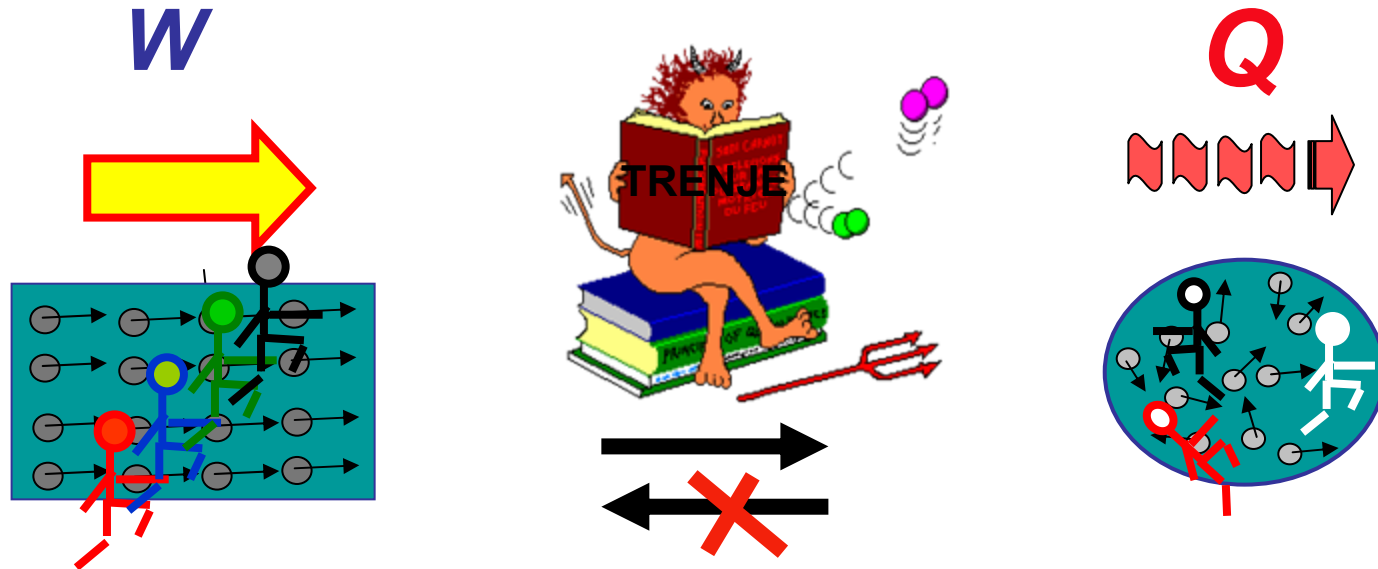
*To istovremeno znači da je proces **nepovratan**, jer toplota ne može da sama od sebe predje sa manje (T_2) na veću temperaturu (T_1).*

II ZAKON TERMODINAMIKE

EFIKASNOST

Zašto su povratne promjene najbolje?

Unutrašnja nepovratnost-TRENJE



- *Trenje je takodje izvor nepovratnosti jer organizovanu energiju pretvara u dezorganizovanu, dakle lošiju formu energije. Proces je nepovratan jer dezorganizovanu energiju ne možemo u potpunosti “vratiti” u organizovanu formu, odnosno toplotu u rad.*

II ZAKON TERMODINAMIKE

EFIKASNOST

*Da li transfer energije u obliku **RADA** dovodi do smanjenja potencijala?*

***NE!** Zašto?*

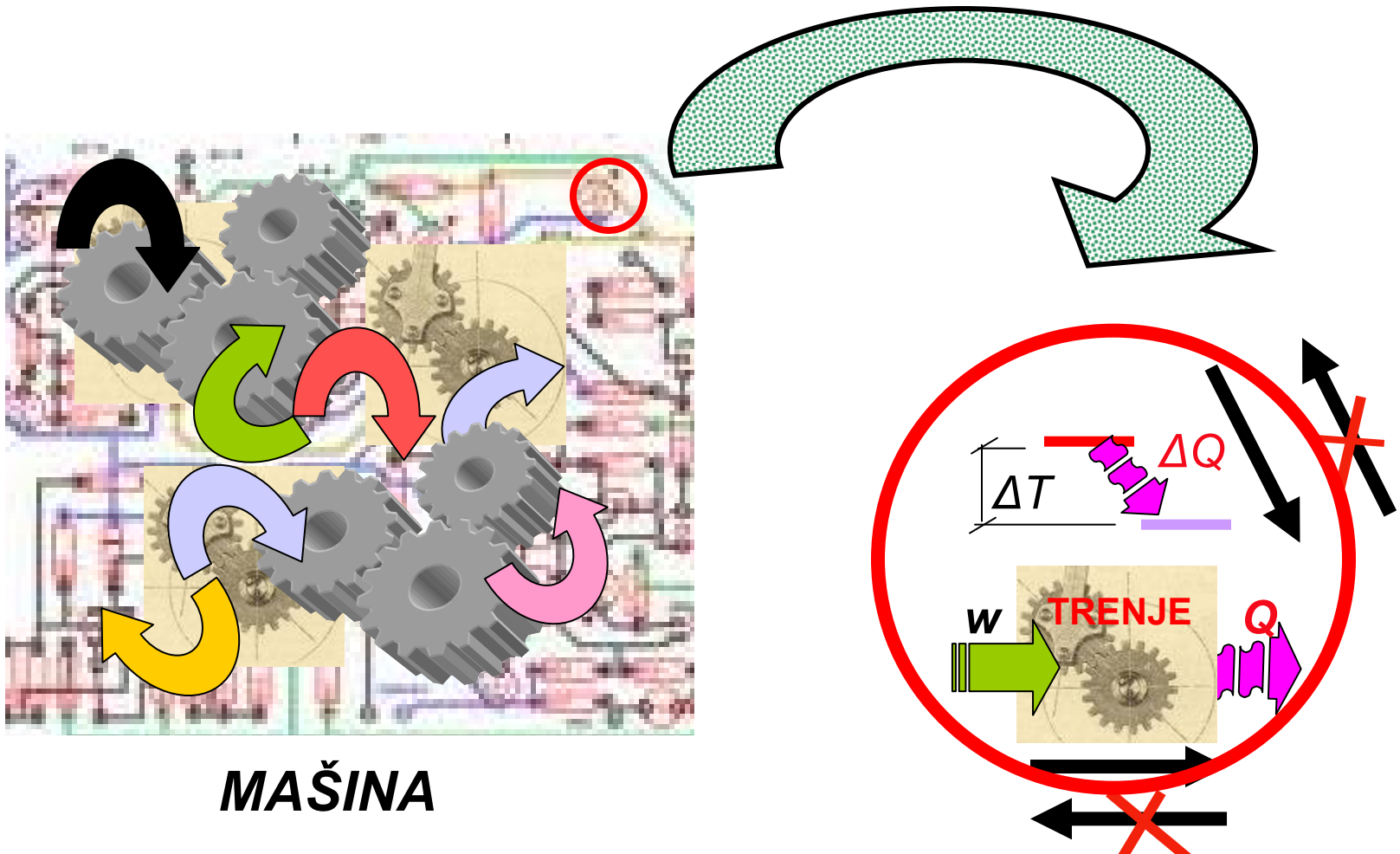
Ako se recimo potencijalna (ili bilo koja mehanička) energija smanji u nekom dijelu sistema, negdje u sistemu će se za isto toliko povećati.

*Ako se javlja **TRENJE** to ne važi, jer trenje izaziva nepovratnost.*

II ZAKON TERMODINAMIKE

EFIKASNOST

Ako bilo gdje u procesu imamo nepovratnost, smanjuje se efikasnost



EFIKASNOST

Definicija efikasnosti

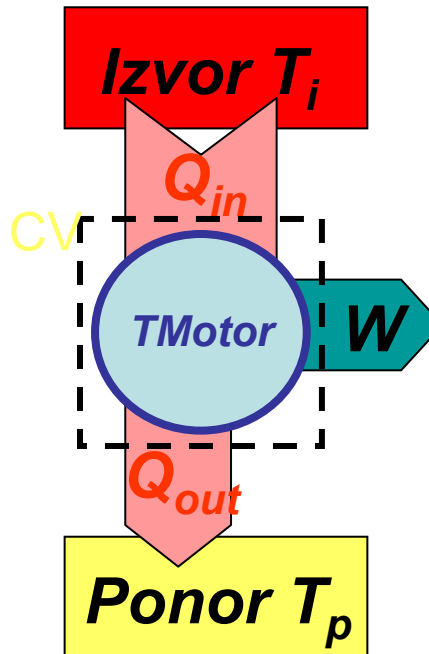
GENERALNO: Efikasnost = $\frac{\text{Dobijeno}}{\text{Uloženo}}$

$$\eta = \frac{\text{Dobijeno}}{\text{Uloženo}}$$

$$\eta = \frac{W}{Q_{in}}$$

$$\eta = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$



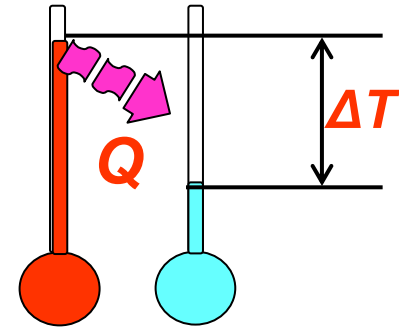
I Zakon Termodinamike

$$Q_{in} = Q_{out} + W$$

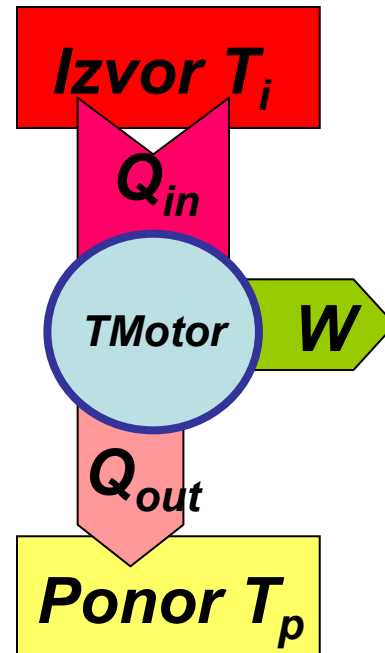
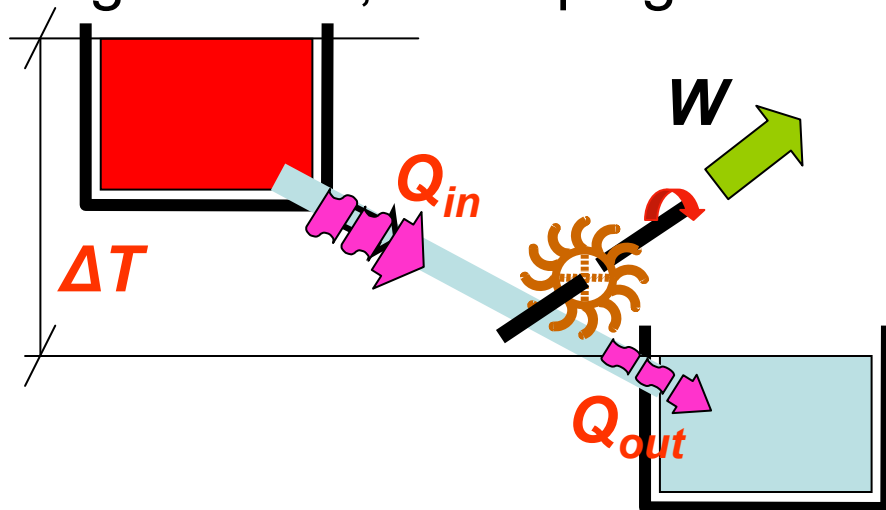
$$W = Q_{in} - Q_{out}$$

EFIKASNOST

Zašto je potreban i “vrući” i “hladni” rezervoar toplote?



Da bi dobili rad, **toplota** mora da “protiče kao voda” kroz mašinu koja “daje” rad. Toplota se prostire, sa druge strane, od “toplog” ka “hladnom”.



EFIKASNOST

MAXIMALNA MOGUĆA

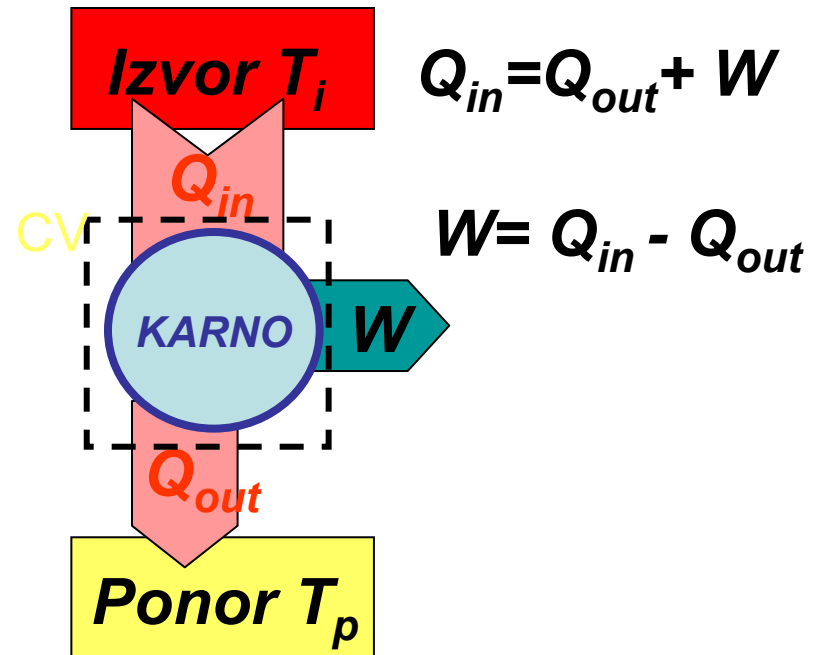
EFIKASNOST- KARNO (CARNOT) MOTOR

$$\eta = \frac{\text{Dobijeno}}{\text{Uloženo}}$$

$$\eta = \frac{W}{Q_{in}}$$

$$\eta = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}}$$

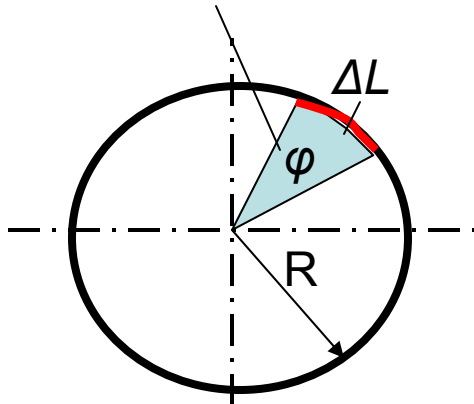
$$\eta_c = 1 - \frac{T_p}{T_i}$$



RASVJETA (JUS 91.160)

ŠTA JE PROSTORNI UGAO?

φ – Ugao u ravni u radianima



KRUG (2D)

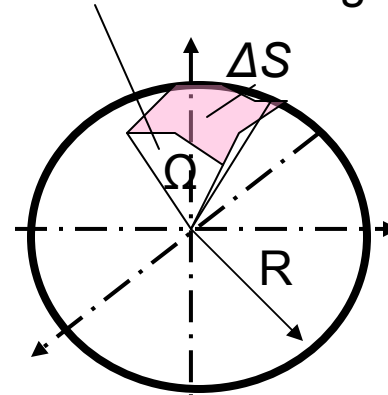
Luk L

$$L_{Max} = R \cdot 2\pi$$

$$\Delta L = R \cdot \varphi$$

$$\Delta L / L_{Max} = \varphi / 2\pi$$

Ω – Prostorni ugao u steradianima



SFERA (3D)

Površina S

$$S_{Max} = R^2 \cdot 4\pi$$

$$\Delta S = R^2 \cdot \Omega$$

$$\Delta S / S_{Max} = \Omega / 4\pi$$

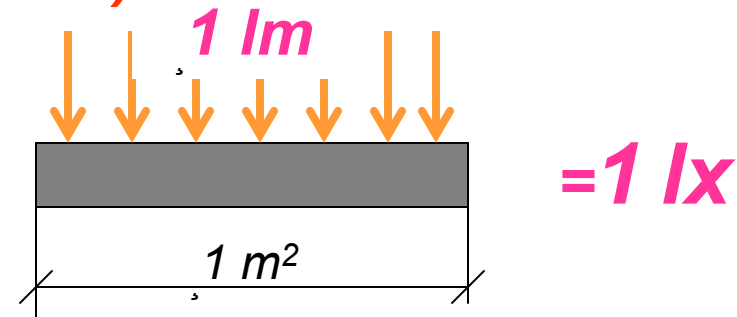
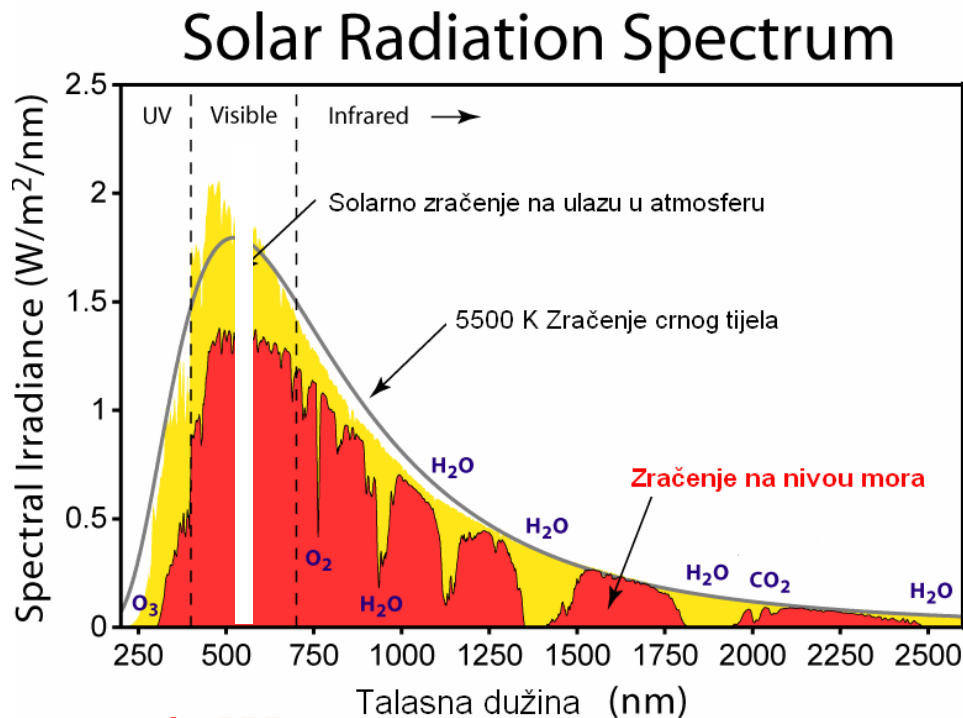
RASVJETA

U **IS** sistemu mjera jedinica za jačinu osvetljenja (J) je **lux (lx)** ili W/m^2 .

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} / m^2 = 1.46 \cdot 10^{-3} \text{ W} / m^2 (\lambda = 555 \text{ nm})$$

Lumen (lm) je jedinica za mjerenje svjetlosnog fluksa.

$$1 \text{ lm} = 1.46 \cdot 10^{-3} \text{ W} (\lambda = 555 \text{ nm})$$



RASVJETA

Lumen (lm) je jedinica za mjerenje svjetlosnog fluksa.

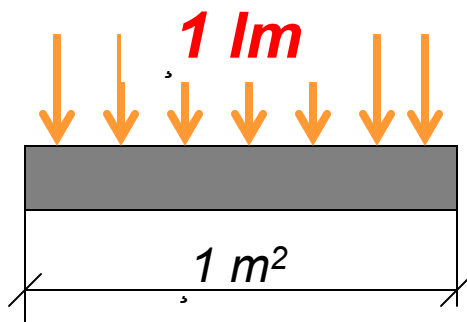
$$1 \text{ lm} = 1.46 \cdot 10^{-3} \text{ W } (\lambda = 555 \text{ nm})$$

Snaga izvora osvetljenja se mjeri u svijećama (**Candel, Cd**).

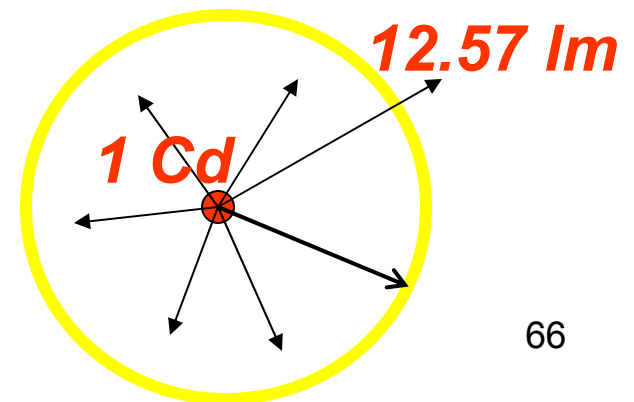
Izvor ima snagu od **1 Cd** ako u jedinični prostorni ugao (**1 Steradiana, 1 Str**) zrači **1 lm**. (Sfera ima $4\pi = 12.57$ Str).

Ako izvor zrači sferno (ugao **4π Sterad**), tada postoji veza

$$1 \text{ Cd} = 4\pi \cdot 1 \text{ lm} = 12.57 \text{ lm}.$$



$$= 1 \text{ lx}$$



RASVJETA

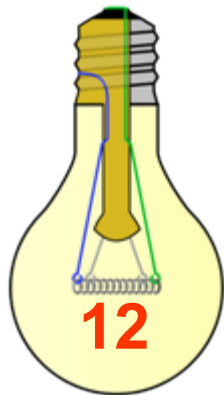
EFIKASNOST SVETILJKI – η_l [lm/W] (Efficiency)

KOLIKO SVJETLA DAJE SVJETILJKA PO 1 INSTALISANOM [W]?

To definiše **KOEFICIJENAT EFIKASNOSTI, η_l [lm/W]**

Efikasnost svjetiljki η_l [lm/W]

Sa užarim vlaknom

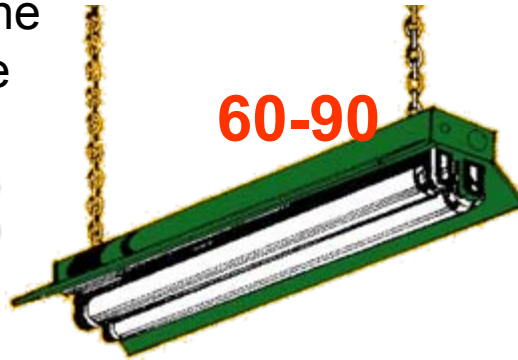


Fluoroscentne
kompaktne



Fluoroscentne

60-90



Halogene



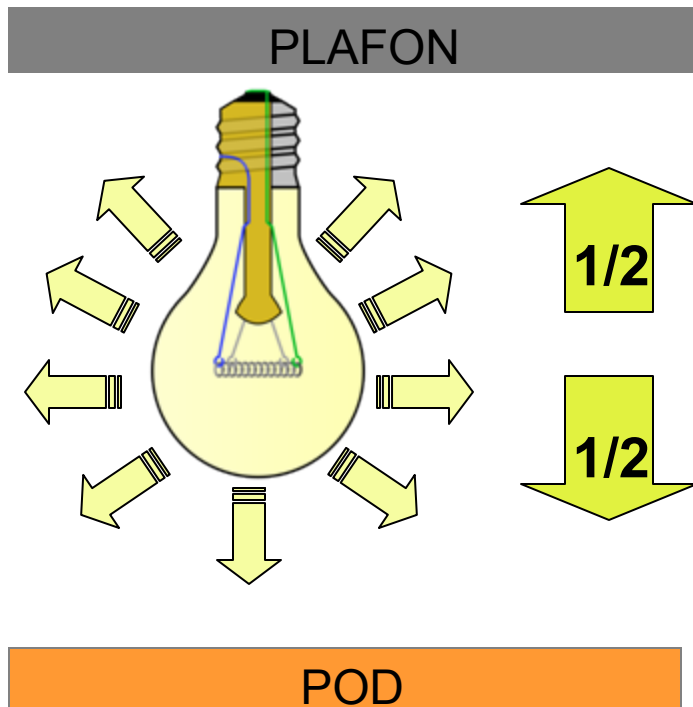
LED



RASVJETA

FAKTOR ISKORIŠĆENJA – CU (Coefficient of Utilization)

KOLIKO SVJETLA DOPIRE DO RADNOG PROSTORA? To definiše **FAKTOR ISKORIŠĆENJA, $CU \approx 0.5$**



Pola energije ide “dolje” a pola “gore”

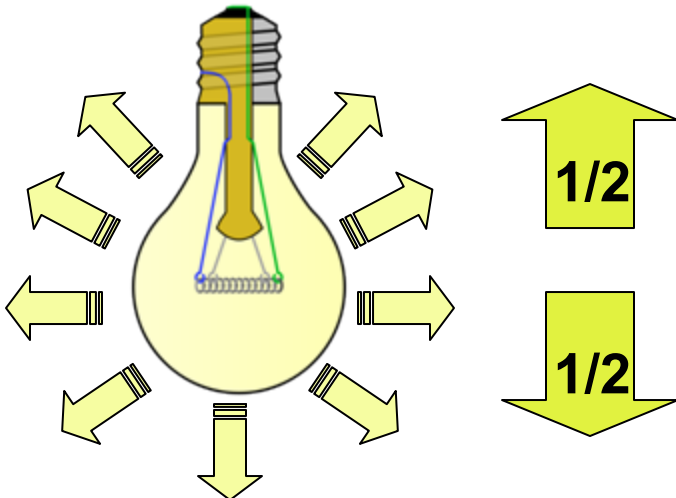
RASVJETA

BALAST FAKTOR (BF)

BF pokazuje koliko svjetiljka stvarno daje svjetlosti u odnosu na referentne uslove.

Što je manji BF to svjetiljka daje manje svjetlosti ali i manje troši energije i obratno.

Primjer: Ako je $BF=0.8$, tada svjetiljka daje 20% manje svjetlosti ali je i 20 % manja potrošnja u odnosu na referentne uslove)



Primjer

Instalirano je osvetljenje 10 W/m^2 . Svetiljke su efikasnosti 55 lm/W . Balast faktor (BF) je 0.8. Kolika je jačina osvetljenja?

$$J=10*55*BF*CU=10*55*0.8*0.5$$

$$J=200 \text{ lm/m}^2 \quad J=225 \text{ lx}$$

RASVJETA

Jačina osvjetljenja

Dnevno svjetlo	32000 – 100 000 lx
TV studio	1000 lx
Kancelarije	400 lx
Dnevna soba	50 lx
Mjesečina	1 lx
Svjetlost zvijezda	$5 \cdot 10^{-5}$ lx

STATISTIKA

PODACI ZA USA	SNAGA <i>W/m²</i>	EFIKASNOST <i>lm /W</i>	JAČINA OSVETLJENJA <i>(CU=0.5), lx</i>	VRIJEME RADA <i>h /dan</i>	POTROŠNJA <i>kWh /god</i>
STAMBENI OBJEKTI	22	18	194	2	11
KOMERCIJALNI OBJEKTI	18	55	484	9.9	62
INDUSTRIJA	14	75	517	13.5	69

RASVJETA

Jačina osvetljenja

Prostor	Jačina osvetljenja
	lux
Skupština	80
Sportske hale	1000
Toaleti	50
Prostor za ukrcavanje	100
Učionice	500
Restorani	100
Izlozi	500
Priprema hrane	500
Holovi	50
Ordinacije	500
Kancelarije	400
Prodavnice	500
Skladišta	100

RASVJETA

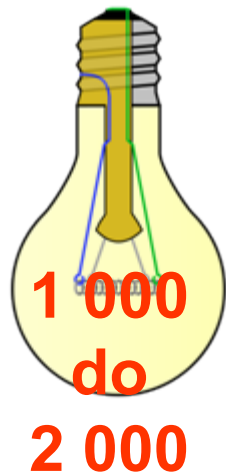
ŽIVOTNI VIJEK SVJETILJKE - ARL [h]

(Average Rated Life)

Po definiciji to je vrijeme rada svjetiljki dok funkcioniše najmanje $\frac{1}{2}$ uzoraka koji se ispituju.

Životni vijek **ARL [h]**

Sa užarim vlaknom

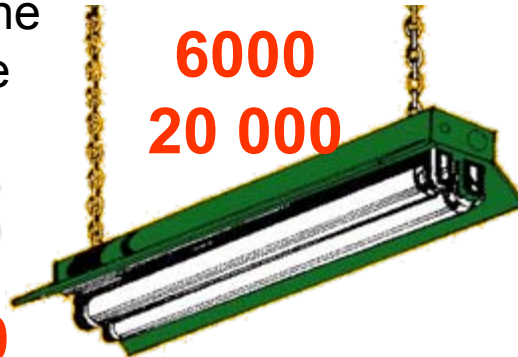


Fluoroscentne
kompaktne



Fluoroscentne

6 000
20 000



Halogene



LED

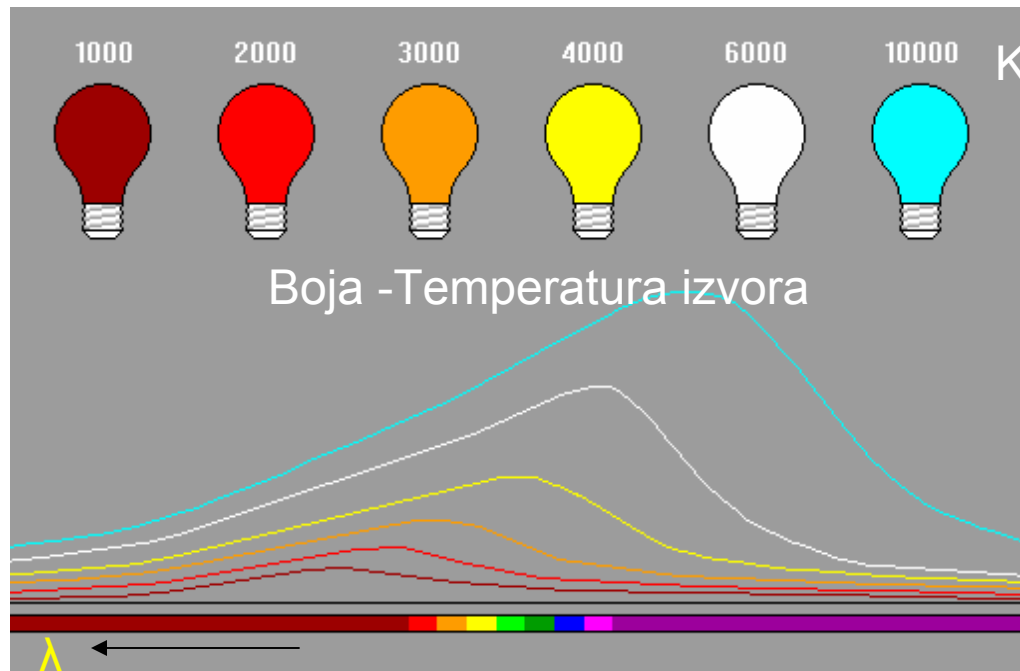


RASVJETA

TEMPERATURA BOJE - CCT [K]

(Correlated Color Temperature)

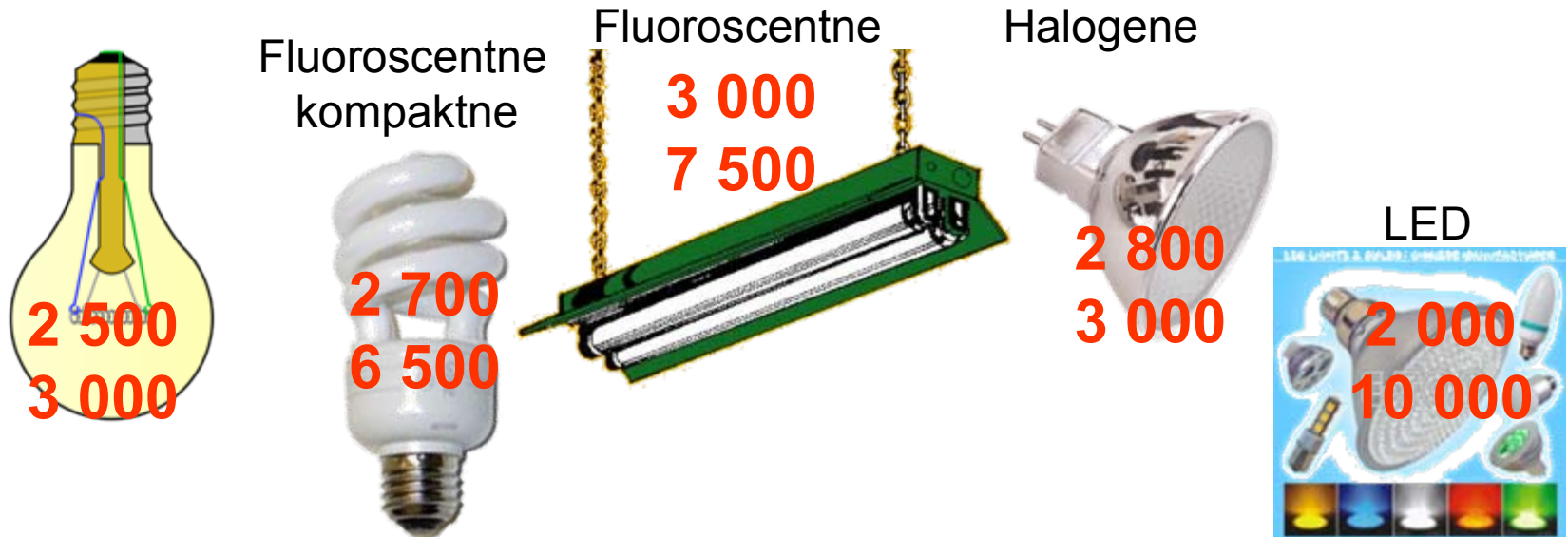
CCT pokazuje da li su boje “**TOPLE**” (CCT<3200 K) ili su “**HLADNE**” (CCT>4000 K)



RASVJETA

TEMPERATURA BOJE - CCT [K]

Sa užarim vlaknom



COLOR RENDERING INDEX (CRI)

CRI (0 do 100) izražava vjernost boja predmeta koji su osvijetljeni svjetiljkom, upoređujući to sa referentnim osvijetljenjem. Najbolje je CRI=100.

CRI=70 je tipično za stanovanje i kancelarije.

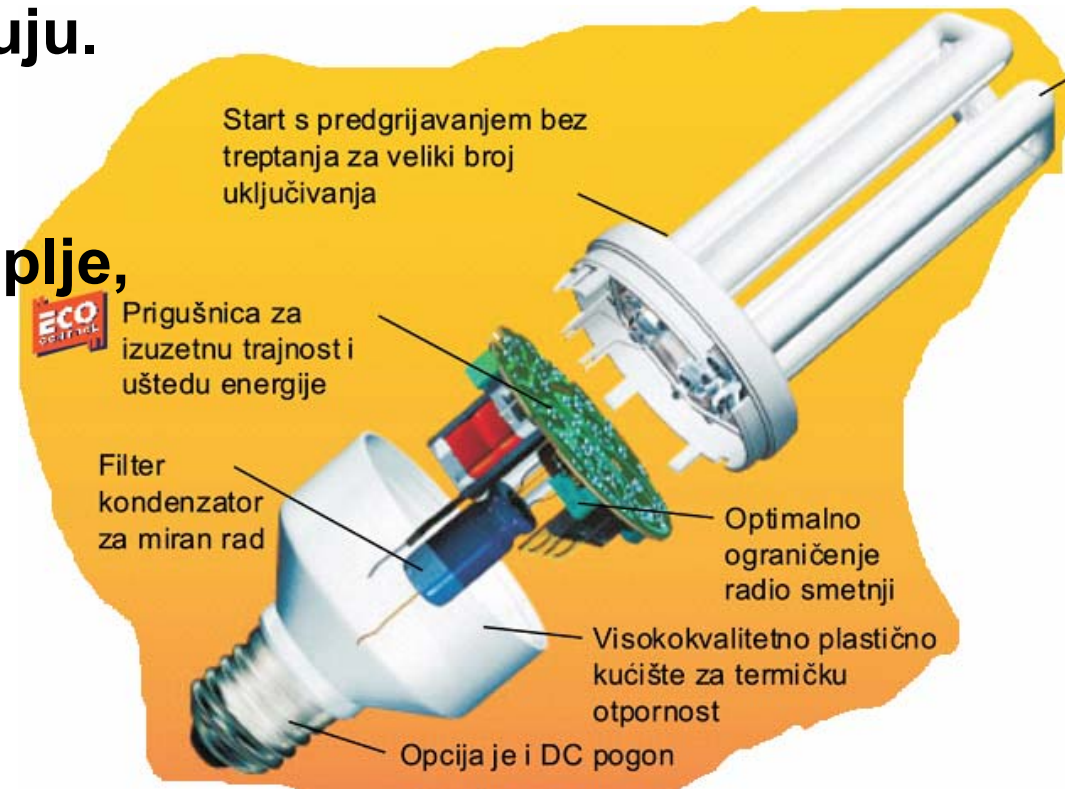
RASVJETA

PRIGUŠNICE: MAGNETNE I ELEKTRONSKE

Prigušnice (balast, kontrolno kolo) su neophodna armatura fluorescentnih svjetiljki. One precizno regulišu jačinu struje i frekvenciju kako bi se održala svjetlost.

MAGNETNE (trafo): teže, jeftinije, 50 Hz frekvencija, manje efikasne, češće se zamjenjuju.

ELEKTRONSKE: lakše, skuplje,
100-120 Hz frekvencija,
efikasnije, duže traju.



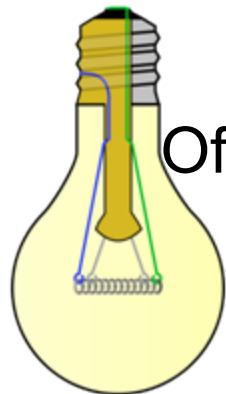
RASVJETA

KONTROLA I REGULACIJA

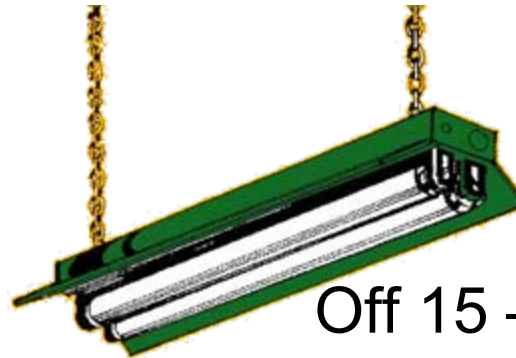
1. Kada gasiti svjetlo?

Pošto prelazni procesi (On/Off) skraćuju vijek svjetiljke, postoji ekonomski rezon u strategiji uključiti/isključiti.

Istraživanja pokazuju da pri cijeni **1kWh=5 C\$**, klasične sijalice treba isključivati ako nećete boraviti u prostoriji **5 min**, odnosno za fluorescentne **15-20 min**.



Off 5 min



Off 15 – 20 min

RASVJETA

KONTROLA I REGULACIJA

2. DALI Protocol (Digital Adressable Lighting Interface)

Pojedinačne ili grupe svjetiljki imaju ugrađene adresabilne kontrolere koji su stalno napajani strujom i povezani sa par kablova preko kojih su daljinski kontrolisani. Mogu biti upareni u grupe po 64 jedinice. Kontroleri su obično vezani sa senzorima.

RASVJETA

KONTROLA I REGULACIJA

3. Senzorska kontrola osvjetljenja

Postoje 3 tipa senzora:

a. **Senzor pokreta** (infracrveni), detektuje prisustvo osoba u prostoriji i pali, odnosno gasi svjetlo.

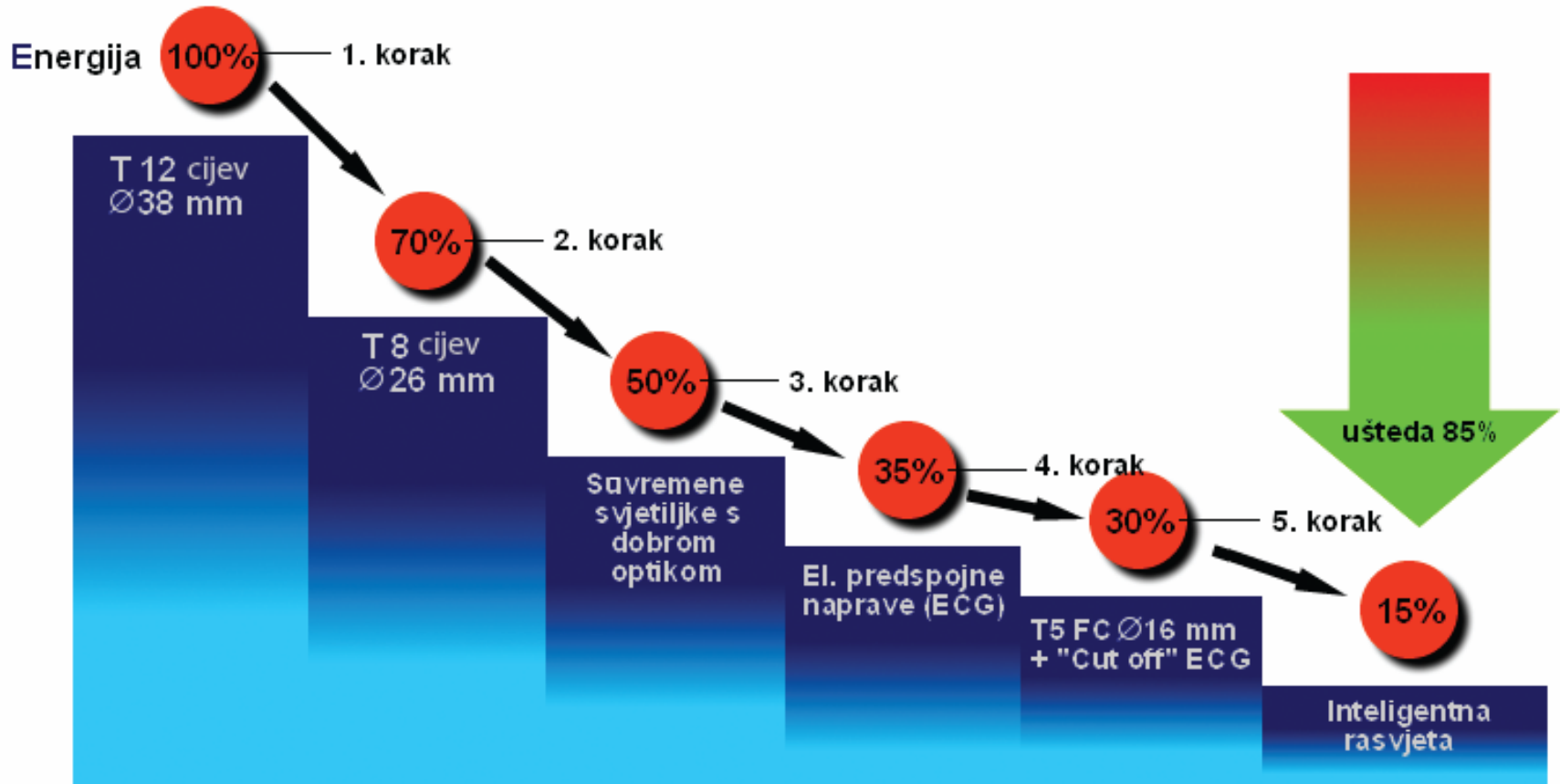
b. **Foto-osjetljivi**, detektuju jačinu osvetljenja i pali ga ako je mračno

c. **Kombinovani**

SENZORSKA KONTROLA DONOSI
UŠTEDE REDA 20 %.



RASVJETA



OSVJETLJENJE

Instalisana specifična snaga osvetljenja se daje po jedinici površine q_{It} W/m^2 .

Ukupna instalisana snaga osvetljenja je

$$P_{It} [W] = q_{It} [W/m^2] * A [m^2].$$

Potrebna energija za osvetljenje za period τ [h] je proizvod srednje simultane snage i vremena rada (ON) osvetljenja:

$$E_{It,n} [Wh] = P_{It_srednje} T_{ON}$$