

Razvoj **D**vostruke **I**nteraktivne **S**taklene **O**vojnice

(DISO)

Postdoktorand : dr.sc. Miro Bugarin, v.asis.

Mentor : dr.sc. Željko Domazet, red.prof.

Komentor : dr.sc. Sandro Nižetić, izv.prof.

UVOD U PROBLEMATIKU I MOTIVACIJA

Održivi razvoj je razvoj koji zadovoljava sve potrebe današnjih generacija da žive i rade u skladu s prirodom bez ugrožavanja potreba, mogućnosti i sposobnosti budućih generacija da zadovolje te iste svoje potrebe.



Poslovni toranj u Dubai-u :

Burj al Taqa, 2008.

- energetski potpuno neovisan
- 60 katova
- vjetro-elektrana na krovu
- solarni paneli u dvostrukoj staklenoj ovojnici



Burj al Taqa, 2008.

Neke novoprojektirane svjetske građevine s dvostrukim ovojnica



„The Shard”, London, 306 m, Renzo Piano, 2008.



Hermitage Plaza, Paris, 320 m, Forster&Partners, 2009.



New Urban Quarter, 140 m, Zaha Hadid, Bratislava, 2014.



Karolinska Institute, 72 m, C.F. Moller, Stockholm 2010.



CroDux „Pijani toranj”, 140 m, Društvo arhitekata Zagreb, 2014.



Burj Khalifa, 828m, Dubai, 2011.

Osnovni koncept inteligentne ovojnice i ekonomski trendovi



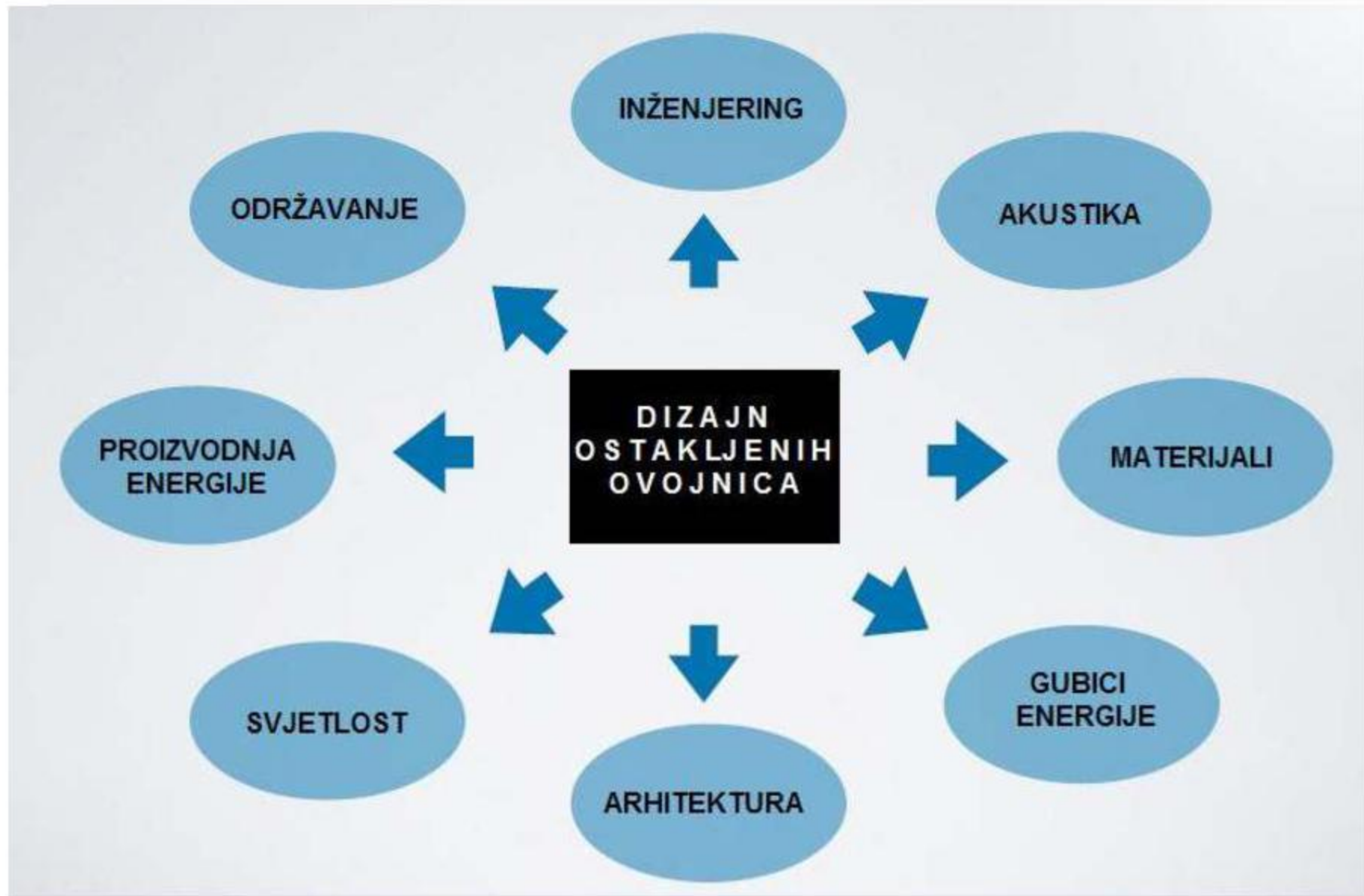
Osnovni koncepti pametnih ovojnica zgrada

Ekonomski trendovi razvoja staklenih ovojnica

investicija ■
potrošnja energije ■
investicija u održivost ■



Interakcije u procesu dizajniranja DISO



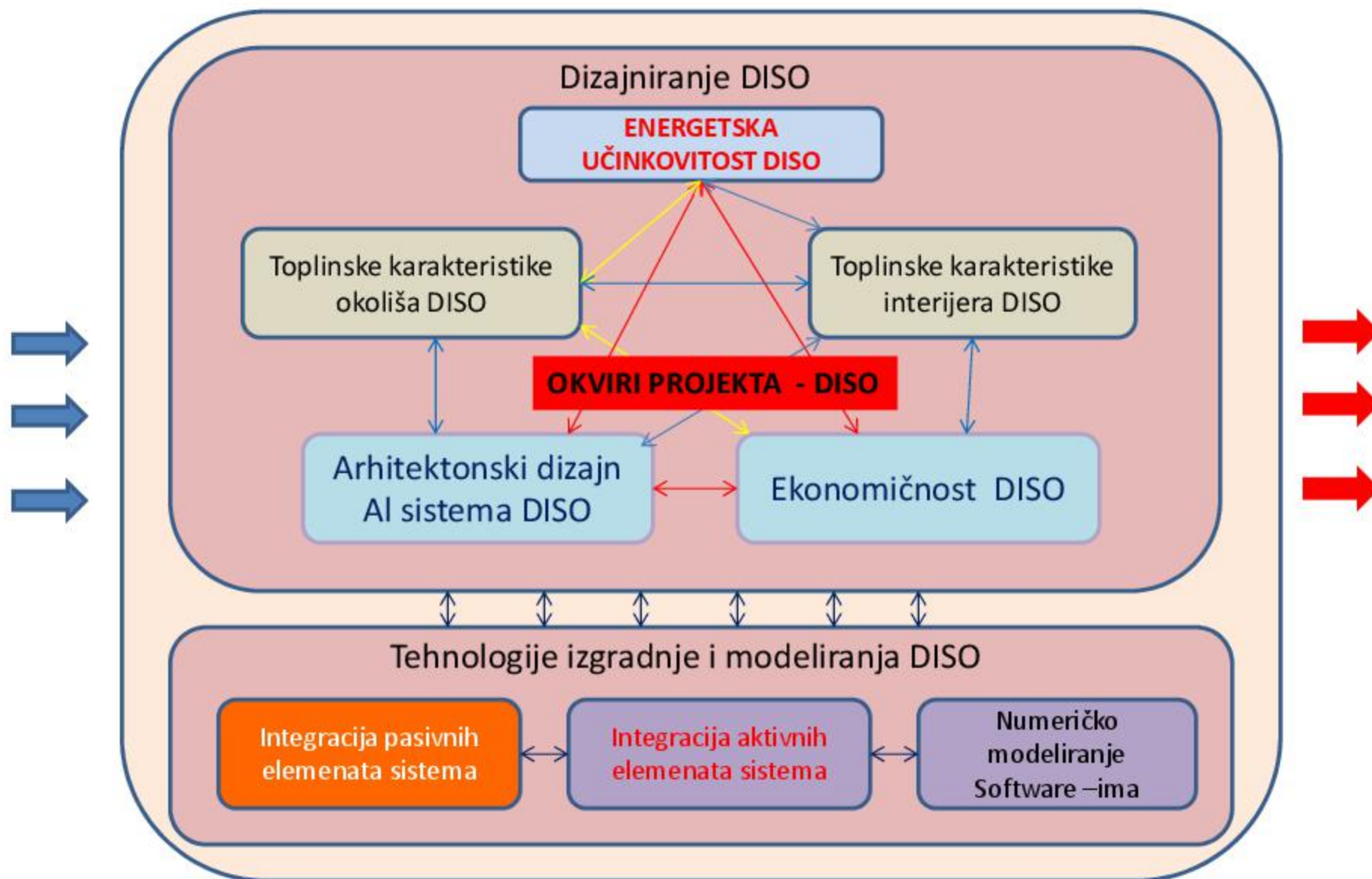
Motivacija :

Razvojem novog inteligentnog sustava interaktivne ovojnice zgrada doprinijeti očuvanju okoliša smanjenjem štetnih emisija stakleničkih plinova uz poboljšanje njihove energetske učinkovitosti.

Cilj :

Dizajnirati i konstruirati geometrijski koncept aluminijske konstrukcije dvostruke interaktivne staklene ovojnice (DISO) s univerzalnim funkcionalnim konceptom ventiliranja, koji će, uz minimalne toplinske gubitke, maksimalnu iskoristivost topline ventiliranog zraka i uz moguću integraciju solarnih foto-naponskih i zračnih panela, u određenim uvjetima eksploatairanja, zimi i ljeti, noću i danju, osigurati njezinu ekonomski isplativu izradu i optimalno, racionalno korištenje, s obzirom na energetske učinkovitost.

ZGRADA S DVOSTRUKOM STAKLENOM OVOJNICOM - DISO



Metodologija numeričkog modeliranja i simulacije

Numerički model :

AIRPACK

Varirani parametri :

- Vanjsko okruženje : sunčani zimski, ljetni dan
- Parametri geometrije ventiliranja
- Način ventiliranja

Izlazni parametri simulacije :

- U faktori : ukupni + parcijalni ($U = U_{\text{conv}} + U_{\text{ir}} + U_{\text{vent}}$), (W/m^2K)
- Solarni faktor – g (%)
- Raspored temperatura kroz presjek DISO ($^{\circ}C$)
- Brzina strujanja zraka kroz ventilirani sloj V_{gap} (m/s)
- Zračni protok – ($dm^3/s \cdot m$)
- Koeficijent prijelaza topline - h_{gap} (W/m^2K)
- Energija ventiliranog zraka – $Q_{\text{gap.vent}}$
- Koeficijent toplinske učinkovitosti - η

1-faza : Definiranje geometrije univerzalnog dizajna AI sistema DISO :

- koncepti : tipa dso, izvršnih elemenata za reguliranje ulazno-izlaznih kanala
- koncepti ventiliranja
- koncept integracije PV panela

2-faza : Parametarska simulacija i numerička analiza toplinske učinkovitosti DISO :

- Variranje dimenzija debljine ventil.sloja : $D = 125-250\text{mm}$,
- $d1 ; d2 = 50-125\text{ mm}$
- Variranje sistema ventiliranja : prirodno ili mehaničko
- protok zraka za mehaničko ventiliranje : $10, 20, 30, 40\text{ dm}^3/\text{m}^2$

3-faza : Utvrđivanje numeričkih modela promjene temperaturnih, zračnih i toplinskih tokova ovisno o parametrima geometrije DISO :

- izlazni rezultati, U_{sum} , U_{conv} , U_{ir} , U_{vent} , T_e , h_{gap} , V_{gap} , η ...
- regresijsko modeliranje međuovisnosti parametara
- definiranje algoritma upravljanja izvršnim elementima – lamele za otvaranje - zatvaranje ventilacijskih kanala

Cilj istraživanja :

Dokazati toplinsku učinkovitost razvijenog univerzalnog dizajna AI sistema DISO kroz analizu ukupnog koeficijenta prolaza topline u uvjetima primjene ljeti i zimi

Ulazni i izlazni parametri simulacije u modeliranjima

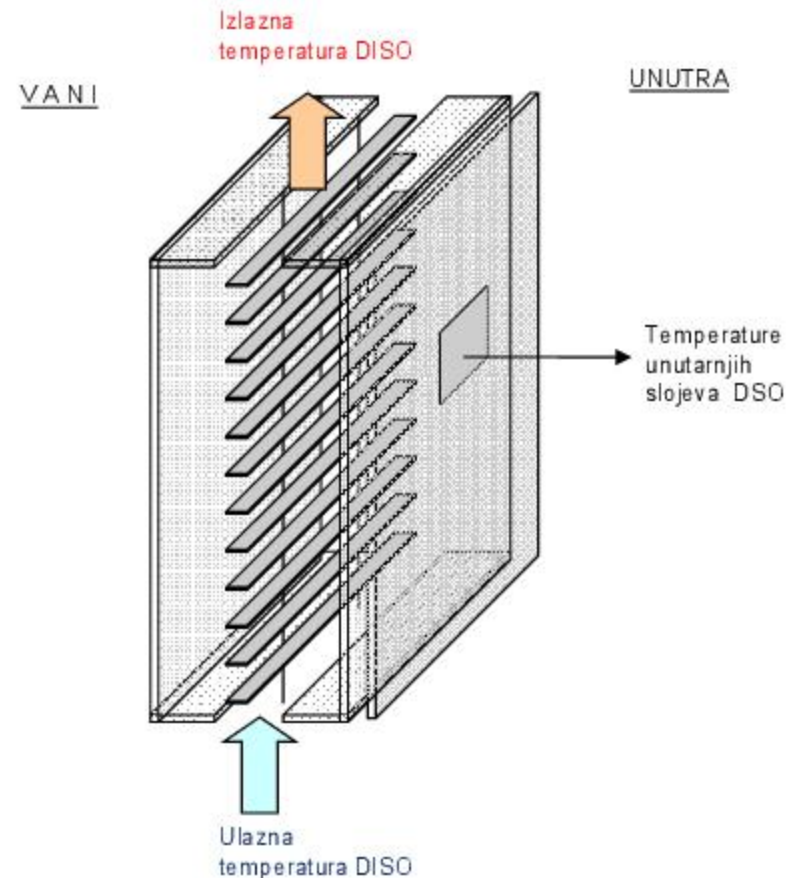
Numeričko modeliranje: **ANSYS, Airpack, Design Builder**

Ulazni parametri simulacije :

- Parametri klime vanjskog okruženja
- Dizajn i geometrija Al profila – dimenzije vent.kanala:
- Tip ostakljenja vanjske i unutarnje ovojnice

Izlazni parametri simulacije :

- U - faktor (ukupni + parcijalni)
- g - solarni faktor
- Zračni i toplinski protok kroz ventilirani sloj
- Presjek temperatura kroz dvostruku ovojnicu
- Izlazna temperatura iz dvostruke ovojnice
- Ukupna toplinska energija ventiliranog zraka
- Koeficijent toplinske učinkovitosti



Vrijednosti konstrukcijskih parametara simulacijskog modela DISO

Parametri okoline :

Tipični ljetni dan , $S_i = 1000 \text{ W}$, $T_e = 35^\circ \text{ C}$, $T_i = 25^\circ \text{ C}$

Zimski sunčani dan , $S_i = 500 \text{ W}$, $T_e = 0^\circ \text{ C}$, $T_i = 20^\circ \text{ C}$

Karakteristike ventilacijskog prostora :

Dubina ventiliranog sloja ,(125,150,175,..., 250 mm) (D)

Širina ulazno-izlaznih kanala: 50,75,100,125 (d)

Tip ostakljenja : (a = 8mm tonirano , b=low-e 6/14/8 mm)

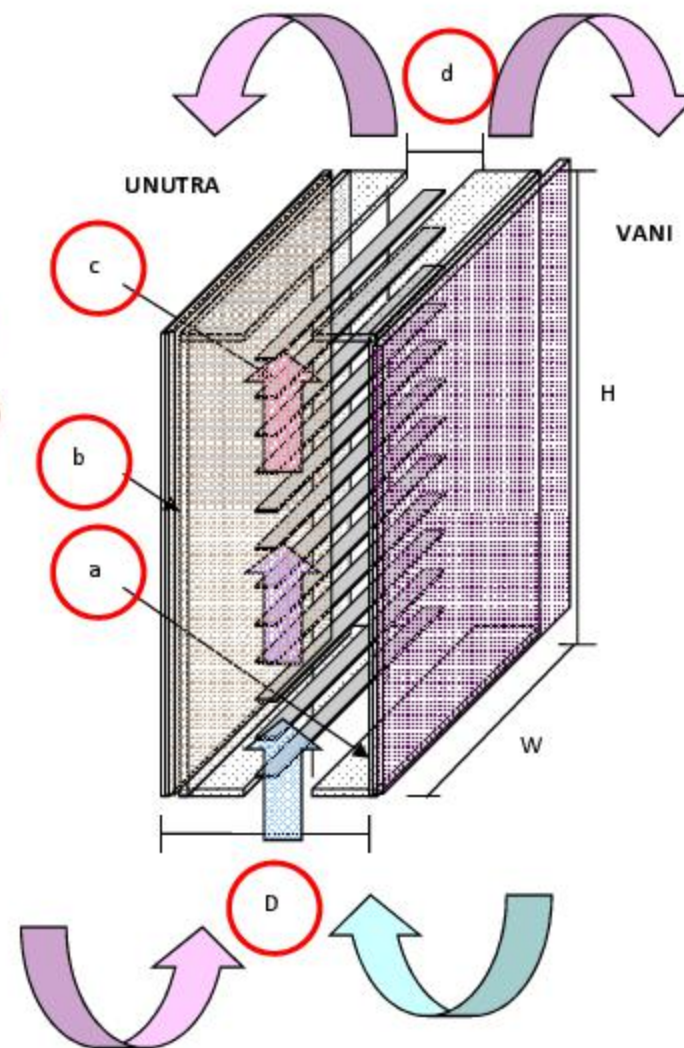
Sjenilo nije uzeto u razmatranje (c)

Širina modula : $W = 1200 \text{ mm}$, (W)

Visina modula : $H = 3600 \text{ mm}$ (H)

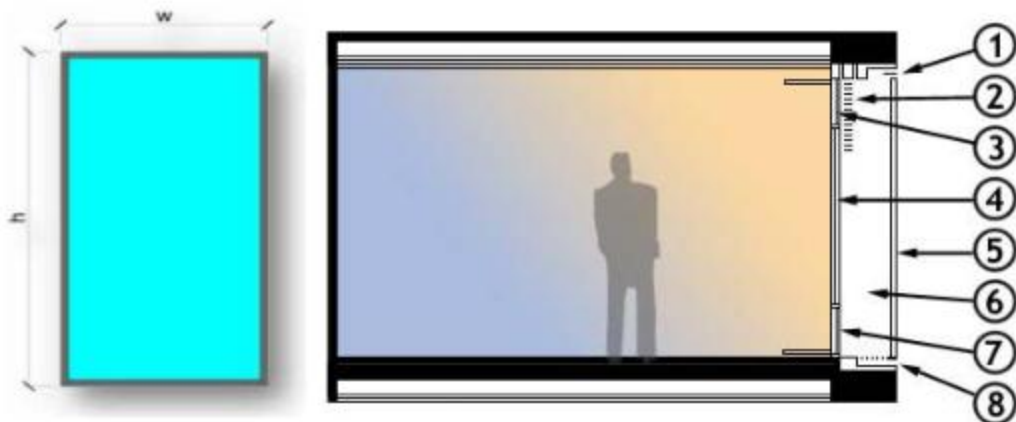
Modeli ventiliranja :

- Priradno ventiliranje : vani-vani, vani-unutra,
iznutra-vani, iznutra-unutra
- Mehaničko ventiliranje : vani-unutra, iznutra-vani,
iznutra-unutra



KONSTRUKCIJSKI I FUNKCIONALNI ASPEKTI DISO...

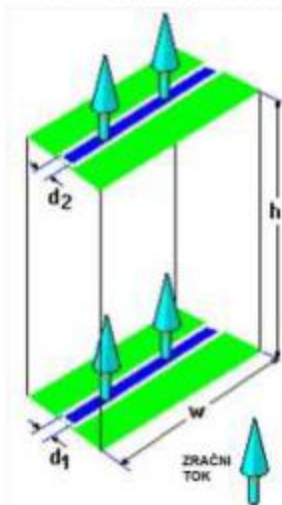
Dvostruka Interaktivna Staklena Ovojnica - DISO



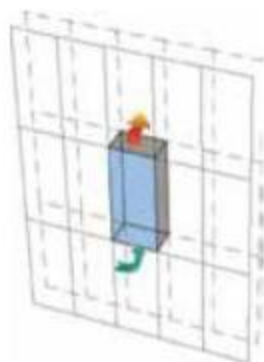
W = 1200 mm

h = 3600 mm

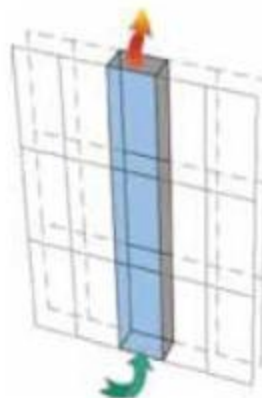
1. Gornji vanjski ventilacijski otvor za izlaz zraka
2. Unutarnje sjenilo za zaštitu od sunca
3. Gornji ventilacijski prozor na unutarnjoj ovojnici
4. Fiksni ostakljeni dio unutarnje fasade
5. Vanjska staklena fasada
6. Zračni prostor za ventiliranje DISO
7. Donji ventilacijski prozor na unutarnjoj ovojnici
8. Donji vanjski ventilacijski otvor za ulaz zraka



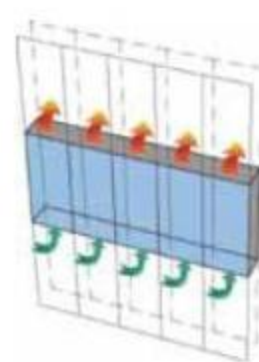
a) Box DISO



b) Višekatna box DISO



c) Koridor DISO



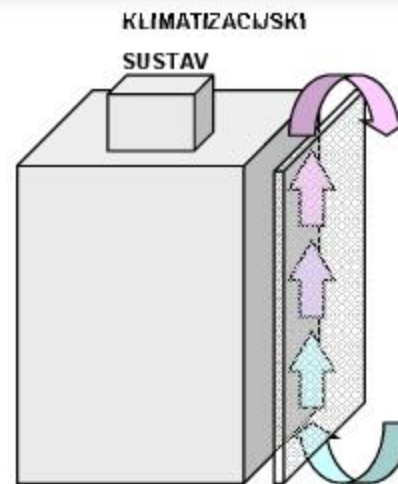
d) Višekatna koridor DISO

Režimi prirodnog ventiliranja DISO : zima - ljeto

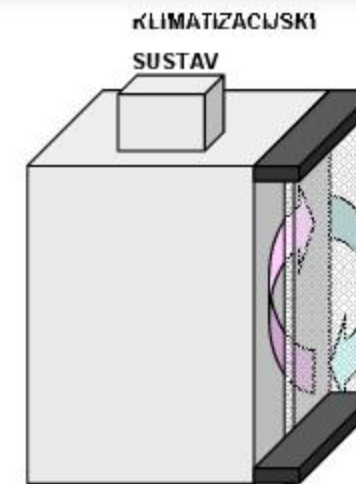
Prirodno ventiliranje DISO :

Ljeto : ventiliranje toplog zraka kroz zračni međusloj vani kroz ventilacijske otvore u gornjem i donjem vijencu

Zima : zatvaranje ventilacijskih kanala i stvaranje zračne toplinske barijere kao ovojnice zgrade



Ljeto



Zima



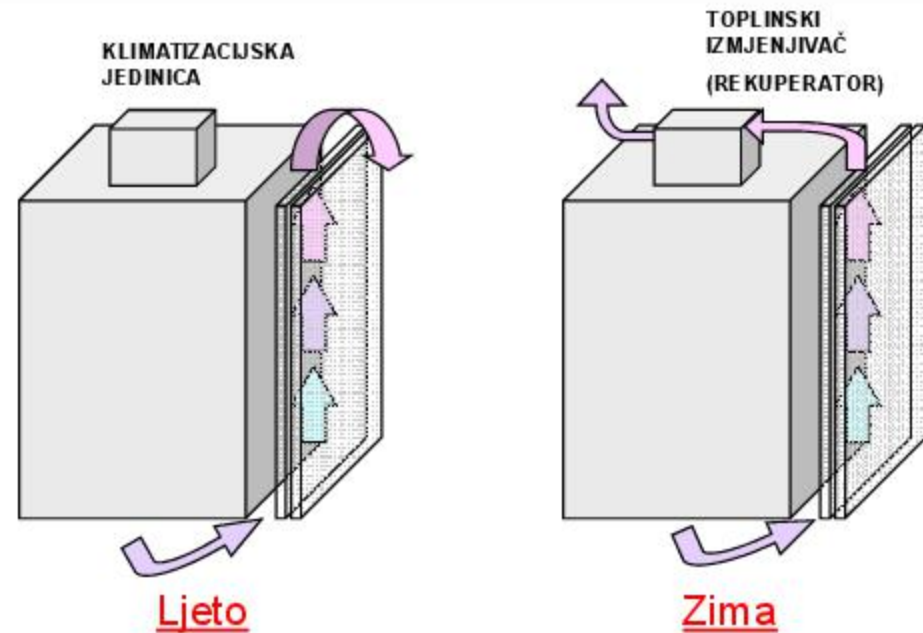
Višekatna dvostruka koridor fasada Sveučilišne knjižnice u Splitu

Režimi mehaničkog ventiliranja DISO : ljeto - zima

A) Prirodno ventiliranje :

- Ljetni režim : ventiliranje toplog zraka iz objekta kroz DISO vani

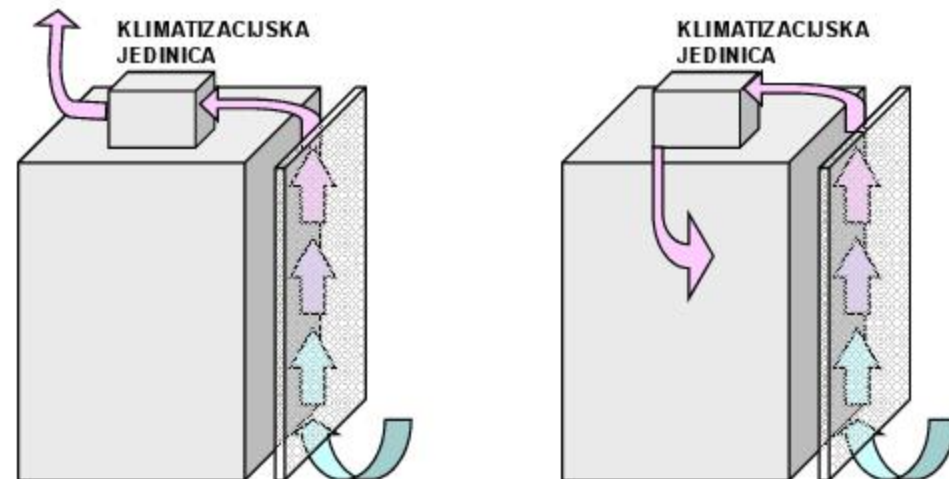
- Zimski režim : integracija topline iz ventiliranog zraka DISO u sustav grijanja rekuperacijom toplog zraka



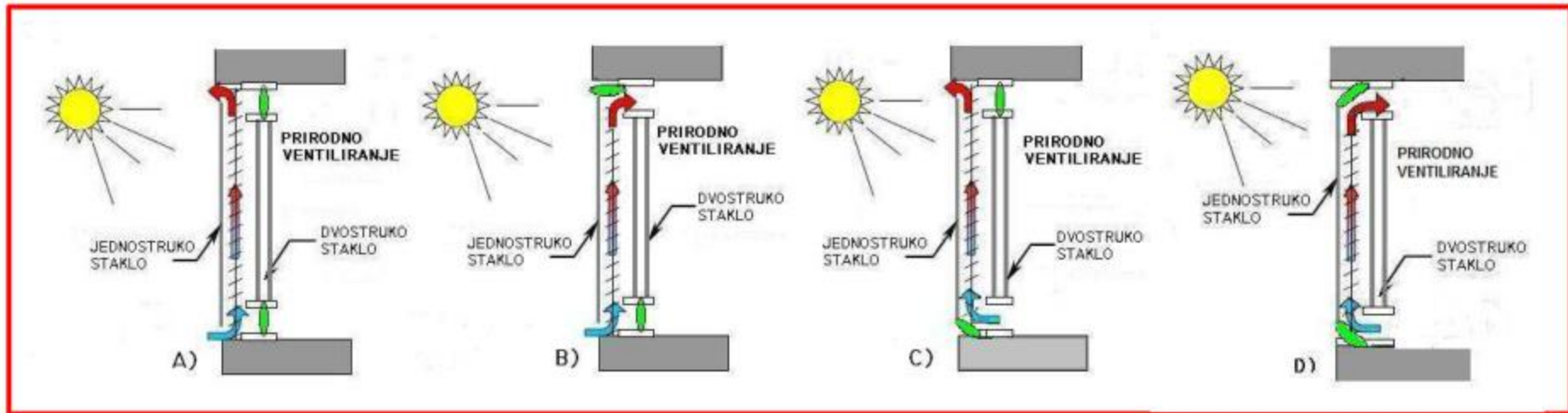
B) Mehaničko ventiliranje :

- Ljetni režim : ekstrakcija toplog zraka iz DISO kroz klimatizacijsku jedinicu vani

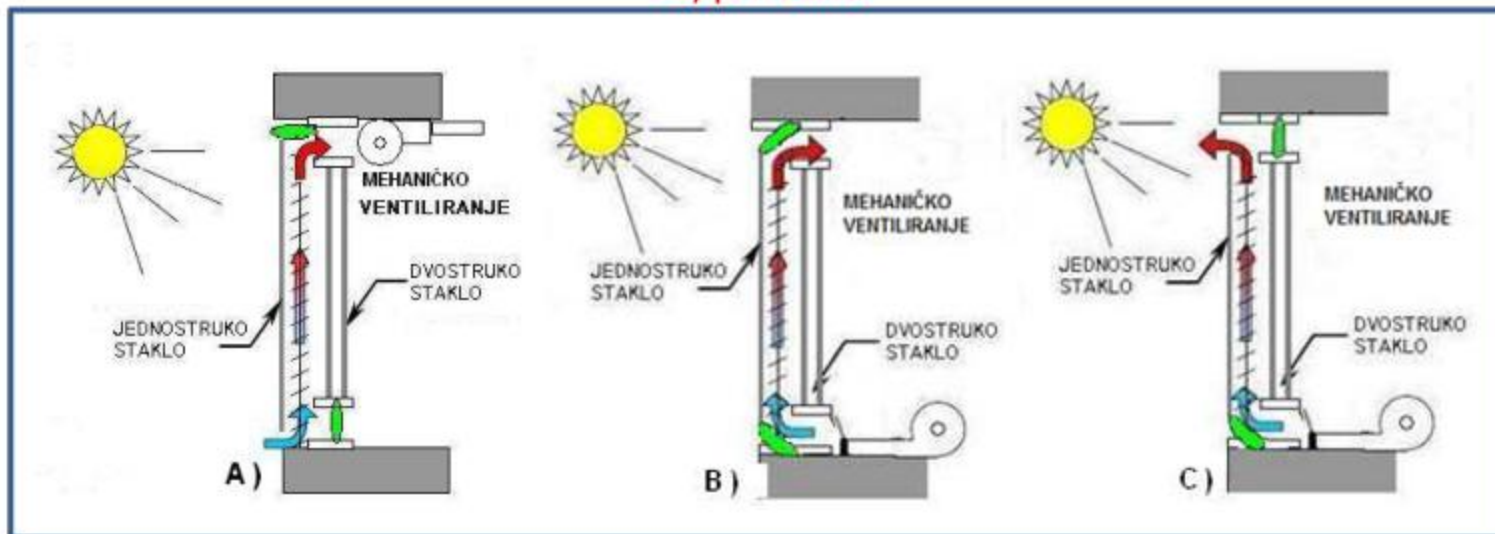
- Zimski režim : integracija toplog zraka kavitacije DSO u sustav klimatizacije rekuperacijom toplog zraka



Modeli prirodnog i mehaničkog ventiliranja DISO u istraživanjima

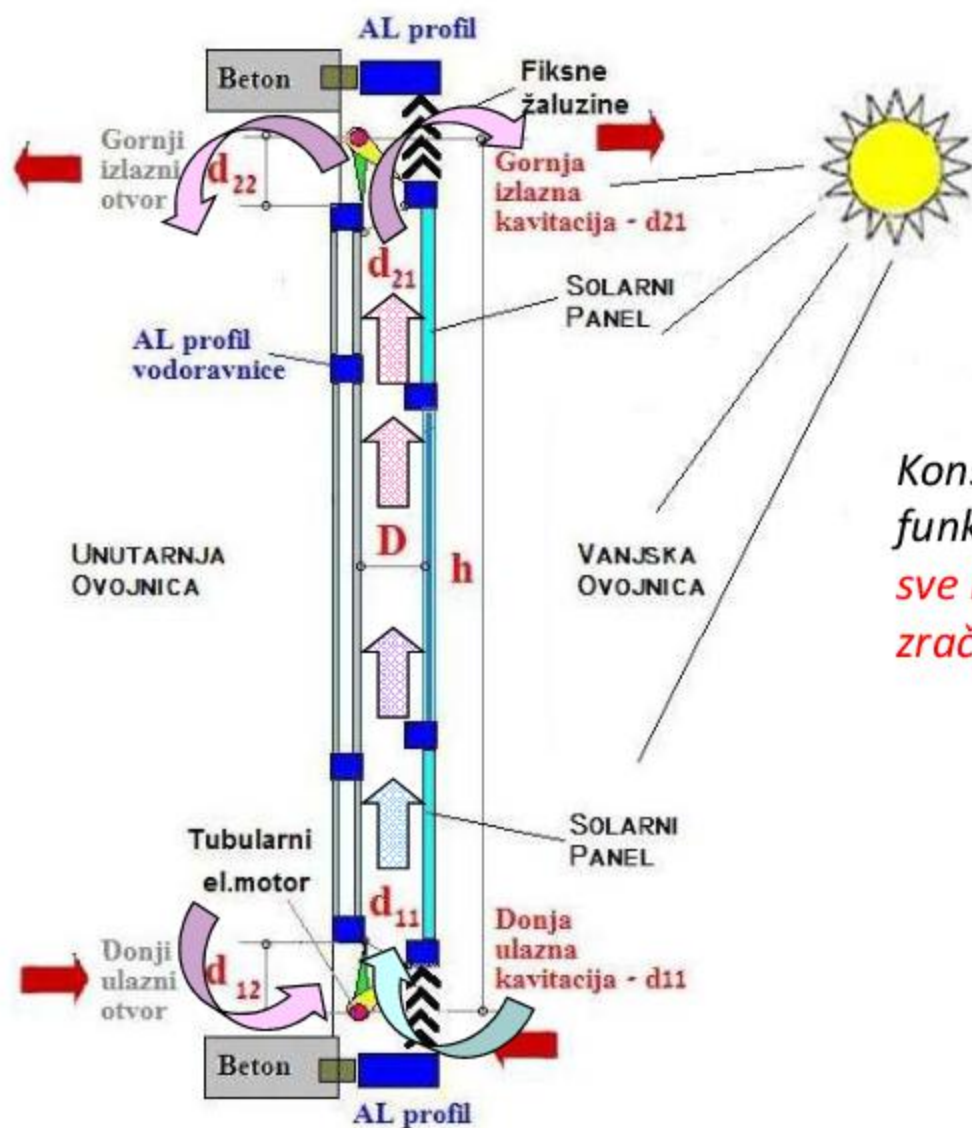


1) prirodno



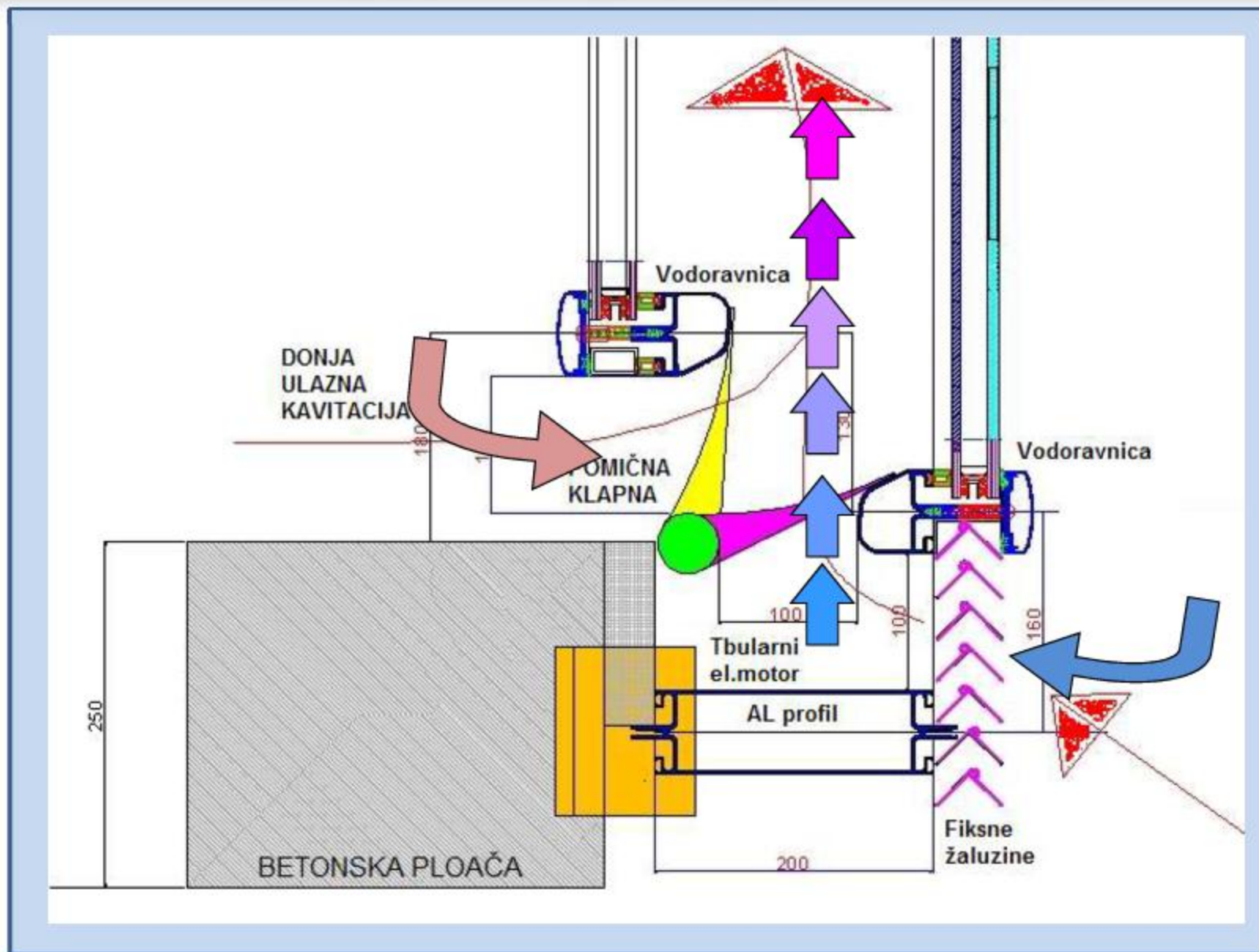
2) mehaničko

Funkcionalni koncept – DISO

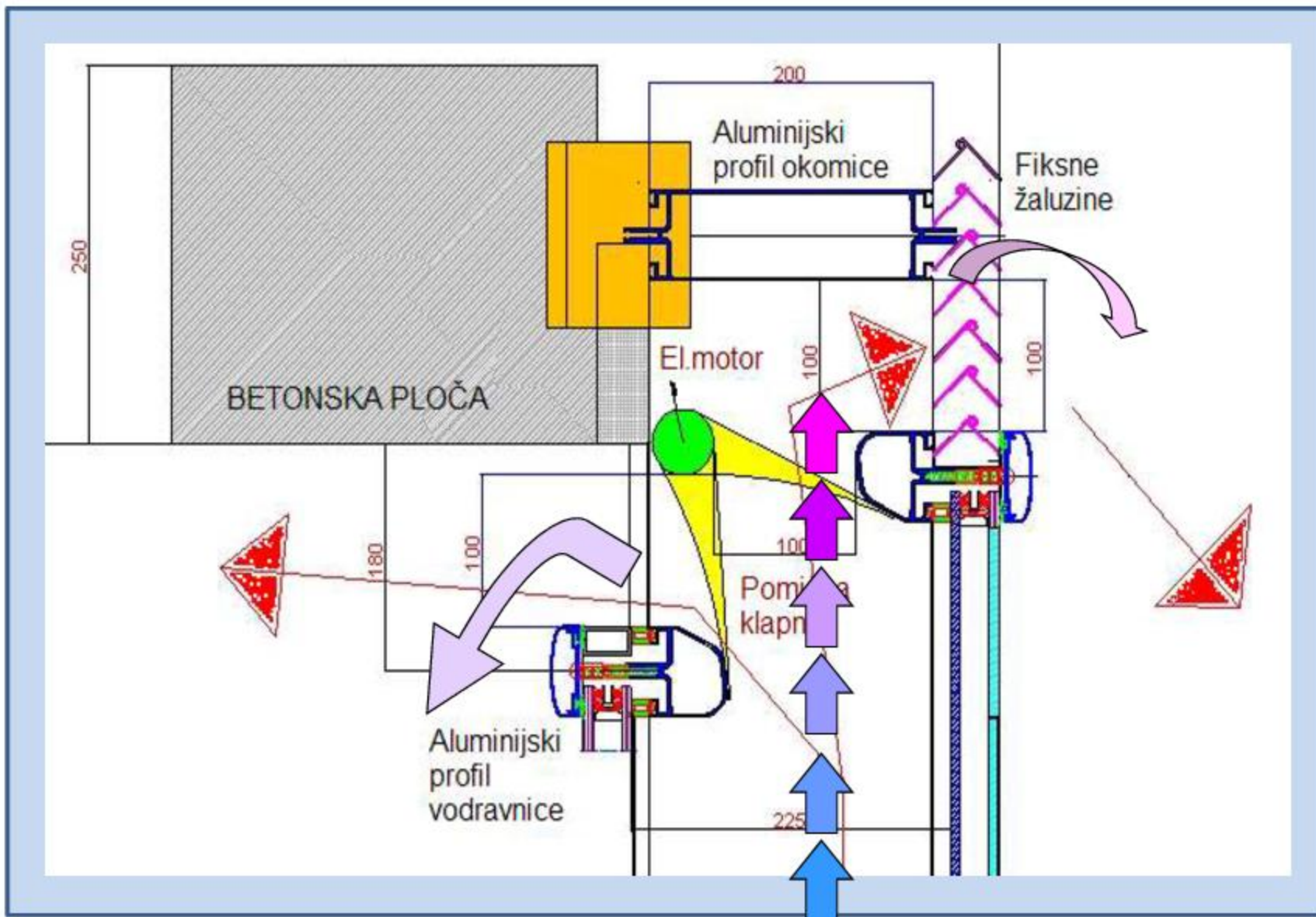


Konstruktivskom izvedbom funkcionalni koncept DISO osigurava sve moguće varijante ventiliranja zračnog međusloja

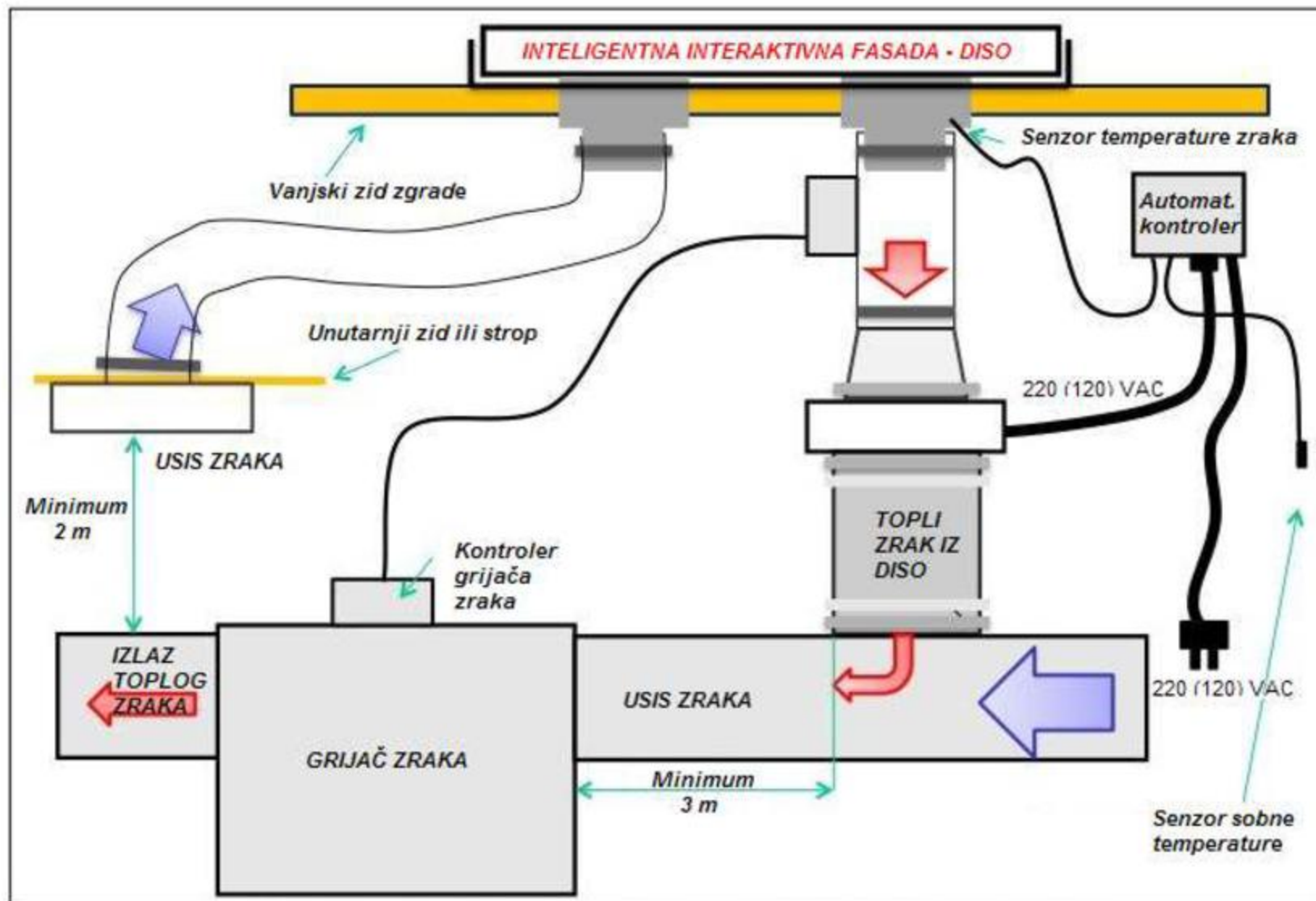
Donji konstrukcijski sklop modela - DISO



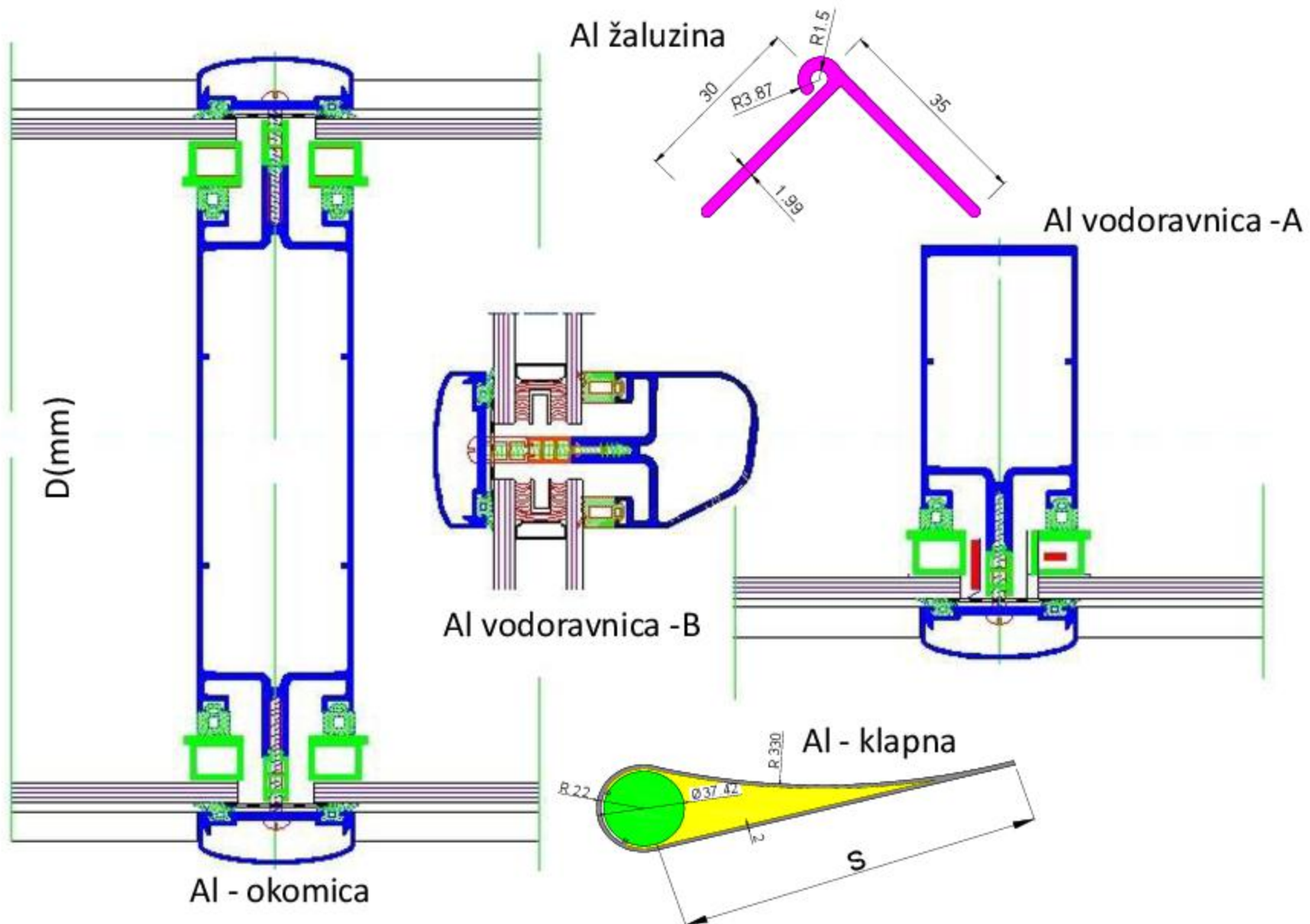
Gornji konstrukcijski sklop modela - DISO



Integracija DISO u sustav grijanja i klimatizacije

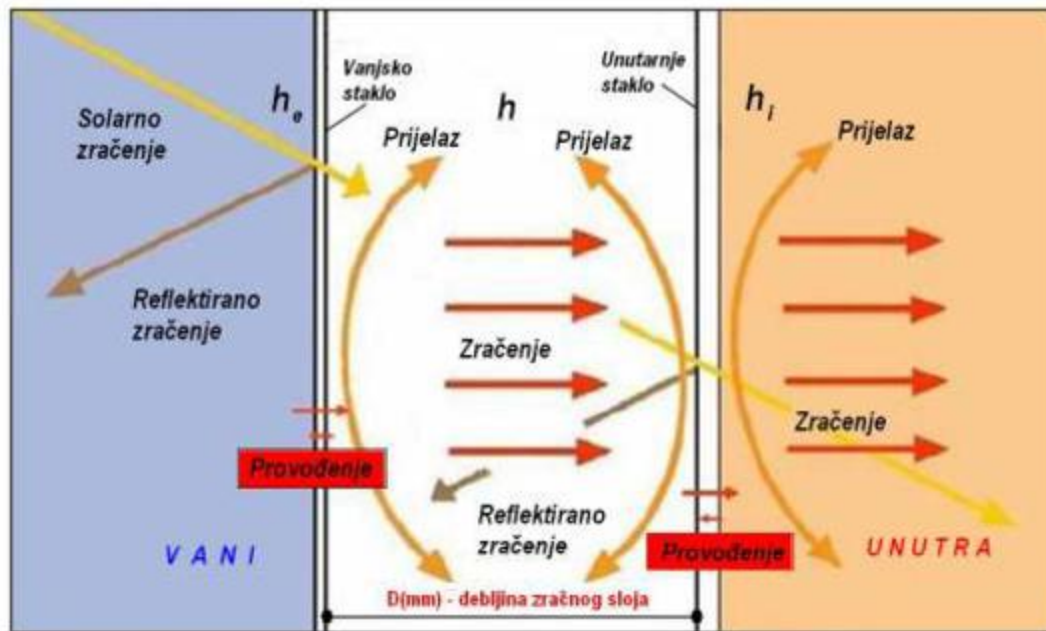


Geometrija AL profila u modelu istraživanja DISO



MATEMATSKO MODELIRANJE PRIJENOSA TOPLINE DISO...

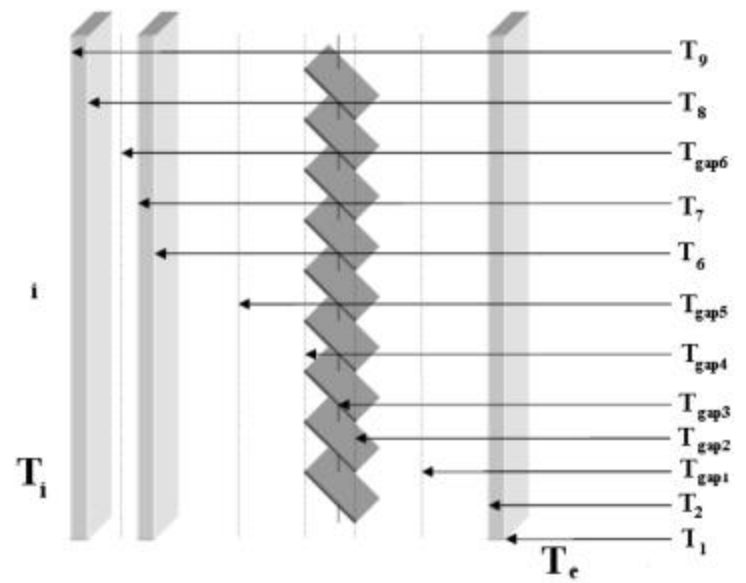
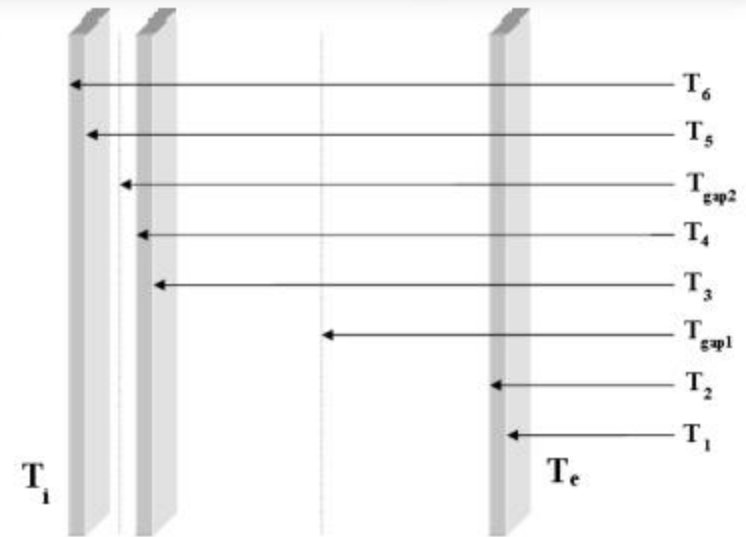
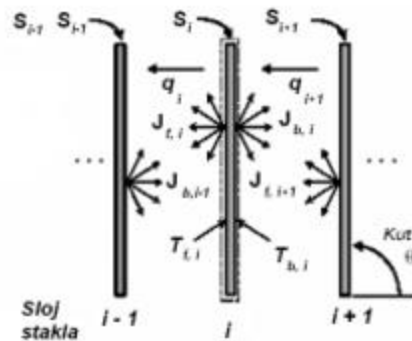
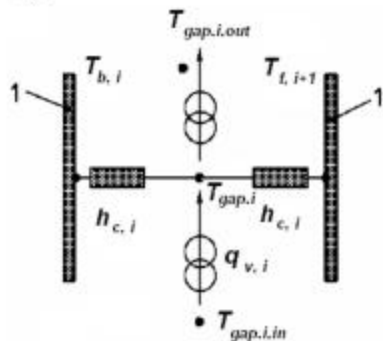
Fizičke karakteristike modela DISO u modeliranjima



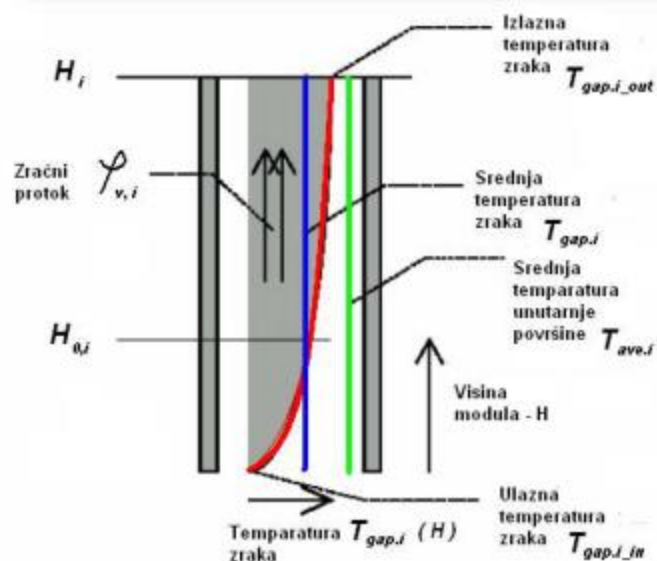
$$h_{cv,i} = 2 * h_{c,i} + 4 * V_i$$

$h_{cv,i}$ – koeficijent prijelaza topline kroz i-ti zračni ventilirani sloj, (W/m²K),

$h_{c,i}$ – koeficijent prijelaza topline zraka za i-ti sloj koji nije ventiliran, (W/m²K),



Raspored temperatura unutar ventiliranog zračnog sloja



$$T_{gap_i}(h) = T_{av,i} - (T_{av,i} - T_{gap_i,in}) * e^{-H_i / H_{0,i}}$$

$T_{gap_i}(h)$ – temperatura (°C) u i-tom zračnom sloju na visini – h(m),

$H_{0,i}$ – karakteristična visina-pozicija temperature koja se računa, (m)

$T_{gap_i,in}$ – temperatura na ulazu u zračni ventilacijski prostor, (°C)

$T_{av,i}$ – srednja vrijednost temperatura na susjednim površinama i-tog i i+1-og zračnoga sloja (°C), tj.:

$$T_{av,i} = (T_{b,i} + T_{f,i+1}) / 2$$

$T_{b,i}$ – temperatura površine sloja koji graniči s i-tim slojem (staklo, folija ili sjenilo), na strani prema zračnom sloju (°C).

$T_{f,i+1}$ – temperatura površine sloja koji graniči s (i+1)-im slojem (staklo, folija ili sjenilo), na strani prema zračnom sloju (°C).

$$H_{0,i} = \rho_i c_p D_i / (2 h_{cv,i}) * V_i$$

ρ_i – specifična gustoća zraka temperature T_{gap_i} , (kg/m³),

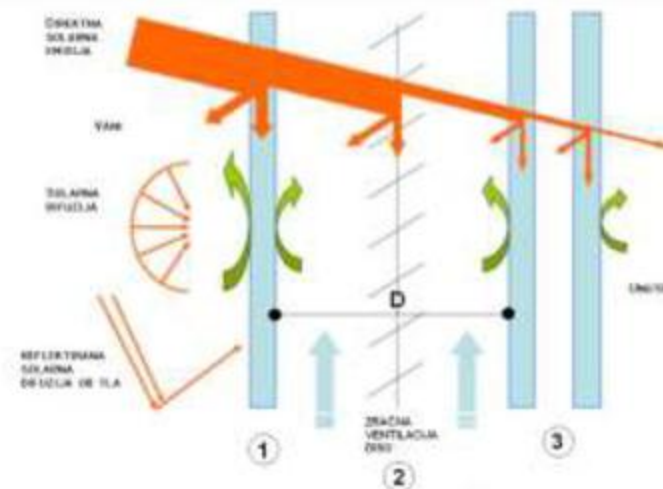
c_p – specifični toplinski kapacitet zraka (J/kg.K),

D_i – ekvivalentni promjer zračnoga sloja na i-toj poziciji (m)

$h_{cv,i}$ – koeficijent prijelaza topline ventiliranoga zračnog sloja (W/m².K)

V_i – srednja brzina strujanja zraka u i-tom ventilacijskom sloju (m/s)

Fizičke karakteristike modela DISO u modeliranjima



1) Vanjska ovojnica: jednostruko staklo - Planibel_top8.gvb, 8 mm

2) Zračni ventilacijski sloj - D:

Debljina - D : 125, 150, 175, 200, 225, 250 [mm]

	-10 °C	0 °C	10 °C	20 °C
Koef. kondukcije	0.0234	0.0242	0.0250	0.0258
Dinamička viskoznost	1.66e-005	1.71e-005	1.76e-005	1.81e-005
Gustoća	1.33	1.28	1.23	1.19
c_p	1.01e+003	1.01e+003	1.01e+003	1.01e+003

Nusseltov broj : 1.00

Prandtllov broj : 0.683

Grashofov broj : 6.19e+003

3) Unutarnja ovojnica:

Staklo prema zračnoj ventilaciji : clear_08.gvb, 8 mm,

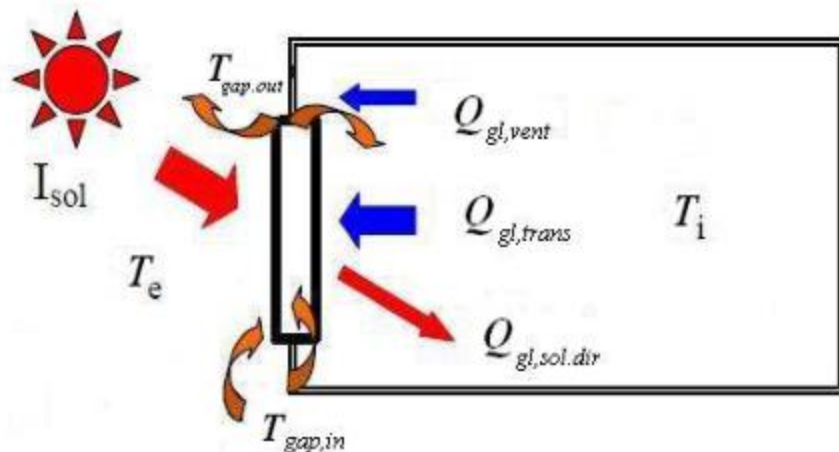
Staklo prema prostoriji : WinD at #02/DEF#05 lowE, 6 mm

Ispuna dvostrukoga ostakljenja : Air-Argon 10/90

Razmak između dva stakla : 14.0 [mm]

	-10 °C	0 °C	10 °C	20 °C
Koef. kondukcije	0.0166	0.0171	0.0177	0.0182
Dinamička viskoznost	2.00e-005	2.06e-005	2.12e-005	2.19e-005
Gustoća	1.78	1.68	1.65	1.59
c_p	568.	568.	568.	568.

Bilanca izmjene toplinske energije kroz DISO



$Q_{gl,vent}$ – toplinska energija ventiliranog zraka unutar DISO (W),

ρ – volumetrijska gustoća zraka $\rho = 1.21 * 273 / (273 + T_{gap})$ (kg/m³),

T_{gap} – srednja temperatura zraka unutar zračnoga sloja DISO,

T_i – unutarnja temperatura u prostoriji (°C)

$T_{gap,out}$ – temperatura zraka na gornjem izlazu iz dvostruke ostakljene ovojnice (°C),

c_p – toplinski kapacitet zraka $c_p = (1008 - 1010)$ J/(kgK)

$\phi_v = V_{air} * D * H$ – zračni protok kroz DISO (m³/s po m širine ostakljene ovojnice),

W – širina modula dvostruke staklene ovojnice DISO (m),

H – visina geometrijskog modula DISO (m).

D – debljina zračnog sloja geometrijskog modula DISO (m),

V_{air} – brzina strujanja zraka kroz DISO (m/s).

τ_{sol} – direktna kratkovalna solarna transmisija kroz ostakljenu ovojnicu inducirana je sunčevim zračenjem (tzv. solarni koeficijent)

I_{sol} – incidentno sunčevo zračenje (W/m²)

$$Q_{DISO,gl} = Q_{gl,trans} + Q_{gl,vent} - Q_{gl,sol,dir}$$

$$Q_{gl,trans} = (h_{ci} + h_{ri}) * A_{gl} * (T_i - T_{gl,si})$$

$$Q_{gl,vent} = \rho * c_p * \phi_v * W * (T_i - T_{gap,out})$$

$$Q_{gl,sol,dir} = \tau_{sol} * A_{gl} * I_{sol}$$

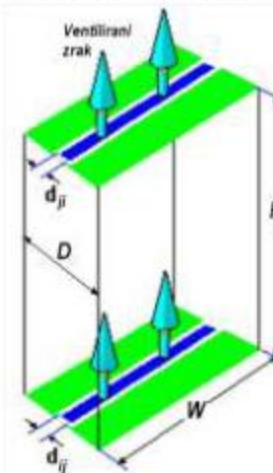
h_{ci} - unutarnji koeficijent prijelaza topline konvekcijom (W/(m²K))

h_{ri} - unutarnji koeficijent prijenosa topline zračenjem (W/(m²K))

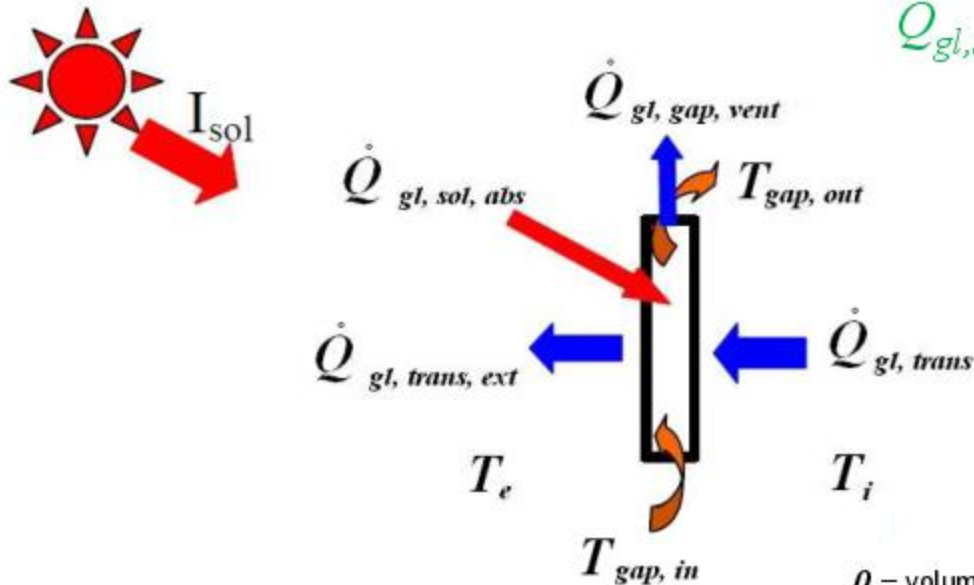
A_{gl} - površina transparentnoga dijela ostakljene ovojnice (m²)

T_i - temperatura zraka unutar prostorije (°C)

$T_{gl,si}$ - temperatura na površini ostakljene ovojnice unutar prostorije (°C)



Bilanca izmjene toplinske energije unutar DISO



$$Q_{gl,sol,abs} + Q_{gl,trans} - Q_{gl,trans,ext} - Q_{gl,gap,vent} = 0$$

h_{ce} - vanjski koeficijent prijelaza topline (konvekcije), (W/(m²·K))

h_{re} - vanjski koeficijent topline zračenja (radijacije), (W/(m²·K))

A_{gl} - površina ostakljenja DISO, (m²)

T_e - vanjska temperatura zraka, i (°C)

$T_{gl,se}$ - vanjska temperatura na površini vanjskoga ostakljenja, (°C)

$\Sigma (abs_i)$ - suma koeficijenata apsorpcije na staklenim površinama DISO izloženih djelovanju sunčevoga zračenja, unutar tehničkoga sustava DISO

ρ - volumetrijska gustoća zraka, $\rho = 1.21 \cdot 273 / (273 + T_{gap})$ (kg/m³)

T_{gap} - srednja temperatura zraka unutar zračne ventilacije DISO

$T_{gap,in}$ - temperatura na ulazu u DISO (°C)

$T_{gap,out}$ - temperatura zraka na gornjem izlazu iz dvostruke ostakljene ovojnice (°C)

c_p - toplinski kapacitet zraka, $c_p = 1010$ J/(kgK)

ϕ_v - zračni protok kroz kavitaciju (m³/s po m širine ostakljene ovojnice)

W - širina modula dvostruke ostakljene ovojnice (m)

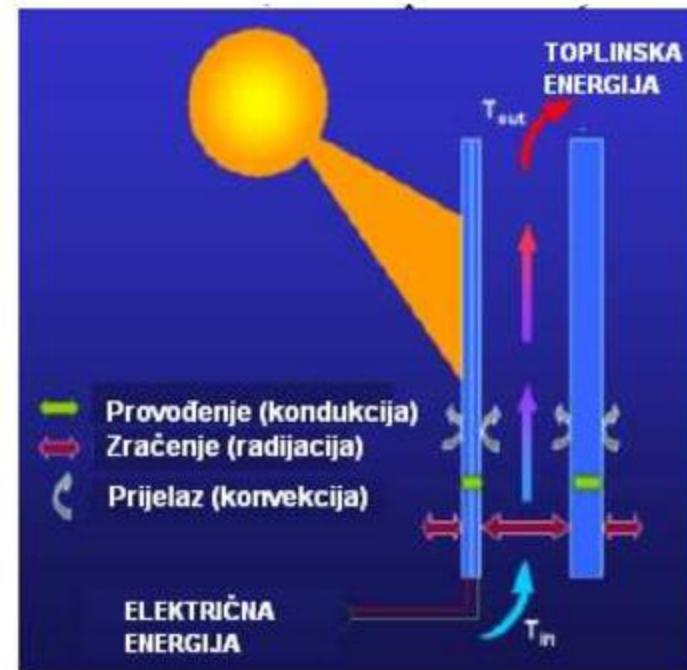
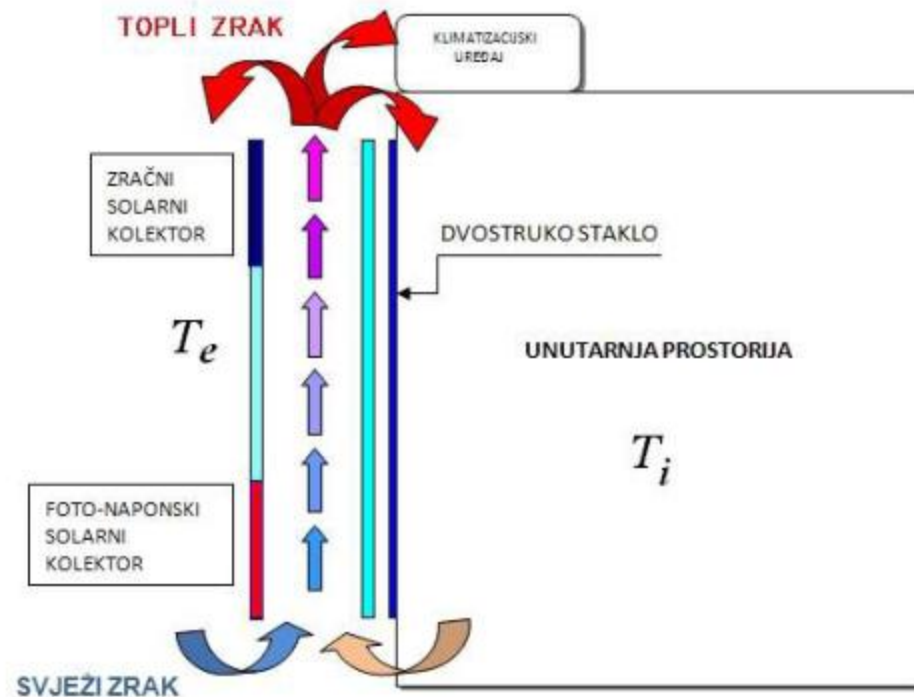
$$I_{sol} = I_{sol,trans} + I_{sol,rr} + I_{sol,abs}$$

$$Q_{gl,sol,abs} = \Sigma (abs_i) * A_{gl} * I_{sol}$$

$$Q_{gl,gap,vent} = \rho * c_p * \phi_v * W * (T_{gap,in} - T_{gap,out})$$

$$Q_{gl,trans,ext} = (h_{ce} + h_{re}) * A_{gl} * (T_{gl,se} - T_e)$$

Integracija solarnih foto-naponskih i zračnih panela u DISO



$$Q_p - U_p * (T_p - T_e) - h_{cp} * (T_p - T_m) - h_{ir} * (T_p - T_{gl}) - Q_E = 0$$

$$Q_{gl.sol} - U_{gl} * (T_{gl} - T_i) - h_{cg} * (T_{gl} - T_{m.gap}) - h_r * (T_{gl} - T_p) = 0$$

Foto-naponski kolektor :

Zračni kolektor :

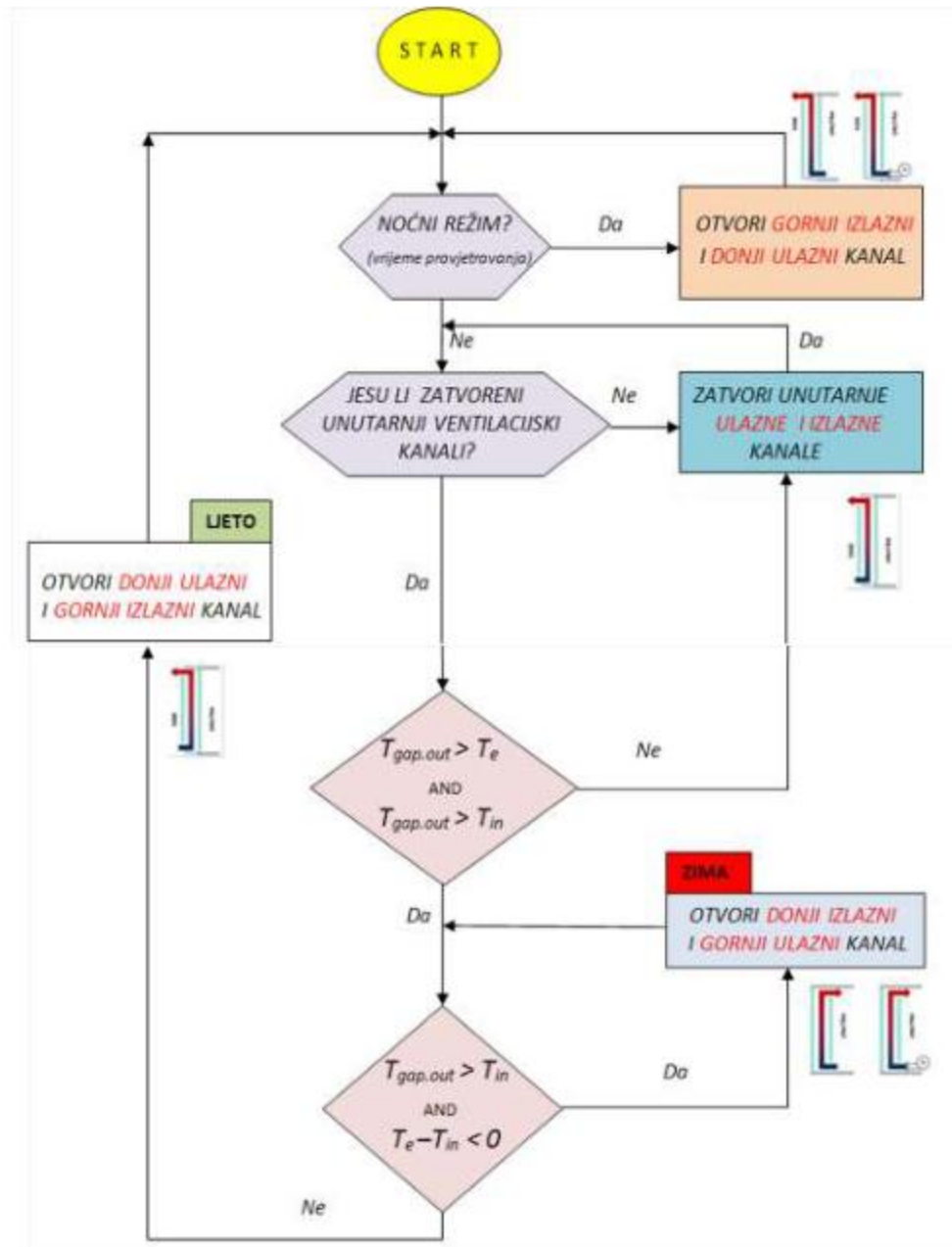
$$Q_{FN,DISO} = h_{in} * A_{FN} * (T_{gl.in} - T_{in})$$

$$h_{cp} * (T_p - T_{m.gap}) + h_{cg} * (T_{gl} - T_{m.gap}) = m * c_p * (dT_m/dx)$$

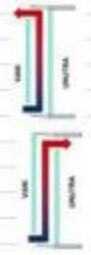

$$T_{out,c} = Q_{air,c} / (m * c_p) + T_{in,c} \quad \eta_{ac} = Q_{air,c} / (I_{sol} * A_{air,c})$$

REZULTATI NUMERIČKOG MODELIRANJA PRIJENOSA TOPLINE **DISO...**

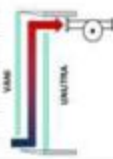

Algoritam upravljanja DISO-om bez rekuperacije zraka



TABLICA - EP 1.1 $I_{sol} = 1000 \text{ W/m}^2$ $T_e = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_i = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ PRIRODNO VENTILIRANJE

MODEL VENTILIRANJA DISO	Dimenzije vent. (ulaz-izlaz) mm-mm	Temperatura zraka DISO			Brzina strujanja m/s	Zračni protok dm ³ /s.m	Energija $Q_{g, \text{pri}} \text{ kWh}$ W	
		U sredini °C	Na izlazu °C	Učinkovitost ε				
	D = 125 mm	10	49,1	53,9	-1,89	0,060	7,5	175,84
	20	44,9	50,2	-1,52	0,106	13,3	254,09	
	30	42,8	47,6	-1,26	0,149	18,6	296,52	
	40	41,4	45,8	-1,08	0,189	23,7	329,30	
	50	40,5	44,5	-0,95	0,230	28,7	347,50	
	60	39,8	43,4	-0,84	0,271	33,8	362,68	
	70	39,2	42,6	-0,76	0,312	39,0	379,35	
	80	38,8	41,9	-0,69	0,353	44,1	389,94	
	90	38,5	41,3	-0,63	0,394	49,3	398,40	
	100	38,2	40,9	-0,59	0,435	54,4	412,10	
	110	38,0	40,5	-0,55	0,474	59,3	419,03	
	120	37,8	40,2	-0,52	0,511	63,9	427,18	
	D = 150 mm	10	43,2	50,6	2,56	0,067	8,7	282,73
	20	37,4	44,7	1,97	0,122	15,3	387,99	
	30	34,6	41,1	1,61	0,170	21,2	443,37	
	40	32,8	39,6	1,46	0,216	27,0	480,73	
	50	31,7	36,8	1,18	0,262	32,7	506,00	
	60	30,8	35,5	1,05	0,308	38,5	531,68	
	70	30,2	34,4	0,94	0,355	44,4	550,01	
	80	29,6	33,5	0,85	0,403	50,3	564,56	
	90	29,2	32,6	0,78	0,450	56,2	579,60	
	100	28,9	32,3	0,73	0,497	62,1	599,99	
	110	28,6	31,8	0,68	0,542	67,7	609,90	
	120	28,4	31,4	0,64	0,584	73,0	619,37	

TABLICA EM 1.2 $I_{sol} = 1000 \text{ W/m}^2$ $T_e = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_i = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ MEHANIČKO VENTILIRANJE

MODEL VENTILIRANJA DISO	Zračni protok dm ³ /s.m	Temperatura zraka DISO			Brzina strujanja m/s	Energija $Q_{g, \text{pri}} \text{ kWh}$ W	
		U sredini °C	Na izlazu °C	Učinkovitost ε			
	D = 175 mm	10	47,0	52,2	-1,72	0,057	214,77
	20	42,3	47,1	-1,21	0,114	306,68	
	30	40,2	44,1	-0,91	0,171	348,28	
	40	39,1	42,3	-0,73	0,229	373,83	
	50	38,4	41,2	-0,62	0,286	397,77	
	60	37,9	40,3	-0,53	0,343	408,69	
	70	37,5	39,7	-0,47	0,400	423,37	
	80	37,3	39,2	-0,42	0,457	432,66	
	90	37,0	38,9	-0,39	0,514	452,41	
	100	36,9	38,5	-0,35	0,571	451,27	
	110	36,7	38,3	-0,33	0,629	468,33	
	120	36,6	38,1	-0,31	0,686	480,10	
	D = 150 mm	10	41,8	49,4	2,44	0,057	309,70
	20	35,0	41,7	1,67	0,114	433,30	
	30	32,1	37,5	1,25	0,171	491,11	
	40	30,5	35,0	1,00	0,229	526,61	
	50	29,6	33,4	0,84	0,286	554,59	
	60	28,9	32,2	0,72	0,343	571,76	
	70	28,4	31,4	0,64	0,400	593,92	
	80	28,0	30,7	0,57	0,457	605,32	
	90	27,8	30,2	0,52	0,514	621,67	
	100	27,5	29,8	0,48	0,571	638,24	
	110	27,3	29,5	0,45	0,629	658,63	
	120	27,2	29,2	0,42	0,686	670,83	

Prikaz djela numeričkih
rezultata
modeliranja
($I_{sol} = 1000 \text{ W/m}^2$)

Prikaz djela numeričkih rezultata modeliranja ($I_{sol}=500 \text{ W/m}^2$)

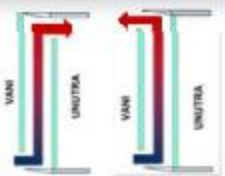
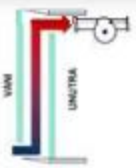
TABLICA EP 2.3 $I_{sol} = 500 \text{ W/m}^2$ $T_a = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ PRIFODNO VENTILIRANJE

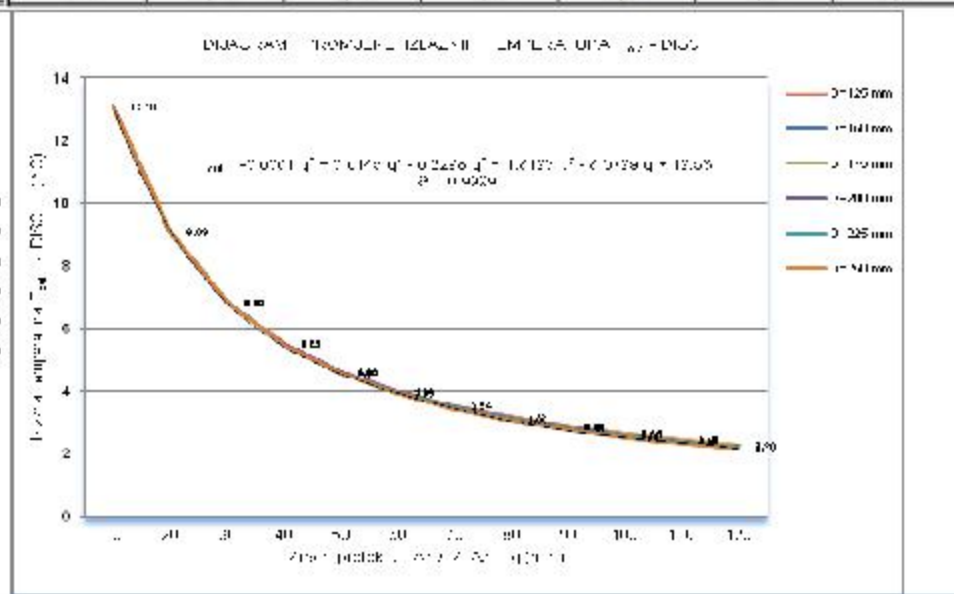
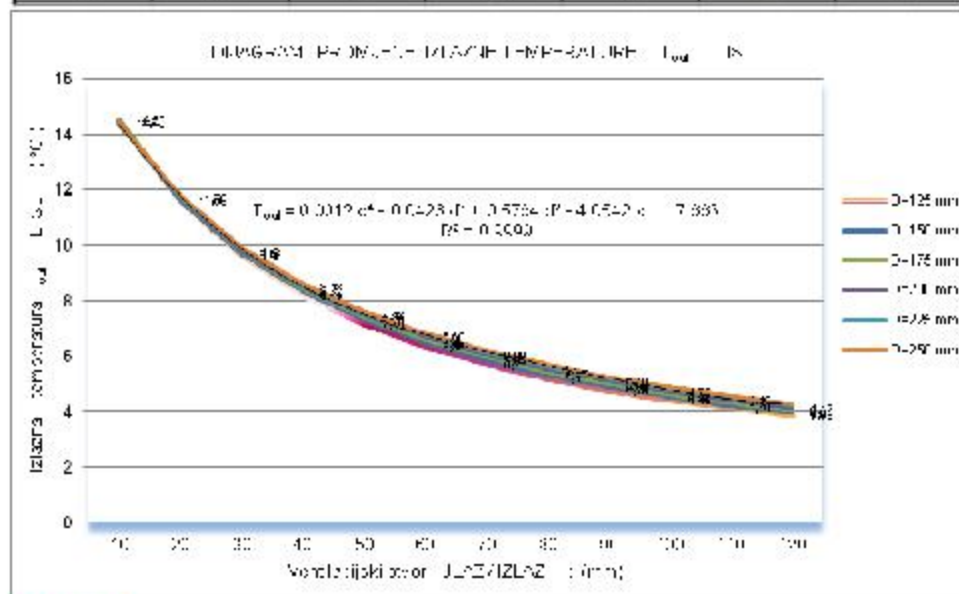
MODEL VENTILIRANJA DISO	Dimenzije veni (ulaz-izlaz) d(mm)	Temperatura zraka DISO			Brzina strujanja m/s	Zračni protok dm ³ /s.m	Energija $Q_{g,geo,vent}$ W
		U sredini °C	Na izlazu °C	Učinkovitost ε			
	10	11,00	14,40	0,72	0,033	7,33	148,50
	20	7,83	11,70	0,59	0,057	12,80	213,08
	30	6,17	9,87	0,49	0,078	17,60	248,63
	40	5,14	8,54	0,43	0,098	22,00	269,90
	50	4,42	7,54	0,38	0,117	26,30	285,61
	60	3,89	6,77	0,34	0,135	30,40	296,99
	70	3,48	6,14	0,31	0,153	34,50	306,14
	80	3,15	5,62	0,28	0,172	38,60	313,88
	90	2,88	5,18	0,26	0,190	42,70	320,35
	100	2,65	4,81	0,24	0,208	46,80	326,30
	110	2,46	4,49	0,22	0,227	51,00	332,16
	120	2,29	4,21	0,21	0,245	55,10	336,69
	10	18,40	18,20	0,09	0,012	2,69	-6,64
	20	18,60	18,30	0,09	0,023	5,14	-11,97
	30	18,80	18,40	0,08	0,033	7,43	-16,28
	40	18,90	18,50	0,08	0,043	9,61	-19,73
	50	19,00	18,60	0,07	0,052	11,70	-22,41
	60	19,10	18,60	0,07	0,061	13,80	-26,43
	70	19,20	18,70	0,07	0,071	15,90	-28,27
	80	19,20	18,80	0,06	0,080	18,00	-29,54
	90	19,30	18,80	0,06	0,089	20,10	-32,97
	100	19,30	18,90	0,06	0,099	22,20	-33,38
	110	19,40	18,90	0,06	0,108	24,30	-36,53
	120	19,40	19,00	0,05	0,118	26,50	-36,21

TABLICA EM 2.3 $I_{sol} = 500 \text{ W/m}^2$ $T_a = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ MEHANIČKO VENTILIRANJE

MODEL VENTILIRANJA DISO	Zračni protok dm ³ /s.m	Temperatura zraka DISO			Brzina strujanja m/s	Energija $Q_{g,geo,vent}$ W
		U sredini °C	Na izlazu °C	Učinkovitost ε		
	10	9,23	13,10	0,66	0,044	185,46
	20	5,56	9,09	0,45	0,089	260,77
	30	3,94	6,84	0,34	0,133	296,06
	40	3,05	5,47	0,27	0,178	316,70
	50	2,50	4,56	0,23	0,222	330,68
	60	2,12	3,92	0,20	0,267	341,59
	70	1,84	3,44	0,17	0,311	350,08
	80	1,64	3,07	0,15	0,356	357,32
	90	1,47	2,78	0,14	0,400	364,24
	100	1,34	2,54	0,13	0,444	369,94
	110	1,23	2,34	0,12	0,489	375,04
	120	1,14	2,18	0,11	0,533	381,29
	10	18,90	18,50	0,08	0,044	-20,53
	20	19,30	18,80	0,06	0,089	-32,81
	30	19,40	19,00	0,05	0,133	-41,00
	40	19,50	19,20	0,04	0,178	-43,71
	50	19,60	19,30	0,04	0,222	-47,80
	60	19,60	19,30	0,04	0,267	-57,35
	70	19,70	19,40	0,03	0,311	-57,33
	80	19,70	19,40	0,03	0,356	-65,53
	90	19,70	19,50	0,03	0,400	-61,43
	100	19,70	19,50	0,03	0,444	-68,26
	110	19,70	19,50	0,03	0,489	-75,08
	120	19,70	19,50	0,03	0,533	-81,91

Promjena izlaznih temperatura zraka DISO – $I_{sol} = 500 \text{ W}$

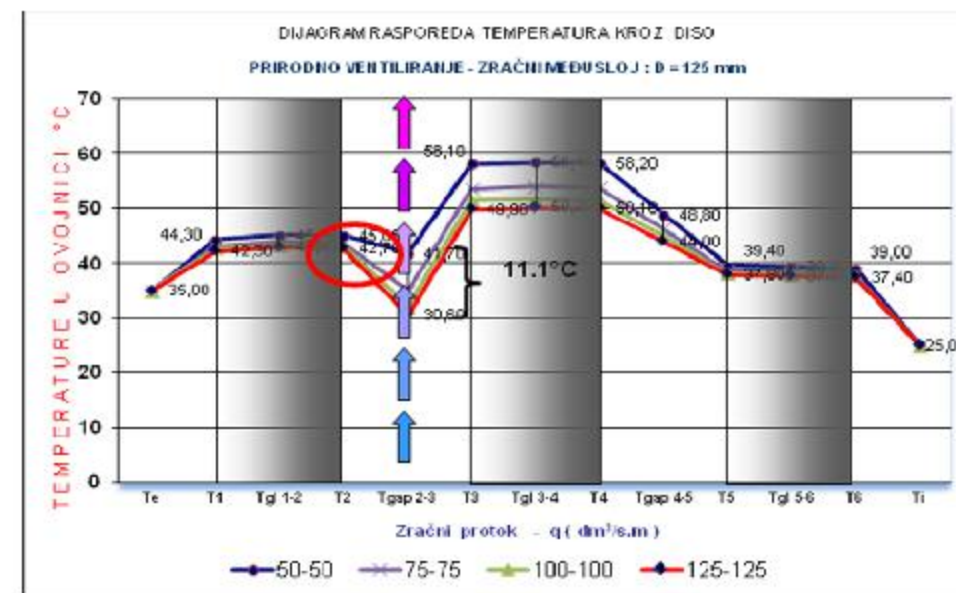
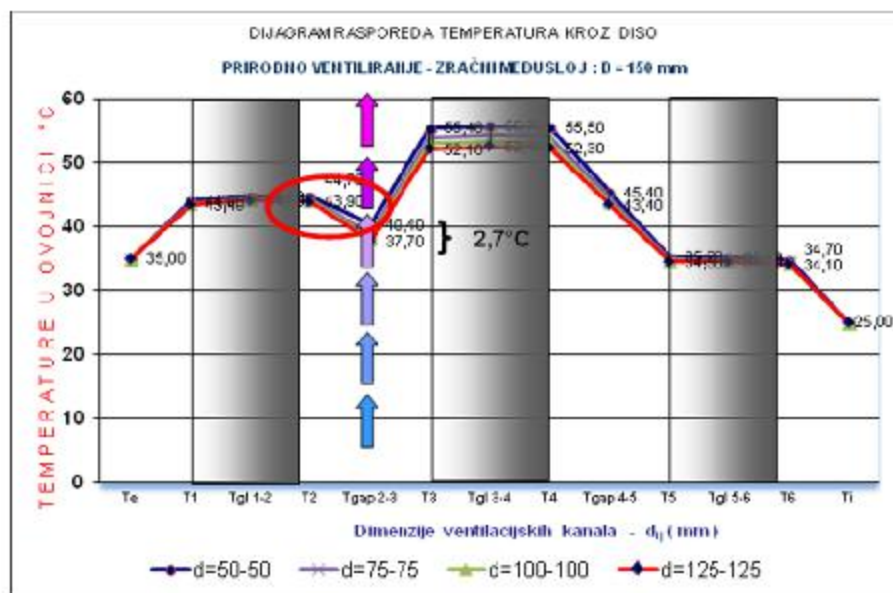
DIJAGRAM PROMJENE IZLAZNE TEMPERATURE T_{izl} DISO							Dijagram 10-2-1-I			DIJAGRAM PROMJENE IZLAZNE TEMPERATURE T_{izl} DISO							Dijagram 10-2-3-V		
Model ventiliranja :							E-E, E-I		Model ventiliranja :							E-I			
Vanjska temperatura :							$T_e = 0 \text{ }^\circ\text{C}$		Vanjska temperatura :							$T_e = 0 \text{ }^\circ\text{C}$			
Unutarnja temperatura :							$T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$		Unutarnja temperatura :							$T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$			
Debljina zračnog međusloja DISO :							125 - 250 mm		Debljina zračnog međusloja DISO :							125 - 250 mm			
Solarna inzolacija :							500 W		Solarna inzolacija :							500 W			
Način ventiliranja :							prirodno		Način ventiliranja :							mehaničko			
DIMENZUE VENTILACIJE	Zračni sloj DISO	Zračni sloj DISO	Zračni sloj DISO	Zračni sloj DISO	Zračni sloj DISO	Zračni sloj DISO	PROTOK ZRAKA DISO	Zračni sloj DISO	Zračni sloj DISO	Zračni sloj DISO	Zračni sloj DISO	Zračni sloj DISO	Zračni sloj DISO	Zračni sloj DISO					
Ulaz / Izlaz (mm)	D=125 mm	D=150 mm	D=175 mm	D=200 mm	D=225 mm	D=250 mm	$\text{dm}^3/\text{s} \cdot \text{m}$	D=125 mm	D=150 mm	D=175 mm	D=200 mm	D=225 mm	D=250 mm						
10	14,50	14,50	14,50	14,40	14,40	14,40	10	13,10	13,10	13,10	13,10	13,10	13,10						
20	11,60	11,60	11,70	11,70	11,70	11,80	20	9,08	9,08	9,08	9,09	9,09	9,10						
30	9,59	9,69	9,77	9,82	9,87	9,91	30	6,86	6,84	6,84	6,83	6,84	6,84						
40	8,19	8,32	8,41	8,48	8,54	8,59	40	5,52	5,49	5,48	5,47	5,47	5,46						
50	7,15	7,29	7,39	7,48	7,54	7,60	50	4,63	4,60	4,58	4,57	4,56	4,56						
60	6,35	6,49	6,60	6,69	6,77	6,83	60	4,00	3,97	3,95	3,93	3,92	3,91						
70	5,71	5,85	5,97	6,06	6,14	6,20	70	3,54	3,50	3,47	3,46	3,44	3,43						
80	5,18	5,32	5,44	5,54	5,62	5,69	80	3,18	3,14	3,11	3,09	3,07	3,06						
90	4,76	4,89	5,00	5,10	5,18	5,25	90	2,89	2,85	2,82	2,80	2,78	2,77						
100	4,40	4,52	4,63	4,73	4,81	4,88	100	2,65	2,61	2,58	2,56	2,54	2,53						
110	4,11	4,20	4,31	4,40	4,49	4,56	110	2,45	2,41	2,38	2,36	2,34	2,33						
120	3,88	3,94	4,03	4,12	4,21	4,28	120	2,29	2,25	2,22	2,19	2,18	2,16						



Promjena temperatura kroz presjek DISO – $I_{sol}=1000W$

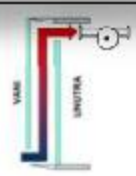
RASPORED TEMPERATURA U PRESJEKU DISO		DT - 1.2-1000-P			
Model ventiliranja :		E-E, E-I			
Vanjska temperatura :		$T_e = 35 \text{ }^\circ\text{C}$			
Unutarnja temperatura :		$T_i = 25 \text{ }^\circ\text{C}$			
Debljina zračnog međusloja DISO :		150 mm			
Solarna insolacija :		1000 W			
Način ventiliranja :		prirodno			
Redni broj	VODORAVNI RASTER DISO	Temperature DISO - dimenzije ULAZ / IZLAZ	Temperature DISO - dimenzije ULAZ / IZLAZ	Temperature DISO - dimenzije ULAZ / IZLAZ	Temperature DISO - dimenzije ULAZ / IZLAZ
	L(poz. T)	50-50 mm	75-75 mm	100-100 mm	125-125 mm
1	T_e	35,00	35,00	35,00	35,00
2	T_1	44,00	43,70	43,50	43,40
3	$T_{p, 1-2}$	44,70	44,40	44,20	44,00
4	T_2	44,70	44,30	44,10	43,90
5	$T_{p, 2-3}$	40,40	39,00	38,20	37,70
6	T_3	55,40	54,00	53,00	52,10
7	$T_{p, 3-4}$	55,70	54,30	53,30	52,40
8	T_4	55,50	54,20	53,10	52,30
9	$T_{p, 4-5}$	45,40	44,50	43,90	43,40
10	T_5	35,20	34,90	34,70	34,50
11	$T_{p, 5-6}$	35,10	34,80	34,60	34,40
12	T_6	34,70	34,40	34,20	34,10
13	T_i	25,00	25,00	25,00	25,00

RASPORED TEMPERATURA U PRESJEKU DISO		DT-1.19-1000-M-125			
Model ventiliranja :		I-E,I-I			
Vanjska temperatura :		$T_e = 35 \text{ }^\circ\text{C}$			
Unutarnja temperatura :		$T_i = 25 \text{ }^\circ\text{C}$			
Debljina zračnog međusloja DISO :		125 mm			
Solarna insolacija :		1000 W			
Način ventiliranja :		mehaničko			
Redni broj	VODORAVNI RASTER DISO	Zračni protok DISO	Zračni protok DISO	Zračni protok DISO	Zračni protok DISO
	L(poz. T)	dm ³ /s.m	dm ³ /s.m	dm ³ /s.m	dm ³ /s.m
		10	20	30	40
1	T_e	35,00	35,00	35,00	35,00
2	T_1	44,30	43,20	42,70	42,30
3	$T_{p, 1-2}$	45,10	43,90	43,30	42,90
4	T_2	45,00	43,70	43,10	42,70
5	$T_{p, 2-3}$	41,70	35,00	32,20	30,60
6	T_3	58,10	53,60	51,40	49,90
7	$T_{p, 3-4}$	58,40	54,00	51,70	50,20
8	T_4	58,20	53,80	51,60	50,10
9	$T_{p, 4-5}$	48,80	46,20	44,90	44,00
10	T_5	39,40	38,60	38,10	37,80
11	$T_{p, 5-6}$	39,30	38,50	38,00	37,70
12	T_6	39,00	38,10	37,70	37,40
13	T_i	25,00	25,00	25,00	25,00

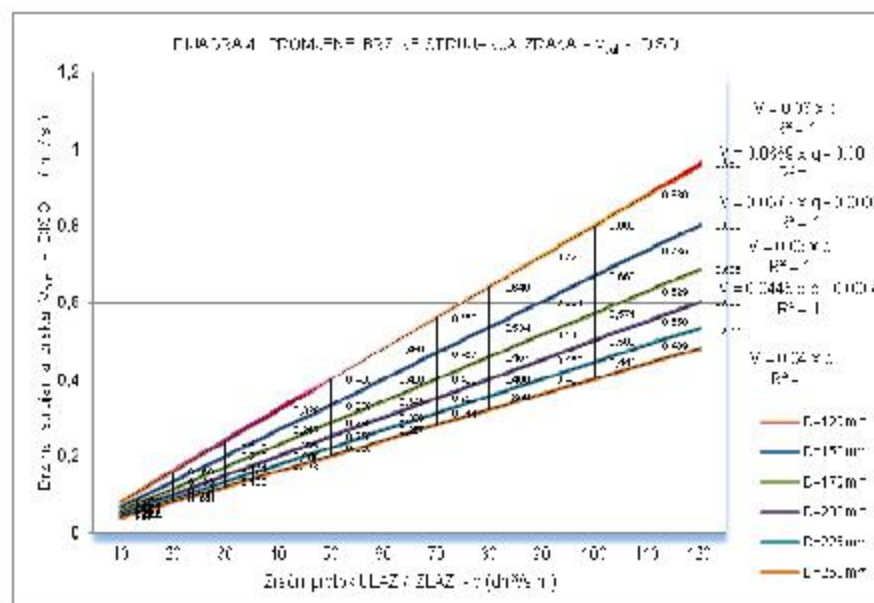
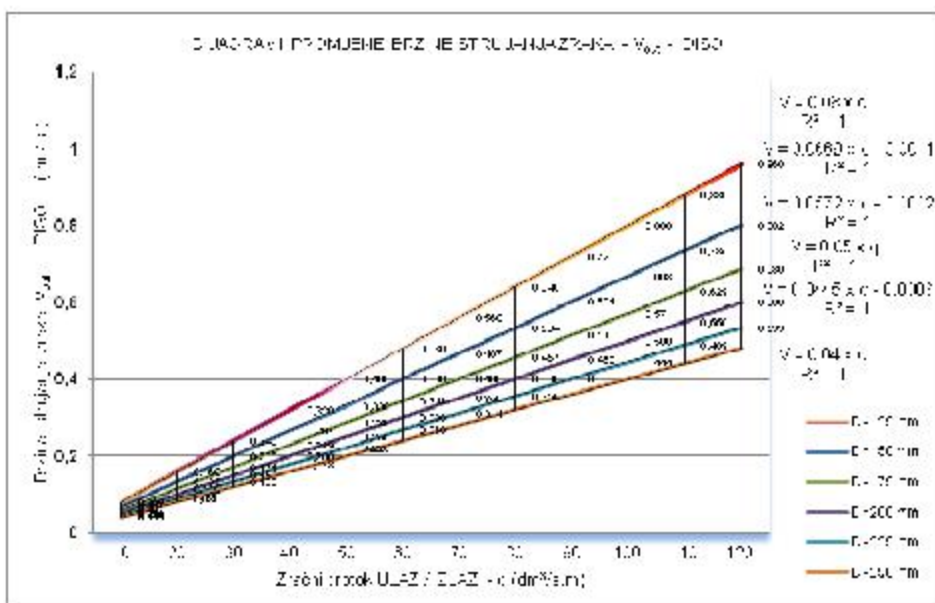
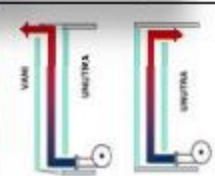


Promjena brzina strujanja zraka kroz DISO – $I_{sol}=500W$

DIJAGRAM PROMJENE BRZINE STRUJANJA ZRAKA - V_{sol} DISO				V.2.417.1		
Model ventiliranja:				Γ, I		
Vanjska temperatura:				$T_e = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$		
Unutarnja temperatura:				$T_i = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$		
Debljina zračnog međusloja DISO:				125 - 250 mm		
Solarna inzolacija:				500 W		
Način ventiliranja:				mehaničko		
ZRAČNI PROTOK DSO $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}$	Zračni sloj DISO D=125 mm	Zračni sloj DISO D=150 mm	Zračni sloj DISO D=175 mm	Zračni sloj DISO D=200 mm	Zračni sloj DISO D=225 mm	Zračni sloj DISO D=250 mm
10	0,080	0,067	0,057	0,050	0,044	0,040
20	0,160	0,133	0,114	0,100	0,089	0,080
30	0,240	0,200	0,171	0,150	0,133	0,120
40	0,320	0,267	0,229	0,200	0,178	0,160
50	0,400	0,330	0,286	0,250	0,220	0,200
60	0,480	0,400	0,343	0,300	0,268	0,240
70	0,560	0,467	0,400	0,350	0,311	0,280
80	0,640	0,534	0,457	0,400	0,356	0,320
90	0,720	0,601	0,514	0,450	0,400	0,360
100	0,800	0,668	0,571	0,500	0,444	0,400
110	0,880	0,735	0,629	0,550	0,489	0,440
120	0,960	0,802	0,686	0,600	0,533	0,480



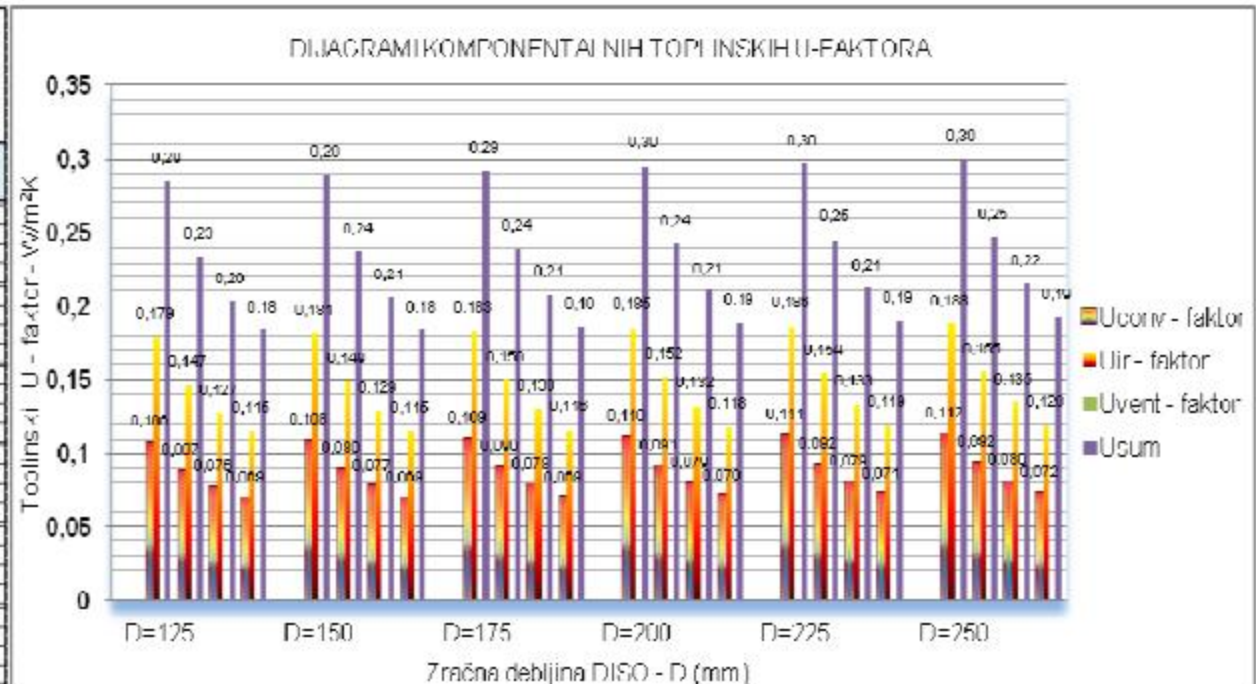
DIJAGRAM PROMJENE BRZINE STRUJANJA ZRAKA - V_{sol} DISO				V.2.417.1		
Model ventiliranja:				I, C, II		
Vanjska temperatura:				$T_e = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$		
Unutarnja temperatura:				$T_i = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$		
Debljina zračnog međusloja DISO:				125 - 250 mm		
Solarna inzolacija:				500 W		
Način ventiliranja:				mehaničko		
ZRAČNI PROTOK DSO $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}$	Zračni sloj DISO D=125 mm	Zračni sloj DISO D=150 mm	Zračni sloj DISO D=175 mm	Zračni sloj DISO D=200 mm	Zračni sloj DISO D=225 mm	Zračni sloj DISO D=250 mm
10	0,080	0,067	0,057	0,050	0,044	0,040
20	0,160	0,133	0,114	0,100	0,089	0,080
30	0,240	0,200	0,171	0,150	0,133	0,120
40	0,320	0,267	0,229	0,200	0,178	0,160
50	0,400	0,330	0,286	0,250	0,220	0,200
60	0,480	0,400	0,343	0,300	0,267	0,240
70	0,560	0,467	0,400	0,350	0,311	0,280
80	0,640	0,534	0,457	0,400	0,356	0,320
90	0,720	0,601	0,514	0,450	0,400	0,360
100	0,800	0,668	0,571	0,500	0,444	0,400
110	0,880	0,735	0,629	0,550	0,489	0,440
120	0,960	0,802	0,686	0,600	0,533	0,480



Dijagramski prikaz parcijalnih U-faktora : U_{conv} , U_{ir} i U_{vent}

Ljetni sunčani dan : $I_{sol}=1000 \text{ W/m}^2$, $T_e=35 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_i=25 \text{ }^\circ\text{C}$

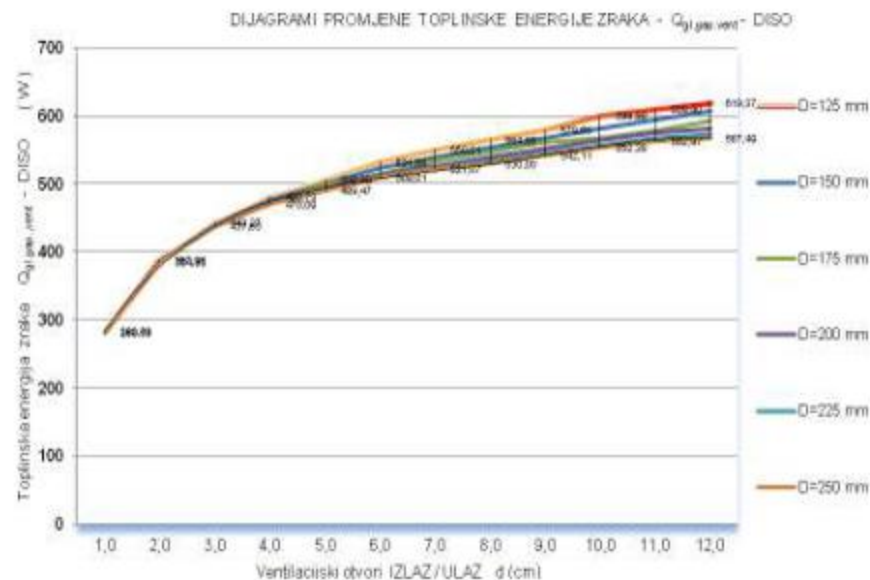
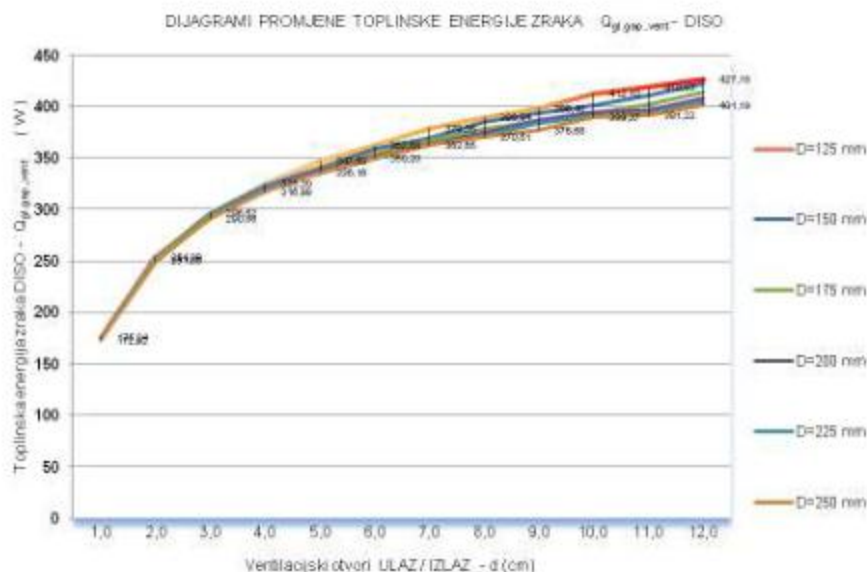
DIJAGRAMI KOMPONENTALNIH U-FAKTORA DISO		U-1.4-I-L-P			
Model ventiliranja		1-1			
Vanjska temperatura		$T_e = 35 \text{ }^\circ\text{C}$			
Unutarnja temperatura		$T_i = 25 \text{ }^\circ\text{C}$			
Debljina zračnog međusloja DISO		125 - 250 mm			
Solarna izolacija		1000 W/m^2			
Način ventiliranja		prirodno			
ZRAK DISO D (mm)	VENTILACIJSKI KANALI Ulaz / Izlaz (mm)	U_{conv} - faktor DISO $\text{W/m}^2\text{K}$	U_{ir} - faktor DISO $\text{W/m}^2\text{K}$	U_{vent} - faktor DISO $\text{W/m}^2\text{K}$	U_{sum} - faktor DISO $\text{W/m}^2\text{K}$
D=125	50 - 50	0,106	0,179	0,000	0,285
	75 - 75	0,087	0,147	0,000	0,234
	100 - 100	0,078	0,127	0,000	0,203
	125 - 125	0,069	0,115	0,000	0,184
D=150	50 - 50	0,106	0,181	0,000	0,289
	75 - 75	0,089	0,149	0,000	0,238
	100 - 100	0,077	0,129	0,000	0,206
	125 - 125	0,069	0,115	0,000	0,184
D=175	50 - 50	0,109	0,183	0,000	0,292
	75 - 75	0,090	0,150	0,000	0,240
	100 - 100	0,078	0,130	0,000	0,208
	125 - 125	0,069	0,115	0,000	0,185
D=200	50 - 50	0,110	0,185	0,000	0,295
	75 - 75	0,091	0,152	0,000	0,243
	100 - 100	0,079	0,132	0,000	0,211
	125 - 125	0,070	0,118	0,000	0,188
D=225	50 - 50	0,111	0,186	0,000	0,297
	75 - 75	0,092	0,154	0,000	0,246
	100 - 100	0,079	0,133	0,000	0,212
	125 - 125	0,071	0,119	0,000	0,190
D=250	50 - 50	0,112	0,188	0,000	0,300
	75 - 75	0,092	0,155	0,000	0,247
	100 - 100	0,080	0,135	0,000	0,215
	125 - 125	0,072	0,120	0,000	0,192



Dijagramski prikaz toplinske energije ventiliranog zraka DISO

DIJAGRAM PROMJENE ENERGIJE ZRAKA $Q_{gl, gvo, vent}$ - DISO				D : 1 - L - F - P		
Model ventiliranja :				E-E, E-I		
Vanjska temperatura :				Te = 35 °C		
Unutarnja temperatura :				Ti = 25 °C		
Debljina zračnog međusloja DISO :				125 - 250 mm		
Solarna inzolacija :				1000 W/m ²		
Način ventiliranja :				prirodno		
DIMENZJE	ENERGIJA	ENERGIJA	ENERGIJA	ENERGIJA	ENERGIJA	ENERGIJA
Ulaz / izlaz (cm)	$Q_{gl, gvo, vent}$ (W)	$Q_{gl, gvo, vent}$ (W)	$Q_{gl, gvo, vent}$ (W)	$Q_{gl, gvo, vent}$ (W)	$Q_{gl, gvo, vent}$ (W)	$Q_{gl, gvo, vent}$ (W)
d (cm)	D=125 mm	D=150 mm	D=175 mm	D=200 mm	D=225 mm	D=250 mm
1,0	175,84	174,85	174,15	173,62	173,16	172,92
2,0	254,09	253,76	253,70	251,39	249,46	251,00
3,0	296,52	296,28	293,70	291,97	292,50	290,86
4,0	325,30	322,83	320,02	319,96	319,95	316,98
5,0	347,50	341,26	340,77	339,21	335,32	336,16
6,0	362,68	359,11	354,29	351,62	349,82	350,20
7,0	379,35	369,44	367,80	364,15	362,37	362,65
8,0	389,94	384,75	378,05	373,83	371,38	370,51
9,0	398,40	393,41	385,80	387,03	383,75	376,68
10,0	412,10	401,24	392,92	394,49	390,77	389,37
11,0	419,03	410,10	401,92	396,18	392,40	391,22
12,0	427,18	421,77	413,63	407,73	403,63	401,19

DIJAGRAM PROMJENE ENERGIJE ZRAKA $Q_{gl, gvo, vent}$ - DISO				D : 2 - L - F - P		
Model ventiliranja :				I - L, I - E		
Vanjska temperatura :				Te = 35 °C		
Unutarnja temperatura :				Ti = 25 °C		
Debljina zračnog međusloja DISO :				125 - 250 mm		
Solarna inzolacija :				1000 W/m ²		
Način ventiliranja :				prirodno		
DIMENZJE	ENERGIJA	ENERGIJA	ENERGIJA	ENERGIJA	ENERGIJA	ENERGIJA
Ulaz / izlaz (cm)	$Q_{gl, gvo, vent}$ (W)	$Q_{gl, gvo, vent}$ (W)	$Q_{gl, gvo, vent}$ (W)	$Q_{gl, gvo, vent}$ (W)	$Q_{gl, gvo, vent}$ (W)	$Q_{gl, gvo, vent}$ (W)
d (cm)	D=125 mm	D=150 mm	D=175 mm	D=200 mm	D=225 mm	D=250 mm
1,0	282,73	281,35	281,39	280,65	280,00	280,68
2,0	387,99	386,69	385,93	385,15	385,03	384,35
3,0	443,37	439,67	438,56	436,81	437,30	437,63
4,0	480,73	475,72	469,94	471,18	470,66	470,09
5,0	506,00	500,25	497,22	493,08	490,59	489,47
6,0	531,68	523,34	513,86	513,09	510,30	509,01
7,0	550,01	538,76	534,32	526,73	522,66	521,07
8,0	564,56	552,38	546,11	539,00	534,01	530,00
9,0	579,60	567,83	561,24	551,46	545,71	542,11
10,0	599,99	580,59	566,42	563,19	555,88	552,38
11,0	609,90	593,07	578,30	574,80	567,14	562,97
12,0	619,37	606,64	592,15	580,51	572,96	567,49



■ Znanstveni radovi u okviru istraživanja COST projekta

- Bugarin, Miro; Domazet, Željko.
[*Development of interactive double skin glass facade with external structural envelope*](#)
// COST Action TU0905, Mid-term Conference on Structural Glass – Belis, Louter & Mocibob (Eds) © 2013 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-00044-5 / © CRC Press Taylor & Francis Group, London (ur.). London : Jan Belis, Christijan Louter & Denijel Mociboc, 2013. 103-113 (predavanje, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni).
- Bugarin, Miro; Nižetić, Sandro; Domazet, Željko.
[*Intelligent Glazed Facades Nearly Zero-Energy Buildings*](#)
// Proceeding of the International Congress Energy and the Environment 2014 / Franković, Bernard (ur.). Opatija : Hrvatski savez za sunčevu energiju, 2014. 445-455 (predavanje, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni).

■ Prezentacija Projekta na svjetskom energetsom forumu u Abu Dhabi-ju, u okviru *Green Building Conference*



■ Temeljem Projekta FESB je nositelj *GreenMARK* certifikata Hrvatskog saveza za energetiku za 2014.

■ Prezentacija Projekta i u okviru predavanja

Bugarin, Miro : [*Zelene ovojnice zgrada*](#)

međunarodnog cjelogodišnjeg studija *Green Building Pro*, Hrvatskog saveza za zelenu gradnju, 2014/15.

HVALA!