



DOBIVANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ OTPADNE TOPLINE DIMNIH PLINOVA

Autori:

Damir Božičević, dipl.ing, HEP Proizvodnja d.o.o.

damir.bozicevic@hep.hr, tel.++385(0)1 6005200

Mario Maltar, dipl.ing, INP d.o.o.

mario.maltar@inp.hr, tel.++385(0)1 6329623,

Marko Grašovec, dipl.ing, INP d.o.o.

marko.grasovec@inp.hr, tel.++385(0)1 6329653



Cilj rada je pokazati mogućnost korištenja toplinske energije otpadnih dimnih plinova, koji se preko dimnjaka izbacuju u okoliš.

U termoenergetskim postrojenjima dimovodni sustavi i dimnjak služe za odvod dimnih plinova od jedinica za loženje u okolinu. Pri tome se adekvatnom visinom dimnjaka osigurava disperzija onečišćenja na veću površinu terena, kako bi se izbjeglo lokalno onečišćenje. To posebice vrijedi za manje „čista“ goriva koja sadrže više onečišćujućih tvari kao što su primjerice ugljen ili mazut.

Budući da je tendencija u gradovima i naseljenim mjestima prelaska na čista i ekološki povoljnija goriva, kao što je prirodni plin, dimnjaci građeni za druge tehnologije izgaranja gube smisao.

Svrha ovog rada je pokazati mogućnosti alternativnog korištenja postojećih dimnjaka. Jedna od tih mogućnosti je i proces gdje se dimnjak koristi kao postrojenje za konverziju toplinske energije u električnu koristeći efekt uzgona zraka.

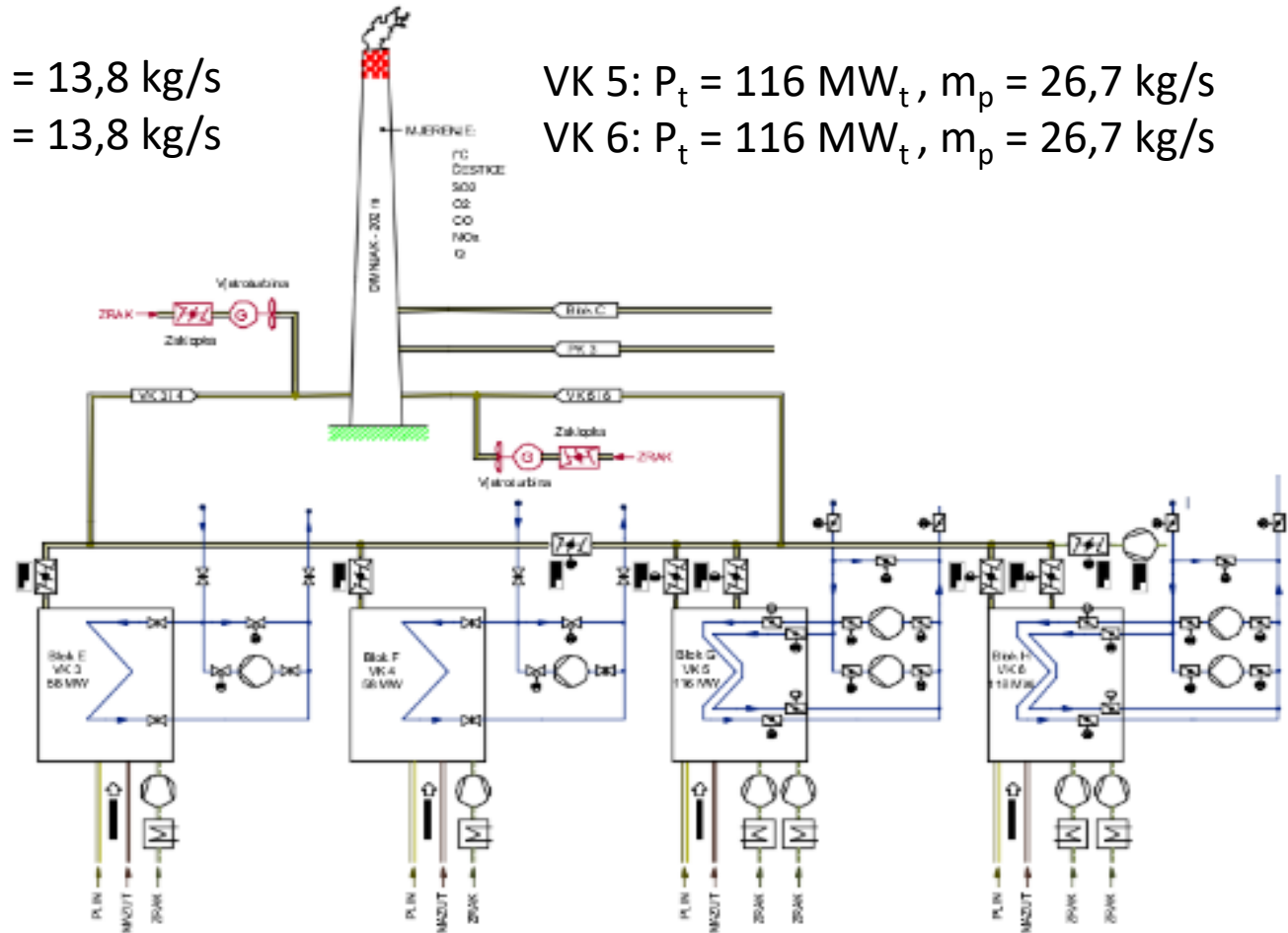






VK 3: $P_t = 58 \text{ MW}_t$, $m_p = 13,8 \text{ kg/s}$
 VK 4: $P_t = 58 \text{ MW}_t$, $m_p = 13,8 \text{ kg/s}$

VK 5: $P_t = 116 \text{ MW}_t$, $m_p = 26,7 \text{ kg/s}$
 VK 6: $P_t = 116 \text{ MW}_t$, $m_p = 26,7 \text{ kg/s}$



TOPLINSKA SCHEMA POSTROJENJA





Osnovni podaci koji su korišteni za matematički model termo uzgonskog dimnjaka:

Visina dimnjaka:

$$H_d = 200 \text{ m}$$

Prosječni promjer dimnjaka:

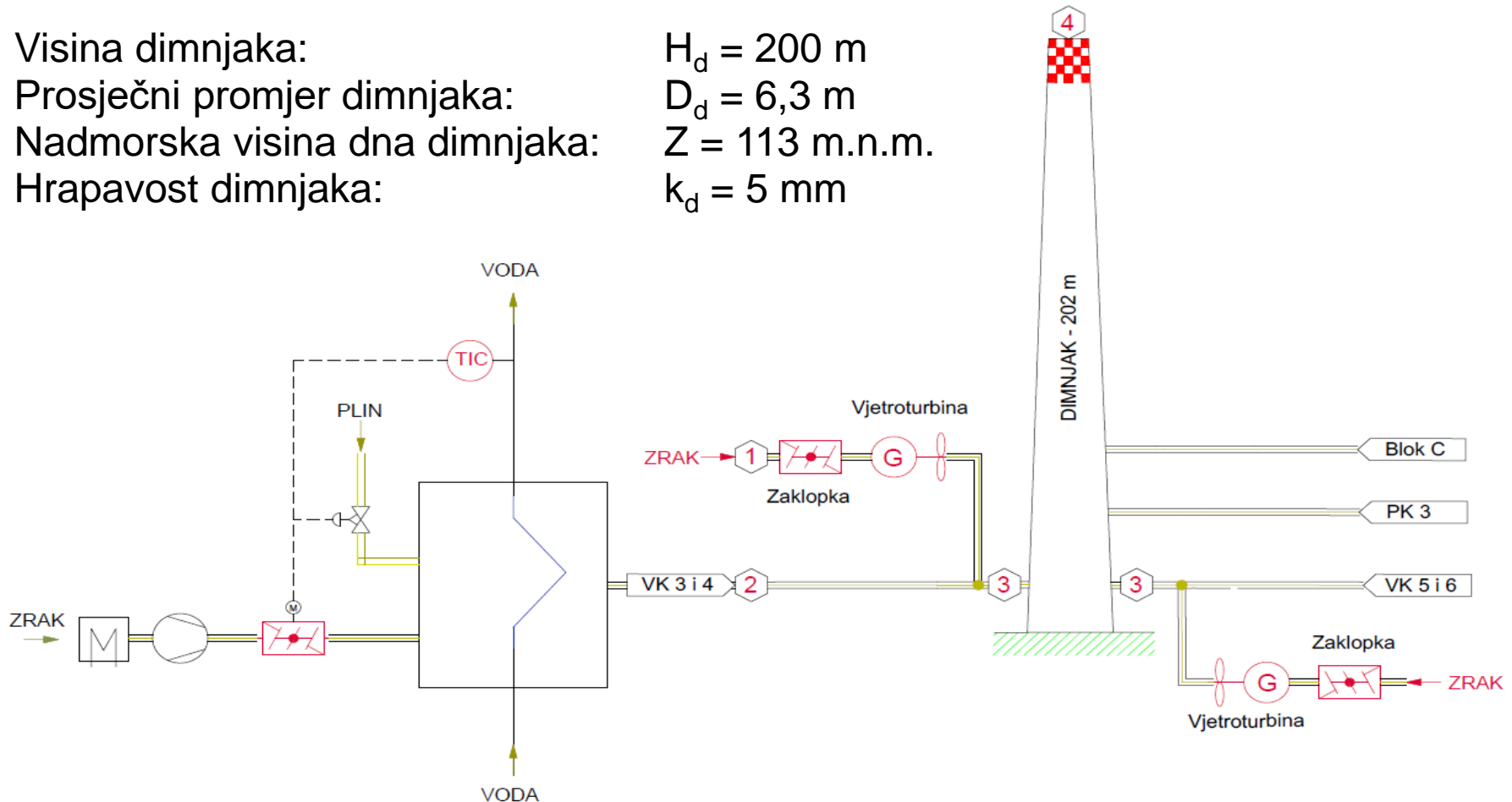
$$D_d = 6,3 \text{ m}$$

Nadmorska visina dna dimnjaka:

$$Z = 113 \text{ m.n.m.}$$

Hrapavost dimnjaka:

$$k_d = 5 \text{ mm}$$





Za proračun stacionarnog uvjeta unutar dimnjak, korištena je u nastavku prikazana jednačba dobivena kombinacijom Bernullijeve jednačbe i jednačbe kontinuiteta.

$$p_3 = p_2 + \frac{1}{2}(\rho_3 + \rho_4)gH_d + \left(\frac{\dot{m}}{A_d}\right)^2 \left(\frac{1}{\rho_4} - \frac{1}{\rho_3}\right) + \Delta p_d + \Delta p_{ds}$$

Gubitak energije uslijed trenja odnosno pad tlaka računat je Darcyjevom jednačbom:

$$\Delta p = \xi \frac{L}{d} \frac{\rho v^2}{2}$$

Koeficijent hrapavosti računat je korištenjem slijedećih jednačbi u ovisnosti o području strujanja.

Za laminarno područje $60 < Re \cdot k/d < 1300$ korišten je izraz:

$$\frac{1}{\xi^{1/2}} = 2 * \log \left(\frac{k}{3,7 \cdot d} + \frac{2,51}{Re \cdot \xi^{1/2}} \right)$$

Ili za turbulentno područje $Re > 2325$

$$\xi = \left\{ -2 \cdot \log \left[\frac{k}{3,7 \cdot d} - \frac{5,02}{Re} \cdot \log \left(\frac{k}{3,7 \cdot d} + \frac{14,5}{Re} \right) \right] \right\}^{-2} \quad (19)$$



Parametri zraka

Ovisnost temperature atmosferskog zraka o nadmorskoj visini opisana je slijedećom jednačinom:

$$T_i = T_{i-1} - \frac{g}{c_p T_{i-1}} z$$

Ovisnost hidrostatskog tlaka okolnog zraka opisana je slijedećom jednačinom.

$$p_4 = p_1 \left(1 - \frac{g}{c_p T_1} H_d \right)^{\frac{M c_p}{R}}$$

Gustoća zraka dobiva se iz jednačine stanja idealnog plina:

$$\rho_i = \frac{p_i M}{R T_i}$$

Snaga turbine

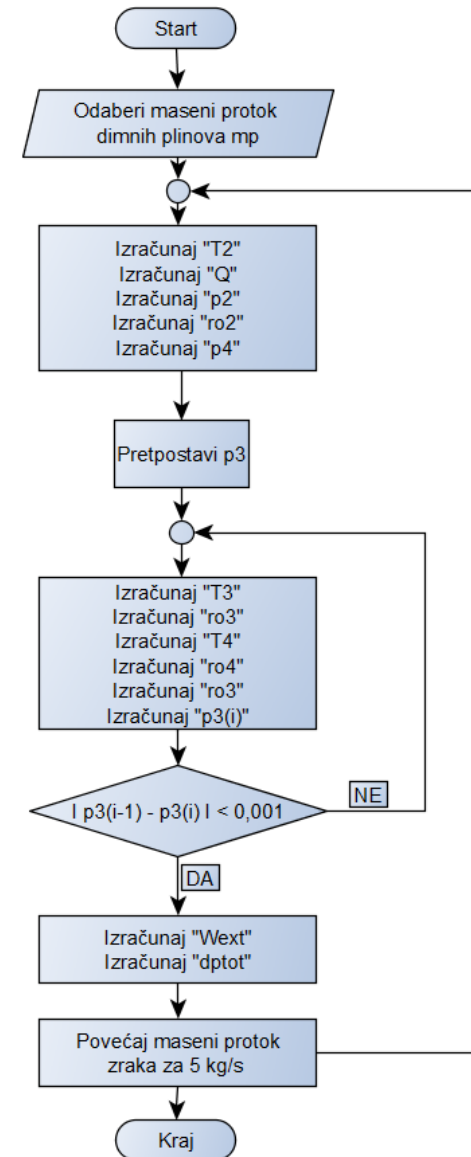
U ovom slučaju dobivena snaga na vjetroturbini računata je sa Rankine-Froude modelom:

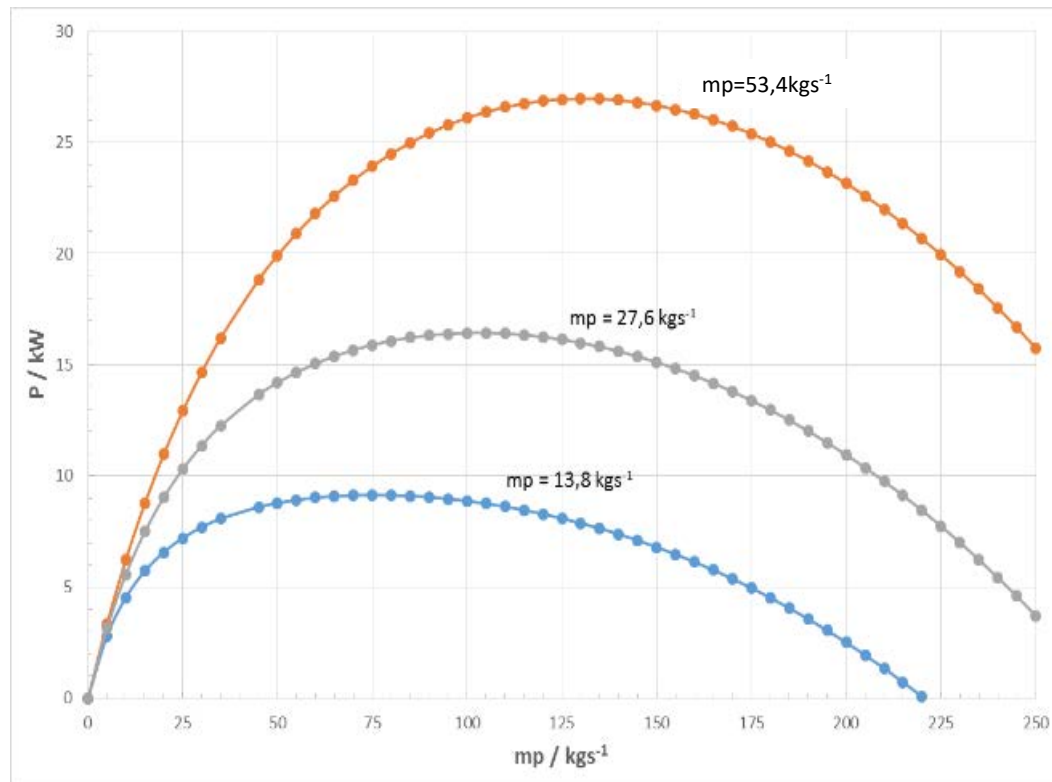
$$W_{iz} = \dot{m} \int v dp \approx \frac{\dot{m}}{\rho_{turb}} \Delta p_{turb}$$

$$W_{iz} = \frac{2 \dot{m}}{(\rho_2 - \rho_3)} (p_2 - p_3)$$



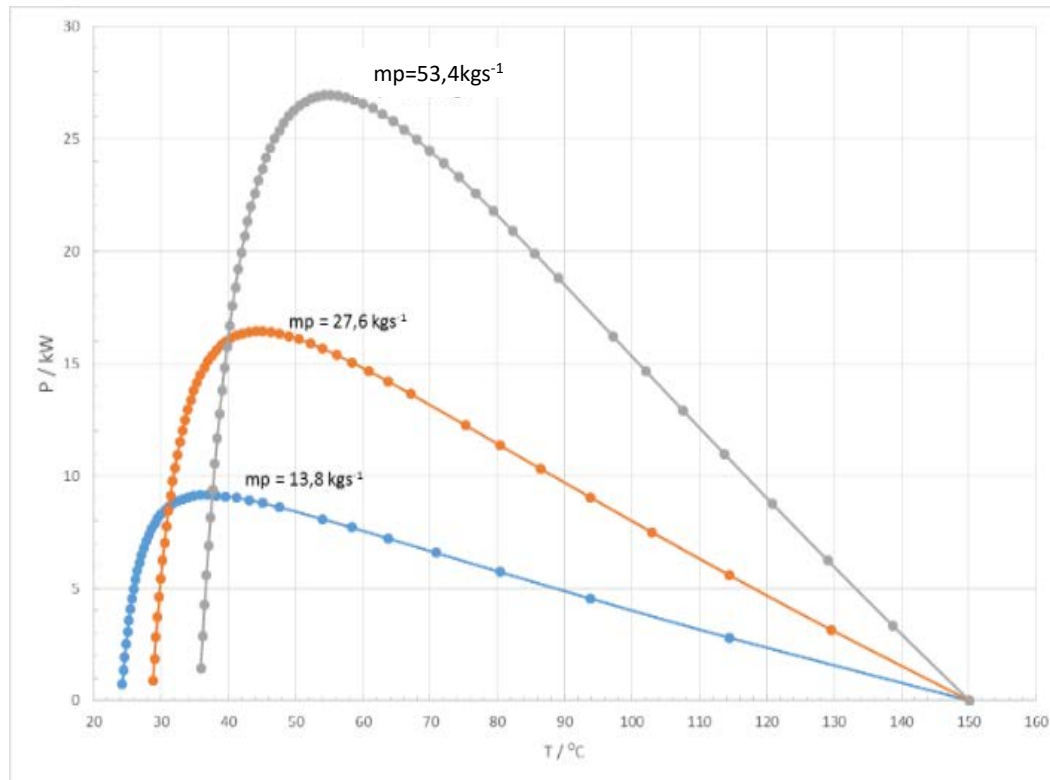
1. Odaberi protok dp iz kotla m_p
2. Odaberi temperaturu dp iz kotla T_2
3. Pretpostavi protok okolnog zraka m_{pz}
4. Pretpostavi temp. okolnog zraka T_{oz}
5. Izračunaj okolni tlak zraka pri dnu dimnjaka p_1
6. Izračunaj okolni tlak na vrhu dimnjaka p_4
7. Pretpostavi vrijednost tlaka na izlazu vjetroturbine p_3 , te T_3 , ρ_3 , T_4 , ρ_4
8. Izračunaj novu vrijednost p_3 i usporedi je sa pretpostavljenom vrijednošću p_3 .
Ukoliko nije zadovoljeno $p_{3(i-1)} - p_{3(i)} < 0,001$ postupak se ponavlja od točke 5.
9. Izračunaj izlaznu snagu turbine W_{iz}
10. Izračunaj Δp_{tot}
11. Povećaj maseni protok zraka i vrati se na početak proračuna.
12. Kraj





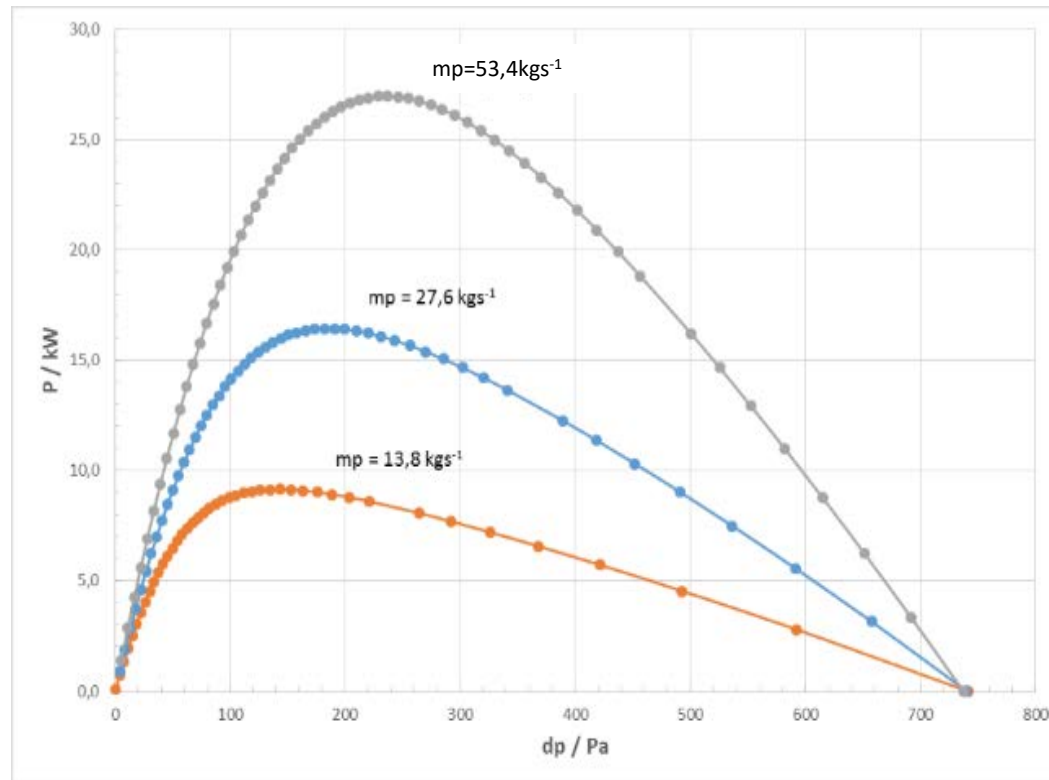
Grafički prikaz dobivenih snaga na vjetro-turbini u ovisnosti o masenom protoku okolnog zraka, za različiti protok dimnih plinova temperature 150 °C





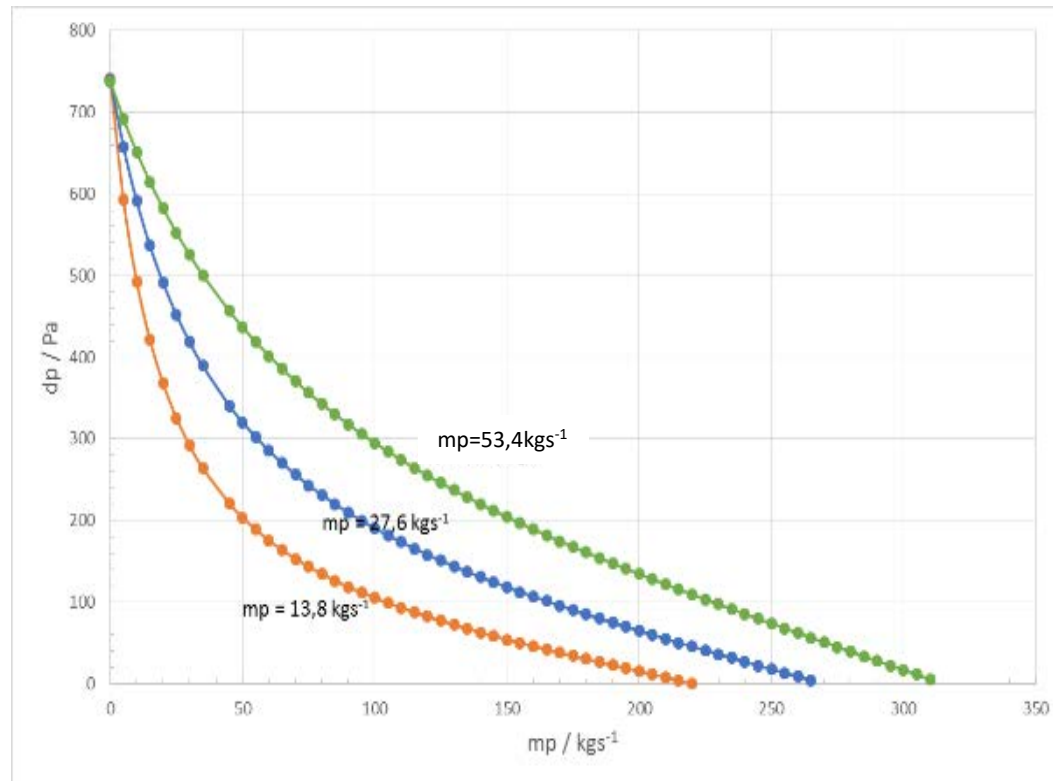
Grafički prikaz dobivenih snaga na vjetro-turbini u ovisnosti o temperaturi smjese dimnih plinova i okolnog zraka za različiti protok dimnih plinova temperature 150 °C.





Grafički prikaz dobivenih snaga na vjetro-turbini u ovisnosti o razlici tlakova okolnog zraka i tlaka nakon miješanja sa dimnim plinovima za različiti protok dimnih plinova temperature 150 °C.





Grafički prikaz tlakova okolnog zraka i tlaka nakon miješanja sa dimnim plinovima u dimovodnom kanalu u ovisnosti o masenom protoku okolnog zraka za različiti protok dimnih plinova temperature 150 °C.





Tablični prikaz rezultata dobivenih matematičkim modelom

| Maseni protok dimnih plinova | Temperatura dimnih plinova | Maseni protok zraka u radnoj točki | Temperatura smjese u radnoj točki | Pad tlaka na vjetroturbini u radnoj točki | Teoretska dobivena snaga | Dobivena snaga na generatoru |
|------------------------------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------|------------------------------|
| m_p | T | m_{pz} | T | Dp_t | P | P_η |
| [kg/s] | [°C] | [kg/s] | [°C] | [Pa] | [kW] | [kW] |
| 13,8 | 150 | 75 | 35 | 120 | 9,1 | 7,0 |
| 27,6 | 150 | 105 | 45 | 180 | 17,2 | 13,2 |
| 53,4 | 150 | 130 | 55 | 240 | 27,2 | 20,8 |

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da zbog visoke temperature dimnih plinova u odnosu na temperaturu okolnog zraka u dimnjaku i spojnim kanalima između kotlova i dimnjaka vlada podtlak kao posljedica uzgonskog efekta. Ta razlika tlaka može se iskoristiti za pokretanje vjetroturbine. Vjetroturbina bi se nalazila u ogranku kanala koji bi bio dograđen na glavni dimovodni kanal neposredno prije spoja na dimnjak. Protok okolnog zraka kao i raspoloživa snaga na vjetroturbini direktno je proporcionalan podtlaku koji vlada u dimovodnom kanalu.





HVALA NA POZORNOSTI !

Autori:

Damir Božičević, dipl.ing, HEP Proizvodnja d.o.o.
damir.bozicevic@hep.hr, tel.++385(0)1 6005200

Mario Maltar, dipl.ing, INP d.o.o.
mario.maltar@inp.hr, tel.++385(0)1 6329623,

Marko Grašovec, dipl.ing, INP d.o.o.
marko.grasovec@inp.hr, tel.++385(0)1 6329653

