MOŽNOSTI ENERGIJSKE IZRABE PREZRAČEVALNEGA ZRAKA IZ PREMOGOVNIKA

Andrej SENEGAČNIK, Igor KUŠTRIN, Jože LENART,
Miran LEBAN, Mihael SEKAVČNIK

POVZETEK

Pri izkopavanju premoga se sproščajo razni plini, ki so nevarni in eksplozivni. Premogovnike je zato potrebno intenzivno prezračevati. Velik del sproščenih plinov pri izkopu premoga predstavlja metan, ki se s prezračevalnim zrakom neizkoriščen odvaja v okolico. Ena izmed možnosti koristne izrabe metana v prezračevalnem zraku je, da se ta zrak uporabi kot zgorevalni zrak za veliko kurilno napravo. V članku so analizirane možnosti izrabe prezračevalnega zraka iz Premogovnika Velenje v parnem kotlu bloka 5 Termoelektrarne Šoštanj. Izvedena analiza pokaže, da bi imela takšna izraba prezračevalnega zraka koristne okoljske in energijske učinke.

ABSTRACT

During coal mining some dangerous and explosive gases are released. Due to safety reasons the mines should be intensively ventilated. Much of the released gas at coal mining is methane. Released gases are vented to surroundings with ventilation air and therefore the methane is not profitable used. One of the potential beneficial utilization of methane in ventilation air is the utilization as a power station air intake. This paper analyzes the possibility of using the ventilation air from the Velenje Coal Mine as an air intake for power plant Šoštanj Unit 5. The analysis shows that this utilization would have a positive effect in environmental and energy aspect.

1. UVOD

V premogovnikih se pri izkopavanju premoga sproščajo razni plini. Količinsko najpomembnejša plina sta metan in ogljikov dioksid. Količina plinov, ki se med odkopom sprošča iz porušenih premogovih skladov je karakteristična za vsak rudnih premoga. Nekateri premogovniki so močno plinoviti, drugi manj. Največ rudniških plinov nastaja pri odkopu mladih premogov, to so ligniti in rjavi premogi, najmanj pa pri odkopu črnih premogov.

Premogovnik Velenje spada med bolj plinovite rudnike. Pri odkopavanju velenjskega lignita se iz tone izkopanega premoga sprosti od 6 m^3 do 10 m^3 metana in tudi od 10 m^3 do 16 m^3 ogljikovega dioksida. Metan je v mešanici z zrakom v mejah od 5 % do 15 % eksploziven in zato nevaren. Metan v atmosferi deluje kot toplogredni plin. Njegov delež v globalnem

toplogrednem učinku je 18 %. Toplogredni učinek metana je 24 večji kot toplogredni učinek ogljikovega dioksida. Zmanjšanje emisij metana v atmosfero ima s stališča globalnega toplogrednega učinka pozitivne učinke, saj ga zmanjšuje. S koristno energijsko izrabo metana se še dodatno zmanjša poraba drugih fosilnih energentov.

Oba sproščena plina se pri sedanji tehnologiji odkopa iz jame odstranjujeta z prezračevalnim sistemom. Za rudniški prezračevalni zrak, ki vsebuje metan se je uveljavilo poimenovanje VAM zrak (VAM – Ventilation Air Methane) [1]. Prezračevanje rudnikov mora biti tako intenzivno, da so koncentracije metana in CO_2 v prezračevalnem zraku nižje od 1 % in tako eksplozijsko in zdravju rudarjev nenevarne. Oba sproščena plina se preko prezračevalnega sistema odvajata na prosto v atmosfero.

Globalno se izvaja veliko raziskav, kako zmanjšati toplogredne učinke in povečati energijsko učinkovitost izkopa. V literaturi najdemo kar nekaj načinov kako oksidirati oz. sežgati metan, ki se sprošča pri izkopavanju premogov. Postopki se delijo v dve glavni področji in to glede na koncentracijo metana v plinski zmesi. Izraba plinske zmesi z relativno visoko koncentracijo metana, nad 20 vol. %, ni problematična. Takšno zmes lahko uporabimo kot dodatno gorivo z nizko kurilnostjo. Takšno plinsko zmes dobimo z neposrednim razplinjevanjem premogovih slojev pred izkopavanjem. S tem področjem se pričujoči referat ne ukvarja. Bistveno bolj zahtevna pa je energijska izraba VAM zraka z nizkimi koncentracijami metana, pod 1 vol. %. Eden od možnih in relativno enostavnih načinov izrabe VAM zraka je uporaba tega zraka za zgorevalni zrak v velikih kuriščih npr. termoelektrarn (parni kotel, plinska turbina).

2. VARNOST IN ZANESLJIVOST

Zmes zraka in metana je eksplozivna in je povzročila že veliko nesreč [2]. Zaradi nevarnosti omenjene zmesi so bili v preteklosti sprejeti mnogi ukrepi in predpisi za preprečevanje njenih nevarnosti. Meje eksplozivnosti zmesi so bile že velikokrat eksperimentalno izmerjene. V literaturi najdemo 5 vol. % kot spodnjo eksplozijsko mejo in 15 vol. %, kot zgornjo eksplozijsko mejo. Zmes se najraje vžge (minimum potrebne energije za vžig) pri 8 vol. %, kar je tik pod stehiometrijskim razmerjem [3]. V strokovni in znanstveni literaturi je kar nekaj objav na temo zmanjševanja emisij metana iz rudnikov in s tem višanja obratovalne varnosti rudnika in zmanjševanje izpustov toplogrednih plinov. Predvsem gre tu za tri postopke [1, 2, 4]:

- razplinjanje premogovih slojev pred izkopom in zajemanje plinov z visoko vsebnostjo metana (nad 30 vol. %)
- uporaba VAM prezračevalnega zraka iz rudnika z nizko vsebnostjo metana (do 2 vol. %)
- razplinjanje podrtih slojev in jalovine po izkopu

Izraba metana iz rudnikov v raznih oblikah je obravnavana v več preglednih člankih, ki dokaj podrobno predstavijo omenjeno področje [1, 2, 4]. Izraba prezračevalnega VAM zraka z nizko vsebnostjo metana, kot zgorevalnega zraka v kotlu na premogovo prašno kurjavo, je navedena v [1, 2, 5, 6, 7]. Zanimivo je tudi dejstvo, da sosežig metana v premogovih kuriščih niža emisije dušikovih oksidov NO_x [1, 5, 6, 8].

Razlog, ki se navaja v strokovni literaturi, zakaj VAM zrak ni večkrat izkoriščen kot zgorevalni zrak v velikih premogovih kotlih je odsotnost velike kurilne naprave (termoelektrarne) na lokaciji rudnika. V slovenskem primeru imamo torej idealno situacijo, ko je izstop VAM zraka iz rudnika na lokaciji termoelektrarne.

3. EMISIJE PRI ODKOPU VELENJSKEGA LIGNITA

Po dosedanjih izmerjenih in ocenjenih vrednostih, se pri izkopavanju velenjskega lignita sprosti 10-16 m^3 ogljikovega dioksida in 6-10 m^3 metana na tono izkopanega lignita. Če sproščene količine pretvorimo v maso dobimo 20-32 kg ogljikovega dioksida in 4,3-7,2 kg metana na tono izkopanega lignita. Energijska vrednost metana predstavlja kar 15-33 kg lignita, oz. 1,5-3,3 % energije izkopanega lignita (preračunano na spodnjo kurilnost lignita 10 MJ/kg in metana 35,9 MJ/kg).

Skupni povprečni toplogredni učinek (GWP – Global Warming Potential) izrabe 1 tone velenjskega lignita, izražen kot CO_2 ekvivalent, je:

- 1000 kg CO_2 nastane pri zgorevanju lignita
- 26 kg CO_2 se sprosti iz lignita ob izkopu
- 144 kg CO_2 ekvivalenta pa predstavlja sproščeni metan iz premoga, povprečno ~6 kg metana * 24 GWP = 144 kg CO_2 ekvivalent
- – skupni povprečni GWP je torej 1170 kg CO_2 ekvivalent

Ker je toplogredni učinek metana kar 24 krat večji kot ogljikovega dioksida, bi se s sežigom metana in nastankom CO_2 toplogredni učinek zmanjšal. V primeru, ko bi se sproščeni metan zajemal in sežgal do CO_2, bi se skupni povprečni toplogredni učinek 1 tone velenjskega lignita zmanjšal kar za 127,5 kg CO_2 ekvivalenta na 1042,5 kg CO_2 ekvivalenta, kar pomeni ≈11 % zmanjšanje glede na današnje stanje.

4. MOŽNOSTI IZRABE VAM ZRAKA V KURIŠČIH TE ŠOŠTANJ

Ideja o izrabi VAM zraka iz velenjskega rudnika izhaja iz dejstva, da je ena od prezračevalnih postaj premogovnika locirana neposredno na "dvorišču" Termoelektrarne Šoštanj (TEŠ). Vsebnost metana v prezračevalnem zraku po razpoložljivih podatkih v normalnih okoliščinah ne presega 0,2 vol. % [9]. VAM zrak poleg metana vsebuje tudi delce

premogovega prahu in hlapne snovi iz premoga, zaradi česar ima specifičen vonj. To je moteče predvsem za okoliška naselja.

Porodila se je ideja, da bi VAM zrak uporabili kot zgorevalni zrak za kotel bloka 5 TEŠ. Trenutno se za zgorevanje premoga v kotlu 5 dovaja sveži zrak, ki ga ventilatorji podpiha zajemajo na prostem ali v kotlovnici. Potencialna izraba VAM zraka bi imela več ugodnih učinkov. Močno bi se zmanjšala emisija metana, premogovega prahu in motečih vonjav v okolici. Z metanom v VAM zraku bi bila v kurišče kotla bloka 5 dovedena tudi dodatna energija.

Kot vhodni podatki so uporabljeni arhivski podatki rudnika PV [9] in podatki o kotlu bloka 5, ki so bili pridobljeni v okviru periodičnih preizkusov bloka 5 [10]. Glede na rezultate omenjenih preizkusov znaša poraba zraka pri maksimalni električni moči na sponkah generatorja 345 MW okoli 380 kg/s (296 m^3/s pri 0°C in 1,013 bar). Pri minimalni moči generatorja okoli 170 MW pa znaša poraba nadzorovanega zraka okoli 180 kg/s (140 m^3/s pri 0°C in 1,013 bar).

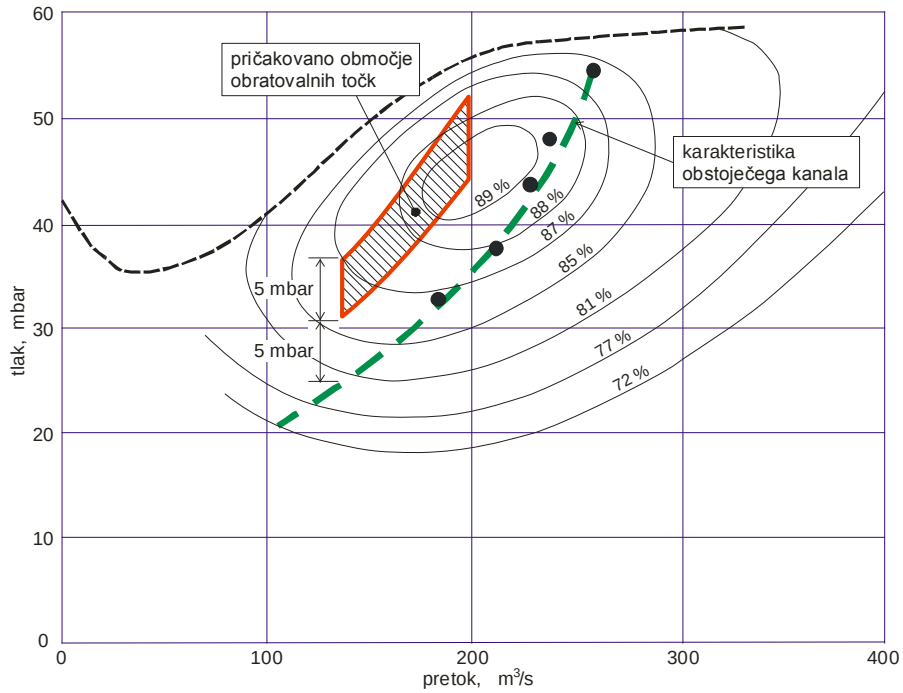
Rudniška prezračevalna ventilatorska postaja se nahaja v severnem delu območja Termoelektrarne Šoštanj ob Levstikovi cesti, ki leži med termoelektrarno in Šoštanjskim jezerom. V ventilatorski postaji sta vzporedno nameščena dva horizontalna aksialna ventilatorja. Ventilatorja obratujeta izmenično. Povprečni masni tok VAM zraka je v obravnavanem obdobju znašal 238 kg/s, povprečni volumenski pa 213 m^3/s oziroma 12781 m^3/min.

4.1 Izvedba povezave ventilatorske postaje in kotla 5

Tlačni upori in obratovalna točka

Glede na geodetski posnetek TEŠ znaša dolžina trase zračnega kanala od 350 do 400 m. Tlačni upori so ocenjeni za traso, ki vsebuje 8 ostrih kolen in 4 blaga kolena. V izračunu uporov je bila upoštevana dolžina trase 350 m in hitrost zraka v kanalu 15 m/s. Izračunani tlačni upori pri največjem pretoku znašajo okoli ~5 mbar. V tej oceni tlačnih uporov predstavljajo linijske izgube 30 % uporov, lokalni upori pa 70 %. Tlačni upori so bili določeni po klasični metodi, navedeni v [11, 12].

Ugotoviti je bilo tudi potrebno, če so obstoječi ventilatorji vleka sposobni pokriti dodatne tlačne upore. Pri tem je bil upoštevan varnostni faktor 2 s tlačnimi upori 10 mbar, ker se lahko zaradi trenutno neznanih in neupoštevanih okoliščin trasa zračnega kanala spremeni in s tem tudi tlačni upori. V sliki 1 je vrisano predvideno področje obratovalnih točk ventilatorja pri povečanih uporih v kanalu. V preteklosti je bilo izmerjenih nekaj obratovalnih točk, preko katerih je s črtkano črto aproksimirana karakteristika obstoječega kanala. Nad tem je z rdečim vrisano predvideno območje obratovalnih točk pri povečanih tlačnih uporih za 5-10 mbar. Iz školjčnega diagrama na sliki 1 je razvidno, da je ventilator nekoliko predimenzioniran in ima pri današnjem načinu obratovanja dovolj rezerve, da pokrije dodatne tlačne izgube v dolgem sesalnem kanalu do ventilatorske postaje rudnika.



Slika 1: Karakteristika ventilatorja vleka

Količina zgorevalnega zraka se je v zadnjih letih zmanjšala, kar je posledica naslednjih ukrepov:

- zamenjava gorilnikov in izvedba primarnih ukrepov za nižanje NO_x (zmanjšanje razmernika zraka),
- uvedba hladne recirkulacije dimnih plinov,
- boljši nadzor podtlaka v kurišču
- boljše tesnjenje grelnika zraka,
- boljše tesnjenje ohišja kotla in pripadajoče opreme, mlini, dodajalniki premoga, kanali,…

Predvidena izvedba

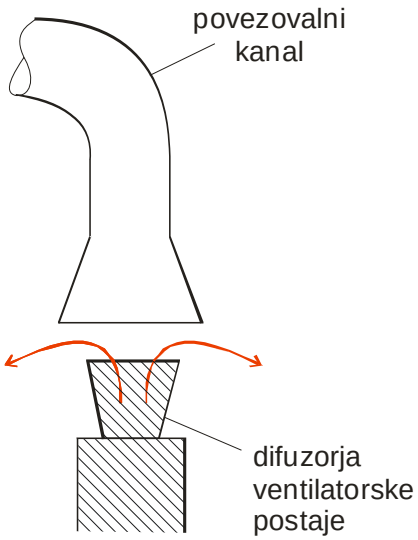
Povezavo med ventilatorsko postajo in kotlom je potrebno izvesti tako, da ni v nobenem primeru ogrožena varnost rudnika ali delovanje kotla. Ob morebitni nepredvideni zaustavitvi kotla mora ostati prezračevanje rudnika nemoteno. Prav tako je zahtevano nemoteno delovanje kotla ob morebitni nepredvideni zaustavitvi ventilatorske postaje. Na sliki 2 je prikazan izvedeni primer odjema VAM zraka nad difuzorji [13].



Slika 2: Odjem VAM zraka v praksi, Avstralija [13]

V primeru TEŠ, bi bilo možno zajem VAM zraka izvesti podobno, kar prikazuje slika 3.

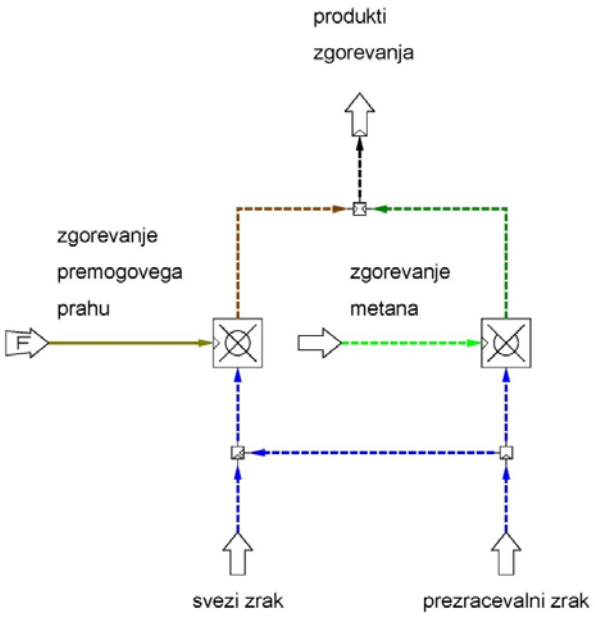
Ob nedelovanju kotla in nižjih močeh kotla 5 je zagotovljen odvod odvečnega VAM zraka iz ventilatorske postaje skozi stransko režo. Slabost takšne izvedbe je ejektorski efekt lijaka in sesanje/primešavanje svežega zraka iz okolice in s tem nižanje energijske vsebnosti VAM zraka. Glede na to, da blok 5 pri polni moči potrebuje večjo količino zraka, kot pa je trenutna količina VAM zraka iz rudnika, je omenjeni efekt lahko tudi dobrodošel.



Slika 3: Priklop kanala na ventilatorsko postajo

5. ENERGIJSKE IN MASNE BILANCE ZGOREVALNEGA ZRAKA

Zgorevanje metana iz VAM zraka in zgorevanje premogovega prahu je modelirano s programskim paketom [14], kot je poenostavljeno prikazano na sliki 4. Zgorevanje čistega metana iz VAM zraka je simulirano v navideznem ločenem gorilniku. Skupni volumenski pretok čistega metana in čistega prezračevalnega zraka (brez metana) je enak povprečnemu pretoku z metanom pomešanega VAM zraka. Razmerje volumenskih pretokov čistega metana in čistega zraka je usklajeno z dejansko vsebnostjo metana v VAM zraku.



Slika 4: Poenostavljen prikaz računalniškega modela zgorevanja metana in premoga

5.1 Rezultati in ugotovitve simulacij

Simuliranih je bilo več različnih obratovalnih stanj in kombinacij. Tu so predstavljene nekatere glavne ugotovitve.

Toplotna moč metana iz VAM zraka bi znašala med 6,9 MW pri najmanjši toplotni moči kotla in 9,2 MW pri vseh toplotnih močeh kotla, ki omogočajo izrabo celotne količine VAM zraka. Manjša toplotna moč metana pri najmanjši moči kotla je posledica tega, da kotel potrebuje manj zgorevalnega zraka in se izrabi le 75 % VAM zraka, preostala količina pa se odvaja v okolico. Glede na povprečno električno moč bloka 5, bi se večino časa uporabljala za zgorevanje celotna količina VAM zraka.

Zaradi uporabe VAM zraka bi se zmanjšala poraba toplega zraka izpod stropa kotlovnice. Da zaradi tega temperatura v kotlovnici ne bi preveč narasla, bi bilo potrebno dodatno prezračevanje le-te, kar bi posredno povečalo sevalno konvektivne izgube. Glede na rezultate simulacij znaša povečanje teh izgub v primerjavi z obratovanjem s svežim zrakom od 2,4 MW pri najmanjši toplotni moči kotla do 3,1 MW pri največji toplotni moči kotla.

Povprečna letna temperatura VAM zraka znaša okoli 18,5 °C, temperatura svežega zraka izpod stropa kotlovnice pa se giblje med 30 °C in 50 °C. Zaradi tega bi se ob uporabi VAM zraka znižala temperatura zraka na vstopu v grelnik zraka. Zaradi nižje temperature zraka na vstopu v grelnik zraka bi se dimni plini v njem ohlajali do nižje temperature in izgube s toploto dimnih plinov bi se zmanjšale. Zmanjšanje izgub zaradi nižje temperature dimnih plinov je ocenjeno na 1 MW ne glede na toplotno moč kotla. Ocena je narejena z uporabo računalniškega programa, ki se uporablja za določanje izkoristka kotlov po indirektni metodi, skladni s standardom za preizkušanje parnih kotlov EN 12952 [15]. Osnovna energijska bilanca izrabe VAM zraka je prikazana v tabeli 1.

Tabela 1: Energijska bilanca uporabe VAM zraka (+ energijski dobitek, – energijska izguba)

	Maks. moč	Povpr. letna moč	Min. moč
	MW	MW	MW
Toplotna moč metana	+9,2	+9,2	+6,9
Povečanje sevalno-konvektivnih izgub	–3,1	–3,1	–2,4
Zmanjšanje izgub s toploto d. plinov	+1,0	+1,0	+1,0
Povečanje moči ventil. podpiha (topl. ekviv.)	–1,0	–0,8	–0,7
Skupaj (toplota)	**+6,0**	**+6,3**	**+4,9**

6. ZAKLJUČKI

V članku je predstavljena možnost izrabe prezračevalnega zraka iz Premogovnika Velenje kot zgorevalnega zraka v parnem kotlu na premogov prah v Termoelektrarni Šoštanj. Ker prezračevalni zrak poleg metana vsebuje tudi premogove volatile in trdne delce premoga, ima zrak moteč vonj za okolico. S tem, ko bi ta zrak uporabili kot zgorevalni zrak, se vse primesi v VAM zraku razgradijo (oksidirajo do CO_2 in H_2O) in motečega vonja po premogu v okolici TEŠ bi bilo precej manj. V okolici TEŠ, bi se s tem zmanjšala imisija prašnih delcev PM10, PM2.5. Metan v VAM zgorevalnem zraku bi lahko pripomogel k znižanju emisije dušikovih oksidov. Emisije metana (toplogredni plin) iz rudnika bi se bistveno zmanjšale.

Spodnja eksplozijska meja zmesi metan-zrak je 5 vol. %. Po dolgoletnih podatkih rudnika je do sedaj najvišja izmerjena koncentracija metana v prezračevalnem zraku bila le 36 % spodnje eksplozijske meje. Navadno je koncentracija metana v prezračevalnem zraku nižja od 0,2 vol. % (4 % spodnje eksplozijske meje). Torej neposredne eksplozijske ogroženosti ni. Razlog, ki ga strokovna literatura navaja zakaj se prezračevalni zrak iz rudnikov ne uporablja "pogosto" kot zgorevalni zrak, je odsotnost velikih kurilnih naprav na lokaciji izpusta prezračevalnega zraka. Razlog neuporabe prezračevalnega zraka, kot zgorevalnega zraka, vsekakor niso varnostne zahteve oziroma morebitna eksplozijska ogroženost.

Celotna sedanja količina prezračevalnega zraka bi se lahko večino časa porabila kot zgorevalni zrak v kotlu bloka 5. Toplotna moč metana iz prezračevalnega zraka je 6,9 MW do 9,2 MW. Rezultati simulacij in analize kažejo, da bi bila energijska bilanca pri uporabi rudniškega prezračevalnega zraka v kotlu 5 pozitivna pri vseh močeh kotla.

7. LITERATURA

[1] Shi Su et al., An assessment of mine methane mitigation and utilisation technologies, *Progres in Energy and Combustion Science*, vol. 31, 2005, pp 123-170
[2] Karacan Ö. et al., Coal mine methane: A review of capture and utilization practices with benefits to mining safety and to greenhouse gas reduction, International Journal of Coal Geology, vol. 86, 2011, pp 121-156
[3] Drysdale Douglas, *An Introduction to Fire Dynamics*, John Wiley & Sons, Chichester, 2000
[4] Carothes P., Deo M., Technical and economic assessment: mitigation of methane emissions from coal mine ventilation air. Coalbed Methane Outreach programme, Climate Protection Division, US Environmental Protection Agency, EPA-430-R-001, 2000
[5] US EPA, Cofiring Coal Mine Methane in coal-fired utility and industrial boilers, US Environmental Protection Agency, Air and Radiation, 6202J, 1998
[6] US EPA, Technical and economic assessment of coal mine methane in coal-fired utility and industrial boilers in Northern Appalachia and Alabama, US Environmental Protection Agency, Air and Radiation, 430-R-98-007, 1998
[7] Rabovitser J. et al., Quarterly Technical Progress Report for the period ending September 30, 2001 METHANE de-NOX® for Utility PC Boilers, Institute of Gas Technology (IGT), Des Plaines, IL, USA, 2001
[8] Harding N.S. et al., Biomass as a reburning fuel: a specialised cofiring application, *Biomass Bioenergy*, vol. 19, 2000, pp 429-445
[9] Premogovnik Velenje, osebna komunikacija, 2012
[10] Kuštrin I., Oman J., Senegačnik A., Mori M., Preizkusi in analiza obratovanja bloka 5 po priključitvi plinskega bloka 51 (december 2010), Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2011.
[11] Pečornik Miroslav, *Tehnička mehanika fluida*, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1989
[12] Pečornik Miroslav, *Zbirka zadataka iz mehanike fluida*, Školska knjiga Zagreb, Zagreb, 1995
[13] Mattus R., In Full Operation – The Worlds First VAM Power Plant, presentation, MEGTEC Systems, 2007
[14] Programski paket IPSEpro za modeliranje termoenergetskih postrojenj, SimTech Simulation Technology
[15] EN 12952-15, Water-tube boilers and auxiliary installations – Part 15: Acceptance tests

NASLOVI AVTORJEV:

izr. prof. dr. Andrej Senegačnik
dr. Igor Kuštrin
izr. prof. dr. Mihael Sekavčnik

Fakulteta za strojništvo
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana

mag. Jože Lenart u.d.i.s.

Termoelektrarna Šoštanj
Cesta Lole Ribarja 18
3325 Šoštanj

mag. Miran Leban u.d.i.s.

RCE – Razvojni center energija d.o.o.
Koroška cesta 62b
3320 Velenje